

BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG
VIỆN NGHIÊN CỨU ĐỊA CHÍNH

BÁO CÁO TỔNG KẾT KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
ĐỀ TÀI:

NGHIÊN CỨU CƠ SỞ KHOA HỌC
XÂY DỰNG MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO
PHỤC VỤ QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN THIÊN NHIÊN

CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI: THẠC SỸ *TĂNG QUỐC CƯỜNG*

HÀ NỘI - 2004

BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG
VIỆN NGHIÊN CỨU ĐỊA CHÍNH

BÁO CÁO KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

Đề tài:

**“NGHIÊN CỨU CƠ SỞ KHOA HỌC
XÂY DỰNG MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO
PHỤC VỤ QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN THIÊN NHIÊN”**

Số đăng ký:

Hà Nội, ngày 15 tháng 12 năm 2004
CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI

Trong

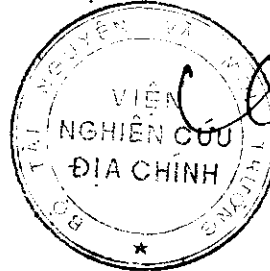
Tăng Quốc Cường

Hà Nội, ngày tháng năm 2004
HỘI ĐỒNG ĐÁNH GIÁ CHÍNH THỨC
CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG

TS

TS. Lê Kim Sơn

Hà Nội, ngày 17 tháng 12 năm 2004
CƠ QUAN CHỦ TRÌ ĐỀ TÀI
VIỆN TRƯỞNG
VIỆN NGHIÊN CỨU ĐỊA CHÍNH



ts. Lê Minh

Hà Nội, ngày tháng năm 2004
CƠ QUAN QUẢN LÝ ĐỀ TÀI
TL. BỘ TRƯỞNG
BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG
KT. VỤ TRƯỞNG VỤ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
PHÓ VỤ TRƯỞNG



Lê Kim Sơn

Hà Nội, 2004

5344-TK

26/5/05.

2005-04-265/KQ

Những người thực hiện chính:

- | | |
|---------------------------------|------------------------------|
| 1. Tiến sỹ Trần Xuân Đức: | Công ty Đo đạc Ảnh Địa hình. |
| 2. Thạc sỹ Cao Xuân Triều: | Viện Nghiên cứu Địa chính. |
| 3. Thạc sỹ Nguyễn Thị Thục Anh: | Viện Nghiên cứu Địa chính. |
| 4. Kỹ sư Trần Tuấn Ngọc: | Viện Nghiên cứu Địa chính. |
| 5. Kỹ sư Nguyễn Hà Phú: | Viện Nghiên cứu Địa chính. |
| 6. Kỹ sư Nguyễn Thị Minh Cẩm: | Viện Nghiên cứu Địa chính. |
| 7. Kỹ sư Nguyễn Văn Thuỳ: | Cục Bảo vệ Môi Trường. |
| 8. Kỹ sư Lê Văn Hiệp: | Công ty Đo đạc Ảnh Địa hình. |

BÀI TÓM TẮT

Đề tài: “Nghiên cứu cơ sở khoa học xây dựng mô hình số độ cao phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên” có mục đích chính là lựa chọn phương pháp tốt nhất trong điều kiện Việt Nam để xây dựng mô hình số độ cao (DEM) phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên. Để thực hiện mục tiêu này trong đề tài đã đi sâu tìm hiểu: vị trí, vai trò của DEM trong quản lý tài nguyên thiên nhiên; tìm hiểu, khảo sát cơ sở khoa học và các cấu trúc của DEM dựa trên các tài liệu ở trong và ngoài nước; tìm hiểu các ứng dụng của DEM, đặc biệt là trong công tác quản lý tài nguyên thiên nhiên. Đề tài cũng đã miêu tả, phân tích tất cả các phương pháp xây dựng DEM, từ các phương pháp truyền thống cho tới các phương pháp, công nghệ mới nhất, xuất hiện và phát triển trong vài năm trở lại đây. Các phương pháp này còn được so sánh, đánh giá trên các khía cạnh như nguyên lý, phạm vi áp dụng, mức độ tự động hoá và độ chính xác đạt được. Dựa trên các phân tích, so sánh, đánh giá trên đề tài đã chỉ ra được hai phương pháp khả thi trong điều kiện Việt Nam để xây dựng DEM phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên.

Đề tài đã khảo sát và phân tích chi tiết về độ chính xác của DEM, chẳng hạn như: các mô hình sai số của DEM; độ chính xác của DEM thành lập bằng các phương pháp khác nhau; phân tích, chứng minh và đưa ra các ví dụ liên quan đến yêu cầu về độ chính xác của DEM trong thành lập bình đồ ảnh trực giao, nội suy đường bình độ và trong một số ứng dụng liên quan đến tài nguyên thiên nhiên.

Phần thực nghiệm của đề tài tập trung vào việc xây dựng DEM theo hai phương pháp: đo vẽ ảnh hàng không và nội suy từ các đường bình độ có sẵn trên bản đồ. Sau đó tiến hành so sánh, đánh giá, phân tích các phương pháp này và kết quả thu được. Ngoài ra một số vấn đề như những khía cạnh kỹ thuật cần chú ý khi thành lập DEM, việc lấy mẫu và sử dụng hợp lý các chức năng của phần mềm nhằm xây dựng DEM với chất lượng tốt nhất có thể, cũng được làm sáng tỏ trong đề tài.

Dựa trên các kết quả phân tích lý thuyết, tham khảo kinh nghiệm của các nước, kết quả thực nghiệm cũng như liên hệ các điều kiện cụ thể của nước ta, đề tài đã đưa ra một số kết luận, đồng thời đề xuất một chương trình xây dựng DEM quốc gia và phương pháp quản lý dữ liệu DEM.

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1: MỞ ĐẦU	1
1.1 TỔNG QUAN VỀ MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO VÀ VỊ TRÍ, VAI TRÒ CỦA NÓ TRONG QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN THIÊN NHIÊN	1
1.2 MỤC TIÊU CỦA ĐỀ TÀI	3
1.3 NỘI DUNG, PHẠM VI VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	3
1.4 BỐ CỤC CỦA ĐỀ TÀI.....	4
CHƯƠNG 2: NHỮNG VẤN ĐỀ CƠ BẢN CỦA MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO	6
2.1. KHÁI NIỆM, ĐỊNH NGHĨA	6
2.1.1 <i>Mô hình số độ cao (DEM), mô hình số địa hình (DTM) và mô hình số bề mặt (DSM)</i>	6
2.1.2 <i>Các khái niệm và định nghĩa của một số thông số, sản phẩm dẫn xuất từ DEM</i>	8
2.2. CHU TRÌNH TỔNG QUÁT XÂY DỰNG DEM	9
2.3. CÁC CẤU TRÚC CỦA MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO	10
2.3.1 <i>Tổng quan về các phương pháp lưu trữ và thể hiện các dữ liệu độ cao số</i>	10
2.3.2 <i>Cấu trúc DEM dạng lưới đều (GRID)</i>	13
2.3.3 <i>Cấu trúc DEM dạng tam giác không đều (TIN)</i>	15
2.3.4 <i>So sánh DEM dạng lưới đều và DEM dạng TIN</i>	18
2.3.5 <i>Cấu trúc của DEM phủ trùm quốc gia phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên</i>	19
2.4. VẤN ĐỀ NỘI SUY TRONG THÀNH LẬP VÀ CHUYỂN ĐỔI CẤU TRÚC DEM	20
2.4.1 <i>Khái niệm và vai trò của phép nội suy</i>	20
2.4.2 <i>Cơ sở logic của phép nội suy</i>	22
2.4.3 <i>Các phương pháp nội suy</i>	22
2.4.4 <i>Nhận xét, thảo luận</i>	27
2.4.5 <i>Ghép nối và chuyển đổi cấu trúc của DEM</i>	29
2.5. KẾT LUẬN CHƯƠNG 2	30
CHƯƠNG 3: ỨNG DỤNG CỦA MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO	31
3.1. KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CỦA MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO	31
3.1.1 <i>Các ứng dụng khoa học</i>	32
3.1.2 <i>Các ứng dụng thương mại</i>	34
3.1.3 <i>Các ứng dụng công nghiệp</i>	37
3.1.4 <i>Các ứng dụng tác nghiệp phục vụ quản lý</i>	38
3.1.5 <i>Các ứng dụng trong quân sự</i>	41
3.2. ỨNG DỤNG CỦA MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO Ở VIỆT NAM	41
3.2.1 <i>Cơ quan nghiên cứu thuộc các Bộ và các Trung tâm, các trường đại học</i>	42
3.2.2 <i>Các cơ quan quản lý, sản xuất của các Bộ</i>	43

3.3. NHẬN XÉT, TÓM TẮT CHƯƠNG 3	47
CHƯƠNG 4: KHẢO SÁT, TÌM HIỂU CÁC PHƯƠNG PHÁP XÂY DỰNG MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO	48
4.1 CÁC NGUỒN DỮ LIỆU TẠO DEM	48
4.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP XÂY DỰNG MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO	48
4.2.1. <i>Phương pháp đo đạc thực địa</i>	<i>48</i>
4.2.2. <i>Phương pháp số hoá bản đồ địa hình</i>	<i>49</i>
4.2.3. <i>Phương pháp đo vẽ ảnh</i>	<i>52</i>
4.2.4. <i>Phương pháp công nghệ laser đặt trên máy bay (LIDAR) và phương pháp Radar độ mở tổng hợp giao thoa (IFSAR)</i>	<i>57</i>
4.3 PHƯƠNG PHÁP XÂY DỰNG MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO TRONG ĐIỀU KIỆN VIỆT NAM.....	63
4.4. KẾT LUẬN	64
CHƯƠNG 5: CÁC YÊU CẦU VỀ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO PHỤC VỤ QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN THIÊN NHIÊN.....	65
5.1. CÁC TÀI LIỆU ĐỂ CẬP TỚI ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO	65
5.1.1. <i>Các yếu tố ảnh hưởng tới độ chính xác của DEM</i>	<i>65</i>
5.1.2. <i>Điểm lại một số khảo sát, nghiên cứu, thực nghiệm về độ chính xác của DEM</i>	<i>66</i>
5.1.3. <i>Độ chính xác của DEM thành lập bằng các phương pháp khác nhau</i>	<i>70</i>
5.2. YÊU CẦU VỀ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA DEM TRONG THÀNH LẬP BÌNH ĐỒ ẢNH TRỰC GIAO.....	72
5.2.1. <i>Bình đồ ảnh trực giao được thành lập từ ảnh chụp hàng không</i>	<i>72</i>
5.2.2. <i>Bình đồ ảnh trực giao được thành lập từ ảnh vệ tinh.....</i>	<i>75</i>
5.2.3. <i>Nhận xét, thảo luận.....</i>	<i>76</i>
5.3. YÊU CẦU VỀ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA DEM PHỤC VỤ NỘI SUY CÁC ĐƯỜNG BÌNH ĐỘ TRONG QUÁ TRÌNH THÀNH LẬP BẢN ĐỒ ĐỊA HÌNH.....	77
5.4. YÊU CẦU VỀ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA DEM TRONG QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN THIÊN NHIÊN.....	78
5.4.1. <i>Tính toán độ dốc và hướng dốc dựa trên DEM:</i>	<i>79</i>
5.4.2. <i>Một số ví dụ phân tích sai số của DEM trong các công tác quản lý tài nguyên thiên nhiên</i>	<i>82</i>
5.5. NHẬN XÉT, THẢO LUẬN.....	85
CHƯƠNG 6: THỬ NGHIỆM XÂY DỰNG MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO.....	88
6.1 XÂY DỰNG DEM THEO PHƯƠNG PHÁP ĐO VẼ ẢNH SỐ.....	88
6.1.1 <i>Quy trình đo vẽ thành lập DEM trên hệ thống đo vẽ ảnh số.....</i>	<i>89</i>
6.1.2. <i>Nội dung công tác đo vẽ, thành lập DEM</i>	<i>90</i>
6.1.3. <i>Vấn đề tự động tạo đường đồng mức từ DEM</i>	<i>92</i>
6.1.4 <i>Các khu đo thực nghiệm và kết quả thành lập DEM</i>	<i>94</i>
6.1.5 <i>Một số điểm cần chú ý trong quá trình xây dựng DEM theo phương pháp đo vẽ ảnh số</i>	<i>100</i>

6.2	XÂY DỰNG DEM THEO PHƯƠNG PHÁP NỘI SUY TỪ CÁC ĐƯỜNG BÌNH ĐỘ ĐƯỢC SỐ HOÁ TRÊN CÁC BẢN ĐỒ CÓ SẴN.....	101
6.2.1	<i>Quy trình đo vẽ thành lập DEM theo phương pháp nội suy từ các đường bình độ</i>	<i>101</i>
6.2.2	<i>Nội dung công tác đo vẽ, thành lập DEM</i>	<i>102</i>
6.2.3	<i>Vấn đề tam giác nằm ngang khi nội suy từ các đường bình độ sang mô hình TIN</i>	<i>104</i>
6.2.4	<i>Các mảnh bản đồ dùng trong thực nghiệm và kết quả thành lập DEM</i>	<i>108</i>
6.3	ĐÁNH GIÁ, SO SÁNH CÁC PHƯƠNG PHÁP	111
CHƯƠNG 7: CHƯƠNG TRÌNH XÂY DỰNG MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO QUỐC GIA		114
7.1	PHÂN TÍCH CÁC PHƯƠNG PHÁP XÂY DỰNG MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO PHỦ TRÙM TRONG ĐIỀU KIỆN VIỆT NAM.....	114
7.1.1	<i>Thành lập DEM từ ảnh bay chụp hàng không</i>	<i>114</i>
7.1.2	<i>DEM thành lập từ các đường bình độ được số hoá trên bản đồ địa hình</i>	<i>118</i>
7.1.3	<i>Nhận xét, đề xuất</i>	<i>120</i>
7.2	PHƯƠNG PHÁP QUẢN LÝ SỐ LIỆU MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO QUỐC GIA	121
7.2.1	<i>Chia mảnh và chọn khoảng cách mắt lưới DEM</i>	<i>121</i>
7.2.2	<i>Khuôn dạng dữ liệu DEM</i>	<i>122</i>
7.2.3	<i>Nén dữ liệu DEM</i>	<i>123</i>
7.2.4	<i>Quản lý dữ liệu DEM quốc gia</i>	<i>126</i>
CHƯƠNG 8: KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ		128
8.1	KẾT LUẬN	128
8.2	KIẾN NGHỊ	129
TÀI LIỆU THAM KHẢO		130
PHỤ LỤC 1: MỘT SỐ KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM.....		135
PHỤ LỤC 2: TƯ LIỆU ẢNH HÀNG KHÔNG VÀ BẢN ĐỒ TỶ LỆ 1: 50 000 PHỦ TRÙM VIỆT NAM.....		143

BẢNG CHÚ GIẢI CÁC CHỮ VIẾT TẮT

2D	Two Dimensions:	Hai chiều
3D	Three Dimensions:	Ba chiều
DEM	Digital Elevation Model:	Mô hình số độ cao
DSM	Digital Surface Model:	Mô hình số bề mặt
DTM	Digital Terrain Model:	Mô hình số địa hình
GIS	Geographic Information System:	Hệ thống thông tin địa lý
GPS	Global Positioning System:	Hệ thống định vị toàn cầu
GRID	Cấu trúc lưới đều của mô hình số độ cao	
GTOPO30	Mô hình số độ cao toàn cầu với khoảng cách mắt lưới 30 giây	
IFSAR	InterFerometric Synthetic Aperture Radar:	Radar độ mở tổng hợp giao thoa
LIDAR	LIght Detection And Ranging:	Công nghệ đo laser
NSDI	National Spatial Data Infrastructure:	Cơ sở hạ tầng dữ liệu không gian quốc gia
RMSE	Root Mean Square Error:	Sai số trung phương
TIN	Triangulated Irregular Network:	Mạng tam giác không đều
TIS	Topographic Information System:	Hệ thống thông tin địa hình

CHƯƠNG 1: MỞ ĐẦU

1.1 Tổng quan về mô hình số độ cao và vị trí, vai trò của nó trong quản lý tài nguyên thiên nhiên

Thành lập bản đồ và giám sát bề mặt đất vốn dĩ là các bài toán trong không gian ba chiều (3D). Phương thức điển hình để giải quyết các bài toán này là trên các bản đồ chuyên đề với các thông tin về mặt bằng (2D) bổ sung thêm các thông tin về chiều thứ ba dưới dạng một mô hình số độ cao (Digital Elevation Model - viết tắt là DEM) riêng biệt.

Quản lý tài nguyên thiên nhiên và bảo vệ môi trường là một trong các lĩnh vực ứng dụng chính của DEM [67]. Lĩnh vực này kết hợp các ứng dụng từ nhiều ngành, nhiều môn nghiên cứu đa dạng, khác nhau, chẳng hạn như môi trường và quy hoạch đô thị, viễn thám, thổ nhưỡng, nông nghiệp, lâm nghiệp, địa chất, khí tượng thủy văn. Các ứng dụng điển hình là: nghiên cứu đánh giá tác động môi trường, nắn chỉnh hình học và bức xạ các dữ liệu viễn thám, sử dụng các sản phẩm dẫn xuất từ DEM để trợ giúp công tác phân loại trong viễn thám, lập các mô hình về nguy cơ xói mòn đất, các nghiên cứu thích hợp cây trồng, nghiên cứu hướng gió và các mô hình phát tán ô nhiễm, mô hình hoá tiếng ồn và nhiều ứng dụng khác nữa.

Các thông tin về độ cao dưới dạng số dễ sử dụng là cần thiết cho việc quản lý hiệu quả các nguồn tài nguyên thiên nhiên và môi trường. Nhu cầu cần có các thông tin như vậy trên quy mô vùng và quốc gia là tác nhân cho việc xây dựng DEM phủ trùm toàn quốc.

DEM thu hút được nhiều sự chú ý ngay từ khi nó mới bắt đầu được đưa vào sử dụng cuối những năm 1950s. Ngày nay DEM được ứng dụng khá rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như: đo đạc bản đồ, lập các mô hình về nguy cơ xói mòn đất, đánh giá thủy văn và lũ lụt, nghiên cứu hướng gió và các mô hình phát tán ô nhiễm, quản lý đa dạng sinh học, xây dựng công trình công cộng, địa chất, khai thác mỏ, kiến trúc cảnh quan, thiết kế đường, nông nghiệp, quy hoạch, các hoạt động quân sự như dẫn đường cho tên lửa, mô phỏng chiến sự...DEM còn được coi là một thành phần trong hệ thống thông tin địa hình (TIS - Topographic Information System) - [35]). Theo đó, tại nhiều nước khi muốn xây dựng một hệ thống thông tin địa hình người ta thường xây dựng thành phần DEM trước. Để có được một hệ thống thông tin địa hình hoàn chỉnh cần xây dựng

thêm một số thành phần nữa như: bình đồ ảnh trực giao số, bản đồ địa hình được raster hoá (quét, nắn, tách màu), các yếu tố địa hình được véc tơ hoá theo 2D hoặc 3D.

Gần đây do các hệ thống thông tin địa lý (GIS) ngày càng trở lên phổ biến, DEM cũng trở thành một phần thiết yếu của GIS và đặc biệt là của cơ sở hạ tầng dữ liệu không gian quốc gia (NSDI) tại các nước như: Mỹ, Đức, Anh, Úc, Trung Quốc và nhiều nước khác. Việc trở thành một phần của NSDI có nghĩa rằng DEM sẽ được thành lập để phủ trùm toàn bộ lãnh thổ của một quốc gia. Một NSDI cho nước ta cũng đã bắt đầu được đề cập [63], trong đó DEM cũng được coi là một loại dữ liệu của NSDI.

Cộng đồng khoa học và thị trường thương mại này càng nhận thức được sâu sắc hơn tầm quan trọng của DEM trong các ứng dụng tiềm năng của họ. Tuy nhiên các ứng dụng hiện nay còn khá hạn chế. Một mặt việc tiếp cận các dữ liệu địa hình số còn khá khó khăn và hạn chế vì giá thành cao và vấn đề bí mật quân sự. Mặt khác, dữ liệu mô hình số độ cao toàn cầu (Global 30arc Second DEM, viết tắt là GTOPO30) được thành lập từ nhiều nguồn dữ liệu khác nhau, với khoảng cách giữa các điểm mắt lưới xấp xỉ 1km, tuy miễn phí nhưng không đáp ứng được các nhu cầu của các phân tích không gian chi tiết. GTOPO30 ít có giá trị trong việc giám sát các hệ sinh thái, cơ sở hạ tầng nông thôn, đô thị và nghiên cứu thuỷ học [62]. Theo [26] thì GTOPO30 có độ chính xác về độ cao thay đổi rất nhiều tùy theo vùng và nguồn dữ liệu dùng để tạo DEM (Sai số trung phương có giá trị thay đổi từ 9 m đến 300 m). Thêm vào đó việc sử dụng các dữ liệu DEM được chấp nối từ các nguồn khác nhau với độ phân giải, hệ quy chiếu... không giống nhau, để có được một dữ liệu độ cao toàn cầu là rất khó thực hiện vì kết quả sẽ không đồng nhất, mâu thuẫn và không tương thích với nhau. Hiện nay, các dữ liệu DEM đã biểu lộ nhiều tính gián đoạn trong độ phủ trùm, độ phân giải, độ chính xác và hệ quy chiếu. Một nguyên nhân nữa dẫn đến tính không đồng nhất là các phương pháp thành lập khác nhau. Việc thành lập DEM là rất tốn kém, giá thành quá đắt đối với các cơ quan và các cá nhân.

Với mục đích đặt ra là xây dựng DEM phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên thì do tính đa dạng của các ứng dụng trong lĩnh vực này, mỗi một ứng dụng lại có các yêu cầu riêng về độ chính xác (từ các ứng dụng yêu cầu DEM phải có độ chính xác rất cao cho đến các ứng dụng chỉ cần DEM có độ chính xác rất thấp) cho nên ở nhiều nước DEM được thành lập phủ trùm quốc gia với mức độ chi tiết và độ chính xác trung bình, đáp ứng được nhiều ứng dụng.

Ở nước ta hiện nay chỉ mới có DEM phủ trùm được thành lập từ các bản đồ địa hình tỷ lệ khá nhỏ, chẳng hạn 1: 1 000 000. Các cơ quan tùy theo yêu cầu của các ứng dụng tự thành lập DEM một cách riêng biệt. Trong lĩnh vực đo đạc bản đồ, từ khi có công nghệ thành lập bản đồ số, đặc biệt bằng công nghệ đo vẽ ảnh số thì DEM được thành lập thường xuyên hơn và thường là một phần của công đoạn thành lập bản đồ. Như vậy ở một mức độ nào đó chúng ta cũng đã, đang và sẽ xây dựng DEM, tuy nhiên công việc này cho tới nay vẫn mang tính tự phát, đơn lẻ của từng cơ quan, đơn vị, phục vụ cho các mục đích riêng lẻ. Sự phối hợp giữa các cơ quan còn hạn chế.

Với việc thành lập Bộ Tài nguyên và Môi trường thì nhu cầu sử dụng các tài liệu, sản phẩm (trong đó có DEM) cho đa mục đích sẽ ngày càng tăng. Để tránh việc sản xuất trùng lặp, chồng chéo thì cần có một chương trình chung, thống nhất trong Bộ hay kết hợp với các Bộ, Cơ quan khác để thành lập DEM phủ trùm toàn quốc, phục vụ đa mục đích. Từ cách đặt vấn đề như trên nhóm tác giả kiến nghị xây dựng đề tài:

“NGHIÊN CỨU CƠ SỞ KHOA HỌC XÂY DỰNG MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO PHỤC VỤ QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN THIÊN NHIÊN”

1.2 Mục tiêu của đề tài

☐ *Lựa chọn phương pháp tốt nhất trong điều kiện Việt nam để xây dựng mô hình số độ cao (DEM) phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên* ☐.

1.3 Nội dung, phạm vi và phương pháp nghiên cứu

Để đạt được mục tiêu đặt ra, trong báo cáo đề tài này chúng tôi trình bày các cơ sở khoa học cho việc xây dựng DEM phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên. Các nội dung nghiên cứu chính bao gồm: tìm hiểu cấu trúc của DEM; khảo sát đánh giá khả năng ứng dụng DEM trong công tác quản lý tài nguyên thiên nhiên; khảo sát, phân tích các phương pháp xây dựng DEM, qua đó lựa chọn phương pháp xây dựng DEM phù hợp với điều kiện ở Việt nam, trên cơ sở tham khảo một số thể loại DEM phủ trùm quốc gia của một số nước đi trước; nghiên cứu xác định các yêu cầu về độ chính xác của mô hình số độ cao để phục vụ một số công tác trong các lĩnh vực đo đạc, bản đồ và quản lý tài nguyên thiên nhiên; phần ứng dụng thử nghiệm là các sản phẩm DEM được thành lập bằng hai phương pháp: đo vẽ ảnh số và nội suy từ các đường bình độ. Do phạm vi giới hạn của đề tài cho nên trong phần khảo sát, tìm hiểu các phương pháp xây dựng DEM chúng tôi phân tích tất cả các phương pháp có thể để xây dựng DEM, kể cả các phương pháp công nghệ mới được áp dụng tại một số nước phát triển trong vài ba

năm trở lại đây nhưng chưa từng được áp dụng ở nước ta. Tuy nhiên phần thử nghiệm chỉ giới hạn trong hai phương pháp thành lập DEM phủ trùm và phổ biến nhất hiện nay đó là phương pháp nội suy từ các đường bình độ được số hoá trên bản đồ và phương pháp đo vẽ ảnh số.

Trên cơ sở các luận cứ khoa học, tìm hiểu công nghệ và các thử nghiệm chúng tôi đề xuất một chương trình xây dựng DEM quốc gia và phương pháp quản lý số liệu DEM quốc gia. Các đề xuất này được đưa ra hoàn toàn xuất phát từ góc độ kỹ thuật của vấn đề mà không đề cập cụ thể tới các cơ chế quản lý, điều hành hay phối hợp cụ thể của các cơ quan hữu quan.

Các phương pháp nghiên cứu được áp dụng trong đề tài bao gồm: kế thừa các thành quả nghiên cứu về DEM ở trong và ngoài nước; so sánh, đánh giá, phân tích các cấu trúc của DEM, có liên hệ tới các đặc tính của hệ thống DEM phủ trùm với độ chính xác trung bình; phân tích, đánh giá các phương pháp xây dựng DEM; sử dụng thiết bị công nghệ hiện có để thực nghiệm xây dựng DEM nhằm kiểm chứng một số vấn đề nghiên cứu đặt ra trong đề tài.

1.4 Bố cục của đề tài

Báo cáo của đề tài có bố cục như sau:

Chương 1: Mở đầu

Phân tích vị trí, vai trò của dữ liệu DEM trong công tác quản lý tài nguyên thiên nhiên, qua đó nêu lên sự cần thiết phải xây dựng DEM phủ trùm phục vụ đa mục đích, nhấn mạnh tới các mục đích quản lý tài nguyên thiên nhiên và môi trường. Trình bày mục tiêu, nội dung, phạm vi và phương pháp nghiên cứu cũng như bố cục của đề tài.

Chương 2: Những vấn đề cơ bản của mô hình số độ cao

Phần này đề cập các khái niệm, định nghĩa liên quan tới DEM; giới thiệu chu trình tổng quát xây dựng DEM; tìm hiểu, phân tích và so sánh các cấu trúc của DEM, có liên hệ tới hệ thống DEM phủ trùm. Thảo luận vấn đề nội suy trong thành lập và chuyển đổi cấu trúc DEM, miêu tả một số phương pháp nội suy thường được dùng hiện nay trong một số phần mềm thương mại.

Chương 3: Ứng dụng của mô hình số độ cao

Khảo sát, đánh giá khả năng ứng dụng của DEM nói chung và trong quản lý tài nguyên thiên nhiên nói riêng. Khảo sát hiện trạng xây dựng và ứng dụng DEM trong quản lý tài nguyên thiên nhiên ở nước ta.

Chương 4: Khảo sát tìm hiểu các phương pháp xây dựng mô hình số độ cao

Miêu tả, phân tích các phương pháp truyền thống cũng như hiện đại để thành lập DEM, trong đó tập trung vào hai phương pháp thành lập DEM phủ trùm phổ biến nhất hiện nay là đo vẽ ảnh số và nội suy từ các đường bình độ được số hoá trên bản đồ có sẵn. Chọn phương pháp thành lập DEM phù hợp điều kiện Việt nam.

Chương 5: Các yêu cầu về độ chính xác của mô hình số độ cao phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên

Phân tích các yêu cầu về độ chính xác của DEM trong thành lập bình đồ ảnh số, nội suy các đường bình độ và một số công tác quản lý tài nguyên thiên nhiên. Tìm hiểu các tài liệu, các thử nghiệm, đánh giá độ chính xác của DEM được thành lập bằng các giải pháp, theo các quy trình công nghệ khác nhau và khả năng đáp ứng cho các ứng dụng liên quan tới quản lý tài nguyên thiên nhiên.

Chương 6: Thử nghiệm xây dựng mô hình số độ cao

Phần này miêu tả quy trình thành lập DEM bằng hai phương pháp là đo vẽ ảnh số và nội suy từ đường bình độ. Trong quá trình thử nghiệm rút ra một số nhận xét, kết luận liên quan tới một số vấn đề cần chú ý trong quá trình xây dựng DEM để đảm bảo sản phẩm làm ra có chất lượng cao nhất. Phân tích một số yếu tố ảnh hưởng tới độ chính xác và chất lượng thành lập DEM. So sánh, đánh giá các kết quả thử nghiệm.

Chương 7: Chương trình xây dựng mô hình số độ cao quốc gia

Phân tích các khía cạnh kinh tế và kỹ thuật của hai phương pháp xây dựng DEM phủ trùm quốc gia. Đề xuất một chương trình quốc gia xây dựng DEM và phương pháp quản lý số liệu DEM quốc gia.

Chương 8: Kết luận và kiến nghị

Phần này tổng kết các kết quả nghiên cứu, đánh giá, kết luận ở các chương trước về cấu trúc, khuôn dạng, phương pháp thành lập, yêu cầu kỹ thuật của DEM, đặc biệt là DEM phủ trùm quốc gia.

Phần kiến nghị: Đề xuất xây dựng dữ liệu DEM phủ trùm quốc gia phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên.

Phân phụ lục:

Phụ lục 1 minh hoạ một số kết quả khảo sát được tiến hành trong phần thực nghiệm của đề tài này;

Phụ lục 2 là các sơ đồ thể hiện tình hình tư liệu bay chụp ảnh hàng không ở nước ta từ 10 năm trở lại đây và tình hình bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 50 000 dạng số phủ trùm.

CHƯƠNG 2: NHỮNG VẤN ĐỀ CƠ BẢN CỦA MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO

2.1. Khái niệm, định nghĩa

2.1.1 Mô hình số độ cao (DEM), mô hình số địa hình (DTM) và mô hình số bề mặt (DSM)

Trong các tài liệu hiện nay có thể bắt gặp cả 3 thuật ngữ, đó là: mô hình số độ cao (Digital Elevation Model - DEM), mô hình số địa hình (Digital Terrain Model - DTM) và mô hình số bề mặt (Digital Surface Model - DSM). Do đó trước tiên cần phải hiểu rõ và phân biệt các khái niệm như: DEM, DTM, DSM cũng như các khái niệm khác có liên quan như: các đặc trưng địa hình, các đường breaklines hay một số sản phẩm dẫn xuất từ DEM như: độ dốc, hướng dốc, độ lồi và độ lõm của bề mặt địa hình.

Vấn đề đầu tiên cần làm rõ là mặc dầu DEM được khởi nguồn xây dựng để mô hình hoá bề mặt địa hình (bề mặt đất) nhưng tất nhiên chúng cũng có thể được dùng để mô hình hoá bất cứ thuộc tính Z khác nào (nhiệt độ, mật độ ô nhiễm không khí hay nhiệt độ bề mặt nước biển chẳng hạn) trên một bề mặt hai chiều [6] - trang 39. Tuy nhiên đề tài này chỉ giới hạn trong việc tìm hiểu DEM trong mô hình hoá bề mặt đất.

Có nhiều nghiên cứu đề cập đến các khái niệm và định nghĩa liên quan tới DEM [3, 6, 7, 24, 31, 49]. Tuy trong những tài liệu này các quan niệm về DEM và DTM ít nhiều có khác nhau, (chẳng hạn như trong [7] - trang 99 hay trong [3] coi DEM và DTM là như nhau, còn trong [49] thì DTM được coi gần giống như DEM nhưng có kèm theo độ cao của các yếu tố địa hình nổi bật - breaklines và của các điểm mà tại đó độ dốc của địa hình thay đổi đột ngột), nhưng có thể được tóm tắt như sau:

Khi nói tới DEM là muốn chỉ tập hợp của các điểm độ cao; còn khi nói tới DTM thì ngoài tập hợp của các điểm độ cao còn có thông tin về độ cao của các yếu tố địa hình nổi bật (các đường breaklines).

Một cách khái quát có thể định nghĩa: DEM miêu tả bề mặt địa hình bởi các hàm đơn trị $Z = F(X, Y)$. Với bất cứ giá trị (vị trí X, Y) nào chỉ có một giá trị độ cao Z được xác định trong một DEM [3] - trang 135. Điều này tạo nên sự khác biệt cơ bản giữa DEM miêu tả bề mặt địa hình và các mô hình 3D thực sự, miêu tả các bề mặt và vật thể khác (chẳng hạn như các chi tiết máy hay mô hình nhà) trong các hệ thống thiết kế bằng máy tính (CAD - Computer-Aided Design), theo đó với một vị trí X, Y có thể có nhiều hơn một giá trị Z . Do trên thực tế, địa hình có các vách đá dựng đứng hay các

đứt gãy khác là tương đối hiếm cho nên các bề mặt địa hình hầu như đều được thể hiện bằng các mô hình bề mặt được miêu tả bởi các *hàm đơn trị* nói trên. Theo nghĩa này thì DEM là một mô hình 2,5D hơn là mô hình 3D [67] - trang 269.

Còn theo GS-TSKH Trương Anh Kiệt (2000) thì DEM là biểu thị một tập hợp hữu hạn 3 chiều $\{V_i = (X_i, Y_i, Z_i), i = 1, 2, \dots, n\}$ của bề mặt địa hình D , trong đó $(X_i, Y_i \in D)$ là toạ độ mặt phẳng và Z_i là độ cao ứng với điểm (X_i, Y_i) .

Ngoài các khái niệm về DEM và DTM, trong một số tài liệu như: [56, 58, và 59] còn đưa ra khái niệm về mô hình số bề mặt (Digital Surface Model viết tắt là DSM) theo đó DSM là một mô hình số độ cao miêu tả bề mặt đất và bao gồm cả các đối tượng vật thể trên đó như nhà cửa, cây, rừng. Hình 2.1 minh hoạ sự khác nhau giữa DSM và DEM.



Hình 2.1: (a) Mô hình số bề mặt DSM, (b) mô hình số độ cao DEM

Mặc dù có sự không thống nhất thậm chí ít nhiều mâu thuẫn giữa các tài liệu khi nói về DEM và DTM nhưng vẫn có thể phân biệt giữa mô hình số bề mặt (DSM) với mô hình số địa hình (DTM) và mô hình số độ cao (DEM) theo sự khác nhau cơ bản giữa chúng là:

- Mô hình số bề mặt (DSM) là một mô hình số độ cao miêu tả bề mặt đất và bao gồm cả các đối tượng vật thể trên đó như nhà cửa, cây, rừng.
- Mô hình số độ cao (DEM) và mô hình số địa hình (DTM) cũng là các mô hình số miêu tả bề mặt đất nhưng không bao gồm các đối tượng vật thể trên đó.

Còn giữa mô hình số độ cao (DEM) và mô hình số địa hình (DTM) thì sự phân biệt không thật sự rõ ràng như với DSM vì theo [3] tại châu Âu không có gì khác biệt giữa mô hình số độ cao (DEM) và mô hình số địa hình (DTM). Còn tại Mỹ DTM được coi gần giống như DEM nhưng có kèm theo độ cao của các yếu tố địa hình nổi bật và của các điểm mà tại đó độ dốc của địa hình thay đổi đột ngột - breaklines [3, 49]. Do

vậy có thể nói sự khác nhau giữa DEM và DTM là trong khi DEM chỉ bao gồm các điểm độ cao trên bề mặt mặt đất thì DTM còn bao gồm cả các yếu tố địa hình nổi bật và các đường breaklines. Các yếu tố địa hình nổi bật và các đường breaklines này góp phần miêu tả chi tiết hơn về bề mặt địa hình. Một đường breaklines có thể miêu tả một đối tượng xác định được trên bản đồ chẳng hạn là đường phố, hoặc là một rãnh, máng nhỏ không được thể hiện trên bản đồ. Các đường breaklines được tạo nên từ một chuỗi các điểm đặc trưng của địa hình. Theo hướng vuông góc với đường breaklines độ dốc của địa hình thay đổi đột ngột (hay nói cách khác là đạo hàm bậc nhất của độ cao là không liên tục). Còn dọc theo đường breaklines độ dốc thay đổi liên tục.

Trong một vài năm trở lại đây, với sự phát triển và tiến bộ nhanh chóng của công nghệ laser (LIDAR) hay radar giao thoa (IFSAR) kết hợp với các hệ thống định vị toàn cầu (GPS) và hệ thống dẫn đường quán tính (INS), xem [55, 56 và 59] thì DSM đặc biệt được quan tâm nhiều hơn.

2.1.2 Các khái niệm và định nghĩa của một số thông số, sản phẩm dẫn xuất từ DEM

Độ dốc (slope) và hướng dốc (slope aspect) là hai thông số địa hình chính (topographic parameters) được tính toán từ DEM. Nói chung các thông số địa hình khác đều thường được tính toán thông qua hai thông số chính này. Độ dốc và hướng dốc đóng một vai trò nổi bật trong các phép tính toán liên quan tới phân tích không gian. Do đó phương pháp sử dụng để tính toán độ dốc và hướng dốc là rất quan trọng. Độ dốc của bề mặt địa hình tại một điểm được xác định bởi mặt phẳng tiếp tuyến với bề mặt địa hình do DEM miêu tả tại điểm đó. Độ dốc này có hai thành phần: gradient độ dốc (slope gradient) và hướng dốc. Gradient độ dốc miêu tả tốc độ thay đổi lớn nhất của độ cao trên mặt phẳng tiếp tuyến này. Hướng dốc là phương vị của độ thay đổi lớn nhất này. Các thành phần độ dốc và hướng dốc được đo trong các khoảng, tương ứng từ 0° đến 90° và từ 0° đến 360° . Theo [6] thì trong nhiều tài liệu người ta còn dùng từ “slope” với nghĩa “slope gradient” và “exposure” hay “aspect” với nghĩa “slope aspect”.

Độ lồi của bề mặt địa hình (convexity) được định nghĩa là tốc độ thay đổi của độ dốc và được đo bằng độ trên 100 mét. Độ lồi này lại có thể được chia ra làm hai thành phần: “profile convexity” là tốc độ thay đổi của gradient độ dốc và “plan convexity” là tốc độ thay đổi của hướng dốc. Độ lõm - “concavity” được hiểu là độ lồi có giá trị âm.

Trong một số chuyên ngành, chẳng hạn thuỷ học (hydrology) có đề cập nhiều đến các thông số dùng trong các phân tích địa hình và dòng chảy, được tính toán thông qua độ dốc và hướng dốc. Có thể kể ra một số thông số, ví dụ như vùng lưu vực (upslope area) tại mỗi vị trí là tổng diện tích xung quanh vị trí đó và có độ cao lớn hơn vị trí đó. Vùng lưu vực là số chỉ của lượng nước có thể chảy qua một vị trí cho trước. Nếu ký hiệu vùng lưu vực này là A_s thì trong DEM dạng lưới đều (grid) $A_s = N \times d^2$ (với N là số các cells - được xác định theo khoảng cách mắt lưới DEM, có thể tạo dòng chảy vào một cell cho trước và d^2 là diện tích của một cell). Độ dốc S cùng với vùng lưu vực A_s có thể được áp dụng để tính một thông số khác có tên gọi là chỉ số địa hình (topographic index = $\ln(A/\tan S)$). Theo [7] thì chỉ số địa hình còn được gọi là chỉ số ẩm ướt (wetness index) và được tính một cách chính xác hơn, đó là $\text{topographic index} = \ln(a/\tan S)$, trong đó a là vùng lưu vực riêng (specific catchment area — vùng lưu vực trên một đơn vị độ dài của đường bình độ, $a = A/l$ với l là chiều dài đường bình độ). Chỉ số địa hình hay chỉ số ẩm ướt phản ánh sự phân bố trong không gian độ ẩm của đất, độ ướt bão hoà của bề mặt và các quá trình tạo ra nước chảy tràn (runoff). Đó mới chỉ là hai trong số khá nhiều các thông số được tính toán từ DEM và được áp dụng trong các ứng dụng khác nhau. Các thông số khác sẽ được trình bày đầy đủ và chi tiết hơn trong chương 3.

2.2. Chu trình tổng quát xây dựng DEM

Công tác xây dựng DEM gồm hai công đoạn chính, đó là:

1. Thu thập dữ liệu (quan sát, đo vẽ);
2. Tạo DEM từ kết quả đo vẽ thông qua tính toán, nội suy.

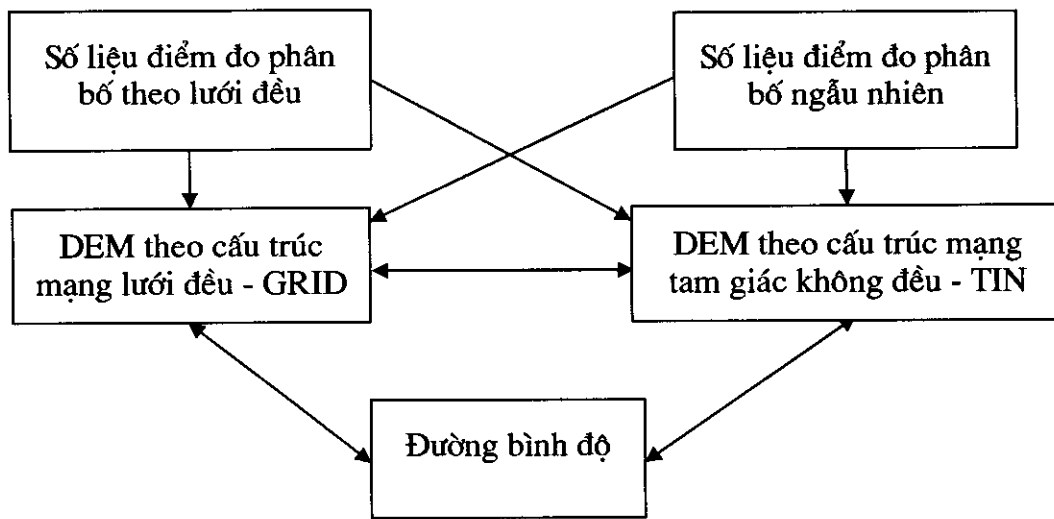
Thông thường hai công đoạn này được thực hiện riêng rẽ nhưng có mối liên quan mật thiết với nhau.

Có hai cấu trúc thường được sử dụng nhiều nhất để thể hiện DEM, đó là:

1. Cấu trúc lưới đều, hình chữ nhật hoặc hình vuông (GRID);
2. Cấu trúc mạng tam giác không đều (TIN).

Hình 2.2 minh hoạ chu trình tổng quát xây dựng DEM, trong đó thể hiện mối quan hệ giữa số liệu điểm đo, cấu trúc mạng lưới và đường bình độ trong quá trình mô hình hoá địa hình. Các dấu mũi tên trên hình vẽ thể hiện các quá trình tạo cấu trúc mạng lưới và nội suy. Một điều cần chú ý là mối quan hệ qua lại giữa các đường bình độ và DEM, theo đó từ một mạng lưới đều hoặc từ một mạng tam giác không đều có

thể nội suy được các đường bình độ. Ngược lại nếu có dữ liệu các đường bình độ thì cũng có thể nội suy được DEM.



Hình 2.2: Chu trình tổng quát xây dựng DEM

Mặc dù được khái quát hoá nhưng hình 2.2 cũng cho thấy khi đề cập đến các vấn đề cơ bản của DEM ngoài việc tìm hiểu các cấu trúc của DEM cần xem xét đến một số vấn đề khác như: phương thức lấy mẫu (cách thức thu thập dữ liệu), các phương pháp nội suy, vấn đề chuyển đổi qua lại giữa các cấu trúc mạng lưới đều và mạng tam giác không đều hay giữa các đường bình độ và các cấu trúc DEM. Các vấn đề này sẽ lần lượt được đề cập trong đề tài. Phần còn lại của chương này dành để tìm hiểu: các cấu trúc của DEM, vấn đề nội suy trong thành lập và chuyển đổi cấu trúc DEM. Vấn đề phương thức lấy mẫu được khảo sát chi tiết trong chương 4.

2.3. Các cấu trúc của mô hình số độ cao

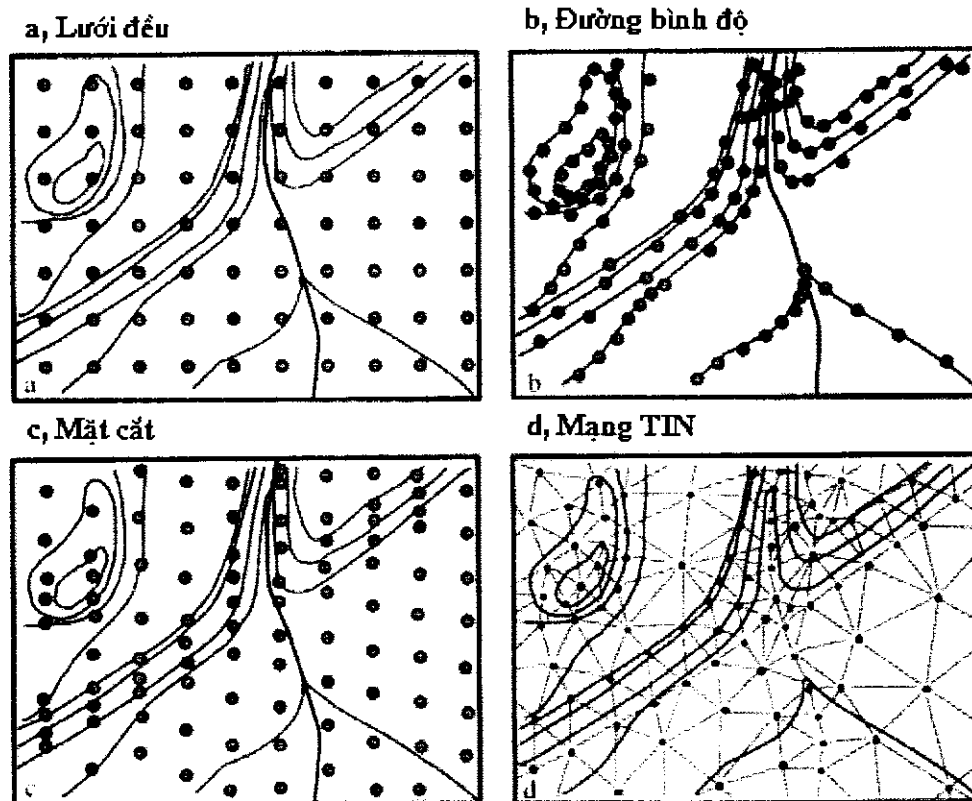
2.3.1 Tổng quan về các phương pháp lưu trữ và thể hiện các dữ liệu độ cao số

Các phương pháp sử dụng để thu thập, lưu trữ và thể hiện các dữ liệu độ cao số có thể được chia ra làm 4 loại cơ bản, được minh họa trên hình 2.3 [28]: lưới đều, các đường bình độ, các mặt cắt và mạng lưới tam giác không đều (TIN).

Trên hình 2.3a, dữ liệu độ cao số được hình thành từ một tập hợp các điểm độ cao cách đều nhau, tạo nên một mạng lưới đều. Hình 2.3b minh họa các đường bình độ được tạo nên bởi một số các điểm rời rạc. Trên hình 2.3c, các điểm thuộc mặt cắt, (lát cắt chạy theo hướng bắc - nam), có giãn cách thay đổi tùy theo độ dốc của địa hình, khác với hình 2.3a. Còn trên hình 2.3d minh họa một mạng lưới tam giác không đều.

Cấu trúc dữ liệu DEM thông dụng nhất là dưới dạng lưới đều (Grid - Hình 2.3a), trong đó các giá trị Z tại vị trí của mỗi pixel là giá trị độ cao tuyệt đối. Dưới dạng này

bề mặt đất có thể được xem như bị chia ra thành các ô vuông nhỏ bởi có một mạng lưới đều phủ lên. Khoảng cách giữa các mắt lưới là khoảng cách giữa hai điểm nút kế tiếp nhau. Khi khoảng cách giữa các mắt lưới đã được xác định thì mỗi nút trong mạng lưới có thể được xác định vị trí bằng các tọa độ hàng/cột, ví dụ có thể lấy góc cao bên trái của mạng lưới làm gốc tọa độ - tương tự như cấu trúc của ảnh số. Khi khoảng cách giữa các mắt lưới và số hàng/ số cột được xác định thì các điểm nút được lưu trữ bằng cách tăng thứ tự của hàng và cột. Giá trị độ cao được lưu trữ tại mỗi điểm nút nói trên.



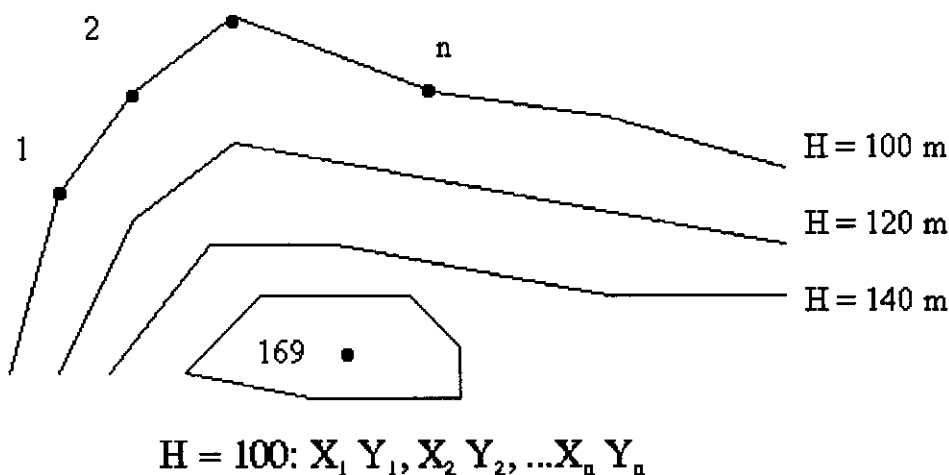
Hình 2.3: Các phương pháp thể hiện dữ liệu độ cao số

Các đường bình độ (Contours - Hình 2.3b) được thể hiện dưới dạng vector như sau:

- Đường bình độ được rời rạc hoá, tức là được mô hình hoá bằng một tập hợp các điểm nằm đủ gần nhau để tái tạo đường cong với đủ độ chính xác cần thiết bằng cách nối hai điểm cạnh nhau bởi một đoạn thẳng. Sau đó, mỗi đường cong được thể hiện bằng một tập hợp các đoạn thẳng này;
- Dưới dạng số, một đường bình độ được xác định bởi:
 - + Độ cao H của nó;
 - + Tọa độ mặt bằng của tất cả các điểm $(X_1 Y_1, X_2 Y_2, \dots, X_n Y_n)$.

Chức năng vẽ tự động sử dụng các dữ liệu này để vẽ đường cong bằng cách dịch chuyển theo các đoạn thẳng từ một điểm $(X_i Y_i)$ đến điểm kề cạnh nó $(X_{i+1} Y_{i+1})$ - Xem

hình 2.4. Rõ ràng rằng đường cong dạng số không thể miêu tả tuyệt đối hoàn hảo một đường cong thực tế vì nó được tạo bởi một tập hợp của các điểm rời rạc. Trên thực tế thường xuyên nảy sinh nhu cầu áp dụng các kỹ thuật làm trơn đường cong, lấy bỏ tổng hợp hoá hay chêm dày điểm để cải thiện hình dạng của đường bình độ tùy thuộc vào tỷ lệ bản đồ cần thành lập.



Hình 2.4: Thể hiện đường bình độ dưới dạng vector

Các mặt cắt (Profiles) thể hiện các điểm độ cao dọc theo các đường song song với nhau (Hình 2.3c). Thông thường các giá trị độ cao được đo tại các điểm có độ dốc thay đổi. Như vậy các mặt cắt là tập hợp của các điểm độ cao dọc theo một hướng nhất định, trong đó các điểm độ cao được đo với độ giãn cách thay đổi tùy theo độ dốc của địa hình. Dưới dạng số, mặt cắt được lưu trữ bằng cách mã hoá một trong hai tọa độ mặt bằng và độ cao (chiếm nhiều bộ nhớ hơn dạng lưới đều).

Mạng tam giác không đều TIN (Hình 2.3d) có thể được xây dựng từ nhiều nguồn dữ liệu: mạng lưới đều, các đường bình độ được số hoá, các điểm đặc trưng địa hình. Nguyên lý của cấu trúc dạng TIN là loại bỏ các điểm không phản ánh các đặc trưng địa hình và chỉ giữ lại các đỉnh tam giác với giãn cách lớn nhất có thể, tùy theo các thay đổi của địa hình (tam giác Delaunay).

Trong số 4 phương pháp thể hiện dữ liệu độ cao số được minh họa trên hình 2.3 thì các cấu trúc dạng lưới đều (Grid) và dạng TIN là thông dụng hơn so với các đường bình độ và các mặt cắt. Các dữ liệu đường bình độ cho phép miêu tả chính xác độ cao dọc theo các đường này. Tuy nhiên giữa các đường bình độ thì nó chỉ cung cấp các thông tin tương đối chính xác về độ cao và độ dốc. Nói cách khác, dữ liệu đường bình độ cung cấp đủ, thậm chí trong nhiều trường hợp có thể nói là thừa, các thông tin về độ

cao dọc theo mỗi đường bình độ. Tuy nhiên nó lại thường không cung cấp đầy đủ các thông tin về độ cao giữa các đường bình độ, hay theo hướng vuông góc với các đường bình độ. Thêm vào đó, các đường bình độ lại thường có độ cao làm tròn tới 1 mét. Nhu cầu làm tròn số và tổng hợp hoá trong bản đồ địa hình dẫn tới hậu quả là nhiều thông tin về mức độ chi tiết và độ chính xác bị mất. Còn đối với các mặt cắt thì nó chỉ đủ để cung cấp các thông tin khá là rời rạc về địa hình (dọc theo lát cắt).

Trong các phần còn lại của đề tài này chỉ tập trung miêu tả, phân tích sâu thêm về hai cấu trúc DEM, đó là: cấu trúc dạng lưới đều (Grid) và dạng TIN. Việc phân tích, so sánh hai cấu trúc này có thể dùng làm cơ sở để lựa chọn một cấu trúc phù hợp nhất cho hệ thống DEM phủ trùm quốc gia phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên. Các đường bình độ cũng được đề cập đến nhưng chỉ trong khuôn khổ của một phương pháp thành lập DEM, đó là nội suy từ các đường bình độ được số hoá trên bản đồ có sẵn. Các mặt cắt sẽ không được phân tích sâu thêm.

2.3.2 Cấu trúc DEM dạng lưới đều (GRID)

Ở dạng này DEM còn được gọi là DEM dạng lưới ô vuông quy chuẩn hay ma trận độ cao (altitude matrix) - [7, 31]. Các điểm độ cao trong DEM dạng này được bố trí theo khoảng cách đều đặn theo hai hướng toạ độ X,Y để biểu diễn địa hình. Trong mô hình số độ cao dạng này toạ độ mặt phẳng của một điểm mặt đất bất kỳ có độ cao Z (Z_{ij}) được xác định theo số thứ tự (i, j) của ô lưới theo hai hướng trên, tức là:

$$\begin{aligned} X_i &= X_0 + i \cdot \Delta_X & (i = 0, 1, \dots, n_{X-1}) \\ Y_j &= Y_0 + j \cdot \Delta_Y & (j = 0, 1, \dots, n_{Y-1}) \end{aligned} \quad (2.1)$$

Trong đó:

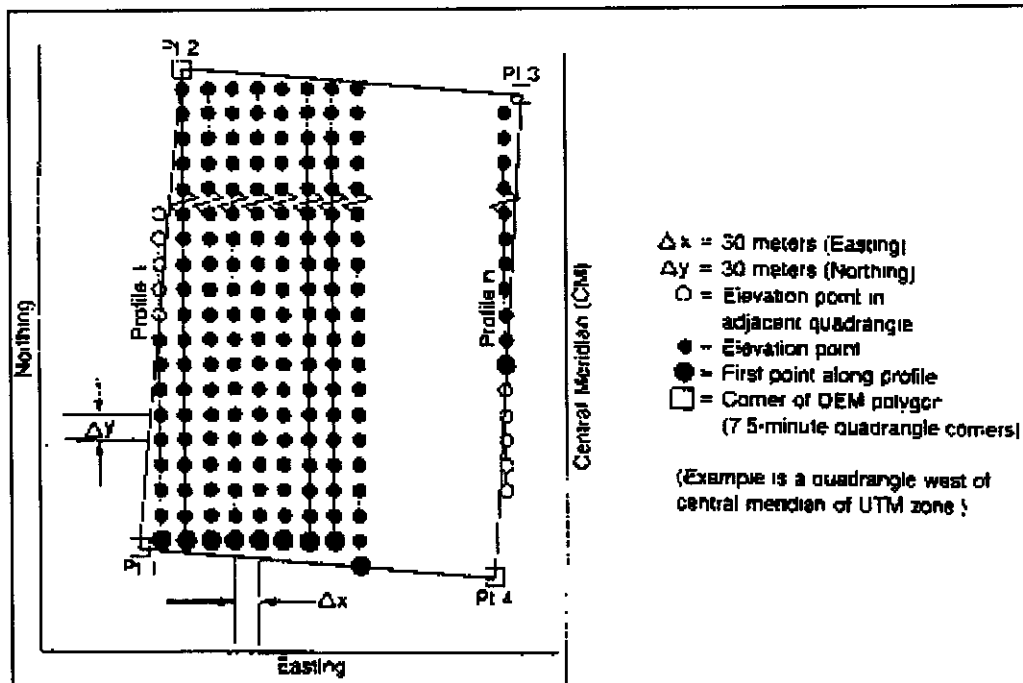
X_0, Y_0 là toạ độ của điểm gốc lưới ô vuông (thường là điểm góc thấp bên trái của lưới)

Δ_X, Δ_Y là khoảng cách của mắt lưới trên các hướng X và Y

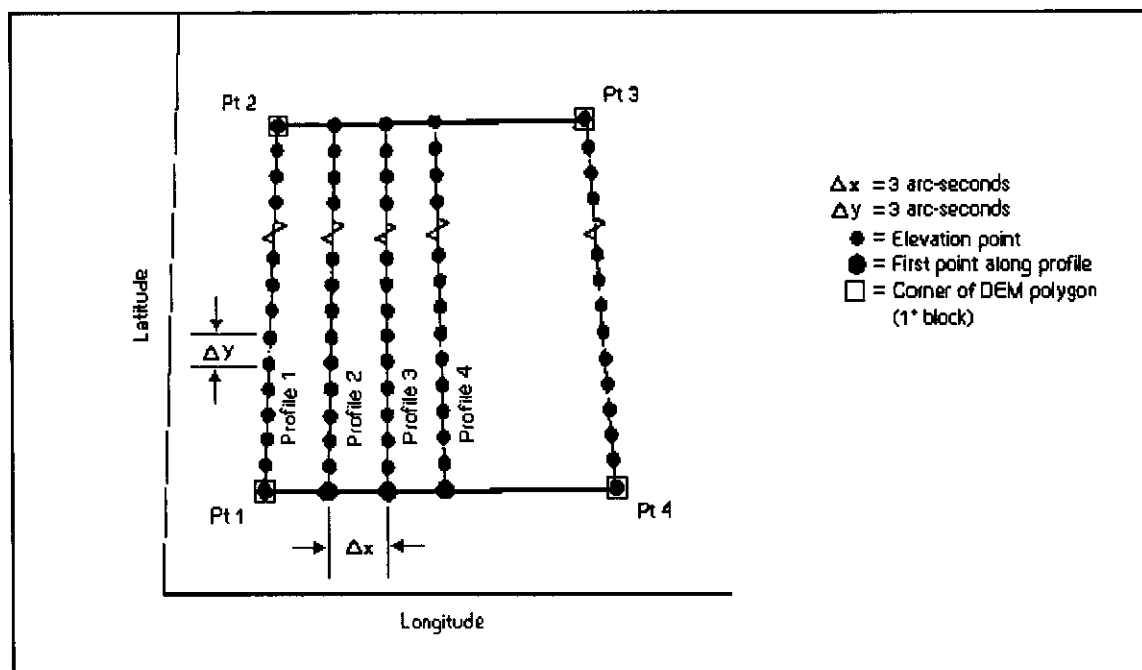
n_X, n_Y là số ô lưới trên hướng X và Y của mô hình số độ cao.

Trong công thức (2.1), hướng toạ độ X, Y có thể là các toạ độ vuông góc theo lưới chiếu bản đồ hay cũng có thể là hệ toạ độ địa lý (tính theo kinh độ và vĩ độ) như trên các hình 2.5 và 2.6. Khi X, Y là toạ độ theo lưới chiếu bản đồ thì khoảng cách giữa các mắt lưới của DEM được tính theo đơn vị mét, ví dụ như các DEM theo cấu trúc lưới UTM của Mỹ với $\Delta_X = \Delta_Y = 30$ mét hay 10 mét (Hình 2.5). Còn khi được thành lập theo hệ toạ độ địa lý thì Δ_X, Δ_Y được thay bằng $\Delta\varphi, \Delta\lambda$ và thường được tính theo đơn vị

giây cung của kinh tuyến và vĩ tuyến. Ví dụ như DEM 9" của Úc hay DEM 3" hoặc 30" của Mỹ (Hình 2.6).



Hình 2.5: DEM theo lưới UTM của Mỹ với $\Delta x = \Delta y = 30$ mét



Hình 2.6: DEM thành lập theo hệ tọa độ địa lý của Mỹ với $\Delta x = \Delta y = 3''$

Như vậy có thể thấy rằng cấu trúc dữ liệu này rất giống với cấu trúc dữ liệu của ảnh số. Số thứ tự i, j ở đây có thể được liên hệ với số hàng và số cột của các pixel trong ảnh số và độ cao Z có thể được liên hệ với giá trị độ xám của pixel. Với cấu trúc dữ liệu này tọa độ mặt phẳng của các điểm có độ cao Z có thể được lược bỏ hay nói một

cách khác là không cần phải biểu thị ra trực tiếp mà thông qua một phép tính đơn giản, tương tự như đếm số hàng, số cột trong ảnh số. Đây là điều khác biệt so với mô hình TIN vì trong mô hình TIN thì mỗi đỉnh của một tam giác phải được lưu trữ rõ ràng và đầy đủ với cả 3 tọa độ X, Y, Z. Sau khi tạo tam giác xong lại còn phải thiết lập thêm các mối quan hệ liên kết (topology) giữa các tam giác với nhau.

Trên các hình 2.5 và 2.6 có thể thấy mỗi một dạng lưu trữ DEM theo cấu trúc mạng lưới đều lại có những ưu điểm và nhược điểm nhất định. Chẳng hạn trên hình 2.5 do 4 góc của mảnh DEM được chia theo tọa độ địa lý nhưng các điểm lưới trong DEM lại được chia theo lưới chiếu UTM nên có độ không song song nhất định giữa chúng (giữa hai hệ tọa độ địa lý và hệ tọa độ theo lưới chiếu UTM). Tuy nhiên khoảng cách mắt lưới lại hoàn toàn đều đặn (30 mét). Còn DEM được lưu trữ như trên hình 2.6 có ưu điểm là không gặp phải vấn đề không song song nêu trên nhưng vì khoảng cách mắt lưới được tính theo chiều dài cung tròn của các đường kinh, vĩ tuyến nên giá trị độ dài của Δ_x trên hình 2.6 thay đổi theo vĩ độ. Theo GS-TS Trương Anh Kiệt [31] ưu điểm quan trọng nhất của hệ tọa độ địa lý là tránh được tính đa trị trong vùng phủ của phép chiếu bản đồ (Gauss - Kruger hay UTM) nhưng nhược điểm của nó là không thuận lợi khi lưu trữ và sử dụng. Vì vậy dưới góc độ sử dụng cơ sở dữ liệu địa hình, lấy hệ tọa độ theo lưới chiếu bản đồ làm cơ sở có nhiều ưu điểm hơn cả.

Các mắt lưới trong DEM được thể hiện theo hai hình thức, hoặc là các điểm độ cao (lưu trữ theo điểm) như DEM của Mỹ, hoặc là cả một pixel với kích thước là khoảng cách mắt lưới như trong trường hợp DEM 9" của Úc. Trong trường hợp này cấu trúc của DEM hoàn toàn giống với cấu trúc raster của file ảnh số.

Mặc dù trong cấu trúc dạng Grid, số điểm mắt lưới có thể lớn hơn số điểm độ cao trong mạng TIN nhiều lần nhưng dung lượng tệp tin lại thường nhỏ hơn do có cấu trúc và cách lưu trữ đơn giản hơn.

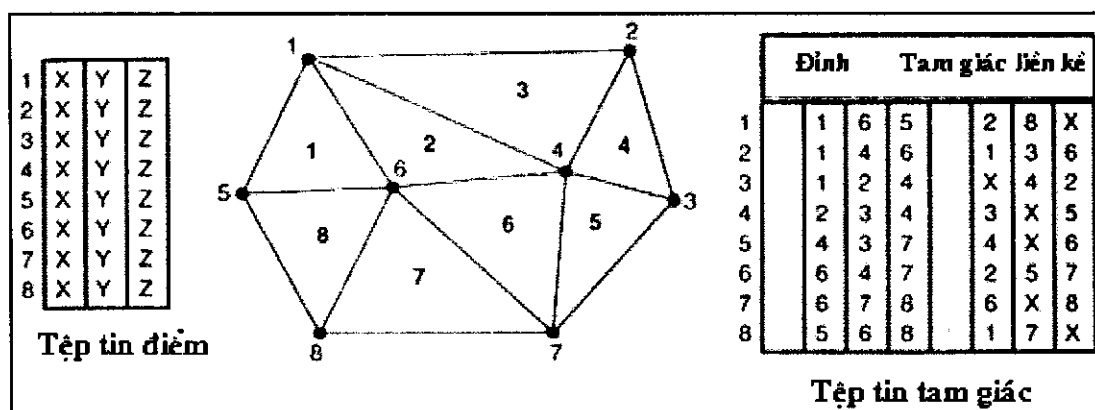
2.3.3 Cấu trúc DEM dạng tam giác không đều (TIN)

TIN là từ viết tắt của mạng tam giác không đều (Triangulated Irregular Networks). Trong một số tài liệu, chẳng hạn [31] TIN còn được gọi là lưới tam giác không quy chuẩn. TIN là một tập hợp của các tam giác liên kết, không chồng đè, không có tam giác đảo (tam giác nằm bên trong một tam giác khác), được tạo nên từ các điểm phân bố không đồng đều với tọa độ X, Y và giá trị Z. Cấu trúc dữ liệu dạng TIN dựa trên các điểm, đường và vùng có phân bố không đồng đều và thường được chia ra thành

các đám điểm (mass points) và các đường breakelines. Mô hình TIN với cấu trúc dữ liệu dạng vectơ lưu trữ các quan hệ topology giữa các tam giác (quan hệ liên kề). Nó cho phép xác định các điểm tạo nên từng tam giác và tam giác nào liên kề với tam giác nào. Quan hệ topology này được sử dụng trong nhiều ứng dụng của DEM dạng TIN, chẳng hạn như nội suy độ cao, đường bình độ, tính toán khối lượng, thể tích, hiển thị bề mặt...

Cấu trúc TIN lấy các đỉnh của tam giác làm đơn vị cơ sở. Các quan hệ topology được miêu tả trong cơ sở dữ liệu bằng cách thiết lập các con trỏ (pointer) từ mỗi đỉnh của tam giác tới từng đỉnh liên kề. Hình 2.7 cho thấy một phần của cấu trúc TIN, bao gồm 8 đỉnh và 8 tam giác.

Cơ sở dữ liệu của TIN bao gồm 3 loại bản ghi, được gọi là bản ghi đỉnh tam giác, bản ghi các con trỏ (pointers) và bản ghi tam giác. Trên hình 2.7 các bản ghi con trỏ và tam giác đã được nhập vào thành một bảng. Tập tin điểm là bản ghi đỉnh tam giác, bao gồm số hiệu các đỉnh và tọa độ X, Y, Z của từng đỉnh. Tập tin tam giác chứa bản ghi tam giác, bao gồm: thứ tự các tam giác, các đỉnh của từng tam giác. Bản ghi con trỏ thể hiện quan hệ liên kề của các tam giác. Thứ tự của các tam giác liên kề được sắp xếp theo chiều kim đồng hồ và bắt đầu từ hướng Bắc. Mỗi một tam giác thường có 3 tam giác liên kề. Riêng các tam giác nằm tại biên của mạng TIN có thể có từ 1 đến 2 tam giác liên kề.



Hình 2.7: Cấu trúc Topology của mạng TIN

Trong việc xây dựng mô hình TIN thì một vấn đề cơ bản là chọn các đỉnh cho từng tam giác. Ví dụ như kết quả đo là một tập hợp các điểm phân bố không đồng đều. Từ tập hợp này có thể có rất nhiều cách để tạo ra các lưới tam giác khác nhau. Tuy nhiên trong mô hình TIN thường áp dụng một thuật toán được gọi là *tam giác Delaunay* để tối ưu hoá việc thể hiện bề mặt địa hình. Ý tưởng chủ đạo của thuật toán

này là tạo ra các tam giác mà xét một cách tổng thể càng có dạng gần với *tam giác đều* càng tốt. Nói một cách chính xác hơn thì *tam giác Delaunay* là *tam giác thoả mãn điều kiện sau đây: đường tròn ngoại tiếp bất kỳ một tam giác nào đều không chứa bên trong nó đỉnh của các tam giác khác.*

Mạng lưới tam giác thường được thành lập từ các yếu tố đặc trưng của địa hình ở các dạng điểm, đường và vùng. Đầu tiên các tam giác được tạo từ các điểm. Sau đó các đường được “chèn” vào mạng tam giác vừa tạo và tạo nên các đỉnh mới ở các chỗ cắt nhau giữa các đường với các tam giác, mô hình TIN được cập nhật để bao hàm các đỉnh mới này. Cuối cùng các vùng, chẳng hạn như các đường mép nước của hồ hay đường bờ được đưa vào mô hình TIN. Mô hình TIN tiếp tục được cập nhật để chứa các vùng có độ cao không đổi (như mặt hồ nước) hay đường bờ nói trên. Sau khi việc tạo lưới tam giác đã hoàn tất, mô hình TIN lưu trữ danh mục các đỉnh cho từng tam giác và danh mục các tam giác liên kề. Cấu trúc này tương tự cấu trúc topology phẳng. Điều khác biệt là các đỉnh có thuộc tính là độ cao Z và các vùng phải là các tam giác thay vì các polygon bất kỳ như trong cấu trúc topology phẳng thông thường. Ngoài ra, trong mô hình TIN không có các tam giác chồng đè hay tam giác nằm trong một tam giác khác (tam giác dạng đảo).

Mô hình TIN có ưu điểm là thể hiện được chính xác địa hình trong không gian ba chiều bởi vì mỗi một tam giác chỉ có một giá trị độ dốc, khác với cấu trúc Grid, thông thường với bốn điểm có độ cao khác nhau và không cùng nằm trên một mặt phẳng. Do đó mô hình TIN có ưu điểm là nó có thể cho phép thể hiện địa hình với cùng độ chính xác như mô hình Grid nhưng với ít điểm hơn và các thông tin được lưu trữ theo mô hình *Topology*.

Tuy nhiên mô hình *Topology* này lại có tính phức tạp riêng của nó. Một ví dụ là để nội suy độ cao của một điểm trước tiên phải tiến hành tìm kiếm xem điểm đó nằm trong tam giác nào. Mặc dầu đã có nhiều phương pháp tìm kiếm có hiệu quả cao được đưa ra nhưng việc tìm kiếm này vẫn đòi hỏi nhiều tính toán hơn mô hình Grid. Đối với cấu trúc DEM dạng Grid các tọa độ hàng/cột của điểm nằm trong DEM có thể dễ dàng xác định theo tọa độ của một trong số 4 góc DEM. Các điểm nằm giữa các nút được nội suy dựa trên một số hữu hạn các điểm xung quanh nó. Trên thực tế phép nội suy trong các tam giác của mô hình TIN là nội suy tuyến tính [3, 31]. Trong phép nội suy này mặt phẳng được xác định bởi 3 điểm của tam giác được coi là mặt địa hình. Giá trị độ cao của một điểm bất kỳ được nội suy bởi tam giác chứa điểm đó. Mỗi một tam giác

là một mặt phẳng trong không gian 3 chiều. Độ cao của một điểm nằm bên trong tam giác được xác định bởi tiếp điểm của mặt phẳng tam giác với đường thẳng đứng (theo hướng dây dọi), đi qua điểm đó. Như vậy trong phép nội suy này độ cong của địa hình trong nội bộ từng tam giác không được xem xét tới. Cũng theo [3] thì do một số lý do chính nêu trên, dạng TIN hầu như không được đề xuất cho DEM phủ trùm toàn quốc với hàng triệu điểm. Các nước như Mỹ, Anh, Đức, Úc, Trung Quốc, Nhật và nhiều nước khác đều xây dựng DEM phủ trùm toàn quốc theo cấu trúc dạng Grid.

2.3.4 So sánh DEM dạng lưới đều và DEM dạng TIN

Đã có một số nghiên cứu so sánh grid DEM với TIN DEM, chẳng hạn như [37]. Đánh giá chung là không có cấu trúc nào trong số 2 cấu trúc nêu trên tỏ ra có ưu thế rõ ràng cho tất cả các ứng dụng liên quan tới mô hình hoá địa hình. Bảng 2.1 so sánh tóm tắt hai dạng nói trên của DEM.

Bảng 2.1: So sánh DEM dạng lưới đều và DEM dạng TIN

GRID DEM	TIN DEM
DEM dạng lưới đều là một mô hình bề mặt có cấu trúc đơn giản. Dữ liệu về bề mặt địa hình phổ biến rộng rãi ở dạng này.	TIN có thể miêu tả chính xác bề mặt và các đặc trưng địa hình hơn, nhưng thường đòi hỏi phải được lấy mẫu hợp lý.
Độ chính xác của mô hình bề mặt	
- Độ chính xác của DEM được xác định bởi khoảng cách mắt lưới. Để tăng độ chính xác của DEM phải giảm khoảng cách giữa các mắt lưới - Các đối tượng đặc trưng, chẳng hạn các đỉnh hay các đường phân thủy không thể được miêu tả chính xác hơn độ rộng của mắt lưới.	- Có mật độ các điểm đo thay đổi tùy theo thay đổi của độ dốc. Để tăng độ chính xác của DEM có thể đo thêm các điểm độ cao, các đường breaklines. - Được thiết kế để thu thập và thể hiện các đối tượng đặc trưng bề mặt như các đường phân thủy, tụ thủy hay các đỉnh. Các đối tượng đặc trưng này được lưu trữ với các tọa độ chính xác.

Theo [7] thì hai dạng này của DEM có thể được chuyển đổi qua lại lẫn nhau và việc chọn dạng nào còn tùy thuộc vào dạng phân tích dữ liệu cần thiết trong các ứng dụng cụ thể. Phân tích dữ liệu ở đây được hiểu là các phép phân tích không gian. Có một số ứng dụng thì cần DEM ở dạng Grid, một số ứng dụng khác lại cho kết quả tốt hơn nếu có DEM ở dạng TIN. Ví dụ như để phân tích kề cận hay vùng đệm (buffering) thì người ta thường tiến hành trên các DEM dạng Grid. Nhiều thuật toán phân tích dòng chảy được phát triển trên mô hình grid DEM [7]. Các ứng dụng như tính toán lưu

vực sông hay phân tích thủy văn các vùng ngập lụt cũng thường sử dụng mô hình grid DEM. Còn nếu trong các ứng dụng cụ thể nào đó mà các thông tin vi địa hình (micro relief information) được coi là quan trọng thì mô hình TIN có thể tỏ ra có ưu thế hơn. Mỗi một dạng DEM (dạng lưới đều - Grid DEM) hay dạng tam giác không đều (TIN DEM) đều có những ưu điểm và nhược điểm nhất định. Tuy nhiên hiện nay có nhiều hơn các thuật toán xử lý DEM dạng Grid so với DEM dạng TIN [57, 67].

2.3.5 Cấu trúc của DEM phủ trùm quốc gia phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên

Xét dưới các khía cạnh như lưu trữ, cập nhật, tích hợp và truy cập dữ liệu của một hệ thống DEM phủ trùm quốc gia hay vùng lãnh thổ thì cấu trúc DEM dạng lưới đều được ưa chuộng hơn so với cấu trúc dạng TIN. Do đó DEM dạng lưới đều trở thành dạng phổ biến nhất của các DEM phủ trùm toàn quốc [2, 3, 7].

Nhiều quốc gia trên thế giới đã xây dựng DEM phủ trùm toàn quốc dưới dạng lưới đều. Anh, Úc, Mỹ, Đức, Trung Quốc, Nhật Bản đều xây dựng DEM dạng lưới đều phủ trùm toàn quốc. Các DEM này có thể ở dạng lưới thô được thành lập từ các bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 250 000 (một số nước còn đưa lên Internet các DEM có khoảng cách mắt lưới từ 1 - 5 km). Các DEM có độ chính xác cao hơn được thành lập từ bản đồ địa hình tỷ lệ 1:25 000, 1:50 000 và ảnh hàng không ngày càng trở thành phổ biến hơn tại nhiều nước trên thế giới [7]. Một số nước, chẳng hạn như Đức [3] còn thành lập DEM tại nhiều bang với độ chính xác tương đương với bản đồ địa hình tỷ lệ 1:5 000, có khoảng cao đều nhỏ nhất là 1 hoặc 2 mét tùy theo độ dốc của địa hình. Các DEM này có khoảng cách mắt lưới là 10 mét và độ chính xác về độ cao vào khoảng 0.25 - 0.5 mét. Dưới dạng lưới đều, DEM phủ trùm quốc gia đã trở thành một phần của cơ sở hạ tầng dữ liệu không gian quốc gia (National Spatial Data Infrastructure - NSDI) tại nhiều nước.

Đối với DEM có cấu trúc dạng TIN thì mặc dù được miêu tả như là có mật độ điểm đo thay đổi theo độ dốc hay thể hiện chính xác bề mặt và các đặc trưng địa hình nhưng theo các kết quả nghiên cứu, thử nghiệm trong [9, 37] đều cho thấy để có thể miêu tả được các yếu tố vi địa hình (micro - relief) đòi hỏi mô hình TIN phải được xây dựng từ một mạng tam giác rất dày đặc. Điều này dẫn tới kết cục là tổng số các tam giác trong mô hình TIN có thể gần bằng tổng số các điểm trong mô hình grid DEM. Lưu ý rằng để lưu trữ được một tam giác trong mô hình TIN đòi hỏi phải có các thông tin về quan hệ topology, thể hiện theo 3 bản ghi, trong khi để lưu trữ một điểm lưới

trong Grid DEM thì không cần đến quan hệ này. Cũng theo các nghiên cứu trên thì mô hình TIN không thể thích ứng cho các vùng lớn, với quy mô phủ trùm vùng lãnh thổ hay là cả một quốc gia được. Một ví dụ là để có DEM phủ trùm một vùng lớn thường không thể tránh khỏi việc phải chia DEM ra thành các mảnh với kích thước thích hợp, đến khi cần lại có thể ghép chúng với nhau. *Việc ghép các DEM trong các phần mềm thường chỉ có ở dạng Grid còn ghép TIN DEM phức tạp hơn và do đó thường không được thực hiện tự động trong đại đa số các phần mềm hiện có.*

2.4. Vấn đề nội suy trong thành lập và chuyển đổi cấu trúc DEM

2.4.1 Khái niệm và vai trò của phép nội suy

Theo [7] thì nội suy là quá trình dự đoán (thông qua tính toán) giá trị của các thuộc tính tại các điểm không được lấy mẫu dựa trên các điểm đã được lấy mẫu (được đo) trong cùng một miền/ vùng. Việc dự đoán/ tính toán giá trị của các thuộc tính tại các điểm không được lấy mẫu nhưng nằm ngoài vùng có các điểm đã được lấy mẫu được gọi là phép ngoại suy.

Nội suy thường được áp dụng khi gặp một trong các trường hợp sau:

- Khi một bề mặt được rời rạc hoá có độ phân giải, kích thước pixel hay định hướng khác so với yêu cầu;
- Khi một bề mặt liên tục được miêu tả bởi một mô hình dữ liệu khác so với yêu cầu;
- Khi các số liệu hiện có chỉ là các đối tượng được lấy mẫu chứ không được đo tại tất cả các điểm của vùng cần quan tâm.

Ví dụ của trường hợp (a) là khi phải chuyển đổi một ảnh đã được quét (bản đồ, ảnh hàng không, hay ảnh vệ tinh) từ một lưới hay hệ toạ độ này với độ phân giải và định hướng nhất định sang một lưới hay hệ toạ độ khác. Quá trình này được gọi chung là phép nhân chập hay tích chập (convolution). Trên thực tế quá trình này được gọi chung là nắn ảnh số hay nắn bản đồ giấy sau khi đã được quét.

Ví dụ của trường hợp (b) là sự chuyển đổi từ một cấu trúc dữ liệu này sang một cấu trúc dữ liệu khác (chuyển đổi từ TIN sang Grid hay từ Grid sang TIN hoặc chuyển đổi từ vector sang raster).

Ví dụ của trường hợp (c) là sự chuyển đổi dữ liệu từ một tập hợp các điểm đã được đo sang một bề mặt liên tục, được rời rạc hoá. Điển hình của trường hợp này là bề mặt địa hình của mặt đất. Việc mô hình hoá bề mặt này bằng một hàm toán học là quá phức tạp. Vì thế các thông tin về bề mặt đất có được thông qua các đối tượng được lấy

mẫu, đó là công đoạn cơ bản đầu tiên trong việc thành lập DEM như đã nêu ở mục 2.2. Công đoạn cơ bản thứ hai là tạo mô hình số độ cao của bề mặt đất từ các điểm đo bằng các tính toán, nội suy. Thông qua các hàm nội suy cho phép tính toán được độ cao của các điểm không được lấy mẫu trong vùng cần quan tâm.

Trong công đoạn thứ hai này cần thiết phải phân biệt hai tình huống cơ bản sau đây, đó là các điểm lấy mẫu có mật độ dày đặc và ngược lại, có mật độ thưa. Trường hợp các đối tượng được lấy mẫu có mật độ thưa thường gặp khi phải tiến hành đo ngoại nghiệp, hay vì lý do kinh tế mà không thể có mật độ dày hơn được. Chẳng hạn như khi phải xây dựng DEM bằng đo đạc trực tiếp ngoài thực địa hay bằng phương pháp đo vẽ tương tự hay giải tích với quá trình lấy mẫu được thực hiện một cách thủ công, tốn nhiều thời gian và công sức. Còn khi DEM được thành lập một cách tự động hay bán tự động trong đo vẽ ảnh số, hoặc gần đây có các phương pháp thành lập DEM mới, sử dụng công nghệ quét laser hay radar thì mật độ các điểm đo có thể dày đặc hơn nhiều so với các phương pháp truyền thống. Theo [2] thì vấn đề nội suy trước đây (từ một số ít điểm lấy mẫu phải nội suy cho nhiều điểm hơn) đã có thay đổi cơ bản về tính chất (từ nhiều điểm đo có thể phải chọn một số ít các điểm để đưa vào thành lập DEM). Ackermann gọi đó là việc chuyển từ tính toán nội suy (interpolation) sang phép tính gần đúng (approximation).

Bề mặt địa hình rất khó được mô hình hoá, các thông tin về địa hình hầu hết được dựa trên các yếu tố được lấy mẫu (samples) - thường là trị đo của các điểm và các đường. Nói một cách khác, kết quả thu thập dữ liệu (kết quả đo đạc) cho DEM chỉ là các mẫu nhất định (rời rạc) của một bề mặt thường là liên tục. Để có thể mô hình hoá một bề mặt liên tục dựa trên các trị đo rời rạc thì còn cần có các quy tắc tính toán (nội suy) có thể cho phép tính được độ cao của các điểm nằm ở khoảng giữa các trị đo. Do vậy để thành lập DEM, ngoài việc thu thập dữ liệu còn phải thực hiện một nhiệm vụ quan trọng khác là nội suy để có thể đảm bảo rằng tại bất cứ vị trí nào giữa các điểm lấy mẫu cũng có thể có được các giá trị về độ cao của bề mặt địa hình. Với mục đích như vậy nội suy có thể được hiểu là dựa trên các điểm đã được lấy mẫu, tính toán độ cao của các điểm thuộc bề mặt địa hình nằm giữa các điểm lấy mẫu đó. Theo [3] trong các mô hình DEM hay DTM thì bề mặt địa hình được đại diện bởi các điểm và các đường cùng *phép nội suy giữa chúng* để đảm bảo tại bất cứ một điểm có tọa độ X_i, Y_i thuộc miền D (vùng phủ của DEM) đều có thể tính được giá trị độ cao Z_i tương ứng.

2.4.2 Cơ sở logic của phép nội suy

Cơ sở logic của các phép nội suy và ngoại suy là các giá trị tại các điểm gần nhau hơn trong không gian thì thường có khả năng giống nhau hơn là các điểm cách xa nhau trong không gian. Nói chung hai điểm được đo chỉ cách nhau một vài mét thì dễ có các độ cao gần giống nhau hơn là các điểm ở trên hai quả đồi cách nhau vài km.

2.4.3 Các phương pháp nội suy

Các phương pháp nội suy có thể được chia ra làm hai nhóm được gọi là nội suy hàm tổng thể (global) và hàm cục bộ (local). Các phép nội suy hàm tổng thể sử dụng toàn bộ dữ liệu đã được lấy mẫu để tính toán cho các điểm chưa biết của mô hình. Các phép nội suy hàm cục bộ thực hiện tính toán trong phạm vi một vùng nhỏ bao quanh điểm cần được nội suy. Theo GS-TSKH Trương Anh Kiệt [31] thì trong nội suy DEM thường không dùng phép nội suy hàm tổng thể mà dùng hàm cục bộ để nội suy. Hàm tổng thể không thể hiện được các thay đổi cục bộ mà thường coi các thay đổi này là các nhiễu “noise” ngẫu nhiên. Bằng trực giác có thể thấy điều này không tuân theo cơ sở logic của phép nội suy, theo đó các giá trị nội suy tại các điểm gần với điểm lấy mẫu thì thường gần giống giá trị tại điểm lấy mẫu đó.

Các phép nội suy hàm cục bộ sử dụng các giá trị được đo tại các điểm gần nhất với điểm cần nội suy để tính toán. Trong các phép nội suy này, quá trình được tiến hành như sau:

- a) Xác định vùng tìm kiếm (search area) hay vùng lân cận xung quanh điểm cần được nội suy;
- b) Tìm các điểm đã được lấy mẫu trong vùng lân cận này;
- c) Chọn một hàm toán học để miêu tả sự biến thiên của bề mặt trong vùng lân cận với một số lượng nhất định các điểm đã được lấy mẫu;
- d) Tính toán giá trị tại các điểm cần nội suy.

Trong phép nội suy hàm cục bộ những vấn đề sau đây cần phải được đề cập tới:

- Loại hàm số dùng để nội suy;
- Kích thước, hình dạng và định hướng của các vùng lân cận;
- Số lượng các điểm tham gia vào hàm nội suy;
- Phân bố của các điểm đã được lấy mẫu: phân bố đều hay không đều;
- Khả năng có sử dụng một số điều kiện ràng buộc bên ngoài.

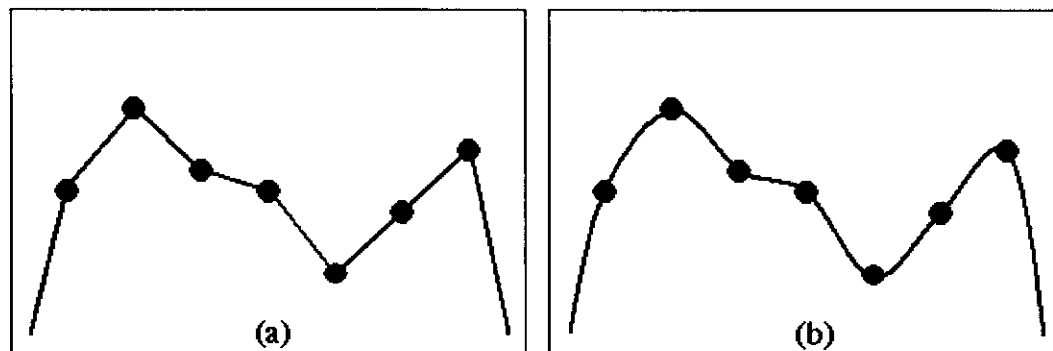
Chất lượng của phép nội suy phụ thuộc vào số lượng, sự phân bố, độ chính xác của các điểm đã biết và hàm toán học được chọn. Kết quả tốt nhất thu được khi hàm

toán chạy theo một phương thức giống như hiện tượng. Tùy thuộc vào mục đích, độ gồ ghề phức tạp của bề mặt địa hình, mật độ và sự phân bố của các điểm đã biết để chọn các phương pháp nội suy cho phù hợp. Điều quan trọng là hiểu rõ rằng nội suy coi dữ liệu có bản chất có thể chuẩn đoán được về mặt không gian để tính toán những giá trị không được đo. Tất cả phụ thuộc vào khả năng chuẩn đoán đặc tính của bề mặt.

Trong phạm vi tìm hiểu cấu trúc của DEM, đề tài chỉ miêu tả một số phép nội suy phổ biến trong các phần mềm thương mại, chẳng hạn như trong các phần mềm MGE (Intergraph) hay Arc-Info (ESRI). Trong các phần mềm này các phép nội suy phổ biến là: nội suy tuyến tính, nội suy song tuyến, đa thức bậc 3, trung bình trọng số (còn gọi là nghịch đảo khoảng cách có trọng số), hàm splines và gần đây mới được áp dụng là Kringing. Nhiều phép nội suy khác được miêu tả trong [7, 31].

1. Nội suy tuyến tính

Một trong những phương pháp đơn giản nhất để ước tính giá trị chưa biết là nội suy tuyến tính. Ví dụ: Hình dung một sự thay đổi tuyến tính về độ cao giữa hai điểm ở độ cao ghi được là 100 và 150 m. Khoảng cách giữa hai điểm được biểu diễn trên bản đồ là 10 cm. Điều này có nghĩa là mỗi cm tương ứng với sự tăng giảm độ cao là 5 m. Giả thiết cơ bản của phương pháp này là có mối quan hệ tuyến tính giữa sự chênh lệch giá trị của hai điểm và khoảng cách giữa chúng (xem hình 2.8; [11]).



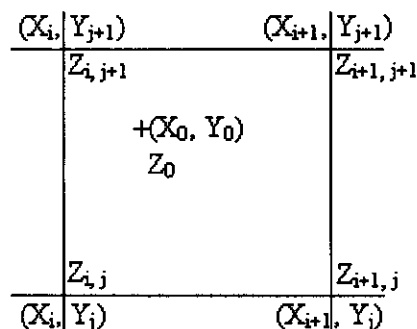
Hình 2.8: Nội suy dữ liệu: (a) tuyến tính và (b) hàm Spline

Nội suy tuyến tính được áp dụng rộng rãi trong DEM dạng TIN của cả MGE (Intergraph) và Arc-Info (ESRI).

2. Nội suy song tuyến

Nội suy song tuyến là phương pháp nội suy khá phổ biến trong DEM. Trên hình 2.9 cần phải xác định độ cao Z_0 tại vị trí X_0, Y_0 nằm giữa 4 vị trí mắt lưới là (X_i, Y_j) , (X_{i+1}, Y_j) , (X_{i+1}, Y_{j+1}) , (X_i, Y_{j+1}) với các độ cao tương ứng là $Z_{i,j}$, $Z_{i+1,j}$, $Z_{i+1,j+1}$, $Z_{i,j+1}$. Trước hết cần tính toán các đại lượng T và U như sau:

$$T = \frac{X_0 - X_i}{X_{i+1} - X_i}; U = \frac{Y_0 - Y_i}{Y_{j+1} - Y_i}$$



Hình 2.9: Nội suy song tuyến

$$Z_0 = (1-T)(1-U)Z_{i,j} + T(1-U)Z_{i+1,j} + T.U.Z_{i+1,j+1} + (1-T).U.Z_{i,j+1} \quad (2.2)$$

3. Trung bình trọng số

Một trong những phương pháp nội suy thường được sử dụng là phương pháp trung bình trọng số. Giá trị dự đoán được rút ra từ tập hợp các điểm quan sát nằm trong một khoảng bán kính cho trước kể từ một điểm chưa biết. Nhằm mục đích để dự đoán một giá trị chưa biết, trọng số trung bình của các giá trị được chọn để tính toán. Các trọng số được gán cho từng điểm dựa theo mức độ ảnh hưởng được thừa nhận có ở mỗi điểm khi tính toán điểm chưa biết. Giá trị được tính theo biểu thức sau:

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n [h_i \times Z(x_i)] \quad (2.3)$$

Trong đó:

$Z(x)$: giá trị nội suy tại điểm x

$Z(x_i)$: giá trị độ cao tại điểm x_i

h_i : trọng số cho x_i

Khi khoảng cách được dùng để xác định trọng số, phương pháp này gọi là phương pháp trọng số trung bình động (hay còn gọi là nghịch đảo khoảng cách có trọng số). Trọng số tỷ lệ nghịch với khoảng cách nên điểm quan sát gần với điểm chưa biết sẽ có nhiều khả năng nhận được giá trị tương tự hơn so với một điểm quan sát khác ở xa điểm chưa biết (xem hình 2.10). Biểu thức chung dùng để tính giá trị trung bình này như sau:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (2.4)$$

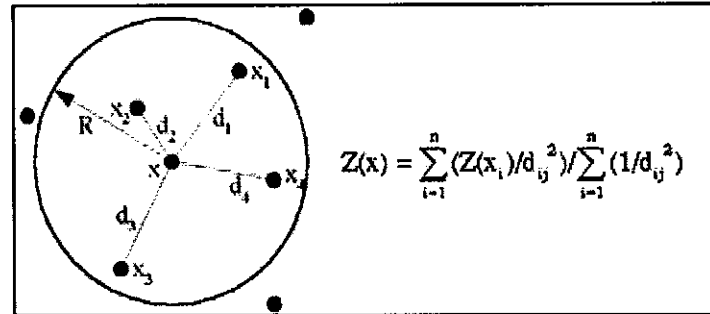
Trong đó:

$Z(x)$: giá trị nội suy tại điểm x

$Z(x_i)$: giá trị độ cao tại điểm x_i

d_i : Khoảng cách từ điểm x_i đến điểm x

p : Là lũy thừa của khoảng cách



Hình 2.10: Nội suy trung bình trọng số

Trọng số tỷ lệ nghịch với lũy thừa p của khoảng cách. Trên hình 2.9 $p = 2$. Với các lũy thừa khác nhau cho ra các kết quả tính $Z(x)$ khác nhau. Khi p tiến tới 0 các trọng số gần bằng nhau và tiến tới 1, giá trị dự đoán tại điểm x tiến dần tới giá trị trung bình cộng. Khi p tăng, trọng số của các điểm quan sát ở gần tăng lên nhanh trong khi trọng số của các điểm quan sát ở xa lại giảm mạnh. Giá trị ngầm định của lũy thừa p trong nhiều phần mềm GIS, chẳng hạn như ArcView GIS là 2.

4. Hàm Spline

Theo [6] thì trước khi máy tính có thể được sử dụng để điều chỉnh một đường cong đi qua một tập hợp các điểm cho trước những người vẽ thiết kế đã biết dùng các thước dẻo để có được các đường cong theo ý muốn. Các thước dẻo này được gọi là *splines*. Về mặt toán học thì một đường cong được vẽ bởi một thước *splines* có thể gần được coi như một hàm đa thức bậc 3 theo đoạn (piecewise cubic polynomial). Hàm đa thức này là hàm liên tục và có các đạo hàm bậc một và bậc hai liên tục.

Như vậy các hàm *splines* có thể được xem như tương đương với một thước dẻo. Chúng là các hàm theo đoạn có nghĩa là chúng khớp chính xác với một số lượng nhỏ các điểm dữ liệu đồng thời đảm bảo được rằng các chỗ tiếp nối giữa các đoạn của đường cong là liên tục (hình 2.8b). Điều này có nghĩa rằng với các hàm *splines* thì có thể chỉnh sửa, thay đổi một đoạn của đường cong mà không cần phải tính toán lại cả đường cong. Đó là điều không thể thực hiện được đối với các phương pháp nội suy sử dụng hàm tổng thể, chẳng hạn như các hàm phân tích bề mặt xu thế và chuỗi Fourier.

Một hàm đa thức theo đoạn $P(x)$ có thể được định nghĩa tổng quát như sau:

$$P(x) = P_i(x) \quad x_i < x < x_{i+1}; \quad i = 0, 1, \dots, k-1 \quad (2.5)$$

$$P'_i(x_i) = P'_{i+1}(x_i) \quad i = 1, 2, \dots, k-1; \quad j = 0, 1, \dots, r-1 \quad (2.6)$$

Các điểm $x_i, \dots, x_{k-1}$ chia đoạn x_0, x_k thành k đoạn nhỏ được gọi là các điểm gãy (break points), còn các điểm của đường cong tại các giá trị x nói trên thường được gọi là các điểm nút (knots). Các hàm $P_i(x)$ là các đa thức bậc m hoặc nhỏ hơn. Với $m = 1, 2$ hoặc 3 hàm spline được gọi, tương ứng là tuyến tính, bậc hai hoặc bậc ba. Các đạo hàm có bậc $1, 2, m-1$. Như vậy hàm spline bậc hai phải có một đạo hàm liên tục tại mỗi điểm nút và hàm spline bậc ba phải có hai đạo hàm liên tục tại mỗi điểm nút. Đại lượng r được dùng để biểu thị các điều kiện ràng buộc đối với hàm spline. Khi $r = 0$ thì không có điều kiện ràng buộc nào cả. Khi $r = 1$ thì hàm spline là liên tục và không có điều kiện ràng buộc gì đối với các đạo hàm của nó. Nếu $r = m + 1$ thì khoảng x_0, x_k có thể được miêu tả bằng một hàm đa thức duy nhất, như vậy $r = m$ là số lượng tối đa các điều kiện ràng buộc áp đặt lên hàm spline và đảm bảo cho nó là một hàm đa thức theo đoạn. Đối với một hàm spline đơn giản khi $r = m$ thì chỉ có $k + m$ điều kiện tự do. Trường hợp $r = m = 3$ có một ý nghĩa đặc biệt vì đó là trường hợp của các hàm đa thức bậc ba theo đoạn mà thuật ngữ "spline" lần đầu tiên được sử dụng. Thuật ngữ "bicubic spline" được dùng trong các trường hợp nội suy 3 chiều (nội suy các bề mặt, chẳng hạn DEM).

Trong hầu hết các ứng dụng thực tế người ta sử dụng một dạng đặc biệt của hàm spline gọi là B-spline. B-spline có giá trị bằng không ở bên ngoài phạm vi của vùng cần quan tâm. Các hàm spline có thể được sử dụng cho nội suy chính xác (hàm spline đi qua tất cả các điểm dữ liệu) hoặc cho việc làm trơn.

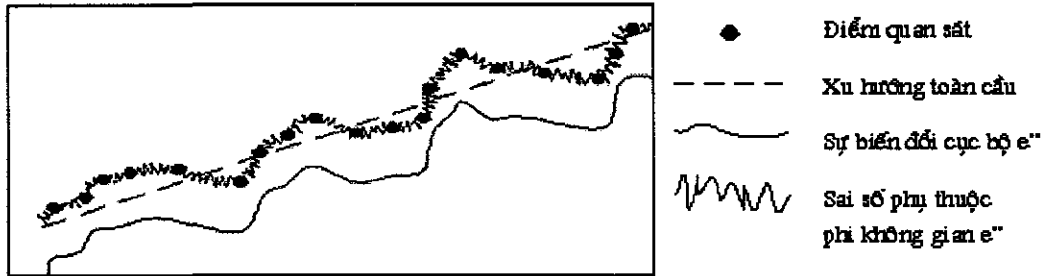
Một số ưu điểm và nhược điểm của hàm spline

Ưu điểm: Vì spline là các hàm theo đoạn, chỉ sử dụng một vài điểm dữ liệu cho mỗi lần nội suy nên việc tính toán nội suy được tiến hành nhanh chóng. Spline có thể giữ lại được các đặc trưng địa hình nhỏ.

Nhược điểm: Một trong số các nhược điểm của spline là không trực tiếp tính toán được sai số nội suy. Tuy nhiên các sai số này có thể được tính nhờ kỹ thuật đệ quy (recursive technique). Một số vấn đề thực tế có thể nảy sinh là việc xác định, phân chia các vùng nhỏ và nối chúng lại với nhau để tạo thành một bề mặt hoàn chỉnh trong nội suy 3 chiều mà không sinh ra các dị thường của địa hình.

5. Phương pháp nội suy Kriging

Kriging là phương pháp nội suy được xây dựng dựa trên giả sử rằng các biến thay đổi theo không gian có thể được biểu thị bằng một tổng của 3 thành phần chính. Đó là (a) thành phần cấu trúc, có giá trị trung bình hay xu thế không đổi, (b) thành phần ngẫu nhiên nhưng có tương quan theo không gian và (c) là các nhiễu “noise” ngẫu nhiên và không phụ thuộc theo không gian (Hình 2.11).



Hình 2.11: Các hợp phần chính của kỹ thuật nội suy "Kriging"

Giả sử rằng x là một vị trí trong không gian thì giá trị của một biến Z tại đó có thể được biểu thị như sau:

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon'(x) + \varepsilon'' \quad (2.7)$$

Trong đó $m(x)$ là một hàm miêu tả thành phần cấu trúc của Z tại x , $\varepsilon'(x)$ thành phần có tương quan theo không gian, và ε'' là nhiễu Gaussian không phụ thuộc theo không gian và có giá trị trung bình $\mu = 0$ và phương sai σ^2 .

Hàm bán phương sai thực nghiệm được biểu thị như sau:

$$Z(d) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \{Z(x_i) - Z(x_i + d)\}^2 \quad (2.8)$$

Trong đó: $Z(d)$ là hàm bán phương sai thực nghiệm

n - là số cặp các trị đo tại các vị trí x_i và $x_i + d$

d - là khoảng cách giữa các trị đo $Z(x_i)$ và $Z(x_i + d)$

Hàm bán phương sai thực nghiệm miêu tả tính phụ thuộc không gian của các giá trị lấy mẫu (độ cao). Phương pháp nội suy Kriging thoả mãn mục đích tìm ra được cách tốt nhất để tính toán trọng số nội suy và cung cấp các thông tin về sai số.

2.4.4 Nhận xét, thảo luận

Trong công tác thành lập DEM phép nội suy được sử dụng chủ yếu trong các phép toán sau:

- Tính toán độ cao Z cho từng điểm địa hình riêng biệt;
- Tính toán độ cao Z cho các điểm mắt lưới của một DEM dạng lưới đều;

- Chêm dày hay khái lược hoá các mạng lưới đều (còn gọi là lấy mẫu lại);
- Tính toán toạ độ X, Y cho các điểm thuộc một đường bình độ có độ cao Z định trước (trong nội suy đường bình độ từ DEM).

Liên quan tới độ chính xác của DEM, điều quan tâm trước tiên là các công cụ toán học dùng để nội suy. Tuy nhiên trên thực tế độ chính xác của các phương pháp nội suy không khác nhau nhiều, trừ trong một số ứng dụng, chẳng hạn để nội suy đường bình độ thì các thuật toán nội suy khác nhau thường cho các kết quả khác nhau rõ rệt. Theo [3] trong những năm 70 của thế kỷ 20 mối quan tâm của các nhà nghiên cứu tập trung rất nhiều vào việc tìm hiểu các phương pháp nội suy tối ưu. Từ khi có các phần mềm chất lượng cao dựa trên các phương pháp nội suy khác nhau đều cho các kết quả tương tự như nhau thì vấn đề này mất dần sự quan tâm. Các thí nghiệm đã chỉ ra rằng khi có các số liệu đầu vào thích hợp nghĩa là có mật độ dày và có độ chính xác đảm bảo thì các phép nội suy khác nhau cho các kết quả tương tự như nhau.

Phương pháp nội suy phổ biến hiện nay trong một số phần mềm thương mại, chẳng hạn như MGE (Intergraph) hay Arc-Info (ESRI) là: nội suy tuyến tính đối với mô hình TIN (trong Arc-Info còn có thêm nội suy Quintic); nội suy song tuyến và đa thức bậc 3 đối với mô hình GRID. Gần đây có thêm các phương pháp nội suy mới như Splines và Kringing được áp dụng. Chẳng hạn trong Arc-Info có phương pháp nội suy Kringing và phương pháp nội suy splines với tên gọi TOPOGRID. TOPOGRID là phương pháp nội suy được thiết kế riêng để nội suy DEM và giữ được các đặc tính của thuỷ hệ dựa vào một số lượng thông tin không nhiều nhưng được chọn lọc kỹ của các điểm độ cao và hệ thống thuỷ hệ. Nói một cách khác, TOPOGRID được thiết lập riêng cho các phân tích về thuỷ học. Nó được áp dụng trong phần mềm ANUDEM, do tiến sỹ Michael Hutchinson thuộc Trung tâm Nghiên cứu Tài nguyên và Môi trường của Đại học Tổng hợp Quốc gia Úc thành lập, đầu tiên được dùng để nội suy DEM phủ trùm quốc gia Úc, phục vụ quản lý tài nguyên và thiên nhiên [8]. TOPOGRID bắt đầu việc nội suy bằng cách sử dụng các thông tin của các đường bình độ để xây dựng một mô hình thuỷ hệ tổng quát. Bằng cách xác định các vùng có độ cong cục bộ lớn nhất trên mỗi đường bình độ, một mạng lưới các đường phân thuỷ, tụ thuỷ được thuật toán nội suy TOPOGRID này tạo ra.

Tuy nhiên, để đảm bảo giữ được các đặc tính của thuỷ hệ TOPOGRID lại làm thay đổi một số giá trị độ cao của các dữ liệu đầu vào. Theo Kirby và Featherstone [32] thì phép nội suy này có thể gây một số cản trở nhất định trong các ứng dụng khác,

chẳng hạn như tính toán số cải chính địa hình trong mô hình Geoid. Các tác giả nói trên đã phát hiện ra nhiều vị trí có dị thường lớn về độ dốc. Như vậy có thể nói một phép nội suy DEM là tốt cho một ứng dụng này nhưng lại không tốt cho một hay một số ứng dụng khác. Hơn nữa, một số nghiên cứu khác còn cho thấy không có một phép nội suy nào là tốt nhất đối với mọi dạng địa hình. Theo El-Sheimy [12] thì không có một thuật toán nội suy “tốt nhất” nào - tức là ưu việt tuyệt đối so với tất cả các phép nội suy khác và thích hợp cho mọi ứng dụng. Chất lượng của DEM được quyết định bởi sự phân bố và độ chính xác của các điểm được lấy mẫu cũng như tính phù hợp của thuật toán nội suy được áp dụng (phù hợp với dạng địa hình và ứng dụng cụ thể).

2.4.5 Ghép nối và chuyển đổi cấu trúc của DEM

1. Ghép nối DEM

Các mô hình DEM có thể được “nối” với nhau (joining) - trong đó các mô hình kề cạnh chỉ tiếp giáp nhau. Khi các mô hình kề cạnh có độ chồng phủ thì quá trình kết hợp chúng được gọi là “ghép” (merging).

Đối với các DEM dạng Grid thì quá trình nối khá đơn giản khi các mô hình kề cạnh có cùng khoảng cách mắt lưới và cùng định hướng. Còn trái lại phải tiến hành lấy mẫu lại (làm thưa, tăng dày hay định hướng lại) nhằm thiết lập được tính liên tục. Nối TIN DEM đòi hỏi phải có các thuật toán để thiết lập, tính toán lại các tam giác dọc theo đường biên. Việc ghép các DEM lại với nhau gồm hai công đoạn. Công đoạn thứ nhất bao gồm việc lồng tất cả các thành phần của một mô hình vào mô hình kia. Công đoạn thứ hai là việc kết hợp các dữ liệu tại vùng phủ nhau của hai mô hình. Việc ghép các DEM thường phức tạp hơn việc nối DEM.

2. Chuyển đổi từ TIN DEM sang Grid DEM

Việc chuyển đổi dữ liệu độ cao từ cấu trúc TIN sang cấu trúc Grid được thực hiện bằng cách chồng một lưới đều có khoảng cách mắt lưới và định vị cho trước lên mô hình TIN. Mỗi điểm mắt lưới của mạng lưới này được xem xét một cách tuần tự. Theo đó trước tiên phải xác định được mỗi mắt lưới của mạng lưới đều (Grid) nằm trong một tam giác cụ thể nào. Sau đó độ cao của mắt lưới Grid sẽ được nội suy theo giá trị độ cao của 3 đỉnh của tam giác đó. Hàm số nội suy thường được dùng là hàm tuyến tính. Tuy nhiên cũng có thể sử dụng các hàm bậc cao hơn [67]. Khi đó các hệ số của hàm được tính toán dựa trên độ cao của các đỉnh tam giác cũng như các đạo hàm bậc nhất và bậc hai của chúng (nhằm xem xét tới các thay đổi về độ dốc). Đạo hàm tại một điểm tam giác phụ thuộc vào độ cao của tất cả các điểm xung quanh (tất cả các

điểm khi được nối với điểm được tính đạo hàm, tạo nên các cạnh của tam giác). Nếu có tính đến các thay đổi đột ngột của độ dốc trong quá trình tạo tam giác thì độ cao của các đỉnh tạo nên các đường breaklines sẽ không được tham gia vào việc tính các đạo hàm. Như vậy về bản chất quá trình chuyển đổi từ TIN DEM sang Grid DEM là việc từ mô hình TIN nội suy ra các điểm mắt lưới của DEM.

3. Chuyển đổi từ Grid DEM sang TIN DEM

Nếu như việc chuyển đổi từ TIN DEM sang Grid DEM mang bản chất của một quá trình nội suy thì khi thực hiện phép chuyển đổi ngược lại (Grid sang TIN) vấn đề cốt lõi lại nằm ở việc lọc dữ liệu điểm Grid để chọn ra các đỉnh tam giác phù hợp nhất. Để có thể khai thác được các lợi thế của cấu trúc TIN (mật độ điểm thay đổi linh hoạt theo độ phức tạp của địa hình) thì các điểm không đặc trưng phải được loại bỏ trong quá trình chuyển đổi. Trong [67] Weibel và Heller đã đưa ra một ví dụ cho thấy một mạng Grid DEM có thể được chuyển sang một dạng TIN khá thành công với một thuật toán cho phép lọc và loại bỏ khoảng 90% số điểm và chỉ giữ lại 10% số điểm làm các đỉnh của tam giác trong mô hình TIN mà không làm giảm đáng kể độ chính xác của DEM. Các điểm trong lưới Grid được chọn làm đỉnh của tam giác trong TIN thường phải là các điểm có vai trò quan trọng trong việc mô tả các đặc trưng của bề mặt: các đỉnh, đáy thung lũng, các điểm nằm trên các đường phân thủy, tụ thủy, breaklines... Lưu ý rằng mặc dầu mô hình TIN, kết quả của quá trình chuyển đổi này, có số điểm chỉ bằng khoảng 1/10 số điểm của mô hình Grid nhưng việc lưu trữ lại phức tạp hơn do tính chất topology của mô hình TIN.

2.5. Kết luận chương 2

Dạng lưới đều (GRID) và dạng TIN là hai cấu trúc phổ biến nhất của DEM. Tuy nhiên đối với hệ thống DEM phủ trùm thì dạng lưới đều được sử dụng phổ biến ở nhiều nước trên thế giới. Trong các phần mềm thành lập và xử lý DEM hiện nay thì các phương pháp nội suy: tuyến tính, song tuyến, trung bình trọng số và đa thức bậc 3 được dùng phổ biến hơn cả. Một số phương pháp nội suy mới dựa trên hàm Splines hay phương pháp nội suy Kringing cũng đã được áp dụng trong một số phần mềm thương mại.

CHƯƠNG 3: ỨNG DỤNG CỦA MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO

3.1. Khả năng ứng dụng của mô hình số độ cao

Các thông tin về độ cao dưới dạng số dễ sử dụng là cần thiết cho việc quản lý hiệu quả các nguồn tài nguyên thiên nhiên và môi trường. Thêm vào đó, nhiều lĩnh vực khác của đời sống kinh tế, xã hội như thiết kế và xây dựng cơ sở hạ tầng, xây dựng các công trình dân dụng, thông tin viễn thông hay du lịch cũng cần tới các dữ liệu này. Dữ liệu độ cao là cần thiết cho việc phân tích và mô hình hoá trong các lĩnh vực khác nhau như khí hậu, đa dạng sinh học, nhiễm mặn, nắn chỉnh ảnh vệ tinh, thủy văn, thông tin viễn thông, thiết kế cơ sở hạ tầng, địa chất và địa vật lý vv... Nhu cầu cần có các thông tin như vậy trên quy mô vùng và quốc gia là tác nhân cho việc xây dựng mô hình số độ cao quốc gia.

Trong những năm gần đây công nghệ thông tin địa lý và xử lý ảnh số đã trở thành các lĩnh vực phát triển nhanh chóng với những tiến bộ đáng kể trong việc xử lý các thông tin địa lý và ảnh cho các ứng dụng khoa học, thương mại và các tác nghiệp khác. Đối với hầu hết các ứng dụng này, DEM là một bộ phận tích hợp quan trọng. Có thể phân chia các lĩnh vực mà DEM có khả năng ứng dụng như sau:

- Các ứng dụng khoa học;
- Các ứng dụng thương mại;
- Các ứng dụng công nghiệp;
- Các ứng dụng tác nghiệp phục vụ quản lý;
- Các ứng dụng trong quân sự.

Trong đó DEM đóng một vai trò đáng kể trong việc cải tiến kết quả phân tích, phát triển sản phẩm và ra quyết định. DEM được sử dụng trong: thông tin viễn thông, dẫn đường, năng lượng, quản lý thiên tai, giao thông, dự báo thời tiết, viễn thám, trắc địa, phân loại lớp phủ mặt đất, trong xây dựng các công trình công cộng và còn nhiều ứng dụng khác nữa.

Trong đề tài này chỉ khảo sát, đánh giá những ứng dụng của DEM ít nhiều có liên quan đến đo đạc bản đồ, quản lý tài nguyên thiên nhiên và môi trường. Tuy nhiên, các ứng dụng khác ngoài phạm vi nêu trên cũng được nêu ra nhằm hoàn chỉnh sự miêu tả khái quát về tiềm năng ứng dụng của DEM nói chung.

Dưới khía cạnh kỹ thuật thì các thông tin về độ cao, độ dốc, hướng dốc của địa hình và một số sản phẩm dẫn xuất từ các thông số này được khai thác, sử dụng trong

nhiều ứng dụng khác nhau. Bảng 3.1 tóm tắt các thuộc tính hay các thông số có thể tính toán được từ DEM và các ứng dụng của chúng [7]:

Bảng 3.1: Các thông số tính toán từ DEM và các ứng dụng của chúng.

Thông số	Định nghĩa	Ứng dụng
Độ cao	Độ cao so với mực nước biển hoặc gốc độ cao địa phương	Xác định tiềm lực năng lượng; các biến số của khí hậu: áp suất, nhiệt độ; đặc tính của đất và cây trồng; tính toán khối lượng đào đắp.
Độ dốc (S)	Tốc độ thay đổi về độ cao	Xác định độ dốc của địa hình; dòng chảy bề mặt và dưới đất; phân loại đất, thực phủ; hiệu chỉnh ảnh viễn thám.
Hướng dốc	Hướng la bàn của độ dốc lớn nhất	Bức xạ mặt trời; sự bốc hơi nước; các thuộc tính của thực phủ; hiệu chỉnh ảnh viễn thám
Độ cong dọc theo hướng dốc	Tốc độ thay đổi của độ dốc	Gia tốc của dòng chảy, vùng gia tăng xói mòn / bồi đắp; các chỉ số đánh giá đất và thổ nhưỡng.
Độ cong vuông góc với hướng dốc	Tốc độ thay đổi hướng dốc	Dòng chảy hội tụ, phân tán; tính chất của đất
Hướng dòng chảy cục bộ (ldd)	Hướng của dòng chảy có độ dốc lớn nhất	Tính toán các thuộc tính của vùng lưu vực như là một hàm số của thủy hệ; đánh giá sự vận chuyển của vật chất trong mạng thủy hệ cục bộ
Vùng lưu vực (A_s)/vùng lưu vực riêng a	vùng ngược dòng chảy của một vị trí cho trước / vùng lưu vực trên một đơn vị độ dài của đường bình độ	phân tích lưu vực, khối lượng vật chất chảy ra khỏi lưu vực
Chỉ số địa hình	$\ln(a/\tan S)$	Chỉ số duy trì độ ẩm
Chỉ số năng lượng dòng chảy ω	$\ln(a \times \tan S)$	Khả năng gây xói mòn của dòng chảy bề mặt
Chỉ số vận chuyển trầm tích	$(n+1) \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^n \left(\frac{\sin S}{0.0896} \right)^m$	Đặc tính của các quá trình xói mòn và bồi lắng
Tầm nhìn (Viewshed)	Vùng thông hướng nhìn	Trạm tiếp sóng, tháp canh, khách sạn, các ứng dụng trong quân sự
Bức xạ	Lượng năng lượng mặt trời thu nhận được trên một đơn vị diện tích	Nghiên cứu thổ nhưỡng, cây trồng, sự bốc hơi nước, vị trí xây dựng các công trình với mục đích tiết kiệm năng lượng

3.1.1 Các ứng dụng khoa học

Các thông tin về bề mặt đất có tầm quan trọng cơ bản trong tất cả các khoa học về trái đất. Địa hình có tác động trong nhiều quá trình xảy ra trên bề mặt đất (sự bay hơi nước, dòng chảy, chuyển động của vật chất, cháy rừng). Địa hình còn đóng vai trò

quan trọng trong việc trao đổi năng lượng giữa hệ thống khí hậu trong bầu khí quyển và các chu kỳ địa hoá sinh trên bề mặt đất. Các nhà sinh thái học khảo sát sự phụ thuộc giữa tất cả các dạng của sự sống và môi trường, chẳng hạn như thổ nhưỡng, nước, khí hậu, và địa hình. Các nhà thủy học cần có các thông tin về địa hình để mô hình hoá sự chuyển động của nước, băng tuyết. Các nhà khí hậu học khảo sát sự thay đổi liên tục của nhiệt độ, độ ẩm, và bụi không khí, tất cả đều chịu ảnh hưởng của địa hình. Trong dự báo thời tiết và mô hình hoá khí hậu, các mô hình của quá trình chuyển hoá giữa mặt đất và bầu khí quyển cũng như sự chuyển động trong các lớp khí quyển thấp cũng phụ thuộc vào địa hình. Mối quan hệ giữa địa hình và các quá trình như bay hơi nước, nước tràn, độ ẩm của đất tác động tới khí hậu trong từng vùng và trên toàn cầu.

Một lĩnh vực ứng dụng nữa là phân loại lớp phủ mặt đất toàn cầu. Việc lập bản đồ và phân loại chính xác lớp phủ mặt đất toàn cầu là tiền đề quan trọng nhất cho việc mô hình hoá chi tiết các quá trình địa lý. Trong viễn thám DEM được dùng để nắn chỉnh ảnh nhằm loại bỏ các sai số gây ra do nguyên lý hình học của máy thu và chênh cao địa hình hoặc chiết xuất các thông tin chuyên đề và tạo ra các sản phẩm đã được tham chiếu địa lý.

Trong địa vật lý DEM được dùng chủ yếu như là một bộ dữ liệu bổ trợ để tạo điều kiện tăng cường các bộ dữ liệu chính. DEM được dùng để cải thiện chất lượng của dữ liệu trọng lực bằng cách cung cấp các dữ liệu cơ bản cho việc tự động hiệu chỉnh địa hình của các thông tin trọng lực. Hiệu ứng trọng trường của địa hình gồ ghề là một trong số các yếu tố ảnh hưởng đến các kết quả đo trọng lực. Để khử hiệu ứng này, DEM có thể được dùng để tính số cải chính về địa hình của trọng lực cho từng kết quả đo bằng một phần mềm đặc biệt. DEM cho phép quá trình này được thực hiện tự động, nếu không có DEM đây là một công đoạn buồn tẻ và thường không được thực hiện. Trong quá khứ, khi không có DEM, việc tính toán này được thực hiện một cách thủ công, sử dụng bản đồ địa hình và biểu đồ Hammer.

Ở một số nước, chẳng hạn như Úc đã có các nghiên cứu, khảo sát ảnh hưởng của địa hình lên mô hình Geoid. Các kết quả thu được đã cho thấy các thông tin địa hình là rất hữu ích cho việc xác định mô hình Geoid có độ chính xác và độ phân giải cao [69]. Tóm lại cộng đồng khoa học áp dụng DEM để nghiên cứu trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Sau đây là một vài ví dụ:

- Nghiên cứu ảnh hưởng của khí hậu;
- Quản lý nước và động vật hoang dã;

- Mô hình hoá địa chất và thuỷ học;
- Công nghệ thông tin địa lý;
- Phân tích địa mạo và cảnh quan;
- Các nghiên cứu phục vụ mục đích thành lập bản đồ;
- Các nghiên cứu phục vụ giáo dục.

3.1.2 Các ứng dụng thương mại

Các ứng dụng thương mại mang tính định hướng kinh doanh thị trường cao hơn, liên quan đến việc bán, phân phối DEM và các sản phẩm từ DEM. Từ góc độ này có thể thấy có hai thành phần thị trường chính quan tâm tới DEM. Một thành phần áp dụng các sản phẩm cơ bản của DEM, trong đó dữ liệu được sơ bộ xử lý và được tham chiếu địa lý nhưng không có các ứng dụng kết hợp trực tiếp nào. Thành phần thứ hai bao gồm các dịch vụ giá trị gia tăng, tích hợp DEM với các ứng dụng cụ thể. Các nhà cung cấp DEM thương mại hay các sản phẩm dẫn xuất từ DEM quan tâm đến những vấn đề trong các lĩnh vực sau:

- Thông tin viễn thông;
- Lộ trình và dẫn đường hàng không;
- Thiết kế và xây dựng;
- Khảo sát, thăm dò địa chất;
- Các dịch vụ khí tượng thuỷ văn;
- Nắn chỉnh, tham chiếu địa lý các ảnh vệ tinh;
- Thị trường các ứng dụng đa phương tiện (multimedia) và trò chơi điện tử (computer games)

Các sản phẩm DEM cơ bản

Những tiến bộ trong công nghệ viễn thám đã đem lại nhiều khả năng mới để thành lập DEM với độ phân giải và độ phủ trùm ngày càng gia tăng. Một ví dụ là dự án đo địa hình bằng thiết bị radar độ mở tổng hợp giao thoa, băng X - với bước sóng $\lambda = 3.1$ cm, đặt trên tàu vũ trụ con thoi Endeavour, được phóng vào tháng 2 năm 2000 (dự án X-SAR/SRTM). Dự án này cho phép có được DEM với độ phân giải mặt bằng 30 mét và phủ trùm 80% bề mặt trái đất (từ vĩ độ 60° Bắc đến vĩ độ 56° Nam). Ước tính độ chính xác về độ cao của các điểm DEM là 6 mét (độ chính xác tương đối) và 16 mét (độ chính xác tuyệt đối) [33].

Một số nghiên cứu theo đặt hàng của Cộng đồng châu Âu và Cơ quan vũ trụ châu Âu đã khẳng định rằng thị trường DEM từ các ảnh hàng không và vệ tinh sẽ tăng trưởng mạnh. Các nghiên cứu này đã dẫn chứng các nhu cầu mạnh mẽ về DEM từ nhiều nguồn khác nhau với độ chính xác từ 1 đến 100 mét. DEM phủ trùm diện tích hàng mười triệu km² với năng suất vài triệu km² một năm đã có trong một số kho lưu trữ. Tuy nhiên trong nhiều trường hợp độ phủ là không hoàn chỉnh hay các sản phẩm không được đưa ra ngoài dân sự. Công nghệ cũng cần được cải tiến để quản lý và phân phối một cách có hiệu quả một khối lượng lớn các dữ liệu DEM đến một số lượng người dùng ngày càng gia tăng và đa dạng. Nhà phân phối DEM lớn nhất toàn cầu là công ty ISTAR của Pháp, tiếp đó là công ty Atlantis Scientific Inc., của Mỹ. Nguồn dữ liệu chính mà ISTAR sử dụng là các ảnh SPOT, được bổ sung bởi các dữ liệu từ ERS và RADARSAT, gần đây có thêm các dữ liệu DEM thành lập theo công nghệ sử dụng các thiết bị radar đặt trên máy bay.

Các sản phẩm DEM giá trị gia tăng

Về lâu dài cơ hội thị trường thực sự là ở các sản phẩm giá trị gia tăng, được xây dựng từ các sản phẩm cơ bản nhằm đáp ứng các yêu cầu cụ thể của khách hàng. Các sản phẩm giá trị gia tăng bao gồm nhiều quá trình từ việc chuyển đổi hệ tọa độ cho đến các sản phẩm trong nhiều lĩnh vực khác, chẳng hạn như:

- Quy hoạch và xây dựng;
- Các dịch vụ khí tượng thủy văn, bao gồm đánh giá các nguy cơ;
- Tham chiếu địa lý các dữ liệu viễn thám.

Tất cả các mảng của thị trường nói trên đều cần đến DEM. Động thái này là rõ ràng. Một số người mua các sản phẩm DEM, một số khác lại cấp đăng ký cho các sản phẩm này, hay bán lại các sản phẩm DEM. Có thể đoán được rằng các sản phẩm DEM giá trị gia tăng sẽ có mức tăng trưởng mạnh trong thập kỷ tiếp theo.

Quy hoạch và xây dựng

Công tác quy hoạch và xây dựng được thiết kế trên máy tính dựa trên DEM độ phân giải cao là một thị trường cho cả các công việc kinh doanh nhỏ lẫn các công ty xây dựng lớn. Các công trình xây dựng theo tuyến như đường bộ, đường sắt, đường ống dẫn dầu và dẫn ga, cầu, đường dây tải điện có thể được thiết kế mà hầu như không cần phải ra ngoài nghiệp khảo sát. Chẳng hạn trong việc thiết kế đô thị, các bộ dữ liệu địa hình số có thể giúp người kỹ sư thiết kế lập mô hình một con đường mới hoàn toàn trong phòng.

Công việc xây dựng cơ sở hạ tầng và các công trình công cộng cần nhiều đến việc mô hình hoá địa hình. Tuy nhiên, các yêu cầu về DEM trong lĩnh vực này khác với các yêu cầu trong các ứng dụng GIS khác. Ở đây chỉ tập trung vào các chức năng như tính toán khối lượng đào đắp và thiết kế. Khối lượng dữ liệu DEM trong lĩnh vực này cũng nhỏ hơn so với nhiều ứng dụng khác vì phạm vi phủ trùm của DEM chỉ giới hạn trong phạm vi khu vực xây dựng.

Các dịch vụ khí tượng thủy văn bao gồm cả việc đánh giá các nguy cơ

Để lập mô hình thủy học cho các lưu vực sông cần thiết phải có DEM có độ chính xác cao và đồng nhất. Việc dự báo lũ trên các sông chỉ có thể thực hiện được thông qua việc sử dụng phối hợp các dữ liệu địa hình, các thông tin về sử dụng đất, lượng mưa, lượng trữ nước vv...Ngoài các công việc trên, việc thường xuyên phân tích tình trạng thủy văn là quan trọng đối với các hoạt động nông nghiệp như quản lý thủy lợi và cho các công ty thủy điện trong việc đánh giá sản lượng điện. Các dịch vụ cung cấp các tham số thủy học được chiết xuất từ các dữ liệu radar độ mở tổng hợp và việc phát triển các mô hình dự báo lũ lụt dựa trên các dữ liệu viễn thám và DEM cũng có thể được triển khai. Ví dụ về các tham số này là các dòng chảy và độ dốc có thể được dùng như là đầu vào cho mô hình nước tràn để dự đoán và dự báo lũ. Các công ty bảo hiểm rất quan tâm đến các dữ liệu DEM đã được xử lý để đánh giá mức độ bảo hiểm.

Tham chiếu địa lý các dữ liệu viễn thám và các ứng dụng trong đo đạc bản đồ

Nhiều ứng dụng đòi hỏi phải có sự kết hợp sử dụng ảnh của các máy chụp khác nhau, tại các thời điểm khác nhau, có độ phân giải khác nhau. Để phục vụ các mục đích này các dữ liệu viễn thám cần phải được tham chiếu địa lý, có nghĩa là từng pixel (phần tử) trên ảnh phải được chuyển về các tọa độ địa lý tuyệt đối. Nếu việc tham chiếu địa lý không được thực hiện hoặc được thực hiện không tốt thì sẽ ảnh hưởng đến độ chính xác của các kết quả giải đoán, phân tích, thậm chí dẫn đến các kết quả phân tích sai. Các nhà cung cấp ảnh vệ tinh thường thực hiện các công việc nắn chỉnh này.

Công tác tham chiếu địa lý các dữ liệu viễn thám thường được các cơ quan chuyên môn về đo đạc, bản đồ thực hiện. Chẳng hạn như việc thành lập bình đồ ảnh trực giao phục vụ thành lập và hiện chỉnh các thể loại bản đồ. Theo Weibel and Heller [67] thì trong bức tranh toàn cảnh về các ứng dụng của DEM, các ứng dụng trong đo đạc bản đồ là trong một lĩnh vực tương đối hẹp, tuy mang tính chuyên ngành cao. Các ưu tiên tập trung vào các việc như xây dựng DEM có chất lượng cao, đánh giá độ chính xác và tạo các đường bình độ với độ chính xác và chất lượng cao cho các bản đồ địa

hình. Ít có các yêu cầu, đòi hỏi về các chức năng phân tích DEM trong đo đạc bản đồ. Các ứng dụng chủ yếu của DEM trong đo đạc bản đồ là: Thành lập DEM, đánh giá chất lượng DEM, hiện chỉnh địa hình, thành lập bình đồ ảnh trực giao và thành lập bản đồ địa hình.

3.1.3 Các ứng dụng công nghiệp

DEM được sử dụng trong các ứng dụng công nghiệp để phát triển các sản phẩm công nghệ định hướng thị trường, cải tiến chất lượng dịch vụ và tăng hiệu quả kinh tế của sản xuất. DEM thường được sử dụng trong thông tin viễn thông, điện tử hàng không, khai thác mỏ, khảo sát thăm dò khoáng sản, du lịch và xây dựng dân dụng.

Thông tin viễn thông

Thông tin viễn thông bao gồm việc sản xuất chế tạo, các nhà cung cấp dịch vụ không dây và công việc vận hành. Khoảng 60% của tất cả các DEM bán được tại châu Âu là cho ngành công nghiệp này. Thông thường các DEM có độ phân giải mặt bằng 100 m được sử dụng để thiết kế vĩ mô mạng lưới thông tin viễn thông, trong khi dữ liệu DEM với độ phân giải mặt bằng từ 5 đến 10 mét được sử dụng trong các thiết kế chi tiết. Các công cụ được phát triển để mô hình hoá mạng lưới các máy thu phát và trợ giúp trong việc ra quyết định chọn vị trí đặt các tháp sóng radio. Các công cụ này phụ thuộc nhiều vào việc có các DEM mới nhất và các thông tin về sử dụng đất tại khu vực. DEM cần có trong việc chọn các vị trí tối ưu để xây dựng trạm thu phát, đảm bảo việc truyền phát sóng được thực hiện thuận tiện nhất.

Điện tử hàng không

Bằng cách kết hợp các dữ liệu sử dụng đất và các thông tin về độ cao địa hình với cơ sở dữ liệu của sân bay, các công ty phần mềm có thể cung cấp cho các sân bay công cụ để thiết lập một hệ thống phòng tránh các va chạm hàng không, cảnh báo tiếp cận sân bay và quản lý các chuyến bay. Việc bay mô phỏng dùng trong việc huấn luyện phi công cũng sẽ có tính hiện thực hơn nếu có các thông tin về DEM làm nền địa hình cùng với hệ thống định vị GPS thời gian thực đặt trên máy bay. Chất lượng của công tác an toàn bay cũng được nâng cao hơn.

Công nghiệp mỏ và dầu khí

Các chuyên gia thăm dò rất có kinh nghiệm trong việc sử dụng các dữ liệu viễn thám và DEM. Bằng cách phân tích các dữ liệu viễn thám họ xác định được các vùng có khả năng có mỏ khoáng sản. Ngoài công tác thăm dò, DEM còn được dùng trong

việc giám sát các hậu quả của việc khai thác, ví dụ các vấn đề sụt lún tại khu vực khai thác mỏ.

Công tác thăm dò nguồn nước và nước khoáng

Sự thành công của công tác thăm dò nguồn nước và nước khoáng thường phụ thuộc vào cơ hội có được một sự đánh giá tổng quát của nhiều nguồn thông tin. Công tác thăm dò địa vật lý và địa chất phải được thực hiện theo nhiều bước bằng cách gia tăng mức độ và tần số lập bản đồ cũng như các công việc khảo sát, thăm dò. Các dữ liệu viễn thám và DEM cung cấp các thông tin cơ bản về các cấu trúc địa chất. DEM độ phân giải cao cung cấp nhiều thông tin bổ sung quan trọng cho việc giải đoán các cấu trúc liên quan tới nước ngầm và các vùng lưu vực, chẳng hạn như các vùng suối cạn.

Công nghiệp du lịch

Với việc các máy tính cá nhân được sử dụng phổ biến tại gia đình, nhiều tiềm năng xuất hiện trong các lĩnh vực như du lịch với các bản đồ giải trí, bình đồ ảnh vệ tinh dạng số và DEM. Một ví dụ, chẳng hạn như cơ quan bản đồ của Na Uy có bán các CD-ROM, trong đó có chứa các bản đồ 2D. Các bản đồ này có thể được kết hợp với DEM trong phần mềm bay mô phỏng “fly-through” để giúp cho khách du lịch có thể bay mô phỏng bên trên bề mặt địa hình của nước này. Hơn thế nữa khách du lịch còn có thể được cung cấp thông tin một cách tương tác về các điểm du lịch. Khách du lịch có thể thực hiện việc quan sát 3 chiều hay bay mô phỏng để tìm hiểu cảnh quan thiên nhiên của một vùng nào đó. Họ cũng được cung cấp các thông tin về cơ sở hạ tầng, khách sạn, các hoạt động giải trí, giờ mở cửa của các nhà hàng và nhiều hơn nữa [61].

3.1.4 Các ứng dụng tác nghiệp phục vụ quản lý

Các ứng dụng tác nghiệp phục vụ quản lý là các ứng dụng trong đó DEM được sử dụng để cải tiến các công việc quy hoạch và quản lý tài nguyên thiên nhiên như: quy hoạch vùng, quản lý rừng, bảo tồn độ màu mỡ của đất đai, bảo vệ môi trường, giảm thiểu các nguy cơ môi trường. Ngoài ra còn có các tác nghiệp phục vụ quản lý trong an ninh, quốc phòng, các vấn đề về bảo hiểm, dịch vụ y tế.

Sự đa dạng của các ứng dụng trong lĩnh vực này đòi hỏi phải có nhiều chức năng xử lý khác nhau: Các công cụ mạnh để giải đoán, các module hiển thị linh hoạt, các chức năng thu thập và kiểm tra dữ liệu. Hệ thống phải xử lý được các dữ liệu vector cũng như raster, các dữ liệu DEM dạng TIN cũng như dạng GRID. Một đặc tính nữa

của các ứng dụng quy hoạch và quản lý tài nguyên thiên nhiên là chúng đòi hỏi phải có các liên kết chặt chẽ giữa mô hình hoá địa hình và các chức năng phân tích GIS khác.

Hầu hết những ứng dụng này đều liên quan tới các công việc quản lý của các cấp chính quyền. Dưới đây là một số ví dụ về các ứng dụng phục vụ tác nghiệp quản lý.

Đánh giá thuỷ văn và lũ lụt

Việc mô hình hoá vùng lưu vực sông cần có DEM với độ chính xác cao và đồng nhất. Chỉ với việc kết hợp các dữ liệu địa hình chính xác, các thông tin tại các điểm nút (các mặt cắt ngang, mặt cắt dọc), dữ liệu về lượng mưa, lượng nước bị giữ lại và sức chứa của lưu vực mới có thể có được các kết luận chính xác về khoảng thời gian và phạm vi ngập lụt gây ra bởi hệ thống sông ngòi. Bên cạnh các tình huống đặc biệt trên, việc theo dõi liên tục các hiện tượng thuỷ văn là cần thiết trong sản xuất nông nghiệp, ví dụ như giúp cho việc ra quyết định về các nhu cầu tưới tiêu, thuỷ lợi.

Trong những năm gần đây một số nước đã ứng dụng một giải pháp công nghệ mới, đó là công nghệ đo laser đặt trên máy bay LIDAR (Light Detection And Ranging) để thành lập DEM với độ chính xác rất cao (15 - 20 cm), phục vụ cho nhiều ứng dụng, trong đó có các ứng dụng liên quan tới công tác phòng chống lũ lụt. Chẳng hạn như Cơ quan quản lý tình trạng khẩn cấp Liên bang (Mỹ) - FEMA, đã sử dụng các dữ liệu đo vẽ địa hình bằng công nghệ LIDAR để phục vụ các nghiên cứu bảo hiểm lũ lụt và thành lập bản đồ đánh giá bảo hiểm lũ lụt dạng số tại một số bang như Texas, Bắc Carolina hay Louisiana [21]. Trong đó, DEM độ chính xác cao được kết hợp với các dữ liệu khác như các mặt cắt được đo bằng GPS trong một mô hình thuỷ lực để thành lập bản đồ thuỷ văn. Kết quả thu được dùng để dự đoán diện tích ngập nước. Công nghệ LIDAR cũng được áp dụng trong công tác phòng chống lũ lụt tại nhiều nước khác ở châu Âu như: Hà lan, Đức, Anh, Ailen, Bỉ, Pháp vv...

Quản lý thiên tai (phòng ngừa, giảm nhẹ và đánh giá tác hại)

Công tác quản lý thiên tai thường gặp nhiều cản trở do thiếu thông tin, các thông tin sai hoặc không chính xác về tình trạng hiện trường nơi xảy ra thiên tai. Bắt buộc phải có các dữ liệu chính xác và cập nhật để đánh giá các nguy cơ (chẳng hạn gây ra bởi lũ lụt), trong việc triển khai công tác cứu trợ sao cho có hiệu quả (ví dụ chọn các vị trí để thả lương thực và các đồ dùng thiết yếu cho các nạn nhân) và trong việc đánh giá thiệt hại và các biến động.

Đa dạng sinh học

Trong [51] có đưa ra một ví dụ về quản lý đa dạng sinh học của chính phủ Costa Rica, với mục tiêu lập một catalô về hệ thực vật và hệ động vật của nước này. Vì khối lượng thông tin rất lớn nên họ đã chia nhỏ dự án này theo mảnh bản đồ tỷ lệ 1: 50 000. Dữ liệu của dự án có được từ hai nguồn: bản đồ ảnh và tập catalô các loài động, thực vật. Các thông tin về từng loài được lưu trữ trong một cơ sở dữ liệu quan hệ. Thông tin này bao gồm các loài, vị trí và độ cao mà từng loài cư trú. Một DEM được thành lập từ các thông tin của bản đồ nền để trợ giúp cho việc phân tích đa dạng sinh học trên toàn quốc. DEM có thể được sử dụng cùng với cơ sở dữ liệu quan hệ để dự đoán các đai độ cao mà từng loài động, thực vật cư trú. Một số loài ưa sống ở những nơi có độ cao lớn, số khác lại chọn nơi có độ cao nhỏ. Một số loài động, thực vật ưa sống ở các vùng có độ dốc lớn, trong khi các loài khác lại chọn nơi cư trú là các khu vực bằng phẳng. Do đó việc phân tích đồng thời độ cao, độ dốc và hướng dốc dựa trên DEM cho phép nắm bắt được các điều kiện địa hình của đa dạng sinh học. Gần đây cũng đã có thêm các nghiên cứu, ứng dụng DEM trong việc đánh giá các loài thực vật. Jelaska [27] đã tiến hành đánh giá sự tồn tại của các loài thực vật dựa trên các tham số được tính toán từ DEM như độ cao, độ dốc, hướng dốc và tiềm năng tích tụ dòng chảy.

Quy hoạch và quản lý rừng

Trong những năm gần đây vấn đề quản lý bền vững tài nguyên thiên nhiên như rừng ngày càng được quan tâm chú ý nhiều hơn. Các công cụ kỹ thuật đã được phát triển để xây dựng các kế hoạch nhằm quản lý bền vững rừng trong một khoảng thời gian dài. Bằng cách đưa dữ liệu DEM vào, nhiều tiêu chí khác nhau liên quan tới địa hình của vùng rừng có thể được xem xét tới trong quá trình quy hoạch. Ví dụ như việc tính độ dốc và ảnh hưởng của nó tới quá trình xói mòn do việc chặt phá rừng trên các triền đồi, triền núi gây ra; hay như việc tính toán hướng phơi và ảnh hưởng của sự hấp thụ bức xạ mặt trời lên quá trình sinh trưởng của cây; hoặc tính toán độ cong của bề mặt và mối liên quan của nó với các điều kiện về độ ẩm. Ngoài ra, các nhà sinh thái học và các nhà quản lý động vật hoang dã có thể sử dụng các dữ liệu DEM kết hợp với các dữ liệu khác như mật độ, độ cao cây hay độ phủ của tán cây để lập mô hình quản lý môi trường sống và các tài nguyên thiên nhiên liên quan.

Thiết kế đê chắn sóng

Đê chắn sóng đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ các hải cảng khỏi các hư hại do sóng lớn đại dương gây ra, chẳng hạn như dọc theo vùng bờ biển của Na Uy [61]. Chọn được một vị trí chính xác để xây dựng đê chắn sóng là một việc quan trọng

vì nó giúp đạt được hiệu quả bảo vệ tối đa các hải cảng khỏi các ảnh hưởng của sóng, gió. Hướng và cấp sóng đại dương tại các vùng biển nông chịu ảnh hưởng mạnh của địa hình đáy biển và cấu trúc hình thái của đường bờ biển. Do đó, DEM của địa hình đáy biển và vùng ven bờ có thể được dùng để tạo ra các mô hình mô phỏng hiện thực trên máy tính, từ đó giúp chọn được vị trí tối ưu để xây dựng đê chắn sóng.

Dự đoán các chuyển động của đất đá và các nguy cơ khác

Đá rơi, đất sụt lở và tuyết lở kéo theo những thiệt hại lớn vì nó huỷ hoại các cơ sở hạ tầng, nhà cửa và trong nhiều trường hợp còn cướp đi mạng sống của con người. Một nhiệm vụ quan trọng đối với cộng đồng là dự đoán và phòng ngừa các nguy cơ này. DEM kết hợp với các thông tin về địa chất, thực phủ và thổ nhưỡng là những đầu mối quan trọng để phát hiện ra các vùng có nguy cơ cao và từ đó có các biện pháp phòng ngừa thích hợp ở những nơi cần thiết. Các thông tin này còn được các công ty bảo hiểm quan tâm để xác định các vùng có nguy cơ cao để thu phí bảo hiểm nhiều hơn.

3.1.5 Các ứng dụng trong quân sự

Các ứng dụng quân sự phối hợp các khía cạnh khác nhau của nhiều lĩnh vực ứng dụng. Địa hình là một trong số các thành phần hợp thành quan trọng trong tác chiến ở cấp địa phương và cấp vùng. Các cơ quan trong quân đội ở nhiều nước cũng là các nhà sản xuất DEM chính, do đó tập trung nhiều nỗ lực cho việc thu thập dữ liệu địa hình. Trong quân sự, các ứng dụng của DEM bao gồm: xây dựng mô hình thực địa phục vụ tác chiến, phân tích địa hình cho các hoạt động của chiến trường như: phân tích tầm nhìn và khả năng cơ động của các trang thiết bị cơ giới. Các ứng dụng tiêu biểu khác của DEM trong quân sự là phục vụ dẫn đường cho tên lửa và thiết kế mạng thông tin liên lạc. Các ứng dụng trong quân sự cũng đòi hỏi phải có các chức năng hiển thị mạnh như các công cụ hiển thị hình ảnh động trong các mô hình mô phỏng tác chiến.

3.2. Ứng dụng của mô hình số độ cao ở Việt Nam

Tại Việt Nam, với sự phát triển của công nghệ GIS, có rất nhiều ứng dụng khác nhau cần thiết phải sử dụng DEM. Các loại ứng dụng này đặc biệt tập trung cho các ứng dụng về dự báo thiên tai, quy hoạch và đánh giá trắc lượng hình thái địa hình. Các cơ quan thường sử dụng DEM có thể phân làm các nhóm sau:

- Các cơ quan nghiên cứu thuộc các Bộ và các Trung tâm, Trường đại học;
- Các cơ quan quản lý, sản xuất của các Bộ;
- Các dự án trong nước và các dự án Quốc tế;

- Một số công ty tư nhân, tuy nhiên nhóm này không thực sự phát triển mạnh.

3.2.1 Cơ quan nghiên cứu thuộc các Bộ và các Trung tâm, các trường đại học

1. Bộ Khoa học Công nghệ và Môi trường - Bộ KHCHNT (nay là Bộ Khoa học và Công nghệ - Bộ KHCHN)

Dự án GIS về quản lý tài nguyên thiên nhiên và giám sát môi trường:

Từ năm 1995 đến năm 1998, Bộ KHCHNT đã thực hiện dự án xây dựng “Hệ thống thông tin địa lý phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên và giám sát bảo vệ môi trường”. Đây là một dự án quy mô lớn đầu tiên ở nước ta về xây dựng một cơ sở dữ liệu (CSDL) không gian. Kết quả của dự án là đã xây dựng được một hệ thống các CSDL GIS về điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội của nước ta, cho 2 cấp: cấp toàn quốc có 7 CSDL của 7 ngành; và 40 CSDL của 40 tỉnh. Tuy các CSDL này được xây dựng chi tiết, phần lớn đều dựa trên bản đồ địa hình tỷ lệ 1:50 000, nhưng không một tỉnh nào xây dựng DEM. Trong khi đó, dự án có xây dựng DEM cho toàn quốc, dựa trên CSDL số địa hình tỷ lệ 1: 100 000. DEM kết quả được lưu trữ theo dạng lưới (Grid). DEM được xây dựng như một sản phẩm của Dự án, tuy nhiên nó cũng không được ứng dụng vào một hoạt động cụ thể nào, mà chỉ được sử dụng như là một sản phẩm trình diễn.

2. Bộ Tài nguyên và Môi trường

Viện Nghiên cứu Địa chính

Viện Nghiên cứu Địa chính đã có các nghiên cứu, thử nghiệm và áp dụng DEM một cách thường xuyên trong các công tác thành lập bản đồ địa hình và bản đồ địa chính bằng công nghệ đo vẽ ảnh số. Viện cũng đã xây dựng các quy định kỹ thuật trong việc xây dựng DEM phục vụ nắn ảnh trực giao và thành lập bản đồ, đồng thời đề xuất coi DEM là một sản phẩm độc lập. Ngoài ra Viện cũng đã sử dụng DEM để tính số cải chính địa hình trong mô hình Geoid.

3. Trung tâm Khoa học Tự nhiên và Công nghệ Quốc gia

Viện Địa lý

Viện Địa lý đã có các nghiên cứu và áp dụng DEM từ rất sớm nhằm áp dụng trong các bài toán phân tích, đánh giá điều kiện tự nhiên của các vùng lãnh thổ. Các DEM này chủ yếu được xây dựng bằng các phần mềm SURFER, PCI. Hiện nay Phòng Nghiên cứu và Xử lý thông tin Môi trường đã xây dựng trên quy mô toàn quốc DEM từ bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 1 000 000. Mô hình số độ cao này, với khoảng cách giữa các điểm mắt lưới 250 m, được sử dụng trong việc đánh giá tiềm năng xói mòn, hỗ trợ phân loại lớp phủ bằng tư liệu viễn thám độ phân giải trung bình, là một hợp phần

trong các mô hình đánh giá điều kiện tự nhiên và môi trường. Ngoài ra, các DEM thành lập từ các bản đồ tỷ lệ lớn hơn, có độ phân giải 30 m, được xây dựng cho một số khu vực như: Huế, Tánh Linh, Bình Thuận, Thành phố Hạ Long và vùng phụ cận. Các DEM này được sử dụng cho các mục đích quy hoạch môi trường và sử dụng lãnh thổ.

4. Đại học Quốc gia Hà Nội

Trung tâm Tài nguyên và Môi trường (CRES): Trung tâm đã nghiên cứu xây dựng và ứng dụng DEM bằng phần mềm ArcInfo. DEM được xây dựng cùng với việc xây dựng các CSDL GIS để đáp ứng các bài toán về quản lý tài nguyên thiên nhiên.

3.2.2 Các cơ quan quản lý, sản xuất của các Bộ

1. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn

Viện Điều tra quy hoạch rừng

Viện Điều tra quy hoạch rừng là một cơ quan đã nghiên cứu và ứng dụng DEM từ rất sớm. DEM đã được Viện ứng dụng trong các hoạt động nghiên cứu, điều tra về tài nguyên rừng của mình. Phương pháp xây dựng DEM chủ yếu là số hóa bản đồ địa hình, sau đó dựa trên các đường bình độ đã số hóa để nội suy DEM, hầu hết bằng phần mềm Ilwis. Các cán bộ kỹ thuật của Viện có nhiều kinh nghiệm trong việc xây dựng DEM. Gần đây, Viện đã ứng dụng DEM trong một số bài toán phân tích không gian phục vụ quản lý và phát triển rừng. Tư liệu được dùng để xây dựng các DEM là số hoá các đường bình độ trên bản đồ địa hình UTM tỷ lệ 1:100.000 và 1:50.000

Trung tâm Liên ngành Viễn thám và GIS

Trung tâm đã xây dựng DEM và ứng dụng rất nhiều trong giải quyết các bài toán về tài nguyên thiên nhiên và môi trường. Phương pháp xây dựng DEM chủ yếu ở đây là sử dụng phần mềm Ilwis.

Viện Quy hoạch và Thiết kế nông nghiệp

Trong Viện Quy hoạch và Thiết kế nông nghiệp có Trung tâm Thông tin và GIS là đơn vị chuyên về các ứng dụng GIS và Viễn thám. Đơn vị đã xây dựng và áp dụng DEM trong một số bài toán phân tích, như phân tích đánh giá sự thích hợp của điều kiện đất đai đối với cây trồng, quy hoạch sử dụng đất, đánh giá hiện trạng sử dụng đất, canh tác của một số vùng đất, lưu vực sông. DEM đã được xây dựng và áp dụng trong dự án sử dụng bền vững đất huyện Lũng Cú, tỉnh Lạng Sơn; trong bài toán đánh giá sử dụng đất của lưu vực sông Srêpok. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu, quy hoạch của Viện là các vùng đất đồng bằng châu thổ, địa hình bằng phẳng, nên việc nghiên cứu, ứng dụng rộng rãi DEM chưa được đặt ra thật cấp thiết.

Viện Quy hoạch thủy lợi

Viện Quy hoạch thủy lợi có ứng dụng DEM trong một số công trình ứng dụng. Đó là các công trình khảo sát, điều tra về các lưu vực sông; các bài toán về mô hình thủy lực, mô hình dòng chảy và một số bài toán về khối lượng đào đắp. Tuy nhiên, các bài toán như vậy chỉ được sử dụng trong một số rất ít các công trình, dự án.

2. Bộ Công nghiệp

Tổng Công ty điện lực

Ứng dụng DEM trong thiết kế các tuyến đường dây điện cao thế và hạ thế, đặc biệt trong thiết kế các công trình thủy điện. Tuy nhiên, các ứng dụng như vậy chỉ mới bắt đầu được triển khai trong các dự án.

3. Bộ Tài nguyên và Môi trường

Công ty Đo đạc ảnh Địa hình

Công ty Đo đạc ảnh Địa hình thành lập DEM trong công tác đo vẽ bản đồ địa hình và bản đồ địa chính. Ngoài ra hiện nay Công ty còn đang thực hiện công trình xây dựng mô hình 3D tuyến biên giới Việt - Trung phục vụ công tác phân giới cắm mốc.

Trung tâm Viễn thám

Để phục vụ công tác hiện chỉnh bản đồ địa hình bằng ảnh vệ tinh, chủ yếu là dùng ảnh SPOT để hiện chỉnh bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 50 000, Trung tâm Viễn thám đã thành lập DEM phủ trùm từ bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 250 000, với khoảng cao đều 150 m. Ngoài ra Trung tâm còn thành lập DEM từ các bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 100 000 và 1: 50 000 theo các yêu cầu cụ thể của khách hàng. Gần đây Trung tâm Viễn thám đã tiến hành thử nghiệm thành lập DEM từ các cặp ảnh SPOT lập thể như SPOT 4 và SPOT 5 với các kết quả khả quan. Tư liệu ảnh SPOT 4 có thể dùng để thành lập DEM với độ chính xác về độ cao khoảng 7 - 8 mét. Mới đây DEM được thử nghiệm thành lập tại Trung tâm từ ảnh SPOT 5 có độ chính xác khoảng 4 - 5 mét.

Trung tâm Thông tin

Trung tâm thông tin hiện nay đang thực hiện dự án xây dựng cơ sở dữ liệu bản đồ phủ trùm. Một phần công việc của dự án này là thành lập DEM dựa trên các thông tin về độ cao trên các bản đồ địa hình dạng số. Một điểm đáng lưu ý là bộ bản đồ địa hình dạng số tỷ lệ 1: 50 000 phủ trùm toàn quốc đã được ban hành.

Cục Bảo vệ môi trường

Cục Bảo vệ môi trường chưa thực hiện việc xây dựng và áp dụng DEM trong các hoạt động của mình. Tuy nhiên, đây chính là cơ quan cần phải ứng dụng DEM trong nhiều việc xây dựng và giải quyết các vấn đề về giám sát môi trường. Rất nhiều bài toán môi trường yêu cầu phải xây dựng DEM như các bài toán về mô phỏng quá trình phát tán khí thải của các nhà máy, khu công nghiệp; mô hình lan truyền ô nhiễm trong môi trường nước; quản lý tổng hợp lưu vực sông. Đặc biệt là các bài toán quản lý các khu bảo tồn thiên nhiên. Năm 2001, Cục Môi trường, phối hợp với Trung tâm Thông tin đa dạng sinh học vùng (ARCBC) tổ chức lớp tập huấn giới thiệu việc ứng dụng xây dựng DEM, áp dụng trong quản lý các khu bảo tồn thiên nhiên.

Trung tâm Khí tượng thủy văn quốc gia

Trung tâm Khí tượng thủy văn quốc gia cũng là cơ quan có nghiên cứu và có nhiều ứng dụng DEM. Các ứng dụng này được sử dụng để áp dụng trong các bài toán mô hình khí, mô hình dòng chảy.

Cục Địa chất và Khoáng sản

Cục Địa chất khoáng sản cũng đã xây dựng DEM từ rất sớm để giải các bài toán về địa chất như bài toán về nước ngầm. Cục Địa chất khoáng sản đã áp dụng DEM trong việc xây dựng CSDL về tài nguyên nước ngầm của một số vùng lãnh thổ Việt Nam như vùng Đồng bằng sông Hồng, Đồng bằng sông Cửu long. Liên đoàn Trắc địa Địa hình phối hợp với Liên đoàn Bản đồ Địa chất Miền Bắc đã xây dựng DEM bằng công nghệ ảnh số để phục vụ công tác thành lập bản đồ trắc lượng hình thái địa hình, bản đồ phân vùng và dự báo trượt đất ở tỷ lệ 1: 25 000 [44].

4. Bộ Giao thông Vận tải (Bộ GTVT)

Các cơ quan, đơn vị trong Bộ GTVT đã xây dựng và ứng dụng DEM trong việc thiết kế đường giao thông và tính toán khối lượng đào đắp. Thời gian đầu tiên áp dụng DEM bắt đầu từ các dự án hợp tác với các đối tác nước ngoài để thực hiện các công trình giao thông. Phương pháp xây dựng DEM chủ yếu là bằng các phần mềm chuyên về thiết kế, xây dựng các công trình giao thông. Số liệu chủ yếu là do các đơn vị tự khảo sát đo đạc thực địa, vì việc thiết kế tính toán yêu cầu các bản đồ tỷ lệ lớn.

Bảng 3.2 tóm tắt các ứng dụng sử dụng DEM ở nước ta. Bảng này cho thấy để phục vụ cho nhiều mục đích, DEM thường được thành lập từ bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 50 000. Tuy nhiên có một số ứng dụng cần DEM thành lập từ các bản đồ địa hình tỷ lệ lớn hơn (1: 10 000, 1: 25 000).

Bảng 3.2: DEM hiện có ở Việt Nam và các ứng dụng

Tt	Ứng dụng	Khu vực	Phần mềm ứng dụng	Độ phân giải DEM	Dữ liệu gốc	Cơ quan xây dựng DEM
1	Đánh giá tiềm năng xói mòn theo mô hình DEM	Thanh Ba, Hạ hoà, Phú Thọ; Khu vực núi Ba Vì	ILWIS	20 m	Landsat TM, độ phân giải 30 m, Bản đồ địa hình 1:50.000	Trung tâm Viễn thám và Geomatics (VTGEO)
2	Thành lập bản đồ ngập lụt theo mô hình thủy lực, thủy văn	Thừa Thiên Huế, Quang Nam, Đà Nẵng	Phần mềm tự xây dựng	Vùng đồng bằng 5 m, và vùng núi 10 m	Bản đồ địa hình 25.000 và 50.000	Trung tâm Khí tượng Thủy văn quốc gia
3	Thành lập bản đồ nguy cơ ngập lụt	Nam Thanh, Hải Dương	ILWIS	20 m	Bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 50.000	VTGEO
4	Đánh giá tốc độ bồi lắng lòng hồ và cửa sông ven biển	Vườn Quốc gia Ba Bể			Bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 50.000	Viện Khoa học thủy lợi,
5	Quy hoạch sử dụng tài nguyên. Đánh giá thích nghi cây trồng	Vườn Ba Bể. Tiên Hải, Thái Bình; Hàm Tân, Bình Thuận	ILWIS	30 m	Landsat TM; bản đồ 50.000	VTGEO
6	Thành lập bản đồ trắc lượng hình thái	Sapa (Lào Cai)	PAMAP, SURFER		Ảnh hàng không	Cục Địa chất và Khoáng sản
7	Xây dựng bản đồ địa mạo	Đồng bằng Sông Hồng	ILWIS	20 m	Landsat TM; bản đồ 10.000	VTGEO
8	Đánh giá biến động khu công nghiệp	Khu công nghiệp Dung Quất	ILWIS	5 m	Bản đồ 10.000	VTGEO
9	Nắn trực chiếu ảnh radar	Hạ Hoà, Phú Thọ	PCI	15 m	RADARSAT, bản đồ 1/25 và 1:50.000	VTGEO

Một nhận xét nữa là các DEM đều được thành lập ở dạng lưới đều, với khoảng cách mắt lưới từ 5 đến 30 mét, tùy theo các ứng dụng. Ngoài ra khi tham khảo một số tài liệu trong nước, chẳng hạn [23] có thể nhận thấy trong nhiều ứng dụng DEM được thành lập từ các bản đồ địa hình đã quá cũ (một số do quân đội Mỹ thành lập từ những năm 60 của thế kỷ 20) cho nên địa hình ở một số nơi đã có thể bị thay đổi.

3.3. Nhận xét, tóm tắt chương 3

Khả năng ứng dụng của DEM nói chung và trong quản lý tài nguyên thiên nhiên nói riêng là rất to lớn.

Nhiều cơ quan thuộc các Bộ, Ngành khác nhau ở nước ta đã và đang xây dựng DEM, chủ yếu bằng phương pháp số hoá bản đồ địa hình có sẵn, trong nhiều trường hợp bản đồ đã quá cũ. Một số cơ quan, chẳng hạn như Bộ Khoa học và Công nghệ, trong khuôn khổ của dự án GIS về quản lý tài nguyên thiên nhiên và giám sát môi trường, có xây dựng DEM cho toàn quốc, dựa trên CSDL số địa hình tỷ lệ 1: 100 000. DEM kết quả được lưu trữ theo dạng lưới (Grid). DEM được xây dựng như một sản phẩm của Dự án, tuy nhiên nó cũng không được ứng dụng vào một hoạt động cụ thể nào, mà chỉ được sử dụng là một sản phẩm trình diễn. Viện Địa lý thuộc Trung tâm Khoa học Tự nhiên và Công nghệ Quốc gia đã xây dựng trên quy mô toàn quốc DEM với khoảng cách mắt lưới 250 m từ bản đồ địa hình tỷ lệ nhỏ 1: 1 000 000, để sử dụng trong việc đánh giá tiềm năng xói mòn, hỗ trợ phân loại lớp phủ bằng tư liệu viễn thám độ phân giải trung bình và là một hợp phần trong các mô hình đánh giá điều kiện tự nhiên và môi trường. Nhiều cơ quan khác cũng xây dựng DEM phục vụ cho các ứng dụng riêng của mình. Sự phối hợp giữa các cơ quan còn hạn chế. Điều này dẫn đến một thực trạng là có những cơ quan, chẳng hạn như các cơ quan làm công tác đo đạc, bản đồ thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường, thường xuyên thành lập DEM từ các dữ liệu đầu vào được cập nhật nhất (ảnh chụp mới), nhưng DEM được thành lập chủ yếu là để nắn ảnh trực giao. Trong khi đó có những cơ quan, chẳng hạn như Cục Bảo vệ Môi trường, cần phải ứng dụng DEM trong nhiều bài toán môi trường, thì lại chưa thực hiện việc xây dựng và áp dụng DEM trong các hoạt động của mình. Điều này làm hạn chế tính đa dụng của các sản phẩm DEM. Hơn nữa trong nhiều trường hợp không tránh khỏi sự trùng lặp, chồng chéo, sử dụng tư liệu bản đồ cũ, không được cập nhật vùn vụt.

Trong các ứng dụng có sử dụng DEM ở nước ta cho tới nay thì DEM được thành lập từ bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 100 000 và 1: 50 000 là phổ biến nhất.

CHƯƠNG 4: KHẢO SÁT, TÌM HIỂU CÁC PHƯƠNG PHÁP XÂY DỰNG MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO

4.1 Các nguồn dữ liệu tạo DEM

Hiện nay hầu hết DEM được tạo từ 4 nguồn dữ liệu: từ các kết quả đo đạc thực địa; từ do vẽ ảnh hàng không và ảnh vệ tinh (theo các phương pháp thủ công, bán tự động và tự động); từ các dữ liệu được số hoá trên bản đồ đã có sẵn (ví dụ như số hoá các đường bình độ và các điểm ghi chú độ cao); đặc biệt trong một vài năm trở lại đây là từ các dữ liệu đo radar độ mở tổng hợp giao thoa và laser đặt trên máy bay đang ngày càng được áp dụng nhiều hơn. Ngoài ra công nghệ đo âm thanh (siêu âm) còn được áp dụng để thành lập mô hình số độ cao cho các vùng ngập nước và bán ngập nước [67].

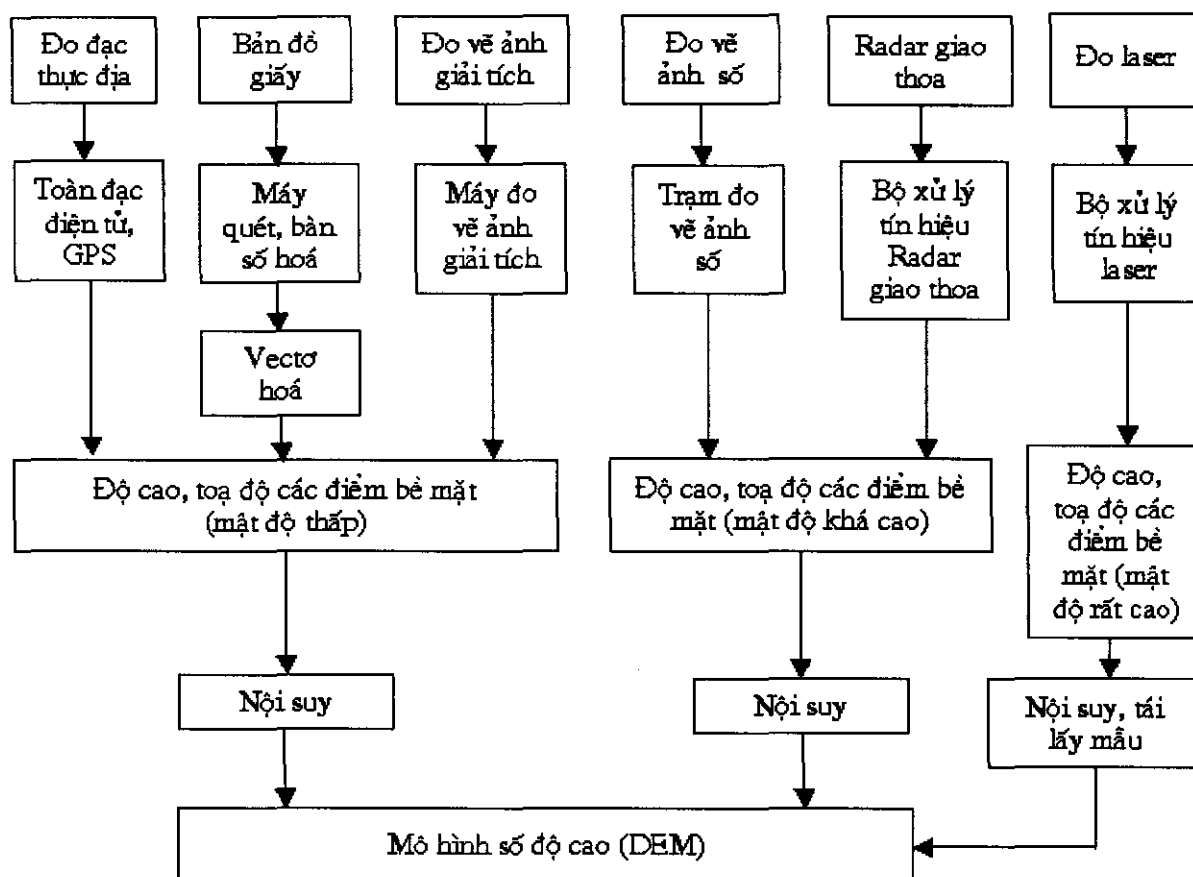
4.2. Các phương pháp xây dựng mô hình số độ cao

Hiện nay có 4 phương pháp xây dựng mô hình số độ cao: phương pháp đo đạc thực địa; phương pháp đo vẽ ảnh (đo vẽ ảnh giải tích và ảnh số, dữ liệu ảnh có thể là ảnh hàng không hay ảnh vệ tinh); phương pháp nội suy từ các đường bình độ được số hoá trên bản đồ có sẵn và phương pháp sử dụng các hệ thống viễn thám chủ động như: Radar độ mở tổng hợp giao thoa (InterFerometric Synthetic Aperture Radar - viết tắt là IFSAR) và Laser (LIght Detection And Ranging - viết tắt là LIDAR). Các phương pháp này khác nhau ở nguồn dữ liệu đầu vào, thiết bị máy móc sử dụng, giá thành, độ chính xác, phạm vi và khả năng áp dụng vv... Tuy nhiên theo [3] dù việc thành lập mô hình số độ cao tiến hành theo phương pháp nào đi nữa thì cũng đều bao gồm hai phần: thu thập các trị đo và tạo DEM từ các trị đo thông qua tính toán nội suy (mục 2.4). Hai phần này tuy thường được thực hiện một cách riêng biệt nhưng có mối liên hệ qua lại mật thiết với nhau. Phần thu thập các trị đo còn gọi là quá trình lấy mẫu tạo DEM.

4.2.1. Phương pháp đo đạc thực địa

Trong phương pháp này, để đo toạ độ và độ cao của các điểm địa hình có thể sử dụng các máy kinh vĩ toàn đạc phổ thông hoặc toàn đạc điện tử. Ngoài ra cũng có thể sử dụng các máy thu GPS để xác định toạ độ và độ cao các điểm địa hình (Hình 4.1). Người đo đạc thường hay chọn đo các điểm đặc trưng của địa hình. Độ chính xác của DEM tạo thành rất cao. Tuy nhiên, vì phương pháp này rất mất thời gian và thường đòi hỏi chi phí cao nên phạm vi áp dụng chỉ giới hạn trong các vùng nhỏ hoặc có địa hình đặc biệt phức tạp mà yêu cầu về độ chính xác lại cao. Do đó phương pháp đo đạc thực

địa thường được áp dụng trong các dự án riêng chẳng hạn như để phục vụ quy hoạch xây dựng tại một khu vực nhỏ hoặc được dùng để bổ sung cho phương pháp đo vẽ ảnh (ví dụ như đo toạ độ và độ cao các điểm mặt đất tại các vùng có thực phủ lớn, vùng bị che khuất, đô thị). Theo đánh giá của GS-TSKH Trương Anh Kiệt [31] thì phương pháp này có độ chính xác cao, nhưng tốn kém và hiệu quả kinh tế thấp.



Hình 4.1: Các phương pháp thành lập mô hình số độ cao (DEM)

Độ chính xác của các trị đo điểm độ cao trong phương pháp này chủ yếu được quyết định bởi phương pháp, quy trình đo, máy móc sử dụng và có thể đạt tới cỡ vài cm. Thông thường khi đo đạc ngoài thực địa người ta thường bố trí đo vào các điểm đặc trưng địa hình, tuy nhiên vì lý do kinh tế mà mật độ của các điểm đo thường thấp hơn các phương pháp khác (xem hình 4.1).

4.2.2 Phương pháp số hoá bản đồ địa hình

Các dữ liệu của bản đồ địa hình hiện có cũng có thể được sử dụng để xây dựng mô hình số độ cao vì sự phân bố về độ cao của địa hình thường được mô tả bởi các đường bình độ. Các đường bình độ sau khi đã được số hoá (vector hoá) có thể được dùng để nội suy độ cao. Có nhiều thuật toán nội suy DEM từ các đường bình độ [15, 54, 67]. Trong trường hợp này dữ liệu đầu vào để thành lập DEM chủ yếu là các đường

bình độ đã được số hoá từ bản đồ địa hình. Dữ liệu bản đồ gốc ở dạng tương tự (bản đồ giấy) có thể được chuyển sang dạng số (số hoá) một cách thủ công, bán tự động hoặc tự động sử dụng các thiết bị như bàn số hoá và máy quét bản đồ (Hình 4.1).

Khi thiết bị sử dụng là bàn số hoá thì công việc số hoá được thực hiện thủ công. Các đối tượng cần số hoá (vector hoá) ngoài các đường bình độ còn có các đặc trưng của địa hình. Độ chính xác của các thao tác trên bàn số hoá phụ thuộc vào tính cách, kinh nghiệm, kỹ năng và trạng thái tinh thần của người thao tác. Do đó, độ chính xác có thể không ổn định. Khâu kiểm tra độ chính xác kết quả số hoá cũng khó khăn. Thêm vào đó, các yếu tố như nhiệt độ và độ ẩm của phòng làm việc có ảnh hưởng tới độ biến dạng của bản đồ giấy. Các toạ độ tham chiếu (reference coordinates) cũng có thể bị thay đổi (do bản đồ giấy bị xê dịch trong quá trình số hoá). Ngoài ra phương thức này cần nhiều thời gian để số hoá, năng suất lao động thấp.

Khi thiết bị sử dụng là máy quét bản đồ (Mapscanner) thì trước hết dữ liệu bản đồ được chuyển sang dạng ảnh số (raster hoá) thông qua công đoạn quét hình ảnh. Sau đó bản đồ được nắn và vector hoá trên màn hình máy tính các đối tượng tương tự như trong trường hợp sử dụng bàn số hoá. Tuy nhiên, phương pháp số hoá trên màn hình máy tính có ưu điểm hơn so với số hoá sử dụng bàn số hoá, đó là dữ liệu gốc không bị thay đổi trong suốt quá trình số hoá. Công đoạn vector hoá có thể được thực hiện theo các phương pháp tự động và bán tự động.

Phương pháp vector hoá tự động cho độ chính xác và năng suất cao. Song phương pháp này đòi hỏi phải có thiết bị quét có độ phân giải cao, ảnh quét phải sạch, rõ ràng, điều này phụ thuộc nhiều vào chất lượng tài liệu số hoá và kinh nghiệm quét. Thông thường phải làm sạch hình ảnh trước khi số hoá.

Phương pháp vector hoá bán tự động cũng cho độ chính xác và năng suất khá cao. Đặc biệt là động tác số hoá đơn giản hơn và khâu kiểm tra trên máy tính cũng thuận tiện hơn phương pháp dùng bàn số hoá.

Sau khi các đối tượng như đường bình độ và các đặc trưng địa hình được chuyển sang dạng vector thì chúng có thể được tham gia vào xây dựng DEM. Các đường bình độ phải được gộp (complex), sau đó được gán độ cao trước khi được đưa vào tạo DEM. Các đặc trưng địa hình bao gồm các điểm ghi chú độ cao, các đường tụ thủy, sông núi, các đường breaklines nếu thấy có thể lấy được các giá trị độ cao của một số điểm thuộc chúng đều nên được đưa vào tham gia xây dựng DEM. Lý do chủ yếu là các dữ liệu của các đường bình độ thường không giúp tạo được DEM có chất lượng cao, trừ phi

được bổ sung thêm các điểm đặc trưng địa hình và các đường breaklines [3, 17, 34]. Vấn đề này sẽ được thảo luận kỹ lưỡng, với các thí dụ minh hoạ trong mục 6.2.3 của chương 6. Nếu có sẵn bản đồ dưới dạng số thì có thể nhập lớp đường bình độ, kết hợp với các yếu tố đặc trưng của địa hình và các điểm ghi chú độ cao là đã có thể nội suy được DEM.

Nếu so sánh với các phương pháp như đo đạc thực địa hay đo vẽ ảnh thì phương pháp số hoá bản đồ địa hình ít tốn kém hơn, nhất là đối với các dự án, công trình lớn. Điều này đặc biệt đúng trong các cơ quan đo đạc bản đồ quốc gia và quân đội [9, 54, 67]. Nhiều nước đã thành lập mô hình số độ cao phủ trùm toàn quốc bằng phương pháp này. Lý do là mặc dầu độ chính xác của phương pháp này thấp hơn độ chính xác của các phương pháp đo đạc thực địa và đo vẽ ảnh lập thể nhưng cũng đủ để có thể được chấp nhận và áp dụng trong nhiều ứng dụng liên quan đến việc phân tích địa hình trên các vùng lớn [29].

Mặc dù được sử dụng rộng rãi để làm cơ sở cho DEM, các dữ liệu của đường bình độ bộc lộ một số vấn đề. Một số lượng lớn quá mức các điểm được lấy mẫu dọc theo các đường bình độ (lấy mẫu thừa - oversampling), trong khi giữa các đường bình độ lại hầu như không có mẫu nào được lấy (lấy mẫu thiếu - undersampling). Do đó các chỗ địa hình mập mờ và có độ dốc thay đổi nhưng lại nằm giữa các đường bình độ thì thường bị bỏ qua, không miêu tả được. Hơn nữa các sai số có thể được đưa thêm vào trong các công đoạn như làm tròn, tổng hợp hoá vv... và có nhiều thông tin gốc bị mất trong quá trình thành lập bản đồ, chủ yếu do việc lấy, bỏ, chọn lọc, thể hiện và tổng hợp hoá trên bản đồ. Các đường bình độ thường là sản phẩm nội suy và do đó chất lượng của DEM thành lập từ các đường bình độ thường kém hơn từ đo vẽ ảnh hay đo đạc thực địa. Như vậy chất lượng của DEM không thể trội hơn chất lượng của bản đồ mà các đường bình độ của nó được dùng để tạo DEM. Tuy nhiên để có thể thành lập DEM phủ trùm một vùng rộng lớn với tốc độ nhanh và với giá thành thấp thì phương pháp số hoá bản đồ địa hình hiện có là một giải pháp hữu hiệu để có được DEM cho các ứng dụng ở các tỷ lệ vừa hoặc nhỏ.

Độ chính xác của DEM thành lập bằng phương pháp số hoá bản đồ địa hình hay nội suy từ các đường bình độ có sẵn ở dạng số thường là 1/3 khoảng cao đều [17, 40, 65]. Tuy nhiên nếu như độ chính xác của các đường bình độ gốc không đảm bảo theo yêu cầu của các quy phạm thành lập bản đồ (thường là 1/3 khoảng cao đều) hay có sự biến dạng lớn trên bản đồ giấy dùng để số hoá thì độ chính xác của DEM có thể giảm

xuống còn 1/2 khoảng cao đều [17]. Theo các tiêu chuẩn về độ chính xác của DEM được nêu trong [65] thì các DEM mức 2 có độ chính xác là 1/2 khoảng cao đều (sai số trung phương bằng 1/2 khoảng cao đều, sai số giới hạn là 1 khoảng cao đều), còn các DEM mức 3 có độ chính xác là 1/3 khoảng cao đều (sai số trung phương bằng 1/3 khoảng cao đều, sai số giới hạn là 2/3 khoảng cao đều). Lưu ý rằng để thành lập DEM mức 3 (với độ chính xác 1/3 khoảng cao đều) thì ngoài các thông tin về đường bình độ và các điểm ghi chú độ cao còn phải sử dụng thêm nhiều thông tin về thủy hệ như sông, suối, hồ, đường bờ ... Vấn đề này sẽ được thảo luận kỹ dựa trên kết quả thực nghiệm trong các phần 6.2 và 6.3 của chương 6.

4.2.3. Phương pháp đo vẽ ảnh

4.2.3.1. Giới thiệu chung

Đo vẽ ảnh là một phương pháp thông dụng để thành lập DEM và có thể được thực hiện theo nhiều quy trình khác nhau. Việc đo điểm DEM có thể được thực hiện một cách thủ công, bán tự động hay tự động. Theo cách đo thủ công trên các máy đo vẽ tương tự có gắn bộ chuyển đổi tương tự sang số hay trên các máy đo vẽ giải tích, người thao tác có thể đo từng điểm DEM trên các mô hình lập thể bằng cách đặt các tiêu đo lên bề mặt đất hay số hoá 3D các đối tượng đặc trưng địa hình.

Trên các trạm đo vẽ ảnh số DEM có thể được đo thủ công, bán tự động hay tự động. Việc đo DEM thủ công trên các trạm đo vẽ ảnh số tương tự như trên các máy đo vẽ giải tích. Nếu đo theo chế độ tự động thì các điểm DEM được đo nhờ kỹ thuật tự động tìm các điểm cùng tên trên các ảnh phủ nhau, kỹ thuật này được gọi là *kỹ thuật khớp ảnh*. Cả hai cách đo thủ công và tự động nêu trên đều có những điểm mạnh và điểm yếu nhất định. Cách đo thủ công truyền thống cho kết quả có độ chính xác và độ tin cậy cao nhưng chậm và hiệu quả kinh tế không cao, đặc biệt với các vùng đo vẽ lớn. Cách đo tự động thường nhanh và rẻ nhưng lại thường cho các kết quả sai tại các vùng có địa hình phức tạp, chẳng hạn vùng đô thị, vùng rừng, hay các vùng ít địa vật, chẳng hạn các bãi cỏ rộng, bãi cát lớn, mặt nước lớn. Thực tế đã cho thấy độ chính xác và độ tin cậy của khớp ảnh tự động thấp hơn nhiều so với đo thủ công. Theo [17, 19] có nhiều dấu hiệu cho thấy khớp ảnh tự động thường có các sai số hệ thống, cụ thể là các điểm độ cao được khớp tự động thường nằm cao hơn bề mặt mặt đất. Gruen [19] cho rằng đây là một hiệu ứng được nhiều người biết đến trong các phép khớp ảnh tự động, đặc biệt là khớp ảnh theo vùng (area-based matching) khi địa hình có độ dốc lớn và có nhiều đối tượng nằm cao hơn bề mặt mặt đất. Do đó sau khi được đo tự động, DEM hầu

như luôn luôn phải được chỉnh sửa thủ công. Trong một số hệ thống đo vẽ ảnh số, người thao tác có thể tiến hành việc khoanh trước các vùng mà tại đó khớp ảnh tự động không cho kết quả chính xác. Phần mềm khớp ảnh sẽ bỏ qua các vùng này cho người thao tác tự đo thủ công. Một vài hệ thống đo vẽ ảnh số còn cung cấp nhiều công cụ chỉnh sửa, các công cụ này lại thường được chia làm 3 nhóm: chỉnh sửa theo điểm, chỉnh sửa theo đường và chỉnh sửa theo vùng. Khi các công cụ này được dùng một cách hợp lý sẽ đảm bảo giảm thiểu và loại bỏ bớt các sai số trong DEM.

Trên hình 4.1 phương pháp thành lập DEM bằng đo vẽ giải tích được tách biệt so với đo vẽ ảnh số với lý do là trong đo vẽ giải tích mật độ các điểm đo thường thấp và người thao tác thường phải chọn đo vào các yếu tố đặc trưng địa hình, với số lượng điểm đo được giữ ở mức tối thiểu, nhằm đảm bảo tính kinh tế và năng suất của công việc. Trong đo vẽ ảnh số thì với khả năng đo tự động hay bán tự động, mật độ các điểm đo có thể tăng lên nhiều. Đó chính là điểm khác nhau cơ bản giữa đo vẽ ảnh giải tích và đo vẽ ảnh số trong công tác thành lập DEM. Còn về cơ bản thì phương pháp đo vẽ giải tích và đo vẽ ảnh số là giống nhau do chúng đều được dựa trên cùng một nền tảng hình học và nguyên lý chung, các mô hình toán học cũng giống nhau

Độ chính xác của DEM thành lập theo phương pháp đo vẽ ảnh phụ thuộc vào tỷ lệ và độ phân giải của ảnh, độ cao bay chụp, tỷ số giữa đường đáy và độ cao bay chụp, độ chính xác của các máy đo vẽ, độ chính xác tầng dày khối ảnh, độ chính xác và mức độ chi tiết của các yếu tố đặc trưng địa hình, mật độ và phân bố của các điểm được lấy mẫu.

4.2.3.2. Các phương thức lấy số liệu (lấy mẫu) cho DEM trong phương pháp đo vẽ ảnh

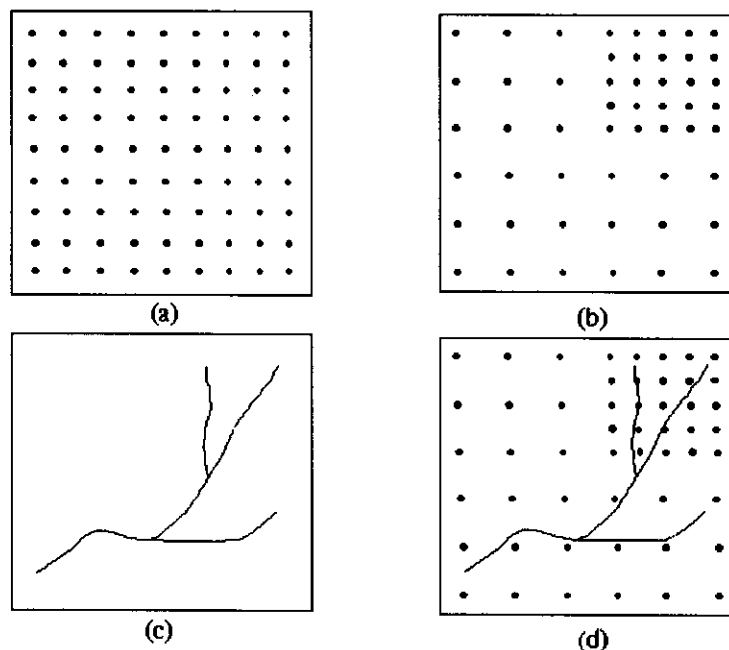
Phương pháp đo vẽ ảnh là một phương pháp lấy số liệu địa hình cho việc xây dựng mô hình số độ cao, mô hình số địa hình có hiệu quả và hiệu suất công tác cao với cường độ lao động thấp. Theo [6] với phương pháp này, do các điểm độ cao được thể hiện trên mô hình lập thể nên nó có một ưu điểm nổi bật là người thao tác có thể dễ dàng nhận thấy hơn (so với các phương pháp khác) khi nào thì một điểm đo có đem lại thông tin hữu ích hay không. Quá trình lấy mẫu liên quan tới phân loại địa hình và phương pháp toán học để thành lập DEM. Sự ảnh hưởng lẫn nhau giữa phương thức lấy mẫu, dạng địa hình và phương pháp toán học tạo DEM là vấn đề cơ bản để đoán trước chất lượng và độ chính xác của DEM.

Trong phương pháp đo vẽ ảnh có thể phân biệt một số phương thức lấy mẫu khác nhau: lấy số liệu theo lưới quy chuẩn (lưới đều), theo phương pháp lấy mẫu nhích

dần (progressive sampling), lấy mẫu lựa chọn (selective sampling), lấy mẫu hỗn hợp (composite sampling) và gần đây là phương pháp lấy số liệu xây dựng DEM bằng hệ thống tự động hoá dựa trên các kỹ thuật khớp ảnh [6, 31, 67]. Ngoài ra trong [31] các phương thức lấy số liệu khác như: lấy số liệu theo đường đồng mức và lấy số liệu theo mặt quét cũng được đề cập. Hầu hết các phương thức nói trên đều nhằm giảm thiểu khối lượng đo vẽ trong khi vẫn cố gắng đạt được độ chính xác tối đa có thể cho sản phẩm DEM. Tuy nhiên tùy thuộc vào các phương thức lấy mẫu và tài liệu ảnh dùng để đo vẽ mà độ chính xác của DEM tạo được sẽ khác nhau.

1. Lấy số liệu theo lưới quy chuẩn

Theo [31] thì khi sử dụng máy đo ảnh giải tích phương thức tốt nhất để lấy số liệu địa hình cho DEM là tiến hành đo độ cao trên mô hình lập thể theo một lưới quy chuẩn (Hình 4.2a). Các số liệu thu được trực tiếp tạo thành DEM. Khi tiêu đo của máy đo vẽ xê dịch đến điểm lưới thì cần có một thời gian ngừng nhất định để người đo cất lập thể chính xác điểm đo. Thời gian ngừng của tiêu đo phụ thuộc vào trình độ và kỹ năng chuyên môn của người đo.



Hình 4.2. Các phương thức lấy mẫu trong phương pháp đo vẽ ảnh: (a) Lưới đều, (b) Lấy mẫu nhích dần, (c) Lấy mẫu lựa chọn, (d) Lấy mẫu hỗn hợp.

Ưu điểm của phương thức lấy số liệu theo lưới quy chuẩn này là nó có thể được áp dụng trong các chế độ đo bán tự động và tự động. Ngoài ra phương thức này đơn giản, có độ chính xác và hiệu suất công tác tương đối cao. Tuy nhiên, vì khoảng cách lấy mẫu là cố định nên tính hữu dụng của nó chỉ được giới hạn ở các địa hình tương đối

đồng nhất. Với địa hình không đồng nhất thì phương thức này thường có xu hướng đo dư thừa quá mức số điểm tại các vùng ít có chênh cao nhưng ngược lại có quá ít điểm để có thể miêu tả được địa hình tại các vùng phức tạp. Một nhược điểm nữa của phương thức này là nó không thể hiện được các điểm đặc trưng địa hình.

2. Lấy số liệu theo phương thức lấy mẫu nhích dần (*progressive sampling*)

Trong phương thức lấy mẫu nhích dần do Makarovic đưa ra năm 1973 (còn được gọi là phương pháp ITC) mật độ của các điểm lấy mẫu được làm thích ứng với độ phức tạp của bề mặt địa hình [67]. Đặc điểm của phương thức này là nó được thực hiện theo nhiều bước nối tiếp nhau và việc lấy mẫu và phân tích kết quả lấy mẫu luôn đi đôi với nhau. Các kết quả của phép phân tích sau mỗi bước quyết định các bước lấy mẫu tiếp theo. Đầu tiên tiến hành lấy mẫu với khoảng cách lấy mẫu lớn tạo thành lưới điểm tương đối thưa. Sau đó phân tích số liệu thu nhận được để quyết định việc tăng dày lưới điểm lấy mẫu. Mật độ của các điểm lấy mẫu thường tăng gấp đôi sau mỗi bước. Các bước phân tích và tăng dày lưới điểm lấy mẫu được tiến hành lặp lại cho đến khi đạt được độ chính xác cần thiết.

Phương thức lấy mẫu nhích dần được áp dụng tốt khi không có các vùng dị thường trên ảnh, chẳng hạn như vùng bị mây che hoặc các địa vật do con người tạo ra. Phương thức này cũng có thể được tự động hoá. Do có tính thích ứng với độ phức tạp của bề mặt địa hình mà phương thức này chỉ cần đòi hỏi ít điểm phải đo hơn so với phương thức lấy số liệu theo lưới quy chuẩn mà vẫn có thể tạo ra DEM có độ chính xác cao hơn [67]. Tuy nhiên do khi tăng dày lưới vẫn áp dụng các mẫu lưới đều (Hình 4.2b) nên nó vẫn đòi hỏi phải có rất nhiều điểm để có thể thể hiện một cách chính xác các đặc trưng của địa hình.

Theo [31] phương thức lấy mẫu này có ưu điểm là mật độ điểm lấy mẫu tương đối hợp lý, phù hợp với thực tế địa hình. Nhược điểm của phương pháp là phải tiến hành nhiều lần tính toán và so sánh, đồng thời việc lưu trữ và quản lý số liệu cũng phức tạp hơn so với phương pháp lấy mẫu theo lưới đều.

3. Phương thức lấy mẫu lựa chọn (*selective sampling*)

Tại các vùng có địa hình gián đoạn thì thường phải lựa chọn và đo đạc (lấy số liệu) vào các đặc trưng địa hình (Hình 4.2c). Phương thức lấy mẫu này được gọi là lấy mẫu lựa chọn [67]. Các đặc trưng địa hình được chọn để lấy mẫu bao gồm: đường sông núi, đường tự thuỷ, điểm đỉnh núi, điểm yên ngựa, đường đứt gãy v.v... Phương thức

lấy mẫu này rất phù hợp với việc xây dựng mô hình số địa hình theo lưới tam giác. Tuy nhiên công việc xử lý và lưu trữ cũng tương đối phức tạp.

4. *Phương thức lấy mẫu hỗn hợp (composite sampling)*

Nếu phương thức lấy mẫu lựa chọn được kết hợp với phương thức lấy mẫu nhích dần thì sự kết hợp này được gọi là phương thức lấy mẫu hỗn hợp [67]. Trong phương thức này thì lấy mẫu lựa chọn được áp dụng để thu nhận các thông tin miêu tả những sự thay đổi đột ngột của địa hình còn lấy mẫu nhích dần thu nhận số liệu của phần còn lại của địa hình (Hình 4.2d). Như vậy khối lượng công việc tăng dày lưới điểm trong phương thức lấy mẫu nhích dần được giảm đến mức tối thiểu và sự không liên tục hay gián đoạn của địa hình vẫn được thể hiện chính xác nhờ phương thức lấy mẫu lựa chọn. Phương thức lấy mẫu hỗn hợp giúp thu được các số liệu địa hình với độ chính xác cao. Tuy nhiên do việc lấy mẫu của các đặc trưng địa hình theo phương thức lấy mẫu lựa chọn đòi hỏi phải có sự can thiệp của người thao tác nên phương thức hỗn hợp này chỉ có thể được tự động hoá một phần.

5. *Lấy số liệu xây dựng DEM bằng hệ thống tự động hoá*

Hiện nay đã có nhiều hệ thống đo vẽ ảnh tự động và bán tự động được sử dụng trong công tác lấy số liệu DEM như: các phần mềm ISDC và ISMT của hãng Intergraph (Mỹ), module ATE trong bộ phần mềm SOCET SET của LH Systems (Mỹ), PHODIS TS của hãng Zeiss (Đức), IMAGINE OrthoBASE Pro của ERDAS và một số phần mềm khác. Trong các hệ thống này, việc lấy số liệu có thể tiến hành theo lưới quy chuẩn thông qua kỹ thuật nhận dạng ảnh (khớp ảnh) tự động.

4.2.3.3 Các quy trình thành lập DEM bằng phương pháp đo vẽ ảnh

Trong phương pháp đo vẽ ảnh, DEM có thể được thành lập trên các máy đo vẽ giải tích hay các trạm đo vẽ ảnh số. Tùy theo yêu cầu về độ chính xác của các ứng dụng cụ thể của DEM, trang thiết bị hiện có (thiết bị máy móc, phần mềm) cũng như kinh nghiệm và thói quen của người thao tác mà có các quy trình thành lập DEM khác nhau. Chẳng hạn như nếu DEM cần thành lập chỉ phục vụ cho các ứng dụng nắn ảnh trực giao (ảnh hàng không hoặc vệ tinh) ở tỷ lệ trung bình hoặc nhỏ thì có thể thành lập DEM dưới dạng lưới, hoàn toàn tự động trên các trạm đo vẽ ảnh số. Nếu DEM được thành lập để nội suy đường bình độ thì trong quy trình đo phải hết sức chú ý đến việc chỉnh sửa DEM và bổ sung các yếu tố đặc trưng địa hình, có như vậy mới đảm bảo được chất lượng của các đường bình độ. Có thể nêu ra một số quy trình sau:

- (a) Các điểm DEM dạng lưới được đo hoàn toàn tự động (nhờ kỹ thuật khớp ảnh) trên các trạm đo vẽ ảnh số. Quy trình này chỉ nên được áp dụng khi yêu cầu về độ chính xác của DEM không cao (chẳng hạn để nắn ảnh trực giao ở các tỷ lệ trung bình và nhỏ). Kết quả khớp ảnh thường không chính xác tại các khu vực có thực phủ, nhà. Tuy nhiên quy trình này có thể cho ra các DEM có mật độ điểm dày và rất nhanh chóng;
- (b) Các điểm DEM dạng lưới được đo hoàn toàn tự động trên các trạm đo vẽ ảnh số sau đó có bổ sung các điểm, đường đặc trưng và chỉnh sửa thủ công (được gọi là bán tự động). Cũng có thể đo các điểm lưới DEM gần như hoàn toàn thủ công, phần mềm chỉ tạo ra một sơ đồ các điểm lưới DEM để trợ giúp người thao tác chuyển từ điểm đo này sang điểm đo khác một cách thuận tiện và nhanh chóng hơn. Quy trình này được chúng tôi áp dụng trong phần thực nghiệm (chương 6).
- (c) Các điểm lưới DEM được đo vẽ lập thể trên các máy giải tích. Để đảm bảo DEM tạo ra có độ chính xác cao phải đo vẽ thêm các điểm, đường đặc trưng địa hình;
- (d) DEM được thành lập từ các đường bình độ. Các đường bình độ này được đo vẽ lập thể trên các máy đo vẽ giải tích hay các trạm đo vẽ ảnh số. Tương tự như các quy trình trên phải đo vẽ thêm các điểm, đường đặc trưng địa hình nếu muốn DEM có độ chính xác cao.

4.2.4. Phương pháp công nghệ laser đặt trên máy bay (LIDAR) và phương pháp Radar độ mở tổng hợp giao thoa (IFSAR)

Trong khoảng 4 - 5 năm trở lại đây xuất hiện hai công nghệ mới cho phép thành lập DEM nhanh chóng, với độ chính xác và mức độ tự động hoá cao, đó là công nghệ LIDAR và IFSAR. Trong khi công nghệ LIDAR được áp dụng trên máy bay thì công nghệ IFSAR được áp dụng cả trên máy bay lẫn trên vệ tinh, tàu con thoi. Một câu hỏi được đặt ra là khi cả hai công nghệ đều cho phép thành lập DEM thì nên chọn công nghệ nào cho phù hợp. Theo [50] thì nói chung IFSAR tỏ ra có hiệu quả và kinh tế hơn khi được áp dụng cho các vùng lớn trong khi LIDAR tỏ ra phù hợp hơn cho các ứng dụng đòi hỏi có được các thông tin chi tiết về các đối tượng bề mặt đất, đặc biệt tại một số khu vực, chẳng hạn khu vực xây dựng hay vùng rừng. Tóm lại, việc lựa chọn công nghệ nào là phù hợp hơn cuối cùng đều dựa trên hai tiêu chí cơ bản, đó là các yêu cầu kỹ thuật của các ứng dụng cụ thể và hiệu quả kinh tế (giá thành sản phẩm của giải pháp

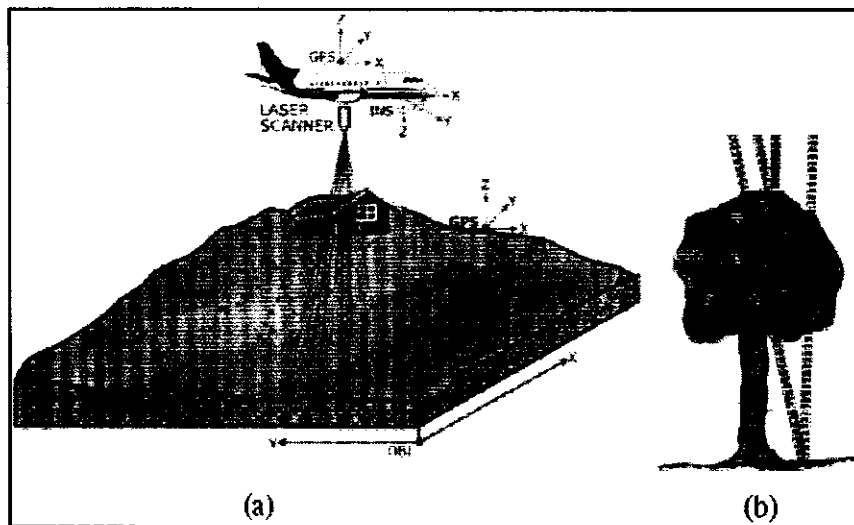
công nghệ). Trong đề tài này việc so sánh, lựa chọn được giới hạn cho các thiết bị công nghệ LIDAR và IFSAR đặt trên máy bay.

Các thiết bị IFSAR đặt trên vệ tinh được đề cập riêng, theo đó có DEM được thành lập từ thiết bị IFSAR đặt trên tàu vũ trụ con thoi (Shuttle Radar Topography Mission, viết tắt là SRTM). Độ chính xác về độ cao của các điểm DEM của dữ liệu SRTM, theo thiết kế, là vào khoảng 6 mét (tương đối) và 16 mét (tuyệt đối). Tuy nhiên theo các kết quả thử nghiệm trong [18] thì độ chính xác của DEM thành lập từ dữ liệu SRTM (băng X, $\lambda = 3,1$ cm) là 3,3 mét (tương đối) và từ 4 đến 6 mét (tuyệt đối). Thiết bị của SRTM đã được lắp đặt trên tàu vũ trụ con thoi Endeavour, phóng vào tháng 2/2000, bay quanh trái đất trong 11 ngày, ở độ cao 233 km và theo một quỹ đạo nghiêng 57° . Thiết bị này đã chụp ảnh được khoảng 80% bề mặt trái đất (từ vĩ độ 60° Bắc đến 57° Nam). DEM cũng có thể được thành lập từ một số loại ảnh vệ tinh IFSAR khác, chẳng hạn như ERS-1/2 với độ chính xác từ 10 đến 30 mét [10].

4.2.4.1 Phương pháp công nghệ LIDAR

1. Nguyên lý vận hành của phương pháp công nghệ LIDAR

Các thành phần cơ bản cấu thành một hệ thống LIDAR là một bộ quét laser, máy thu GPS và hệ thống dẫn đường quán tính INS/ IMU (Hình 4.3).



Hình 4.3: (a) Nguyên lý của công nghệ LIDAR
(b) Các xung phản xạ từ bề mặt ngọn cây và bề mặt đất

Bộ quét laser đặt trên máy bay phát các tia laser hồng ngoại (bước sóng $\lambda = 810 - 1550$ nm) với một tần số lớn (từ 2 đến 100 kHz). Bộ quét ghi lại độ lệch thời gian giữa xung tia laser được phát đi và tín hiệu phản xạ trở lại (hình 4.3a). Với một xung laser phát đi có thể có một hoặc nhiều tín hiệu phản xạ trở lại, chẳng hạn một xung phản xạ từ bề mặt ngọn cây và một xung khác phản xạ từ bề mặt đất (hình 4.3b).

Thời gian cho chuyển động hai chiều của các xung laser từ máy bay (bộ quét laser) tới mặt đất và phản xạ ngược trở lại được đo và ghi lại cùng với vị trí và định hướng của máy bay tại từng thời điểm phát xung của từng tia laser. Như vậy có thể tính được khoảng cách $D = c.t/2$ (c là vận tốc của ánh sáng, t là thời gian cho chuyển động hai chiều của các xung laser). Còn vị trí và định hướng của máy bay tại từng thời điểm phát xung của từng tia laser được xác định bởi hệ thống tích hợp GPS/INS (INS là hệ thống dẫn đường quán tính). Như vậy, sau khi bay xong có thể tính được tọa độ không gian ba chiều X, Y, Z của từng điểm mặt đất dựa trên: chiều dài D của vector từ máy bay tới mặt đất; vị trí và định hướng của máy bay tại từng thời điểm đo tương ứng.

Từng điểm phản xạ của từng xung laser sau đó được phân loại là các điểm mặt đất, trên ngọn cây, bề mặt các công trình xây dựng ...Sau khi được xử lý, các điểm này tạo nên DTM, DSM.

2. So sánh công nghệ LIDAR với đo vẽ ảnh

Những khác biệt cơ bản giữa công nghệ LIDAR và công nghệ đo vẽ ảnh là: LIDAR là một hệ thống viễn thám chủ động, còn máy chụp ảnh hàng không là một hệ thống viễn thám bị động; nguyên lý hình học của LIDAR là tọa độ cực (polar geometry), còn của máy chụp ảnh hàng không là phép chiếu xuyên tâm (projective geometry); LIDAR đo điểm địa vật trực tiếp trong khi bay chụp còn đo vẽ ảnh đo điểm gián tiếp, sau khi bay chụp, thông qua hình ảnh của chúng. Trong việc xây dựng DEM thì các khác biệt chính giữa hai công nghệ này là:

- DEM được thành lập theo công nghệ LIDAR nhanh hơn so với đo vẽ ảnh, chủ yếu do có mức độ tự động hoá cao hơn và có thể đo được cả ngày lẫn đêm;
- Tại các vùng có thực phủ (vùng rừng) công nghệ LIDAR cho phép có được cả mô hình bề mặt tán lá cây DSM và DEM của bề mặt đất dưới tán lá cây;
- Độ chính xác của DEM thành lập bằng công nghệ LIDAR khá cao, hiện nay có thể đạt được là khoảng 15 cm (độ chính xác tuyệt đối) và 5 cm (độ chính xác tương đối giữa các điểm liền kề). Mật độ của các điểm DEM rất dày (có thể dày tới 1 hay nhiều điểm/1 m²);
- LIDAR là công nghệ mới, đang hoàn thiện, các thiết bị LIDAR rất đắt tiền và việc lắp đặt, tích hợp các máy thu, bộ cảm biến khá phức tạp;
- Do công nghệ LIDAR vận hành với khoảng dải phổ cận hồng ngoại, một số đối tượng trên bề mặt đất như: nước (phụ thuộc vào góc chụp, độ đục); nhựa đường mới; mái nhà phủ hắc ín và một số mái ván lợp hấp thụ các xung laser

trong các bước sóng này. Độ ẩm (bao gồm mưa, sương mù và mây) cũng hấp thu tín hiệu laser và tạo nên các “lỗ hổng”- không có dữ liệu trong kết quả;

- Dung lượng dữ liệu lớn, đặc biệt khi có kết hợp với các dữ liệu ảnh (khi thu thập đồng thời dữ liệu LIDAR và ảnh quang học).

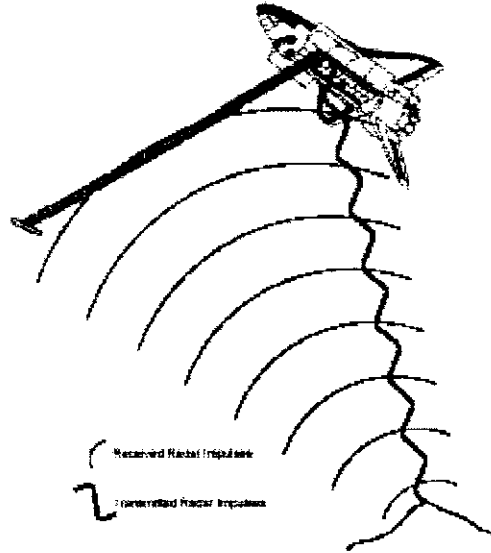
Theo Kraus - Preifer [36] và Baltsavias [5] thì độ chính xác của công nghệ LIDAR là tương đương với độ chính xác của công nghệ đo vẽ ảnh, với ảnh chụp ở tỷ lệ 1/7 000 (đối với vùng quang đăng) và ở tỷ lệ 1/ 10 000 (đối với vùng rừng). Cũng theo các tác giả này thì khi các sai số hệ thống trong dữ liệu đo LIDAR được mô hình hoá một cách đầy đủ và được khử thì công nghệ LIDAR có độ chính xác cao hơn đo vẽ ảnh ở những nơi mà địa hình có độ dốc dưới 30%. Trong đo vẽ ảnh thì sai số về mặt bằng thường nhỏ hơn sai số về độ cao (thường bằng 2/3 lần sai số về độ cao). Còn đối với công nghệ LIDAR, sai số về mặt bằng lại lớn hơn sai số về độ cao, điển hình là từ 2 tới 6 lần. Với một sai số lớn về mặt bằng như vậy sẽ làm ảnh hưởng xấu tới độ chính xác về độ cao ở những vùng có độ dốc lớn.

Tại một số nước phát triển, chẳng hạn tại một số bang của Đức, các cơ quan đo đạc đã chuyển từ công nghệ đo vẽ ảnh sang công nghệ LIDAR để thành lập DEM. Theo [25] thì tại các khu vực quang đăng công nghệ đo vẽ ảnh tỏ ra có hiệu quả kinh tế hơn, còn tại các vùng rừng thì công nghệ LIDAR lại tỏ ra có ưu thế hơn.

4.2.4.2 Phương pháp công nghệ IFSAR

Một phương pháp công nghệ mới nữa để thành lập DEM, đó là IFSAR, trong đó độ cao của bề mặt đất có thể được tính toán thông qua sự lệch pha giữa các tín hiệu radar phản xạ, được thu bởi hai vị trí ăng ten gần nhau. Hai ảnh radar có thể được thu từ cùng một ăng ten nhưng ở hai thời điểm khác nhau hoặc được thu đồng thời nếu có hai ăng ten được đặt ở hai đầu của một “cạnh đáy” như trường hợp của SRTM. Thiết bị của SRTM bao gồm hai ăng ten như hình 4.5. Theo đó ăng ten chính được gắn trên tàu con thoi Endeavour là một ăng ten có chức năng vừa thu vừa phát tín hiệu, ăng ten còn lại đặt ở đầu kia của cạnh đáy và chỉ có chức năng thu. Ăng ten chính liên tục phát tín hiệu xuống bề mặt đất (minh họa bởi đường truyền sóng hình sin, màu xanh). Tín hiệu phản xạ từ bề mặt đất được cả hai ăng ten thu (minh họa bởi các cung tròn đồng tâm, màu đỏ). Khoảng cách giữa hai ăng ten là cố định (của SRTM là 60 mét). Khoảng cách giữa hai ăng ten càng lớn thì độ chính xác xác định độ cao của các điểm bề mặt đất càng cao. Tuy nhiên khoảng cách 60 mét là giới hạn hiện nay của công nghệ hàng không vũ trụ. SRTM sử dụng hai loại sóng: sóng X ($\lambda = 3,1$ cm) và sóng C ($\lambda = 6,0$

cm). Độ chính xác của DEM được thành lập từ các dữ liệu sóng X là khoảng 3 mét (tương đối) và 6 mét (tuyệt đối) — [25]. Cũng theo [25] thì sử dụng IFSAR phân sai tại các thời điểm khác nhau có thể xác định được mức độ thay đổi về độ cao của bề mặt gây ra bởi động đất, chuyển động kiến tạo, sụt lở đất tại các vùng mỏ hay hoạt động của núi lửa với độ chính xác cao. Độ chính xác tương đối có thể đạt tới 1 cm.



Hình 4.5: Nguyên lý của phương pháp công nghệ IFSAR

Về bản chất, công nghệ IFSAR khai thác tính liên kết của các tín hiệu radar độ mở tổng hợp (SAR) phản xạ. Các giá trị biên độ và pha của tín hiệu này được thu và ghi lại. Nhờ đó có thể xác định độ lệch pha của các tín hiệu phản xạ từ cùng một vị trí trên mặt đất nhưng được thu từ hai vị trí khác nhau của máy bay/vệ tinh hoặc tại hai thời điểm khác nhau. Độ lệch pha này phụ thuộc vào các yếu tố sau đây [22]: (1) Khoảng cách nối các vị trí tương ứng của ăng ten tại các thời điểm thu tín hiệu và góc định hướng của ăng ten; (2) Địa hình của bề mặt đất; (3) Sự thay đổi vị trí của các điểm mặt đất và (4) Sự thay đổi của tầng khí quyển và tầng ion (trong trường hợp thu từ vệ tinh). Nếu hai trị đo được thu đồng thời bởi một cặp ăng ten đặt trên máy bay/vệ tinh thì yếu tố (1) có thể được xác định với độ chính xác cao, trong khi ảnh hưởng của các yếu tố (3) và (4) có thể bỏ qua. Cuối cùng chỉ còn lại yếu tố (2) - địa hình của bề mặt đất là tham số phụ thuộc duy nhất. Do đó phương pháp tối ưu nhất để thành lập DEM bằng công nghệ IFSAR là đặt hai ăng ten trên cùng một máy bay/vệ tinh hay tàu con thoi, như trường hợp của SRTM, được nêu trên hình 4.5.

Độ phân giải không gian của ảnh SAR, tương tự như độ lớn của pixel trên ảnh vệ tinh quang học, được xác định bởi thời gian kéo dài của xung tín hiệu, độ cao bay

chụp và góc nghiêng của tia chụp. Độ phân giải không gian càng thô thì càng khó thành lập DEM của bề mặt đất với độ chính xác cao, đặc biệt tại các khu vực có thực phủ dày. Tại các khu vực này phải dùng các xung ngắn có thể xuyên qua các “lỗ hổng” của mảng thực phủ hoặc sử dụng bước sóng dài hơn. Sóng X chỉ có khả năng đâm xuyên khá hạn chế qua thực phủ. Bước sóng càng dài thì độ đâm xuyên càng lớn và hiện nay có nhiều nghiên cứu đang được triển khai, sử dụng bước sóng dài cho IFSAR. Tuy nhiên hiện nay vẫn chưa có các kết quả cụ thể cuối cùng về độ chính xác trong các điều kiện thực phủ khác nhau (độ phủ, loài cây, loại rừng).

4.2.4.3 So sánh công nghệ LIDAR với công nghệ IFSAR

1. Các điểm tương đồng

Công nghệ LIDAR và IFSAR có nhiều điểm chung. Điểm chung lớn nhất là chúng đều cho phép tạo DEM từ các thiết bị đặt trên máy bay với độ chính xác và độ chi tiết cao, mật độ điểm phổ biến là từ 1 đến 5 m²/1 điểm, độ chính xác về độ cao phổ biến từ 0.15 đến 3 mét. Cả hai hệ thống đều là các hệ thống viễn thám chủ động, đo thời gian chuyển động của sóng theo hai lần khoảng cách. Cả hai hệ thống đều sử dụng công nghệ tích hợp GPS/INS để có thể tính được tọa độ X, Y, Z của các điểm thuộc bề mặt phản xạ.

Cả hai hệ thống đều phụ thuộc vào máy bay sử dụng. Việc chọn độ cao bay và tốc độ máy bay ảnh hưởng tới mật độ và độ chính xác của điểm đo cũng như của giá thành sản phẩm.

Cả hai hệ thống đều có thể thu được nhiều tín hiệu phản xạ từ một xung phát xạ. Các tín hiệu có thể phản xạ từ bề mặt đất và kết quả tạo được là DEM, nhưng tín hiệu cũng có thể được phản xạ từ bề mặt tán lá cây hay nhà cửa, các công trình xây dựng bên trên bề mặt đất, kết quả tạo được là DSM.

2. Các điểm khác nhau

Bước sóng của IFSAR thường là sóng X ($\lambda \approx 3$ cm) và sóng C ($\lambda \approx 6$ cm), các sóng này có thể xuyên qua được mây, mù... Bước sóng của LIDAR trong hầu hết các ứng dụng là bước sóng cận hồng ngoại ($\lambda \approx 1$ μ m), không xuyên qua được mây và bị hấp thụ mạnh bởi nước và hơi nước.

Tính chất hình học của IFSAR là chụp nghiêng với góc tới từ 30° đến 60°. LIDAR được chụp thẳng, đối xứng xung quanh hướng dây dọi. Góc xiên thường được giới hạn trong khoảng $\pm 20^\circ$ so với hướng dây dọi. Ưu điểm của việc chụp ảnh gần với

hướng dây dọi là hạn chế được các vấn đề che lấp của nhà cửa hay núi. Nhược điểm là độ rộng của dải quét bị hạn chế, làm cho giá thành tăng lên.

Độ chính xác về độ cao của DEM thành lập theo công nghệ LIDAR thông thường là từ 0.15 đến 0.5 mét. Độ chính xác của DEM thành lập theo công nghệ IFSAR, chẳng hạn hệ thống STAR-3i của Intermap Technologies Inc., Englewood, CO, USA cho các sản phẩm có ký hiệu GT1, GT2 và GT3, tương ứng là 1, 2 và 3 mét.

Mức độ đâm xuyên của IFSAR qua tán lá cây rừng phụ thuộc vào bước sóng (bước sóng càng dài khả năng đâm xuyên càng lớn). Ngoài ra mức độ đâm xuyên còn tùy thuộc vào góc tới của sóng radar và tính chất của rừng (mật độ, độ cao của cây). Sóng LIDAR phản xạ từ bề mặt tán lá cây rừng, tuy nhiên nếu có các lỗ hổng trong tán cây rừng thì sóng LIDAR có thể tới được bề mặt đất.

Theo [13] thì tới giữa năm 2001 ước tính có khoảng 60 - 70 hệ thống LIDAR được đưa vào vận hành trên toàn thế giới. Cũng tại thời điểm đó chỉ có hai công ty vận hành các hệ thống IFSAR. Điều này phản ánh một phần mức độ phức tạp và giá thành cao của công nghệ IFSAR so với công nghệ LIDAR.

4.3 Phương pháp xây dựng mô hình số độ cao trong điều kiện Việt Nam

Các cơ quan, đơn vị ở nước ta tùy theo yêu cầu của các ứng dụng tự thành lập DEM một cách riêng biệt. Trong lĩnh vực đo đạc bản đồ, từ khi có công nghệ thành lập bản đồ số, đặc biệt bằng công nghệ đo vẽ ảnh số thì DEM được thành lập thường xuyên hơn và là một phần của công đoạn thành lập bản đồ. Nếu không có yêu cầu thành lập DEM thì ít nhất khi thành lập bản đồ địa hình bằng công nghệ số các đường bình độ, các điểm ghi chú độ cao cũng có thể được coi như các sản phẩm của DEM. Còn khi các đối tượng nội dung của bản đồ được số hoá trên nền bình đồ ảnh trực giao thì trong hầu hết các trường hợp phải thành lập DEM để nắn ảnh trực giao. Như vậy ở một mức độ nào đó chúng ta cũng đã, đang và sẽ xây dựng DEM, tuy nhiên nói chung công việc này cho tới nay vẫn mang tính tự phát, đơn lẻ của từng cơ quan, đơn vị, phục vụ cho các mục đích riêng lẻ.

Mặc dầu vậy gần đây đã có một số dự án thành lập DEM với khối lượng đáng kể chẳng hạn như dự án thành lập 34 mảnh DEM (theo chia mảnh của bản đồ 1: 50 000) do Công ty Đo đạc Ảnh địa hình thi công hoặc dự án xây dựng cơ sở dữ liệu bản đồ phủ trùm do Trung tâm thông tin thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường thực hiện cũng có công đoạn thành lập DEM.

Hiện nay đã có nhiều cơ quan (cả dân sự và quân sự) có các phương tiện, trang thiết bị, máy móc phục vụ cho công tác thành lập DEM. Một số cơ quan chuyên làm công tác đo vẽ ảnh phục vụ thành lập bản đồ đã có các máy đo vẽ giải tích và các hệ thống đo vẽ ảnh số, cho phép xây dựng được DEM bằng phương pháp đo vẽ ảnh. Tuy nhiên cho tới nay mới chỉ dừng lại ở việc thành lập DEM từ ảnh hàng không lập thể. Có rất ít các nghiên cứu về việc thành lập DEM từ các ảnh vệ tinh lập thể. Cũng có nhiều cơ quan hiện đã có các phần mềm cho phép xây dựng DEM từ các đường bình độ được số hoá trên bản đồ địa hình.

Như vậy trong số các phương pháp xây dựng DEM nêu ở chương này có hai phương pháp mang tính khả thi trong điều kiện của nước ta hiện nay, nếu được áp dụng để thành lập DEM phủ trùm phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên. Đó là:

- 1) Thành lập DEM từ các bản đồ địa hình đã có (phương pháp số hoá bản đồ địa hình);
- 2) Thành lập DEM từ ảnh bay chụp hàng không (phương pháp đo vẽ ảnh).

Trong tương lai có thể phải tính đến cả các phương pháp mới như Radar độ mở tổng hợp giao thoa (IFSAR) hay quét laser (LIDAR) vì chúng cho phép thành lập DEM nhanh chóng hơn và cho độ chính xác cao hơn các phương pháp thông dụng hiện nay. Tuy nhiên hiện tại chúng ta chưa có thiết bị nên khả năng lựa chọn chỉ giới hạn trong 2 phương pháp nêu trên.

4.4. Kết luận

Có thể thành lập DEM bằng nhiều phương pháp khác nhau. Để có DEM với độ chính xác cao, công nghệ LIDAR sẽ trở thành giải pháp hàng đầu; đối với DEM có độ chính xác trung bình, công nghệ được sử dụng là khớp ảnh tự động trên các trạm đo vẽ ảnh số; với DEM có độ chính xác thấp hơn, công nghệ sử dụng trong tương lai là IFSAR cho các vùng rộng lớn [25]. Tùy theo điều kiện cụ thể của từng quốc gia, vùng lãnh thổ và mục đích sử dụng mà có thể lựa chọn các phương pháp thành lập DEM phù hợp. Tuy nhiên xu thế trong tương lai là thành lập DEM tự động.

CHƯƠNG 5: CÁC YÊU CẦU VỀ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO PHỤC VỤ QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN THIÊN NHIÊN

5.1. Các tài liệu đề cập tới độ chính xác của mô hình số độ cao

5.1.1. Các yếu tố ảnh hưởng tới độ chính xác của DEM

Độ chính xác (về độ cao) của một DEM là sai số về độ cao của tất cả các điểm được nội suy trong DEM đó. Nói một cách khác, đó là sai số trung phương (RMSE) về độ cao của tất cả các điểm tùy chọn được nội suy từ DEM so với độ cao của các điểm tương ứng thuộc bề mặt địa hình.

Sai số của DEM là kết quả tích lũy của các nguồn sai số gây ra tại tất cả các công đoạn thành lập DEM. Tuy nhiên theo Li [39] thì các yếu tố chủ yếu ảnh hưởng tới độ chính xác của DEM là:

1. Đặc tính của bề mặt địa hình;
2. Phương pháp thành lập DEM;
3. Độ chính xác, mật độ và phân bố của các điểm lấy mẫu (dữ liệu đo).

Trong thực tế thành lập DEM thì độ chính xác của sản phẩm DEM là một yếu tố rất quan trọng đối với cả người sản xuất lẫn người sử dụng DEM. Độ chính xác này có thể được đánh giá dựa trên các mô hình sai số hay bằng thực nghiệm dựa trên các điểm kiểm tra ngoại nghiệp.

Bằng thực nghiệm, sai số trung phương RMSE về độ cao của DEM có thể được tính theo công thức sau:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Z_i - Z_j)^2}{N}} \quad (5.1)$$

Trong đó Z_i là độ cao nội suy của các điểm thuộc mô hình DEM; Z_j là các độ cao của điểm kiểm tra và N là số các điểm kiểm tra.

Cơ quan khảo sát địa chất Mỹ - USGS đưa ra tiêu chuẩn đánh giá độ chính xác về độ cao của các điểm DEM là sai số trung phương (RMSE), được tính bằng cách so sánh bề mặt DEM với độ cao của 28 điểm kiểm tra [65]. Lưu ý rằng trong USGS DEM với độ phân giải mặt bằng 30 mét có khoảng 161.000 điểm độ cao; 28 điểm kiểm tra nói trên được sử dụng để tính RMSE chỉ chiếm 0,017% của tổng số điểm độ cao.

Tuy phương pháp đánh giá bằng thực nghiệm có tính khách quan nhưng nó chỉ có thể được tiến hành sau khi đã có sản phẩm DEM. Độ chính xác của DEM còn có thể được ước tính trước khi thành lập nếu có một mô hình sai số phù hợp. Một ưu điểm nữa của mô hình sai số là nó cho phép người sản xuất DEM có thể tiến hành công việc một cách có hiệu quả và kinh tế nhất do biết trước được các thông số cần thiết (phương thức lấy mẫu, mật độ và phân bố của các điểm lấy mẫu) để đảm bảo DEM sản phẩm đạt được độ chính xác cần thiết. Một số mô hình sai số của DEM được miêu tả trong phần 5.1.2.

5.1.2. *Điểm lại một số khảo sát, nghiên cứu, thực nghiệm về độ chính xác của DEM*

Phần này của đề tài điểm lại một số nghiên cứu, khảo sát điển hình về độ chính xác của DEM từ trước tới nay. Qua các kết quả, phân tích từ các thử nghiệm này những người thực hiện đề tài cố gắng tham khảo và vận dụng vào thực tế xây dựng DEM ở nước ta hiện nay.

Nhiều bài báo trong lĩnh vực này đã được đăng trên các tạp chí và trình bày tại các hội nghị chuyên ngành. Các nhà nghiên cứu đã thực hiện cả các phân tích lý thuyết [42] lẫn các thử nghiệm thực tế [1, 37, 40]. Thử nghiệm chuyên sâu đầu tiên là của Hội đo vẽ ảnh và viễn thám quốc tế (ISPRS) thực hiện tại 6 khu vực và dữ liệu được đo bằng phương pháp đo vẽ ảnh, có nhiều cơ quan tham gia. Li [40] sử dụng các dữ liệu thử nghiệm của 3 trong số 6 khu vực trên để khảo sát mối liên quan giữa giãn cách của các điểm lấy mẫu (mật độ điểm đo) và độ chính xác đạt được của DEM. Kumler [37] tiến hành thử nghiệm bằng cách sử dụng các đường bình độ trên bản đồ làm dữ liệu gốc để tạo DEM. Trong những năm gần đây đã có thêm các nghiên cứu chuyên sâu hơn, trên một khu vực rộng lớn hơn [10], có so sánh độ chính xác của DEM được làm từ các nguồn dữ liệu khác nhau, bằng các quy trình khác nhau [17] hay độ chính xác của DEM ở các tỷ lệ lớn, phục vụ cho các ứng dụng xây dựng công trình dân dụng [14]. Tuy phương pháp tiến hành thử nghiệm, quy mô thử nghiệm cũng như phạm vi khảo sát được miêu tả trong các tài liệu nói trên có khác nhau nhưng có thể được tóm tắt chung như sau:

Độ chính xác của DEM có thể được ước tính theo công thức sau [1]:

$$m_z^2 = \beta^2 + (\alpha \times d)^2 \quad (5.2)$$

Trong đó:

m_z là sai số trung phương của độ cao được tính toán, nội suy trong DEM;

β là sai số của dữ liệu gốc và độ nhiễu của bề mặt địa hình (bao gồm sai số đo điểm và ảnh hưởng của thực phủ). Trong đo vẽ ảnh có thể coi $\beta = 0.1\hat{E}H +$ thành phần thay đổi (với H là độ cao bay chụp);

α là thông số phản ánh tính chất của địa hình (phụ thuộc vào dạng địa hình);

$\alpha = 0.004$ với dạng địa hình bằng phẳng;

$\alpha = 0.010$ với dạng địa hình có độ phức tạp trung bình;

$\alpha = 0.022$ với dạng địa hình phức tạp;

d là khoảng cách trung bình giữa các điểm đo (mật độ trung bình của các điểm được lấy mẫu);

Nghiên cứu của [14] đối với DEM được thành lập từ ảnh chụp hàng không lại cho thấy đối với vùng bằng phẳng $\alpha = 0.01$, vùng đồi 0.02 và vùng núi là 0.04.

Công thức 5.2 là mô hình toán học được sử dụng phổ biến nhất để đánh giá sai số của DEM. Nhiều nghiên cứu, khảo sát khác cũng được tiến hành dựa trên mô hình sai số này [14, 39]. Li [39] đã khảo sát mô hình sai số của DEM, được thành lập dựa trên phép nội suy tuyến tính, với hai phương thức lấy mẫu: lưới đều và, lưới đều kết hợp với các điểm, đường đặc trưng địa hình. Biểu thức toán học của mô hình sai số này như sau:

$$m_z^2 = K_1 m_c^2 + K_2 (1 + K_3 d)^2 (d \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2 \quad (5.3)$$

Trong đó:

m_z là sai số trung phương của độ cao được tính toán, nội suy trong DEM;

$K_1 = 4/9$ (hằng số); m_c là sai số đo độ cao của các điểm lưới DEM; $K_2 = 5/768$;

$K_3 = 0$ trong trường hợp lấy mẫu kết hợp lưới đều với các đặc trưng địa hình.

Trong trường hợp lấy mẫu theo lưới đều (không có các đặc trưng địa hình) thì $K_3 = 4/\lambda$ với λ là bước sóng trung bình của biến đổi của địa hình, được tính như sau: $\lambda = (H_{\max} - H_{\min}) \cdot \cot \alpha$, với: $H_{\max}$, $H_{\min}$ và α , tương ứng là độ cao lớn nhất, độ cao nhỏ nhất và độ dốc trung bình của địa hình khu vực thành lập DEM; d là khoảng cách giữa các điểm lưới (khoảng cách mắt lưới).

Nếu DEM được thành lập bằng phương pháp đo vẽ ảnh thì sai số đo độ cao m_c của các điểm lưới DEM có thể được ước tính như sau: a) đo trên các máy giải tích chính xác và các trạm ảnh số $m_c = 0.07\hat{E}H - 0.1\hat{E}H$ (với H là độ cao bay chụp); b) đo trên các máy đo vẽ tương tự $m_c = 0.1\hat{E}H - 0.2\hat{E}H$.

Khi DEM được thành lập bằng phương pháp nội suy từ các đường bình độ thì mô hình sai số có dạng như sau [40]:

$$m_z^2 = \frac{m_c^2}{C} + \left(\frac{CI}{K}\right)^2 \quad (5.4)$$

Trong đó:

m_z là sai số trung phương của độ cao được tính toán, nội suy trong DEM; m_c là sai số trung phương về độ cao của đường bình độ, CI là khoảng cao đều của đường bình độ, C và K là các hệ số. Thông thường $C = 3$, $K = 4,5 - 5,9$ (nếu chỉ có các đường bình độ mà không đưa thêm các đặc trưng địa hình). Nếu có bổ sung các đặc trưng địa hình thì $K = 9 - 15$.

Các kết luận chung trong các khảo sát này là:

- Độ chính xác của DEM phụ thuộc chủ yếu vào mật độ của lưới các điểm đo nếu mô hình DEM chỉ bao gồm các điểm này;
- Độ chính xác của DEM phụ thuộc vào độ dốc của địa hình;
- Khi DEM được bổ sung thêm các điểm đặc trưng địa hình và các đường breaklines thì độ chính xác tăng lên đáng kể, đặc biệt với các dạng địa hình phức tạp, có độ chia cắt và độ gồ ghề lớn;
- Các sai số thô trong DEM chiếm từ 0% đến 3%, trong đó 0,5% là giá trị trung bình, tần xuất xảy ra các sai số lớn hơn 4 lần sai số trung phương thường là rất nhỏ;
- Khi địa hình phức tạp thì DEM được thành lập từ các dữ liệu đo đạc thông qua mô hình TIN có độ chính xác cao hơn thông qua mô hình Grid.

Cụ thể hơn khi DEM được thành lập bằng phương pháp đo vẽ ảnh thì sai số trung phương của DEM nằm trong khoảng từ 0.2 - 0.35Ê của độ cao bay chụp đối với vùng đồng bằng và vùng đồi. Tại các vùng núi và núi cao sai số trung phương của DEM thường gấp 3 lần ở đồng bằng, tức là từ 0.6 — 1.0Ê của độ cao bay chụp. Dữ liệu ảnh hàng không được đo vẽ thủ công trên các máy đo vẽ giải tích chính xác là phương pháp đáng tin cậy nhất vì đo tự động sử dụng các kỹ thuật khớp ảnh có thể gây ra các sai số hệ thống

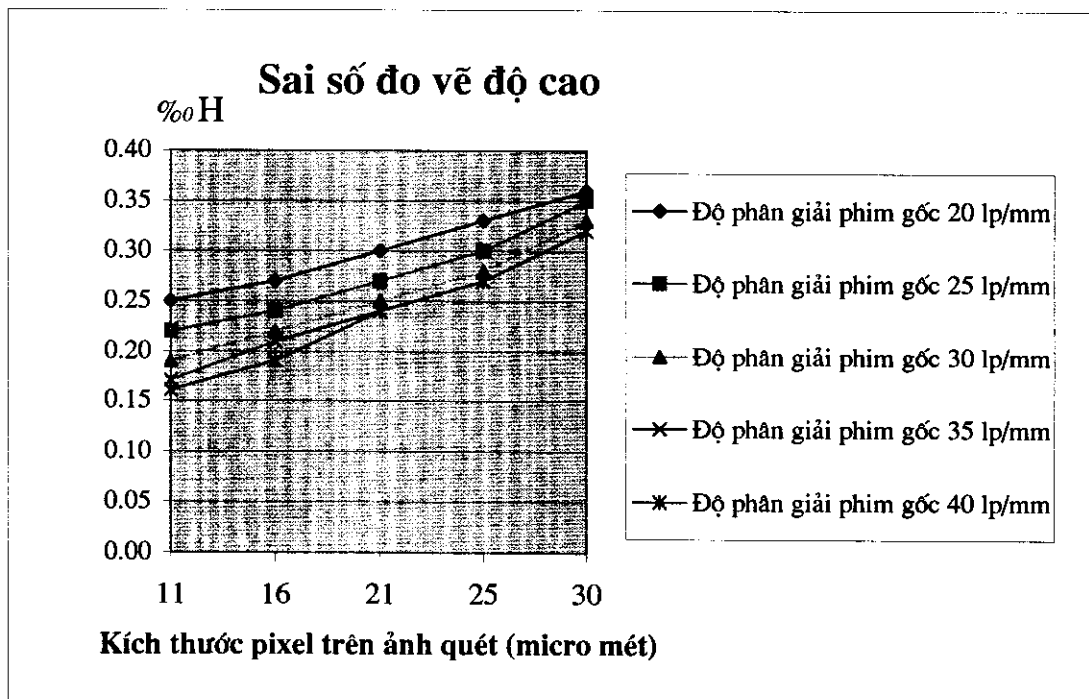
Khi DEM được thành lập từ các đường bình độ thì sai số trung phương của DEM đạt từ 1/3 đến 1/2 khoảng cao đều. Để đạt được 1/3 khoảng cao đều, ngoài các điểm độ cao còn phải bổ sung thêm nhiều yếu tố đặc trưng của địa hình.

Ngoài các thử nghiệm thực tế còn có các phân tích, tính toán lý thuyết. Đáng chú ý là các tính toán trong [42] về sai số đo vẽ độ cao trong đo vẽ ảnh số. Theo đó sai số này phụ thuộc vào độ phân giải của ảnh quét (kích thước của pixel trên ảnh quét). Kết quả tính toán được thể hiện trong bảng sau:

Bảng 5.1: Sai số đo độ cao m_c trong đo vẽ ảnh số ($\square H$, [42])

Độ phân giải của ảnh quét	Độ phân giải của phim gốc				
	20 lp/mm	25 lp/mm	30 lp/mm	35 lp/mm	40 lp/mm
11 μm	0.25	0.22	0.19	0.17	0.16
16 μm	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
21 μm	0.30	0.27	0.25	0.24	0.24
25 μm	0.33	0.30	0.28	0.27	0.27
30 μm	0.36	0.35	0.33	0.32	0.32

Kết quả của bảng này có thể được thể hiện theo hình vẽ 5.1 dưới đây. Đó là biểu đồ thể hiện sự phụ thuộc của sai số đo vẽ độ cao vào độ phân giải của phim gốc và vào kích thước pixel của ảnh quét. Có thể thấy rõ trên hình vẽ này là sai số đo vẽ độ cao từ phim gốc có độ phân giải 35 lp/mm (cặp đường/mm) và từ phim gốc có độ phân giải 40 lp/mm là gần như nhau khi được quét với độ phân giải từ 21 μm trở lên. Hình vẽ cũng cho thấy sai số tăng gần như tuyến tính với kích thước pixel của ảnh quét. Khi quét với độ phân giải 30 μm thì sai số đo vẽ độ cao của phim gốc với các độ phân giải từ 30 - 40 lp/mm là gần như nhau.



Hình 5.1: Sai số đo vẽ độ cao m_c trong đo vẽ ảnh số.

Khi đưa ra các kết quả này Light cũng lưu ý rằng cần thiết phải tiến hành các thử nghiệm thực tế để đối chiếu với lý thuyết. Nếu đối chiếu biểu đồ lý thuyết này với các sai số thực tế, chẳng hạn như trong [10, 17] thì có thể thấy biểu đồ lý thuyết này tương ứng với sai số của DEM tại các vùng tương đối bằng phẳng, DEM được xây dựng từ phim gốc có độ phân giải 20 - 25 lp/mm.

Trong thực tế sản xuất ở nước ta, ảnh thường được quét với độ phân giải từ 14 đến 30 μm . Từ bảng 5.1 và hình 5.1 có thể thấy: khi kích thước pixel của ảnh quét tăng lên 2 lần (từ 15 lên 30 μm) thì sai số đo vẽ độ cao tăng thêm 0.1 ÊH (nếu so sánh một cách tương đối thì sai số tăng lên khoảng 1.5 lần). Đây là điều cần đặc biệt chú ý khi quét ảnh để thành lập bản đồ, đặc biệt là bản đồ địa hình.

Sau khi tìm hiểu, tham khảo một số khảo sát, nghiên cứu, thực nghiệm cũng như các tính toán lý thuyết về độ chính xác của DEM chúng tôi thấy cần thiết phải tiến hành các thử nghiệm, đánh giá trong các điều kiện thực tế của nước ta. Có như vậy các chỉ số về độ chính xác của DEM mới có cơ sở đầy đủ và có tính thuyết phục. Tuy nhiên, trong khuôn khổ của đề tài này không cho phép tiến hành các thử nghiệm nói trên.

5.1.3. Độ chính xác của DEM thành lập bằng các phương pháp khác nhau

Từ các tài liệu đề cập tới độ chính xác của DEM có thể tổng kết, đánh giá về khả năng đạt độ chính xác của các phương pháp thành lập DEM khác nhau. Dựa trên các kết quả tổng kết, đánh giá đó có thể trực tiếp đối chiếu với các yêu cầu về độ chính xác của DEM trong thành lập bình đồ ảnh trực giao, nội suy đường bình độ và một số ứng dụng trong quản lý tài nguyên thiên nhiên. Việc đối chiếu này, khi được liên hệ với các điều kiện cụ thể của nước ta, có thể cung cấp các luận cứ khoa học cho việc lựa chọn phương pháp tốt nhất để xây dựng DEM phủ trùm ở nước ta phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên.

5.1.3.1. DEM thành lập bằng phương pháp đo vẽ ảnh

Trong thực tế người ta thường khảo sát, đánh giá độ chính xác đo vẽ độ cao nói chung và thành lập DEM nói riêng theo phần ngàn của độ cao bay chụp ảnh (ÊH). Theo cách đánh giá này sai số trung phương (RMSE) về độ cao của các điểm DEM có thể đạt tới 0.1Ê H [2, 3]. Tuy nhiên dường như đây là độ chính xác tối đa có thể đạt được vì có một số nghiên cứu, khảo sát khác cho độ chính xác thấp hơn. Chẳng hạn như các khảo sát thử nghiệm của [14] với ảnh chụp ở tỷ lệ lớn 1/6000 (độ cao bay chụp H = 900 mét) cho độ chính xác của DEM là 20 cm (0.22Ê H). Các khảo sát, thực

thử nghiệm của [17] trên các ảnh chụp ở tỷ lệ trung bình 1/25000 ($H = 3800$ m) thu được kết quả về độ chính xác của DEM là $0.25\hat{E}H$ ở vùng đồng bằng và vùng đồi, ở vùng núi độ chính xác này vào khoảng $0.79\hat{E}H$ (gấp 3 lần sai số ở vùng đồng bằng và vùng đồi). Các kết quả thành lập DEM từ ảnh chụp ở tỷ lệ 1/40000 ($H = 6100$ m), được nêu trong [10] lại cho thấy sai số của DEM đạt khoảng $0.33\hat{E}H$. Như vậy các sai số thành lập DEM trên thực tế đạt khoảng $0.2 - 0.35\hat{E}H$ ở vùng đồng bằng và vùng đồi. Sai số của DEM tại các vùng núi thường thường gấp 3 lần sai số ở đồng bằng.

Đối với DEM được thành lập từ ảnh vệ tinh quang học, chẳng hạn như SPOT5 thì độ chính xác của DEM (sai số trung phương về độ cao RMSE của DEM) có thể đạt khoảng 4-5 mét. Các nghiên cứu của [4] cho RMSE = 8.0 mét sử dụng ảnh SPOT4. Gần đây Trung tâm Viễn thám thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường ở nước ta cũng tiến hành thử nghiệm độ chính xác đo vẽ độ cao và thành lập DEM trên các ảnh SPOT4 lập thể với kết quả RMSE khoảng 7- 8 mét, SPOT5 lập thể với RMSE cỡ 4- 5 mét. Sai số RMSE tuyệt đối của DEM thành lập từ ảnh SPOT thường nằm trong khoảng từ 8 - 15 mét [10]. Trong số các ảnh vệ tinh quang học thì ảnh SPOT thường hay được áp dụng để thành lập DEM hơn các loại ảnh khác do nó có tính ổn định cao về hình học. Tuy nhiên cũng có một số tài liệu đề cập đến độ chính xác của DEM được thành lập từ các loại ảnh vệ tinh quang học khác, chẳng hạn như ASTER [43], theo đó độ chính xác cao nhất của DEM là 7 mét.

5.1.3.2. DEM thành lập bằng phương pháp nội suy từ các đường bình độ

Các kết quả khảo sát, thử nghiệm trong [17, 40] cho thấy độ chính xác của DEM được thành lập từ các đường bình độ nằm trong khoảng $1/2 - 1/3 C_l$ (C_l là khoảng cao đều đường bình độ trên bản đồ). Các kết quả trên cũng cho thấy sai số của DEM có thể tăng lên đáng kể nếu như có biến dạng lớn trên bản đồ giấy hay đường bình độ trên bản đồ được vẽ không chính xác. Độ chính xác của DEM được thành lập từ các đường bình độ bằng $1/2 - 1/3 C_l$ cũng đã được đưa vào thành các tiêu chuẩn kỹ thuật của một số nước, chẳng hạn như Mỹ [65].

5.4.3.3. DEM được thành lập bằng các phương pháp mới như Radar độ mở tổng hợp giao thoa (IFSAR) hay quét laser (LIDAR).

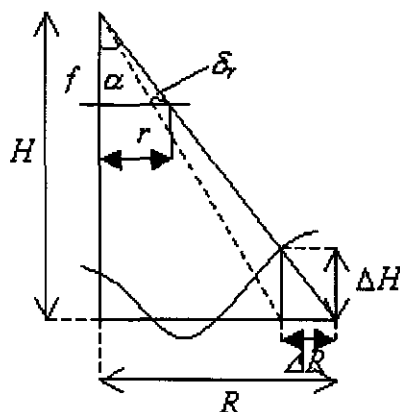
Tháng 2/2000 một thiết bị IFSAR đã được lắp đặt trên tàu vũ trụ con thoi Endeavour, bay quanh trái đất trong vòng 11 ngày và chụp ảnh được khoảng 85% bề mặt trái đất với mục đích thành lập DEM. Độ chính xác về độ cao của các điểm DEM (sai số trung phương RMSE) theo thiết kế là vào khoảng 6 -16 mét. Tuy nhiên theo các

kết quả thử nghiệm trong [20] thì độ chính xác tương đối về độ cao là 3.3 mét, tuyệt đối là từ 4 đến 6 mét. DEM được thành lập từ các loại ảnh IFSAR khác, chẳng hạn như ERS - 1/2 có độ chính xác về độ cao là từ 10 - 30 mét (RMSE), [10]. Ngoài ra còn có các hệ thống Radar độ mở tổng hợp giao thoa đặt trên máy bay chẳng hạn như hệ thống Intermap STAR 3i dùng băng X có thể cho phép thành lập DEM với độ chính xác từ 0.5 - 3 m (RMSE). Công nghệ quét laser đặt trên máy bay LIDAR có thể cung cấp các DEM với độ chính xác về độ cao RMSE = 0.15 - 0.4 mét [13, 46].

5.2. Yêu cầu về độ chính xác của DEM trong thành lập bình đồ ảnh trực giao

5.2.1. Bình đồ ảnh trực giao được thành lập từ ảnh chụp hàng không

Ảnh hưởng của chênh cao địa hình lên vị trí của điểm ảnh, được chụp với một máy ảnh có tiêu cự f ở độ cao H có thể được minh họa theo hình vẽ sau:



Hình 5.2: Độ xô dịch của vị trí điểm ảnh do chênh cao địa hình gây ra

Dựa trên tính chất hình học của phép chiếu xuyên tâm có thể xác định độ dịch vị ΔR trên thực địa do chênh cao địa hình ΔH gây ra theo hình 5.2 trên đây.

$$\text{Theo đó: } \Delta R = \Delta H \cdot \tan \alpha = \Delta H \cdot \frac{R}{H} = \Delta H \cdot \frac{r}{f} \quad (5.5)$$

$$\text{Tỷ lệ ảnh chụp: } \frac{1}{m_a} = \frac{f}{H} = \frac{r}{R} = \frac{\delta_r}{\Delta R}$$

$$\text{Do đó: } \Delta R = m_a \cdot \delta_r = \Delta H \cdot \frac{r}{f} \quad (5.6)$$

Trong đó r là khoảng cách từ tâm ảnh tới điểm ảnh, δ_r là độ dịch vị điểm ảnh.

$$\text{Như vậy: } \delta_r = \Delta H \cdot \frac{r}{f \cdot m_a} = \frac{\Delta H}{H} \times r \quad (5.7)$$

Công thức 5.7 được áp dụng để tính độ dịch vị điểm ảnh khi nắn ảnh theo độ cao trung bình khu vực. Ở đây hệ số phóng ảnh $n^x = 1$, tức là không thay đổi tỷ lệ trung

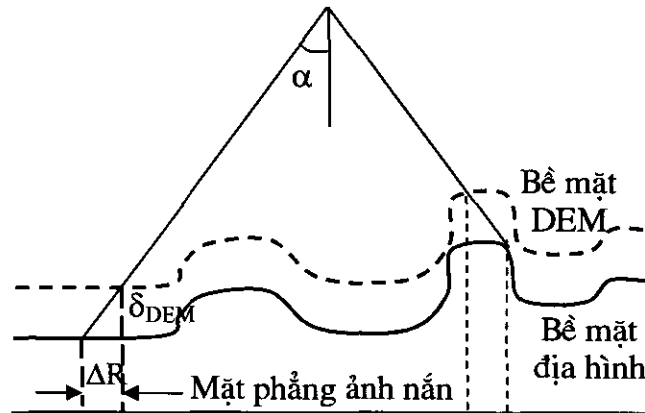
bình của ảnh chụp. Tuy nhiên trên thực tế tỷ lệ của ảnh nấn thường lớn hơn tỷ lệ của ảnh chụp. Nếu tính đến cả hệ số phóng $n^x = \frac{m_a}{m_n}$ (trong đó m_n là mẫu số tỷ lệ ảnh sau khi nấn), thì trong công thức 5.7 trên, δ_r cũng phải được nhân thêm với hệ số phóng.

$$\text{Do đó:} \quad \delta_r = \frac{\Delta H}{H} \cdot r \cdot n^x \quad (5.8)$$

Từ công thức 5.8 có thể tính được chênh cao lớn nhất cho phép của địa hình $\Delta H_{\max}$ so với mặt phẳng trung bình, theo độ dịch vị điểm ảnh lớn nhất cho phép $\delta_{r \max}$ trên bình đồ ảnh:

$$\Delta H_{\max} = \frac{H \cdot \delta_{r \max}}{r \cdot n^x} = \frac{f \cdot m_a \cdot \delta_{r \max}}{r \cdot \frac{m_a}{m_n}} = \frac{f \cdot \delta_{r \max}}{r} \cdot m_n \quad (5.9)$$

Khi nấn ảnh trực giao thì ảnh hưởng của sai số về độ cao của DEM (δ_{DEM}) lên độ dịch vị điểm ảnh ΔR trên thực địa có thể được minh hoạ theo hình vẽ sau[52]:



Hình 5.3: ảnh hưởng của sai số về độ cao của DEM lên vị trí của điểm ảnh nấn

Theo [48, 52] thì trên hình 5.3 $\Delta R = \delta_{\text{DEM}} \tan \alpha$ (tương tự như công thức 5.5). Thực hiện các phép biến đổi tương tự (từ công thức 5.5 đến công thức 5.9), thay ΔH bằng δ_{DEM} sẽ tính được sai số lớn nhất cho phép của DEM theo độ dịch vị điểm ảnh lớn nhất cho phép $\delta_{r \max}$ trên ảnh nấn trực giao:

$$\delta_{\text{DEMmax}} = \frac{f \cdot \delta_{r \max}}{r} \cdot m_n \quad (5.10)$$

Trong thực tế, ảnh thường được chụp với độ phủ trung bình là $P = 60\%$ và $Q = 30\%$. Ảnh sau khi nấn thường được cắt, ghép lại với nhau để lập bình đồ ảnh. Có thể nấn cách ảnh hoặc nấn liền ảnh. Trong trường hợp nấn cách ảnh thì $r_{\max} = \sqrt{0.4^2 + 0.35^2} \times l = 122 \text{ mm}$ (l là kích thước của ảnh chụp hàng không, đối với các máy

ảnh đang được sử dụng ở nước ta hiện nay thì $l = 230$ mm). Trong trường hợp nắn liền ảnh thì $r_{\max} = \sqrt{0.2^2 + 0.35^2} \times l = 93$ mm. Đối với từng khu chụp cụ thể, tùy theo các độ phủ P và Q mà có thể tính ra được giá trị r lớn nhất - $r_{\max}$. Ở đây chỉ tính cho trường hợp phổ biến nhất với $P = 60\%$ và $Q = 30\%$. Máy ảnh dùng trong bay chụp ảnh địa hình hiện nay thường có tiêu cự 152 - 153 mm. Thay các giá trị r và f vào công thức 5.10 cho các trường hợp nắn cách ảnh và nắn liền ảnh. Từ công thức 5.10 có thể thấy sai số cho phép của DEM (δ_{DEM}) lớn gấp $f/r_{\max}$ lần sai số xê dịch vị trí điểm ảnh δ_r tính theo tỷ lệ của bình đồ ảnh cần thành lập. Với các giá trị nêu trên thì $f/r_{\max} = 1.25$ khi nắn cách ảnh và bằng 1.65 khi nắn liền ảnh.

Theo các quy phạm hiện hành ở nước ta hiện nay, và lưu ý rằng công thức 5.10 được thiết lập dựa trên giả sử các sai số trong công tác định hướng tăng dày ảnh hưởng không đánh kể tới độ xê dịch vị trí điểm trên ảnh nắn, có thể lấy $\delta_r = 0.3$ mm:

$$\text{- Nắn cách ảnh: } \delta_{\text{DEM}} = \frac{153 \times 0.3}{122} \cdot m_n = 0.38 \text{ mm} \times m_n$$

$$\text{- Nắn liền ảnh: } \delta_{\text{DEM}} = \frac{153 \times 0.3}{93} \cdot m_n = 0.49 \text{ mm} \times m_n$$

Điều này cho thấy khi nắn liền ảnh thì sai số cho phép của DEM có thể được nới rộng (tăng lên 1.3 lần) so với nắn cách ảnh. Có thể tính được sai số cho phép của DEM trong thành lập bình đồ ảnh trực giao ở các tỷ lệ khác nhau, kết quả thể hiện trong bảng sau: (với $P = 60\%$, $Q = 30\%$, $f = 153$ mm, $\delta_r = 0.3$ mm).

Bảng 5.2: Sai số cho phép của DEM trong thành lập bình đồ ảnh trực giao

Tỷ lệ bình đồ ảnh 1: m_n	Sai số cho phép của DEM (mét)	
	Nắn liền ảnh $\delta_{\text{DEM}} = 0.49 \text{ mm} \times m_n$	Nắn cách ảnh $\delta_{\text{DEM}} = 0.38 \text{ mm} \times m_n$
1: 1000	0.49	0.38
1: 2000	0.98	0.76
1: 5000	2.45	1.90
1: 10 000	4.90	3.80
1: 25 000	12.25	9.50
1: 50 000	24.50	19.00

Trong các hệ thống đo vẽ ảnh số hiện nay thường có các module nắn ảnh tự động, vì thế để giảm sai số nắn nên nắn liền ảnh. Ngoài việc làm giảm sai số, việc ghép ảnh và điều chỉnh độ xám hay tông màu trên các ảnh đã được nắn liền ảnh cũng dễ dàng hơn khi nắn cách ảnh. Tuy phải nắn gấp đôi số ảnh so với khi nắn cách ảnh nhưng

quá trình nắn lại được tự động hoá và thực hiện rất nhanh trên các hệ thống đo vẽ ảnh số hiện nay. Có thể thấy sai số của DEM không những chỉ được nới rộng khi nắn liên ảnh mà còn được nới rộng khi tăng các độ phủ P, Q và khi dùng ống kính có tiêu cự dài, chẳng hạn trong các tính toán trên nếu lấy $f = 300$ mm thì sai số của DEM sẽ được cho phép tăng lên gấp hai lần.

5.2.2. Bình đồ ảnh trực giao được thành lập từ ảnh vệ tinh

Theo các tài liệu của Tập đoàn Phát triển Viễn thám Hàng không, Vũ trụ Pháp GDTA - xem [16, 64] thì độ chính xác của mô hình số độ cao (DEM) cần thiết cho việc nắn ảnh vệ tinh (ở đây là các loại ảnh vệ tinh có nguyên lý hình học giống ảnh SPOT) có thể được tính dựa trên hình 5.2. Theo đó, đối với ảnh SPOT: $H = 830$ km, $R_{\max} \sim 30$ km có:

$$\Delta R_{\max} = \frac{R_{\max}}{H} \cdot \Delta H = \frac{30}{830} \cdot \Delta H \approx \frac{\Delta H}{28}$$

Như vậy có thể nói sai số về độ cao của mô hình DEM được phép lớn tới 28 lần sai số xê dịch vị trí điểm trên thực địa. Tương tự như vậy, đối với các ảnh vệ tinh quang học khác có các bộ cảm biến với nguyên lý hình học giống như của ảnh SPOT như IKONOS hay Quickbird, ... đều có thể tính được độ chính xác cần thiết của DEM cho việc nắn ảnh vệ tinh.

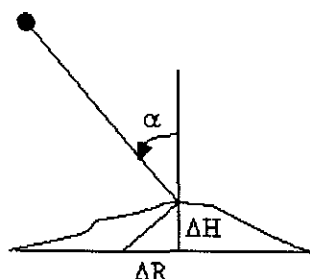
Đối với ảnh IKONOS2: $H = 680$ km, $R_{\max} = 5.7$ km

$$\Delta R_{\max} = \frac{5.7}{680} \cdot \Delta H \approx \frac{\Delta H}{119}$$

Đối với ảnh Quickbird 2: $H = 450$ km, $R_{\max} = 8.5$ km

$$\Delta R_{\max} = \frac{8.5}{450} \cdot \Delta H \approx \frac{\Delta H}{53}$$

Ngoài các ảnh vệ tinh quang học còn có các ảnh RADAR. Theo [25] độ xê dịch vị trí điểm ảnh ΔR trên các ảnh RADAR phụ thuộc vào chênh cao địa hình ΔH và góc tới α như hình vẽ 5.4 dưới đây.



Hình 5.4: Độ xê dịch của vị trí điểm ảnh trên ảnh RADAR

Theo hình 5.4, độ xê dịch của vị trí điểm ảnh ΔR có thể được tính như sau:

$$\Delta R = \frac{\Delta H}{\tan \alpha} \quad (5.11)$$

Đối với ảnh quang học như minh họa trên hình 5.2 thì $\Delta R = \Delta H \cdot \tan \alpha$ và góc tới α thường nhỏ hơn 45° (tức $\tan \alpha < 1$ hay $\Delta R < \Delta H$). Đối với ảnh radar khi $\alpha < 45^\circ$ thì $\tan \alpha < 1$, do đó $\Delta R > \Delta H$. Thêm vào đó việc nắn chỉnh hình học các ảnh radar cũng phức tạp hơn ảnh quang học do các vấn đề liên quan tới nguyên lý hình học của ảnh radar, chẳng hạn như: sự co ngắn phía trước (foreshortening), chồng đè (layover) và tạo bóng (shadow).

5.2.3. Nhận xét, thảo luận

Độ chính xác của DEM quyết định chất lượng và độ chính xác của quá trình nắn ảnh trực giao. Đối với ảnh hàng không được chụp từ các máy ảnh góc rộng ($f = 152 - 153 \text{ mm}$) và với các độ phủ trung bình $P = 60\%$, $Q = 30\%$ thì độ chính xác của DEM (δ_{DEM}) có thể cho phép lớn gấp 1,25. ΔR (ΔR là sai số xê dịch vị trí điểm ảnh cho phép) khi nắn cách ảnh và 1,65. ΔR khi nắn liền ảnh. Đối với cách ảnh vệ tinh thì DEM còn được cho phép có sai số lớn gấp nhiều lần ΔR (28 lần đối với ảnh SPOT và 119 lần đối với ảnh IKONOS 2).

Cũng từ các phân tích trên có thể thấy chỉ khi phải nắn ảnh trực giao với tỷ lệ lớn (chẳng hạn 1/5000 và lớn hơn) thì mới đòi hỏi phải chỉnh sửa DEM đáng kể. Còn nếu để nắn ảnh trực giao với tỷ lệ nhỏ hơn (chẳng hạn 1/25 000 và nhỏ hơn) trong nhiều trường hợp có thể dùng DEM được tạo tự động bằng các thuật toán khớp ảnh để nắn ảnh trực giao mà không cần chỉnh sửa nhiều. Trong các trường hợp này các điểm DEM có thể nằm trên bề mặt của thực phủ (chẳng hạn ngọn cây) mà vẫn có thể dùng để nắn ảnh trực giao với độ chính xác đảm bảo. Nói một cách khác, trong trường hợp thực phủ thì mô hình nắn ảnh trực giao dựa trên bề mặt DSM. Với các tỷ lệ nhỏ thì còn có thể sử dụng DEM được nội suy từ các đường bình độ trên các bản đồ địa hình để nắn ảnh trực giao.

Tuy nhiên nếu cần phải nắn ảnh trực giao ở các tỷ lệ lớn, chẳng hạn 1/5000 và lớn hơn thì DEM phải được chỉnh sửa nhiều mới cho ra kết quả nắn ảnh trực giao tốt được. Lý do chủ yếu là các địa vật trên mặt đất có kích thước từ 2 - 3 mét trở lên (nhà cửa, cây to) cũng đủ để có hình ảnh với kích thước đáng kể trên ảnh trực giao ở tỷ lệ cần nắn. Kích thước đáng kể này đòi hỏi phải được mô hình hoá chính xác bởi mô hình DEM.

Nếu mục đích của ảnh chụp hàng không chỉ để nắn ảnh trực giao thì dùng máy ảnh có tiêu cự càng dài càng tốt (máy ảnh góc hẹp). Tránh dùng các máy ảnh góc cực rộng, đặc biệt ở các tỷ lệ chụp ảnh lớn. Tuy nhiên điều này lại đối lập với các mục đích đo độ cao chính xác trên các mô hình lập thể.

5.3. Yêu cầu về độ chính xác của DEM phục vụ nội suy các đường bình độ trong quá trình thành lập bản đồ địa hình

Tự động vẽ các đường bình độ trên cơ sở DEM là một trong những ứng dụng chủ yếu của DEM. Khoảng cao đều của đường bình độ được chọn theo tỷ lệ bản đồ và độ dốc của địa hình. Khoảng cao đều còn được xác định theo độ chính xác đo vẽ độ cao. Chẳng hạn theo các tiêu chuẩn về độ chính xác của bản đồ tại Mỹ thì 90% của tất cả các điểm phải có giá trị độ cao chính xác tới 1/2 khoảng cao đều. Nếu các sai số tuân theo quy luật phân bố ngẫu nhiên thì sai số 90% bằng $\pm 1.6449 \cdot \text{RMSE}$ (RMSE là sai số trung phương). Như vậy nếu C_1 là khoảng cao đều thì:

$$\frac{1}{2} \cdot C_1 = \pm 1.6449 \cdot \text{RMSE}$$

$$\text{Hay } C_1 = 3.3 \cdot \text{RMSE} \quad (5.12)$$

Trong trường hợp các đường bình độ được tự động nội suy từ DEM thì sai số nội suy các điểm trong DEM phải bằng RMSE, tức là khoảng 1/3 khoảng cao đều.

Trong các Quy phạm đo vẽ bản đồ hiện hành ở nước ta cũng thường quy định sai số trung bình về độ cao của đường bình độ, độ cao của điểm đặc trưng địa hình, độ cao của điểm ghi chú độ cao biểu thị trên bản đồ gốc so với độ cao của điểm khống chế ngoại nghiệp gần nhất không quá 1/3 khoảng cao đều đường bình độ cơ bản. Đối với các bản đồ địa hình tỷ lệ từ 1/10 000 và lớn hơn thì giá trị này là 1/4, 1/3 và 1/2 khoảng cao đều tùy theo độ dốc của địa hình. Còn đối với các bản đồ địa hình tỷ lệ 1/25 000 và nhỏ hơn thì các giá trị này là 1/3, 1/2 khoảng cao đều. Như vậy quy định sai số của DEM phục vụ nội suy các đường bình độ bằng 1/3 khoảng cao đều là hợp lý.

Ackermann [2] cũng dựa trên nguyên tắc sai số xác suất 90% nêu trên để thiết lập mối liên hệ giữa khoảng cao đều C_1 và sai số trung bình về độ cao của đường bình độ δH . Theo đó $C_1 \geq 3.3 \delta H$. Cũng theo [2] thì có thể coi sai số của DEM : $\delta_{\text{DEM}} = \delta H$.

Tuy nhiên để có thể nội suy được đúng đắn của đường bình độ thì DEM còn phải miêu tả được khá chi tiết các đặc trưng của địa hình. Ackermann [1] cũng đã chỉ ra rằng, cho các mục đích bản đồ hay xây dựng các công trình, nếu trong DEM chỉ có các điểm độ cao thôi là chưa đủ mà cần phải bổ sung thêm các đường breaklines, điểm

ghi chú độ cao. Vấn đề này sẽ được làm sáng tỏ hơn thông qua các kết quả thử nghiệm thực tế ở chương 6.

5.4. Yêu cầu về độ chính xác của DEM trong quản lý tài nguyên thiên nhiên

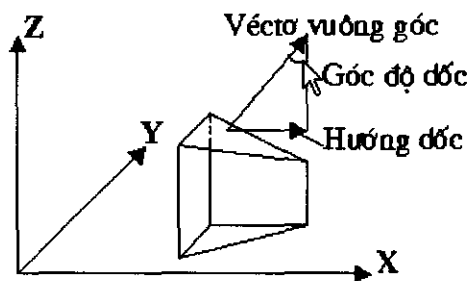
Nếu trong một số ứng dụng của DEM như thành lập bình đồ ảnh trực giao hay nội suy đường bình độ, sai số của điểm độ cao trong DEM được quan tâm nhiều nhất thì khi ứng dụng DEM vào các công tác quản lý tài nguyên thiên nhiên, độ chính xác của nó lại thường không được đánh giá theo sai số của các điểm độ cao mà chủ yếu theo độ dốc, hướng dốc, được tính toán từ DEM. Bản đồ độ dốc và hướng dốc là cơ sở dữ liệu quan trọng trong GIS phục vụ cho công tác quản lý và quy hoạch sử dụng đất đai và bảo vệ môi trường [31]. Theo [28] thì độ cao, độ dốc và hướng dốc của địa hình là ba tham số có liên quan theo không gian với chất đất, độ ẩm của đất, dạng thực phủ, mật độ thực phủ, độ thấm của đất...

Một điều cần nhấn mạnh là các ứng dụng của quản lý tài nguyên thiên nhiên rất đa dạng, trong đó có những ứng dụng mà DEM không những đóng một vai trò quan trọng mà còn đòi hỏi phải có độ chính xác rất cao chẳng hạn như các ứng dụng của DEM liên quan đến công tác phòng chống lũ lụt. Tuy nhiên lại có những ứng dụng khác mà DEM chỉ đóng một vai trò nhất định, làm nền hay được dùng như các thông tin bổ sung chẳng hạn như đánh giá mức độ phát tán ô nhiễm không khí hay các nghiên cứu về đa dạng sinh học, như đã nêu ở chương 3. Do đó có thể nói yêu cầu về độ chính xác của DEM trong quản lý tài nguyên thiên nhiên tùy thuộc vào từng ứng dụng cụ thể. Khác với các ứng dụng như thành lập bình đồ ảnh hay nội suy đường bình độ, trong đó có thể đưa ra được các công thức chung để xác định yêu cầu về độ chính xác của DEM, trong các công tác quản lý tài nguyên thiên nhiên, do tính đa dạng của chúng mà không thể đưa ra một công thức hay quy tắc chung nào. Mặc dù vậy trong từng ứng dụng cụ thể, dựa trên các bài toán phân tích hay mô hình hoá cụ thể có thể ít nhiều lượng hoá được các yêu cầu về độ chính xác của DEM và qua đó có thể lựa chọn được các DEM phù hợp nhất cho từng ứng dụng.

Phần này trình bày cơ sở toán học của việc tính toán một số đại lượng dựa trên DEM như độ dốc và hướng dốc. Sau đó đưa ra một số ví dụ miêu tả ứng dụng của DEM trong công tác quản lý tài nguyên thiên nhiên như tài nguyên đất, nước, không khí... với các phân tích về độ chính xác của DEM.

5.4.1. Tính toán độ dốc và hướng dốc dựa trên DEM:

Trong mô hình TIN thì mỗi tam giác xác định một bề mặt nghiêng, độ dốc và hướng dốc như trên hình 5.5. Độ dốc được tính cho mỗi tam giác là góc giữa vector vuông góc với mặt phẳng tam giác và hướng dãi dọi. Hướng dốc là phương vị của hình chiếu của vector vuông góc lên bề mặt nằm ngang. Độ dốc được đo theo cả hai đơn vị là độ và phần trăm. Quan hệ giữa hai đơn vị này được thể hiện qua biểu thức $45^\circ = 100\%$ độ dốc, $90^\circ = 200\%$ độ dốc. Độ dốc $< 45^\circ$ nằm trong khoảng từ 1% đến 100% và độ dốc nằm giữa 45° và 90° tương đương với khoảng từ 100% đến 200%. Hướng dốc thông thường được tính theo đơn vị độ, bắt đầu từ hướng Bắc, theo chiều kim đồng hồ từ 0° đến 360° . 0° là hướng Bắc, 90° là hướng Đông, 180° là hướng Nam và 270° là hướng Tây. Giá trị 361° thường được dành để chỉ các vùng hay bề mặt nằm ngang, chẳng hạn như bề mặt nước.



Hình 5.5: Độ dốc và hướng dốc trong mô hình TIN

Đối với mô hình Grid thì hai sản phẩm dẫn xuất của DEM (dưới góc độ toán học có thể nói là hai đạo hàm bậc nhất) là độ dốc và hướng dốc của bề mặt. Độ dốc được xác định bởi mặt phẳng tiếp tuyến với bề mặt của DEM tại một điểm cho trước và bao gồm hai thành phần đó là Gradient độ dốc - mức thay đổi về độ cao (độ dốc lớn nhất) và hướng dốc - phương vị của Gradient độ dốc. Ngoài ra trong các phân tích về trắc nghiệm hình thái (geomorphological analysis) còn sử dụng cả các đạo hàm bậc hai. Đó là “convexity” - độ lồi - thể hiện tốc độ thay đổi của độ dốc và cũng được chia ra làm hai thành phần là “plan convexity” và “profile convexity”. Khi độ lồi “convexity” nhận giá trị âm thì nó còn được gọi là “độ lõm - concavity” - [7].

Trong đề tài này chỉ tập trung vào các tính toán độ dốc, hướng dốc và một số ví dụ liên quan đến phân tích sai số của độ dốc trong các bài toán ứng dụng cụ thể.

Một cách tổng quát, vector độ dốc của bề mặt địa hình có thể được xác định bởi hai vector thành phần, đó là vector độ dốc theo hướng trục X và hướng trục Y (đạo hàm

riêng của độ cao Z theo các hướng X và Y). Như vậy độ dốc và hướng dốc có thể được tính toán theo công thức tổng quát sau đây:

$$\text{Độ dốc } S = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial X}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial Y}\right)^2} \quad (5.13)$$

$$\text{Hướng dốc} = \tan^{-1} \left[\frac{\left(\frac{\partial Z}{\partial X}\right)}{\left(\frac{\partial Z}{\partial Y}\right)} \right] \quad (5.14)$$

Tùy theo các cách tính đạo hàm riêng của độ cao theo hướng X : $\frac{\partial Z}{\partial X}$ và Y : $\frac{\partial Z}{\partial Y}$

mà có nhiều công thức và thuật toán khác nhau để tính toán độ dốc và hướng dốc [7, 31, 57] dựa trên DEM dạng Grid. Raaflaub [57] phân tích 8 loại công thức và thuật toán khác nhau để tính độ dốc và hướng dốc. Kết quả cho thấy giá trị độ dốc có thể khác nhau tới 19%, hướng dốc tới 36°. Chênh lệch giá trị hướng dốc không phụ thuộc vào giá trị của nó mà lại phụ thuộc vào giá trị độ dốc. Cụ thể là vùng có độ dốc nhỏ thường là vùng có sai số lớn về hướng dốc. Do đó cần phải hết sức chú ý khi chọn thuật toán tính toán tối ưu cho từng ứng dụng cụ thể. Có những thuật toán tối ưu cho ứng dụng này nhưng cho ứng dụng khác lại có một hay nhiều thuật toán khác tỏ ra tốt hơn. Tuy các thuật toán có khác nhau nhưng chúng đều dựa trên giá trị độ cao của các điểm xung quanh và một cửa sổ của các điểm độ cao với kích thước 3×3 , trong đó tâm của cửa sổ là vị trí mà tại đó cần tính giá trị độ dốc, thường hay được dùng nhất. Sau đây là một ví dụ minh họa.

a) Tính độ dốc (theo % và độ)

	j-1	j	j+1			
i-1	$Z_{i-1,j-1}$	$Z_{i-1,j}$	$Z_{i-1,j+1}$	30	40	45
i	$Z_{i,j-1}$	$Z_{i,j}$	$Z_{i,j+1}$	40	50	52
i+1	$Z_{i+1,j-1}$	$Z_{i+1,j}$	$Z_{i+1,j+1}$	45	52	60

$$\Delta Z / \Delta X = \left[(Z_{i+1,j+1} + Z_{i,j+1} + Z_{i-1,j+1}) - (Z_{i+1,j-1} + Z_{i,j-1} + Z_{i-1,j-1}) \right] / 6\Delta X$$

$$\Delta Z / \Delta Y = \left[(Z_{i-1,j-1} + Z_{i-1,j} + Z_{i-1,j+1}) - (Z_{i+1,j-1} + Z_{i+1,j} + Z_{i+1,j+1}) \right] / 6\Delta Y$$

Trong đó: ΔX là kích thước mắt lưới theo chiều trục X (ví dụ $\Delta X = 30$ m);

ΔY là kích thước mắt lưới theo chiều trục Y (ví dụ $\Delta Y = 30$ m);

Z là giá trị độ cao tại các điểm mắt lưới.

Thuật toán này có tên gọi là tính theo tám điểm kề cận không có trọng số (*Eight Neighbours Unweighted* □ viết tắt là *ENU*). Cũng theo [57] thì thuật toán này cho phép tính toán độ dốc và chỉ số địa hình (topographic index) với sai số nhỏ nhất so với 7 thuật toán còn lại.

Theo các giá trị ở ma trận độ cao nêu trên thì:

$$\Delta Z/\Delta X = [(60 + 52 + 45) - (45 + 40 + 30)] / (6 \times 30) = \frac{42}{6 \times 30} = 0.233$$

$$\Delta Z/\Delta Y = [(30 + 40 + 45) - (45 + 52 + 60)] / (6 \times 30) = \frac{-42}{6 \times 30} = -0.233$$

Độ dốc S được tính theo công thức:

$$\tan S = \sqrt{\left(\frac{\Delta Z}{\Delta X}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Z}{\Delta Y}\right)^2} = 0.33$$

Nếu $\tan S \leq 1$ thì % độ dốc $S = \tan S \times 100$

Nếu $\tan S > 1$ thì % độ dốc $S = 200 - \tan S \times 100$

Trong trường hợp này % độ dốc $S = 0.33 \times 100 = 33\%$

Độ dốc S (tính bằng độ) $S = \arctan 0.33 = 18.26^\circ$

b) Tính hướng dốc

$$\Delta Z_x = [(Z_{i-1,j+1} + Z_{i,j+1} + Z_{i+1,j+1}) - (Z_{i-1,j-1} + Z_{i,j-1} + Z_{i+1,j-1})] / 3$$

$$\Delta Z_y = [(Z_{i-1,j-1} + Z_{i-1,j} + Z_{i-1,j+1}) - (Z_{i+1,j-1} + Z_{i+1,j} + Z_{i+1,j+1})] / 3$$

$$\Delta Z_x = \frac{42}{3} = 14; \quad \Delta Z_y = -\frac{42}{3} = -14$$

1) Nếu $\Delta Z_x = 0$ và $\Delta Z_y = 0$ thì hướng dốc = Flat = 361° (để chỉ, ví dụ mặt hồ nước).

2) Nếu $|\Delta Z_x| \geq |\Delta Z_y|$ thì $\phi = \arctan \frac{\Delta Z_y}{\Delta Z_x}$

Nếu $\Delta Z_x > 0$ thì hướng dốc = $270^\circ - \phi$

Nếu $\Delta Z_x < 0$ thì hướng dốc = $90^\circ - \phi$

3) Nếu $|\Delta Z_x| < |\Delta Z_y|$ thì $\phi = \arctan \frac{\Delta Z_x}{\Delta Z_y}$

Nếu $\Delta Z_y > 0$ thì hướng dốc = $180^\circ + \phi$

Nếu $\Delta Z_y < 0$ và $\Delta Z_x \leq 0$, hướng dốc = ϕ

Nếu $\Delta Z_y < 0$ và $\Delta Z_x > 0$, hướng dốc = $360^\circ - \phi$

Trong ví dụ này $|\Delta Z_X| = |\Delta Z_Y| = 14$ và $\Delta Z_x = 14 > 0$

$$\phi = \text{atan} \frac{-14}{14} = \text{atan} (-1) = -45^\circ$$

Hướng dốc = $270^\circ - \phi = 315^\circ$ (hướng về phía Tây Bắc)

5.4.2. Một số ví dụ phân tích sai số của DEM trong các công tác quản lý tài nguyên thiên nhiên

a) Tài nguyên đất

Trong các bài toán lập mô hình về nguy cơ xói mòn đất, được ứng dụng trong quản lý tài nguyên thiên nhiên và bảo vệ môi trường - mục 3.1.4, người ta thường sử dụng phương trình sau đây - tên viết theo tiếng Anh là Universal Soil Loss Equation — viết tắt là USLE [7]:

$$A = (0.224).R.K.L.S.C.P$$

Trong đó: A- Độ xói mòn đất hàng năm tính theo kg/m^2 ;

R- Hệ số xói mòn của mưa;

K- Độ chống xói mòn của đất;

L- Hệ số chiều dài của độ dốc;

S — Hệ số độ dốc;

C- Tham số canh tác;

P- Tham số bảo vệ.

Trong các tham số này chỉ có L và S là có liên quan tới DEM, cũng theo [7]: $L = \sqrt{l/22.1}$ với l là chiều dài của độ dốc (tính theo mét).

Giả sử một khu vực nghiên cứu có các độ dốc với chiều dài $100 \text{ m} \pm 20 \text{ m}$ thì: $L = 2.13 \pm 0.252$.

Hệ số độ dốc S được tính:

$$S = 0.0065 S^2 + 0.0454S + 0.065$$

Trong đó S là độ dốc tính theo %. Giả sử giá trị độ dốc là $10 \pm 2\%$ thì

$$S = 1.169 \pm 0.122$$

Theo một số tài liệu, chẳng hạn như [68] để mô hình hoá sự xói mòn của đất một cách phù hợp và đảm bảo độ chính xác có thể dùng bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 50 000 với khoảng cao đều đường bình độ 20 mét để thành lập DEM dạng lưới đều, với khoảng cách mắt lưới là 25 mét, phục vụ cho bài toán mô hình hoá trên.

b) Tài nguyên nước

Trong công tác mô hình hoá lũ lụt người ta thường sử dụng mô hình thủy văn - thủy lực để dự đoán mức nước chảy tràn và tính toán vùng tích lũ. Dữ liệu đầu vào bao gồm: DEM độ chính xác cao; các thông tin khác như: nhà cửa và công trình xây dựng; cầu, cống, đê, kè, bờ bao...; dữ liệu về mức nước và thông tin về sử dụng đất [53].

Liên quan đến vấn đề đánh giá độ chính xác của DEM trong công tác này thì một trong những hướng nghiên cứu hiện đại của ngành thủy văn và môi trường là sử dụng phương pháp mô phỏng Monte- Carlo. Mặc dù phương pháp Monte Carlo đòi hỏi khối lượng tính toán lớn nhưng nó lại có khả năng cung cấp các thông tin hữu ích về ảnh hưởng của sai số lên các kết quả tính toán tại các vùng khác nhau thuộc vùng nghiên cứu. Trong [7, 57] miêu tả việc sử dụng phương pháp mô phỏng Monte - Carlo để khảo sát ảnh hưởng của sai số trung phương (RMSE) của DEM lên kết quả tính toán độ dốc và hệ thống dòng chảy. Theo phương pháp này, một trường sai số với giá trị trung bình $\mu = 0$ và phương sai σ^2 được tạo ra cho một giá trị nào đó của sai số trung phương, chẳng hạn ± 1.0 m. Trường sai số này được đưa vào mô hình DEM ban đầu và việc tính toán độ dốc được thực hiện. Quá trình tính toán được thực hiện lặp lại, ví dụ 100 lần, mỗi lần cho ra một kết quả khác nhau về độ dốc. Từ 100 kết quả trên có thể tạo ra bản đồ độ dốc trung bình và bản đồ của sai số trung phương độ dốc cho từng ô lưới DEM. Chia bản đồ sai số trung phương cho bản đồ độ dốc trung bình để có được bản đồ sai số tương đối. Quá trình tính toán có thể được lặp lại cho các giá trị σ^2 khác nhau.

Không chỉ có độ dốc mà các sản phẩm dẫn xuất khác từ DEM chẳng hạn hệ thống dòng chảy cục bộ cũng rất nhạy cảm với các sai số của DEM. Thông qua việc tính toán, mô phỏng tương tự như với độ dốc, kết quả phân tích đã cho thấy đối với các sai số trung phương khá nhỏ (0.3 m - 0.5 m) của DEM cũng có thể gây ảnh hưởng đáng kể tới hướng của hệ thống dòng chảy tại các vùng bằng phẳng [7, 38].

Trong chương trình thành lập bản đồ lũ lụt bang Bắc Carolina (Mỹ) có đề ra yêu cầu dữ liệu độ cao số phục vụ các nghiên cứu bảo hiểm lũ lụt hay mô hình hoá trong GIS phục vụ dự báo, quy hoạch phòng chống lũ lụt cần phải được xác định với độ chính xác 0,4 m (RMSE) cho các vùng đồi núi, 0,2 m cho các vùng đồng bằng. Dự án bang Bắc Carolina đề ra sai số trung phương về độ cao của DEM là 0,2 m cho các hạt (tỉnh) ven biển và 0,25 m cho các hạt nằm sâu trong đất liền. Ở một số nước khác có các dự án [47] với các tiêu chí tương tự cũng được đưa ra: sai số trung phương của

DEM là 0,2 m cho địa hình bằng phẳng hoặc hơi dốc với thực phủ thưa, 0,4 m cho địa hình bằng phẳng hoặc hơi dốc với thực phủ dày và 0,5 m cho địa hình có độ dốc lớn với thực phủ thưa;

Mặc dù phương pháp mô phỏng Monte- Carlo là rất hiệu quả cho các phép phân tích sai số nhưng nó đòi hỏi một khối lượng tính toán lớn, phức tạp. Để giảm khối lượng tính toán, các sai số có thể được phân tích theo các hàm giải tích thông thường. Chẳng hạn có thể tính toán được sai số của U như là một hàm số của các sai số trong các giá trị đầu vào A_i khi $U = f(A_i)$ và trong hàm số này chỉ bao gồm các phép toán số học và đại số thông thường. Chẳng hạn trong các phân tích về thủy động lực học có chỉ số năng lượng dòng chảy ω được tính toán như sau: $\omega = \ln(A_s \cdot \tan S)$. Trong đó A_s có liên quan đến độ chia cắt ngang và S là độ dốc (tính theo độ). Một ví dụ nữa là chỉ số vận chuyển trầm tích τ (Sediment Transport Index) được xác định như sau:

$$\tau = [A_s / 22.13]^{0.6} \times [\sin \beta / 0.0896]^{1.3}$$
. Chỉ số này là đại lượng đặc trưng trong các quá trình xói mòn và bồi lắng, đặc biệt là dưới các tác động của địa hình.

Như vậy là tùy theo các ứng dụng cụ thể, với các hàm mô hình hoá cụ thể, có thể tiến hành phân tích ảnh hưởng của các sai số của DEM hay các sản phẩm dẫn xuất của nó (độ dốc, hướng dốc) lên các kết quả tính toán.

c) Tài nguyên không khí và một số ứng dụng khác

Trong [34] miêu tả một nghiên cứu đánh giá mức độ ô nhiễm không khí tại thủ đô Athens (Hy Lạp). Kết quả của nghiên cứu này là một mô hình phát tán không khí. Thông qua mô hình này có thể dự đoán được ảnh hưởng của các tham số ô nhiễm không khí khác nhau. Ngoài ra, mô hình này còn được so sánh, đối chiếu với các số liệu thực tế để có thể dự đoán chính xác mức độ ô nhiễm không khí trong các bối cảnh khác nhau.

Các tham số trong mô hình có liên quan tới địa hình (DEM) - thủ đô Athens nằm trong một vùng lòng chảo bao quanh bởi núi và biển, các tham số khí tượng (gió, nhiệt độ, lượng mưa) các điều kiện của đô thị (dân cư, sử dụng đất, mật độ giao thông) và các nguồn phát ô nhiễm (sản xuất công nghiệp, giao thông, hệ thống điều hoà không khí). Từng tham số cụ thể được mô hình hoá. Mô hình kết quả kết hợp tất cả các tham số và thể hiện bằng các bản đồ hình ảnh động (animated maps), cho thấy quá trình phát triển ô nhiễm không khí của thành phố trong ngày. Trong mô hình này DEM đóng vai trò của một nhóm các tham số (địa hình) và được xây dựng ở tỷ lệ nhỏ.

Một ứng dụng nữa của độ dốc và hướng dốc là tính toán năng lượng mặt trời chiếu trực tiếp xuống bề mặt. Khác với khi lập bản đồ vờn bóng địa hình, trong việc tính toán năng lượng mặt trời thì vị trí của mặt trời được thay đổi theo vĩ độ địa lý của khu vực khảo sát, theo thời gian trong ngày và theo ngày trong năm. Trong ứng dụng này có yêu cầu thiết lập ảnh hưởng của độ hấp thụ khí quyển lên tổng năng lượng mà bề mặt thu được. Ngoài ra còn phải mô hình hoá hiệu ứng bóng râm của địa hình (còn gọi là hệ số quan sát bầu trời - Sky view factor), hiệu ứng này rất quan trọng ở các vùng núi cao, nhất là vào mùa đông.

Lượng bức xạ mặt trời thu được tại một điểm thuộc bề mặt địa hình là hàm số của góc thiên đỉnh mặt trời, dòng năng lượng của mặt trời ở bên trên lớp khí quyển, độ hấp thụ của khí quyển, góc chiếu sáng của mặt trời và tầm quan sát bầu trời. Góc thiên đỉnh của mặt trời và dòng năng lượng mặt trời ở bên trên lớp khí quyển thay đổi theo thời gian trong ngày, độ hấp thụ của khí quyển là hàm số của các chất hấp thụ và các chất tán xạ (mây, bụi). Độ hấp thụ của khí quyển cũng tăng theo độ cao vì độ cao càng tăng thì số lượng các chất hấp thụ và tán xạ càng giảm. Nếu độ hấp thụ của khí quyển là T_0 thì năng lượng bức xạ mặt trời I được hấp thụ tại một điểm trên bề mặt địa hình có độ dốc β được tính như sau[7]:

$$I = \cos i \cdot S_0 \cdot \exp(-T_0 / \cos \theta_0) = [\cos \theta_0 \cos \beta + \sin \theta_0 \sin \beta \cos(\phi_0 - A)] S_0 \cdot \exp(-T_0 / \cos \theta_0)$$

Trong đó i là độ chiếu sáng mặt trời, S_0 là nguồn năng lượng của mặt trời bên trên lớp khí quyển, θ_0 là góc thiên đỉnh của mặt trời, ϕ_0 là góc phương vị của mặt trời, A là hướng dốc, β là độ dốc. Bởi vì cả β và A đều được tính toán từ DEM trong phương trình trên, I thay đổi theo vị trí của điểm trong không gian, i thay đổi theo thời gian trong ngày và theo ngày trong năm, do đó có thể tính toán được sự biến thiên theo thời gian và không gian của I . Chú ý rằng hệ số quan sát bầu trời hạn chế việc hấp thụ bức xạ mặt trời khi góc nghiêng của mặt trời ($90^\circ - \theta_0$) nhỏ hơn độ dốc của địa hình.

Dựa trên các tính toán về năng lượng bức xạ mặt trời I có thể lập bản đồ phân biệt các khu vực thích hợp cho việc trồng trọt, sưởi ấm. Nếu kết hợp bản đồ phân loại khu vực nóng và lạnh với các thông tin về độ ẩm có thể lập bản đồ phân vùng có các kiểu vi khí hậu nóng ẩm, nóng khô, lạnh ẩm và lạnh khô.

5.5. Nhận xét, thảo luận

Yêu cầu về độ chính xác của DEM trong quản lý tài nguyên thiên nhiên cần phải được phân tích, đánh giá theo từng ứng dụng cụ thể. Độ chính xác của DEM chủ

yếu được đánh giá theo độ dốc và hướng dốc được tính toán từ DEM. Trong khuôn khổ của đề tài này, chúng tôi trình bày các nguyên tắc và thuật toán cơ bản để tính toán độ dốc và hướng dốc dựa trên DEM. Ngoài ra các phương pháp tính toán, xác định sai số của độ dốc và hướng dốc cũng được đề cập, làm cơ sở để đánh giá sai số của DEM trong một số ứng dụng cụ thể liên quan đến tài nguyên đất, nước, không khí.

Trong công tác thành lập bình đồ ảnh trực giao yêu cầu về độ chính xác của DEM có thể được tính toán, thiết lập theo giá trị của tiêu cự máy chụp ảnh hàng không, các độ phủ P, Q của ảnh. Đối với trường hợp phổ biến nhất trên thực tế ($f = 153 \text{ mm}$, $P = 60\%$, $Q = 30\%$) thì độ chính xác đòi hỏi của DEM để thành lập bình đồ ảnh không được thấp hơn $1,25 \cdot m_p$ (nấn cách ảnh) và $1,65 \cdot m_p$ (nấn liền ảnh), với m_p là sai số xê dịch vị trí điểm ảnh nấn cho phép tính theo đơn vị thực địa. Độ chính xác của DEM cũng có thể được tính cho một số loại ảnh viễn thám cụ thể.

Trong công tác nội suy đường bình độ từ DEM thì độ chính xác đòi hỏi của DEM thường là $1/3$ khoảng cao đều. Trong các ứng dụng khác của quản lý tài nguyên thiên nhiên thì độ chính xác của DEM phải được phân tích, đánh giá theo từng ứng dụng cụ thể.

Tuy nhiên một vấn đề cần phải làm rõ là không phải tất cả các ứng dụng của quản lý tài nguyên thiên nhiên đều bắt buộc phải có DEM. Có những ứng dụng không cần tới DEM, có những ứng dụng lại chỉ cần tới DEM như các dữ liệu bổ trợ. Hơn nữa khi tìm hiểu các tài liệu đề cập đến nhiều ứng dụng cụ thể liên quan đến quản lý tài nguyên thiên nhiên, trong đó có sử dụng DEM hay các thông tin về độ cao trên bản đồ thì có thể thấy tỷ lệ bản đồ phổ biến là $1 : 100\,000$ và $1 : 50\,000$. Chẳng hạn như để phục vụ mô hình hoá xói mòn của đất, DEM được thành lập từ bản đồ địa hình tỷ lệ $1 : 50\,000$ với khoảng cao đều 20 mét (mục 5.4.2). Ở nước ta trong nhiều ứng dụng liên quan đến quản lý tài nguyên thiên nhiên thì hầu hết bản đồ địa hình được sử dụng trực tiếp, hay để thành lập DEM đều phổ biến ở các tỷ lệ $1 : 50\,000$ và $1 : 100\,000$ (mục 3.2, 3.3; [23]).

Với bản đồ địa hình tỷ lệ $1 : 50\,000$ thì khoảng cao đều phổ biến là 20 mét. Theo mục 5.1.3.2 DEM được thành lập bằng phương pháp nội suy từ các đường bình độ trên bản đồ có độ chính xác từ $1/3$ đến $1/2$ khoảng cao đều (tức từ 7 đến 10 mét). Như vậy có thể nói trong nhiều ứng dụng liên quan đến quản lý tài nguyên thiên nhiên ở nước ta mà có sử dụng đến DEM thì trong hầu hết các trường hợp yêu cầu về độ chính xác của DEM ước tính khoảng từ 7 đến 10 mét. Nếu tham khảo thêm một số tài liệu ở nước

ngoài thì cũng có thể thấy độ chính xác của DEM trong khoảng nêu trên cũng được áp dụng phổ biến. Tài liệu [8] là một ví dụ trong đó DEM phủ trùm có sai số trung phương là 7.5 mét mà vẫn đáp ứng được các yêu cầu của nhiều ứng dụng liên quan đến quản lý tài nguyên và môi trường của Úc.

Trước một yêu cầu về độ chính xác như vậy của hệ thống DEM phủ trùm, phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên và đặt trong các điều kiện hiện tại của nước ta có thể thấy chỉ có hai phương pháp khả thi, đó là: phương pháp nội suy DEM từ các đường bình độ có sẵn trên bản đồ và thành lập DEM bằng phương pháp đo vẽ ảnh. Còn các phương pháp khác đều không khả thi. Đo vẽ trực tiếp rõ ràng là không khả thi cho một hệ thống DEM phủ trùm. Muốn tiến hành đo vẽ từ các cặp ảnh vệ tinh lập thể thì hiện nay ngoài việc phải đặt mua ảnh (không phải lúc nào nhà cung cấp cũng sẵn có các cặp ảnh lập thể ở các khu vực cần thiết và với độ phủ mong muốn), còn phải nhập thêm các thiết bị, phần mềm xử lý và đào tạo con người. Hơn nữa một số loại ảnh lập thể (chẳng hạn SPOT5) dùng để tạo DEMs sẽ không được dùng để chào bán thương mại mà nhà cung cấp sẽ tạo DEM thương mại từ các cặp ảnh lập thể này để bán. Các công nghệ mới như LIDAR và IFSAR còn khá xa lạ với thực tế sản xuất ở nước ta.

CHƯƠNG 6: THỬ NGHIỆM XÂY DỰNG MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO

Như đã phân tích ở các mục 4.3 và 5.5, để thành lập DEM phủ trùm phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên trong các điều kiện ở nước ta hiện nay thì chỉ có hai phương pháp khả thi đó là: phương pháp đo vẽ ảnh và phương pháp nội suy từ các đường bình độ có sẵn trên bản đồ. Do đó trong khuôn khổ của đề tài này (theo đề cương) chúng tôi tiến hành xây dựng DEM với khối lượng tương đương 8 mảnh bản đồ tỷ lệ 1: 50 000. Trong đó có 3 mảnh DEM được xây dựng theo phương pháp đo vẽ ảnh số và 5 mảnh được xây dựng theo phương pháp nội suy từ các đường bình độ được số hoá trên các bản đồ có sẵn.

Sau khi thành lập chúng tôi tiến hành so sánh, đánh giá chất lượng của DEM bằng các biện pháp sau đây:

- So sánh độ cao của một số điểm được nội suy từ DEM với một số điểm kiểm tra;
- So sánh một số mảnh DEM được xây dựng theo hai phương pháp khác nhau nhưng trên cùng một địa hình;
- So sánh các mảnh DEM của cùng một khu vực, cùng phương pháp thành lập nhưng khác nhau về cấu trúc (DEM dạng TIN và dạng Grid) trong hai ứng dụng chủ yếu của lĩnh vực đo đạc bản đồ và viễn thám là nắn ảnh trực giao và nội suy đường bình độ.

Thông qua các phân tích, đánh giá có thể biết được, ở một mức độ nhất định, độ chính xác của các DEM sản phẩm, cũng như ưu điểm và nhược điểm của từng cấu trúc DEM (TIN/GRID). Kết quả phân tích, đánh giá còn làm rõ những điểm mạnh và điểm yếu của từng phương pháp xây dựng DEM. Ngoài ra một số vấn đề cũng sẽ được làm sáng tỏ chẳng hạn như những khía cạnh kỹ thuật cần chú ý khi thành lập DEM, đặc biệt là việc lấy mẫu và sử dụng hợp lý các chức năng của phần mềm nhằm xây dựng DEM với chất lượng tốt nhất có thể.

6.1 Xây dựng DEM theo phương pháp đo vẽ ảnh số

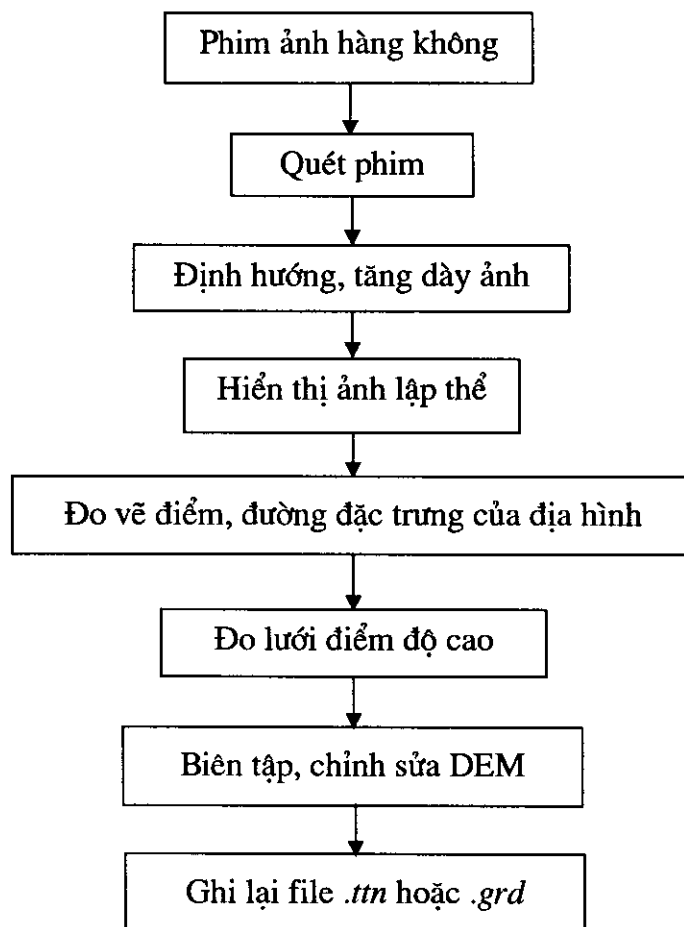
Theo phương pháp này 3 mảnh DEM được xây dựng ở các khu vực Lào Cai, Quảng Ngãi và Kon Tum trên hệ thống đo vẽ ảnh số của Intergraph. Trong khuôn khổ của đề tài và trang thiết bị hiện có của Viện Nghiên cứu Địa chính các mảnh DEM được thành lập trên hệ thống đo vẽ ảnh số của Intergraph.

Các phần mềm sử dụng để thành lập DEM trên hệ thống đo vẽ ảnh số của Intergraph bao gồm:

- Microstation;
- Image station stereo display (ISSD);
- Image station feature collection (ISFC);
- Image station DTM collection (ISDC).

6.1.1 Quy trình đo vẽ thành lập DEM trên hệ thống đo vẽ ảnh số

Quy trình thành lập DEM trên các hệ thống đo vẽ ảnh số (Intergraph, Helava, Erdas ...) có thể được miêu tả theo hình 6.1 dưới đây:



Hình 6.1: Quy trình thành lập DEM theo phương pháp đo vẽ ảnh số

Phương pháp đo vẽ ảnh số để thành lập DEM đã được miêu tả trong phần 4.2.3. Ở phần thực nghiệm này chúng tôi chọn quy trình thành lập DEM thủ công và bán tự động (quy trình b của mục 4.2.3.3). Các nội dung đo vẽ, thành lập DEM theo quy trình này được cụ thể hoá trong phần sau đây.

6.1.2. Nội dung công tác đo vẽ, thành lập DEM

Nội dung của công tác này bao gồm việc thu thập dữ liệu (lấy mẫu) các đối tượng đặc trưng của địa hình như: các đường tụ thủy, phân thủy, các đường breaklines... và lưới điểm độ cao. Như vậy có thể nói phương thức lấy mẫu ở đây là phương thức hỗn hợp (mục 4.2.3.2). Các đường đặc trưng của địa hình được số hoá hoàn toàn thủ công. Đối với lưới điểm độ cao thì tùy theo độ phức tạp của địa hình, thực phủ mà có thể chọn cách đo lưới điểm tự động trước, chỉnh sửa thủ công sau hoặc đo hoàn toàn thủ công.

Đường tụ thủy là các đường có vị trí thấp nhất trong một khu vực mà khi mưa nước đổ dồn về và chảy theo chúng. Cụ thể hơn, đường tụ thủy là đường đi theo đáy của các khe, rãnh, suối, ghi nhận sự đột biến của độ dốc địa hình và tất cả các điểm nằm trên đường này đều có độ cao nhỏ hơn các điểm xung quanh nằm về hai phía của đường đó. Khi vẽ các đường tụ thủy ở trên các sườn núi phải vẽ chính xác vào vị trí thấp nhất cục bộ của địa hình. Đối với các đường tụ thủy là sông suối có thể vẽ được bằng hai nét trên ảnh thì đường tụ thủy phải được vẽ chính xác vào đường mép nước. Khi vẽ đường tụ thủy nên vẽ sông suối chính (lớn) trước sau đó vẽ các sông suối phụ, đường tụ thủy sau.

Đường phân thủy là các đường có vị trí cao nhất trong một khu vực mà khi mưa nước chảy về hai phía của đường đó. Cụ thể hơn, đường phân thủy là đường thể hiện các sống núi hoặc các điểm ghi nhận sự đột biến của độ dốc địa hình và tất cả các điểm nằm trên đường này có độ cao lớn hơn các điểm nằm về hai phía của đường đó. Khi vẽ đường phân thủy nên vẽ các đường phân thủy chính trước (các đường phân thủy trên đỉnh dãy núi), sau đó vẽ các đường phân thủy trên các sườn núi.

Các đường breakline được vẽ ở các vị trí có sự thay đổi đột ngột của địa hình như chân núi, các vách núi, ta luy...

Khi đo lưới điểm độ cao thì tùy theo mức độ phức tạp của địa hình, tỷ lệ ảnh chụp mà quy định khoảng cách mắt lưới thích hợp để có thể kết hợp với các đường đặc trưng của địa hình mô tả chính xác bề mặt của địa hình (ví dụ với khu vực đồng bằng, bình nguyên thì chọn khoảng cách mắt lưới lớn, khu vực có địa hình gồ ghề, phức tạp thì phải chọn khoảng cách mắt lưới nhỏ).

Đối với các khu vực địa hình trung bình không quá phức tạp hay quá đơn giản (bằng phẳng) thì có thể chọn khoảng cách mắt lưới theo công thức sau:

$$D = P \times 30 \times Ma$$

Trong đó:

D là khoảng cách mắt lưới;

P là độ phân giải quét;

Ma là mẫu số tỷ lệ ảnh chụp.

Khi đo lưới điểm độ cao nên xếp dịch vị trí của điểm đo từ vị trí chuẩn (vị trí được định nghĩa sẵn bởi phần mềm) tới vị trí tiêu biểu cho địa hình kề cạnh nó để có thể mô tả địa hình tốt hơn. Đối với các khu vực có địa hình quá phức tạp mà lưới điểm độ cao và các đường đặc trưng của địa hình chưa thể mô tả hết được thì phải chêm dày thêm lưới điểm này bằng các điểm độ cao bổ sung. Vấn đề này sẽ được bàn kỹ hơn trong mục 6.1.3.

Ngoài ra, trong một số trường hợp còn phải khoanh bao các vùng khuất mà tại đó không thể đo, số hoá được độ cao một cách chính xác vì hình ảnh bị che khuất bởi mây hay có thực phủ dày đặc không thể nhìn thấy mặt đất. Đối với một số khu vực có địa hình vách đá dựng đứng thì còn phải số hoá thêm cả các đường thể hiện các vách này (ISDC coi đường này tương tự như một đường brealine)

Sau khi hoàn thành công đoạn lấy mẫu trên các trạm đo vẽ ảnh, DEM phải được kiểm tra độ chính xác và phải được tiếp biên với nhau.

Kiểm tra độ chính xác của DEM bao gồm các nội dung chính sau:

- Kiểm tra trực tiếp trên mô hình lập thể để phát hiện các sai sót (mức độ chi tiết, độ chính xác của quá trình lấy mẫu);
- Nội suy đường bình độ để kiểm tra khả năng mô tả địa hình;
- So sánh DEM với điểm khống chế ngoại nghiệp, điểm tăng dày để kiểm tra độ chính xác;
- Kiểm tra sai số tiếp biên của DEM

DEM được thành lập trên các trạm đo vẽ ảnh khác nhau phải được tiếp biên với nhau theo các tiêu chí sau:

- Các đường đặc trưng địa hình mô tả cùng một đối tượng phải được nối với nhau;
- DEM không được trùng phủ;
- Tại vị trí tiếp biên phải trơn (không có chênh cao đột ngột).

Trong số các nội dung kiểm tra độ chính xác của DEM thì thực tế cho thấy khả năng từ DEM nội suy tự động các đường bình độ là một trong số các vấn đề phức tạp cần tìm hiểu. Khi lưới điểm độ cao và các đường đặc trưng đã được số hoá chính xác và

tương đối đầy đủ thì kết quả nội suy này thường cho ra các đường bình độ đúng (theo nghĩa bám mặt đất) nhưng tại một số vị trí vẫn không lột tả được dáng địa hình, nhất là tại những vị trí có các yếu tố vi địa hình phức tạp. Vấn đề này được phân tích trong mục sau đây.

6.1.3. Vấn đề tự động tạo đường đồng mức từ DEM

Một ví dụ điển hình trong việc sử dụng phép nội suy là tạo đường đồng mức. Đường đồng mức nối các điểm có cùng giá trị. Một ví dụ phổ biến nhất là đường nối tất cả các điểm có cùng độ cao trên bản đồ địa hình để tạo các đường bình độ.

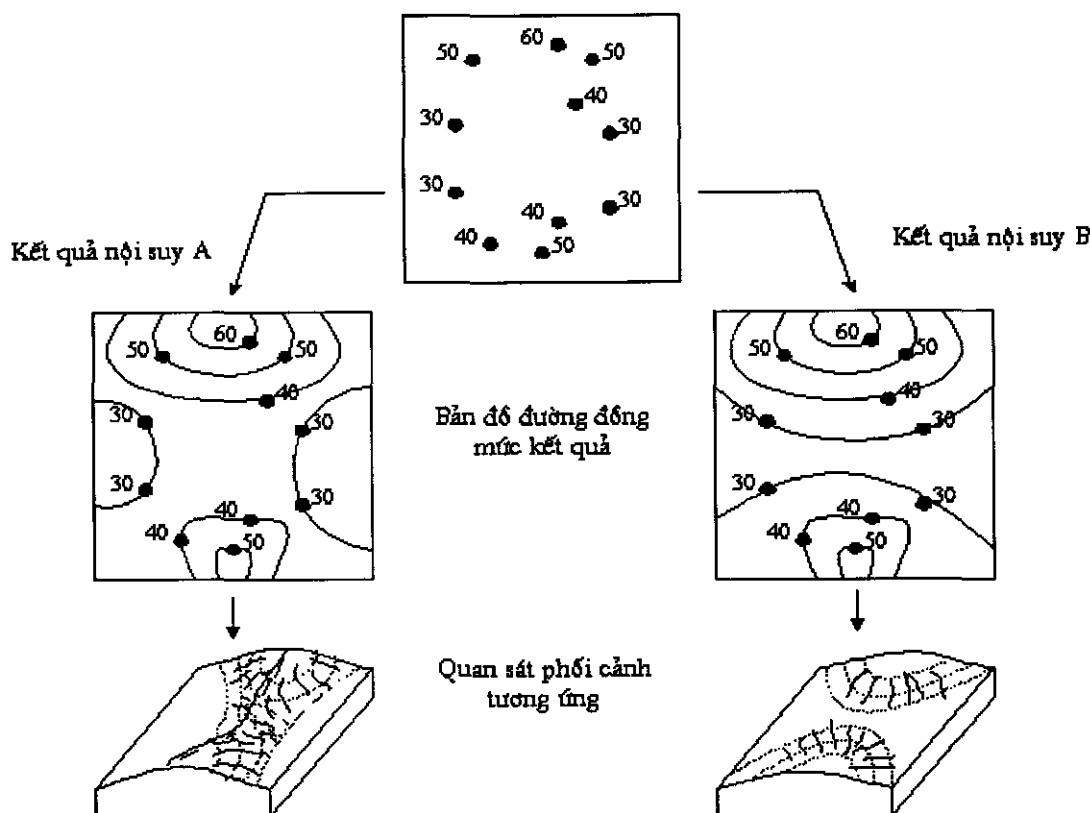
Trong đại đa số trường hợp, việc tạo các đường đồng mức bắt đầu từ một tập hợp các điểm quan sát mà giá trị của chúng được biết. Tất cả các vị trí giữa các điểm đó không được biết giá trị. Chức năng tạo đường đồng mức cho phép nội suy và tính toán giá trị của những điểm chưa biết này. Với một ví dụ được minh họa trên hình 6.2, dễ dàng nhận thấy rằng với một tập hợp dữ liệu các điểm độ cao có thể cho ra hai kiểu đường đồng mức. Phụ thuộc vào kỹ thuật nội suy, kết quả của việc tạo đường đồng mức có thể khác nhau. Theo kết quả A đường đồng mức có độ cao 30m ít nhiều chạy theo hướng Bắc-Nam. *Điều này diễn tả một bề mặt với sóng núi theo chiều Bắc-Nam giữa hai đường đồng mức 30m.* Kết quả B cho ra các đường đồng mức 30m ít nhiều chạy theo hướng Đông-Tây. *Điều này thể hiện một bề mặt với hai quả đồi tách biệt nhau bởi khoảng gián đoạn Đông-Tây (vị trí yên ngựa).*

Kết quả trên hình 6.2 cũng cho thấy tầm quan trọng của các đối tượng đặc trưng địa hình và ảnh hưởng rõ rệt của chúng lên việc miêu tả địa hình thông qua các đường bình độ. Rõ ràng rằng chỉ với các điểm độ cao không thôi là chưa đủ để có thể miêu tả được các đặc trưng địa hình (trong ví dụ trên hình 6.2 là đường sóng núi hoặc vị trí yên ngựa). Điều này cũng phần nào cho thấy tính phức tạp của việc nội suy đường đồng mức từ DEM và lý giải tại sao phải chú ý đến việc chỉnh sửa DEM thông qua việc nội suy các đường bình độ.

Các đường bình độ là phương pháp phổ biến nhất để lưu trữ và thể hiện các thông tin về độ cao trên bản đồ, đặc biệt là bản đồ địa hình. Tuy nhiên xét dưới khía cạnh kỹ thuật thì việc nội suy tự động từ DEM để cho ra các đường bình độ là một trong số các trường hợp khó khăn nhất của bài toán nội suy. Theo truyền thống thì có 3 yêu cầu chính đối với một đường bình độ như sau: bám đất, lột tả và khái quát hoá được dáng của địa hình, đảm bảo thẩm mỹ (đường bình độ phải trơn). Trên thực tế, đặc

biệt là khi dùng DEM để nội suy đường bình độ, thì sau khi được nội suy xong các đường bình độ thường chỉ thoả mãn được 1 trong 3 yêu cầu nói trên, đó là: bám đất.

Sự so sánh các kết quả nội suy



Hình 6.2: Vấn đề nội suy tự động đường đồng mức từ DEM

Để có được các đường bình độ vừa bám đất vừa lột tả và khái quát hoá được dáng địa hình lại vừa có tính thẩm mỹ cao các nhà bản đồ thường tiến hành biên tập dựa trên các giải đoán, nhiều khi mang tính chủ quan về bề mặt địa hình, dựa trên kinh nghiệm và các quy ước của bản đồ. Điều này thể hiện rất rõ trong đo vẽ ảnh số, khi phải tiến hành việc nội suy các đường bình độ từ DEM với các trường hợp thường xảy ra là đường bình độ có bám đất nhưng lại không lột tả hay khái quát hoá được dáng địa hình. Các nhà bản đồ lại phải tiến hành biên tập lại các đường bình độ theo cách thức như trên nhằm thoả mãn đầy đủ nhất cả 3 yêu cầu nêu trên.

Trong ví dụ này khi thành lập DEM bằng phương pháp đo vẽ ảnh rõ ràng phải số hoá thêm các đường, điểm đặc trưng địa hình để đảm bảo các đường bình độ được nội suy từ DEM vừa bám đất vừa miêu tả được đúng dáng địa hình.

6.1.4 Các khu đo thực nghiệm và kết quả thành lập DEM

Bảng 6.1 liệt kê một vài thông số chính của các khu đo vẽ Lào Cai, Kon Tum và Quảng Ngãi

Bảng 6.1: Thông số chính của các khu đo vẽ thử nghiệm

Thông số	Khu đo Lào Cai	Khu đo KonTum	Khu đo Quảng Ngãi
Máy chụp ảnh	RC-30	RC-30	RMK-TOP
Tỷ lệ ảnh	1: 30 000	1: 33 000	1: 33 000
Máy quét	SCAI	SCAI và VEXCEL	Delta-Scan
Độ phân giải quét	28 μ m	28 μ m	20 μ m
Khống chế	Đo GPS	Đo GPS	Đo GPS
Tăng dày	ISDM, Photo-T	Match-AT, Photo-T	Match-AT, Photo-T
Đo DTM	Phân thủy, tụ thủy, Breaklines, lưới điểm 50 mét có chêm thêm điểm độ cao	Phân thủy, tụ thủy, Breaklines, lưới điểm 50 mét có chêm thêm điểm độ cao	Phân thủy, tụ thủy, Breaklines, lưới điểm 40 mét có chêm thêm điểm độ cao

1. Khu đo vẽ Lào Cai**Khái quát về khu đo vẽ:**

Khu đo vẽ Lào Cai là khu đo có độ che phủ thấp, tuy nhiên địa hình phức tạp có độ chia cắt rất lớn (rất nhiều đường tụ thủy cũng như phân thủy, đứt gãy địa hình). Chênh cao địa hình trên khu đo lên tới 1600 m. Không có nhiều sông suối trên khu đo ngoài sông Hồng và một vài suối nhỏ. Phân bố dân cư thưa thớt chủ yếu tập trung sống ở ven sông Hồng và các đường đất liên xã.

Tình hình tư liệu phim ảnh và khống chế ngoại nghiệp:

Khu đo vẽ Lào Cai sử dụng 58 tờ phim ở tỷ lệ 1: 30 000 được chụp bằng máy chụp ảnh RC-8, bay chụp năm 1993. Nói chung chất lượng bức xạ của phim ảnh là khá tốt tuy nhiên do máy chụp ảnh RC-8 đã quá cũ nên chất lượng hình học của phim ảnh không được tốt cũng như tài liệu kiểm định máy chụp ảnh đã quá cũ. Mặt khác khu đo vẽ là vùng núi cao nên việc một số khu vực có mây là khó tránh khỏi.

Khu đo sử dụng 16 điểm khống chế ngoại nghiệp, các điểm khống chế này được chọn chích vào các địa vật tự nhiên và xác định tọa độ bằng công nghệ GPS và được bình sai trong hệ tọa độ HN-72.

Tăng dày và bình sai khối:

Việc đo tọa độ điểm ảnh được thực hiện trên trạm ảnh số sử dụng phần mềm ISDM của hãng Intergraph. Tọa độ ảnh của các điểm khống chế ảnh ngoại nghiệp được

đo ở chế độ lập thể để có thể xác định đúng vị trí độ cao như chọn trích ngoài thực địa. Việc bình sai khối tam giác ảnh không gian được thực hiện bằng phần mềm PHOTO-T.

Thành lập DEM:

Sau khi khối tam giác ảnh không gian được bình sai, các phần mềm ISSD, ISFC, ISDC được sử dụng để hiển thị mô hình lập thể và đo vẽ DEM:

- Đo vẽ đường tụ thủy: Tất cả các đường tụ thủy đều được đo vẽ. Khi đo vẽ các đường tụ thủy, các đường tụ thủy chính (sông suối) được đo vẽ trước, các đường nhánh đo vẽ sau. Vì phần lớn các đường tụ thủy đều bị thực vật che phủ nên khi vẽ các đường tụ thủy chiều cao cây được loại trừ dựa trên kết quả điều vẽ ngoại nghiệp cũng như dựa trên sự ước lượng trực tiếp của người đo vẽ dựa vào các khoảng trống (không có thực phủ) tại vị trí đo vẽ;
- Đo vẽ đường phân thủy: Tất cả các đường phân thủy đều được đo, khi đo phải đảm bảo rằng các đường phân thủy nằm đúng vị trí đặc trưng của địa hình;
- Đo vẽ đường đứt gãy của địa hình: Các đường đứt gãy của địa hình được vẽ tại các vị trí có độ dốc địa hình thay đổi đột ngột (chân núi, khu vực bị trượt lở);
- Lưới điểm độ cao: Vì đây là khu vực địa hình có độ chia cắt rất lớn nên các điểm đặc trưng của địa hình là rất dày và đã gần đủ để đại diện cho bề mặt của địa hình, các điểm độ cao chỉ được đo thêm vào các vị trí mà ở đó các điểm, đường đặc trưng chưa thể hiện được chính xác bề mặt của địa hình hay nói một cách khác lưới điểm độ cao ở đây chỉ đóng một vai trò phụ trong việc thể hiện bề mặt địa hình;
- Tiếp biên DEM: Vì khu đo tương đối lớn nên việc đo vẽ được thực hiện trên nhiều máy. Sau khi việc đo vẽ được hoàn chỉnh ở từng máy và đã được kiểm tra để phát hiện sai số và mức độ chi tiết thể hiện địa hình, DEM đo vẽ ở các máy được ghép lại để tạo một DEM chung cho toàn mảnh. Việc ghép nối này được thực hiện trên ở chế độ lập thể, các đường đặc trưng của địa hình được nối với nhau loại bỏ các vùng phủ trùng hay bị bỏ sót chưa vẽ.

2. Khu đo vẽ Kon Tum

Khái quát về khu đo vẽ:

Khu đo vẽ Kon Tum là khu đo có độ che phủ lớn khoảng 70% diện tích khu đo, cây cối rậm rạp, phần lớn là rừng nguyên sinh, độ cao cây khoảng 20 đến 30 m. Chênh cao địa hình trên khu đo lớn vào khoảng 1100 m, tuy nhiên địa hình không bị cắt xẻ nhiều. Trên khu đo có nhiều sông suối nhưng chủ yếu là các sông suối nhỏ, có nước

một mùa. Do khu đo nằm trên vùng sâu (huyện Kông Pnông tỉnh Kon Tum) nên dân cư thưa thớt, chỉ có một số bản làng người dân tộc nằm rải rác trên khu đo.

Tình hình tư liệu phim ảnh và khống chế ngoại nghiệp:

Khu đo vẽ Kon Tum sử dụng phim ở tỷ lệ 1: 33 000, được chụp bằng máy chụp ảnh RC-30 do Xí nghiệp Bay chụp ảnh Hàng không- Bộ Tổng tham mưu bay chụp các năm 1999 và 2000. Nói chung chất lượng của phim ảnh là khá tốt nhưng do khu đo vẽ là vùng núi cao nên có một số khu vực nhỏ bị mây che phủ.

Khu đo sử dụng các điểm khống chế ngoại nghiệp được chọn chính vào các địa vật tự nhiên và xác định toạ độ bằng công nghệ GPS và được bình sai trong hệ toạ độ UTM elipxoid Krasovsky. Ngoài ra trên khu đo còn sử dụng khá nhiều điểm khống chế độ cao được đo bằng máy thuỷ chuẩn hạng IV.

Tăng dày và bình sai khối:

Việc đo toạ độ điểm ảnh được thực hiện tự động trên trạm ảnh số sử dụng phần mềm MATCH-AT của hãng Intergraph. Toạ độ ảnh của các điểm khống chế ảnh ngoại nghiệp được đo ở chế độ lập thể để có thể xác định đúng vị trí độ cao như chọn trích ngoài thực địa. Việc bình sai khối tam giác ảnh không gian được thực hiện bằng phần mềm PHOTO-T.

Thành lập DEM:

Sau khi khối tam giác ảnh không gian được bình sai, các phần mềm ISSD, ISFC, ISDC được sử dụng để hiển thị mô hình lập thể và đo vẽ DEM:

- Đo vẽ đường tự thuỷ: Tất cả các đường tự thuỷ đều được đo vẽ. Khi đo vẽ các đường tự thuỷ, các đường tự thuỷ chính (sông suối) được đo vẽ trước, các đường nhánh đo vẽ sau. Khi đo vẽ các đường tự thuỷ thì độ cao tiêu đo chỉ được phép di chuyển theo một chiều (cao lên hay thấp xuống). Vì phần lớn các đường tự thuỷ đều bị che phủ bởi thực vật nên khi vẽ các đường tự thuỷ, chiều cao cây được loại trừ dựa trên kết quả điều vẽ ngoại nghiệp cũng như dựa trên sự ước lượng trực tiếp của người đo vẽ dựa vào các khoảng trống (không có thực phủ) tại vị trí đo vẽ;
- Đo vẽ đường phân thuỷ: Tất cả các đường phân thuỷ đều được đo, khi đo phải đảm bảo các đường phân thuỷ nằm đúng vị trí đặc trưng của địa hình;
- Đo vẽ đường đứt gãy của địa hình: Các đường đứt gãy của địa hình được vẽ tại các vị trí có độ dốc địa hình thay đổi đột ngột (chân núi, khu vực bị trượt lở);

- Lưới điểm độ cao: Một lưới điểm độ cao với khoảng cách mắt lưới là 50 m được đo để kết hợp với các đường đặc trưng của địa hình tạo DEM. Vị trí gần đúng của các điểm độ cao này được tạo ra tự động với khoảng cách đều 50 m. Khi đo lưới điểm độ cao với những điểm ngẫu nhiên trùng với các đường đặc trưng của địa hình thì được tác nghiệp viên xê dịch tới vị trí mới. Những điểm không nằm vào các vị trí đặc trưng của địa hình cũng được di chuyển từ vị trí chuẩn tới vị trí tiêu biểu cho địa hình kề cạnh nó để có thể mô tả địa hình tốt hơn, với khoảng cách xê dịch nhỏ hơn nửa khoảng cách mắt lưới. Vì khu đo có độ che phủ lớn nên tác nghiệp viên phải dựa vào kết quả điều vẽ ngoại nghiệp để hiệu chỉnh chiều cao cây cũng như phải tận dụng tối đa các khoảng trống trong mô hình để ước đoán và nội suy chiều cao cây. Trong khi đo, nếu vị trí điểm độ cao rơi vào cây mà ở kề đó có một vị trí trống thì điểm độ cao cũng được di chuyển đến khoảng trống đó để có thể đo chính xác hơn. Sau khi đo xong lưới điểm độ cao nếu ở vị trí nào mà lưới điểm độ cao và các đường đặc trưng địa hình vẫn chưa mô tả chính xác được bề mặt địa hình thì lưới điểm độ cao này sẽ được thêm dày thêm bằng các điểm độ cao bổ sung;
- Tiếp biên DEM: Vì khu đo tương đối lớn nên việc đo vẽ được thực hiện trên nhiều máy. Sau khi việc đo vẽ được hoàn chỉnh ở từng máy và đã được kiểm tra để phát hiện sai số và mức độ chi tiết thể hiện địa hình, DEM đo vẽ ở các máy được ghép lại để tạo một DEM chung cho toàn mảnh. Việc ghép nối này được thực hiện ở chế độ lập thể, các đường đặc trưng cùng thuộc tính của địa hình được nối với nhau, loại bỏ các vùng phủ trùng hay bị bỏ sót chưa vẽ.

3. Khu đo vẽ Quảng Ngãi

Khái quát về khu đo vẽ:

Khu đo vẽ Quảng Ngãi là khu đo có độ che phủ trung bình khoảng 30 đến 40 % diện tích khu đo, cây cối không cao chủ yếu là rừng tái sinh, độ cao cây trung bình khoảng 15 đến 20 m. Chênh cao địa hình trên khu đo lớn vào khoảng 1400 m. Địa hình của khu đo chia thành hai phần: ở phía đông địa hình tương đối thấp, khá bằng phẳng, trái lại phía tây chủ yếu là núi cao, địa hình phức tạp hơn, tuy nhiên không bị chia cắt nhiều. Trên khu đo có nhiều sông suối nhưng chủ yếu là các sông suối nhỏ, có nước một mùa. Dân cư trên khu đo chủ yếu nằm ở phía đông khu đo, nơi địa hình tương đối bằng phẳng gần đường quốc lộ.

Tình hình tư liệu phim ảnh và khống chế ngoại nghiệp:

Khu đo vẽ Quảng Ngãi sử dụng phim ở tỷ lệ 1: 33 000 được chụp bằng máy chụp ảnh RMK-TOP, do xí nghiệp bay chụp ảnh hàng không - Công ty Đo Đặc Ảnh Địa hình bay chụp năm 1998. Nói chung chất lượng của phim ảnh là khá tốt.

Khu đo sử dụng các điểm khống chế ngoại nghiệp được chọn chích vào các địa vật tự nhiên và xác định toạ độ bằng công nghệ GPS và được bình sai trong hệ toạ độ VN-2000.

Tăng dày và bình sai khối:

Việc đo toạ độ điểm ảnh được thực hiện tự động trên trạm ảnh số, sử dụng phần mềm MATCH-AT của hãng Intergraph. Toạ độ ảnh của các điểm khống chế ảnh ngoại nghiệp được đo ở chế độ lập thể để có thể xác định đúng vị trí độ cao như chọn trích ngoài thực địa. Việc bình sai khối tam giác ảnh không gian được thực hiện bằng phần mềm PHOTO-T.

Thành lập DEM:

Sau khi khối tam giác ảnh không gian được bình sai, các phần mềm ISSD, ISFC, ISDC được sử dụng để hiển thị mô hình lập thể và đo vẽ DEM:

- Đo vẽ đường tự thuỷ: Tất cả các đường tự thuỷ đều được đo vẽ. Khi đo vẽ các đường tự thuỷ, các đường tự thuỷ chính (sông suối) được đo vẽ trước, các đường nhánh đo vẽ sau. Khi đo vẽ các đường tự thuỷ thì độ cao tiêu đo chỉ được phép di chuyển theo một chiều (cao lên hay thấp xuống). Vì phần lớn các đường tự thuỷ đều bị thực vật che phủ nên khi vẽ các đường tự thuỷ chiều cao cây được loại trừ dựa trên kết quả điều vẽ ngoại nghiệp cũng như dựa trên sự ước lượng trực tiếp của người đo vẽ dựa vào các khoảng trống (không có thực phủ) tại vị trí đo vẽ;
- Đo vẽ đường phân thuỷ: Tất cả các đường phân thuỷ đều được đo, khi đo phải đảm bảo rằng các đường phân thuỷ nằm đúng vị trí đặc trưng của địa hình;
- Đo vẽ đường đứt gãy của địa hình: Các đường đứt gãy của địa hình được vẽ tại các vị trí có độ dốc địa hình thay đổi đột ngột (chân núi, khu vực bị trượt lở);
- Lưới điểm độ cao: Một lưới điểm độ cao với khoảng cách mắt lưới là 40 m được đo để kết hợp với các đường đặc trưng của địa hình tạo DEM. Vị trí gần đúng của các điểm độ cao này được tạo ra tự động với khoảng cách đều 40 m. Khi đo lưới điểm độ cao với những điểm ngẫu nhiên trùng với các đường đặc trưng của địa hình thì được tác nghiệp viên xê dịch tới vị trí mới. Những điểm không nằm vào các vị trí đặc trưng của địa hình cũng được di chuyển từ vị trí chuẩn tới vị trí

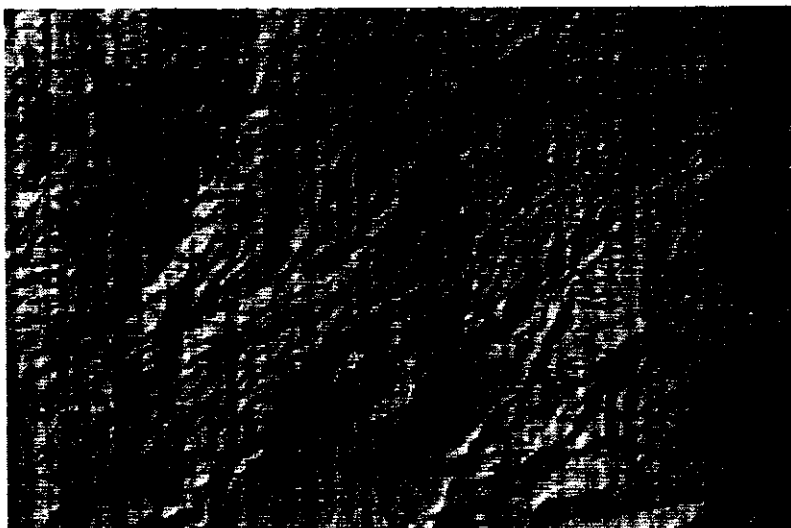
tiêu biểu cho địa hình kề cạnh nó để có thể mô tả địa hình tốt hơn, với khoảng cách xê dịch nhỏ hơn nửa khoảng cách mắt lưới. Vì khu đo có độ che phủ lớn nên tác nghiệp viên phải dựa vào kết quả điều vẽ ngoại nghiệp để hiệu chỉnh chiều cao cây cũng như phải tận dụng tối đa các khoảng trống trong mô hình để ước đoán và nội suy chiều cao cây. Trong khi đo, vị trí điểm độ cao rơi vào cây mà ở kề đó có một vị trí trống thì điểm độ cao cũng được di chuyển đến khoảng trống đó để có thể đo chính xác hơn. Sau khi đo xong lưới điểm độ cao nếu ở vị trí nào mà lưới điểm độ cao và các đường đặc trưng địa hình vẫn chưa mô tả chính xác được bề mặt địa hình thì lưới điểm độ cao này sẽ được thêm vào thêm bằng các điểm độ cao bổ sung;

- Tiếp biên DEM: Vì khu đo tương đối lớn nên việc đo vẽ được thực hiện trên nhiều máy. Sau khi việc đo vẽ được hoàn chỉnh ở từng máy và đã được kiểm tra để phát hiện sai số và mức độ chi tiết thể hiện địa hình, DEM đo vẽ ở các máy được ghép lại để tạo một DEM chung cho toàn mảnh. Việc ghép nối này được thực hiện ở chế độ lập thể, các đường đặc trưng cùng thuộc tính của địa hình được nối với nhau, loại bỏ các vùng phủ trùng hay bị bỏ sót chưa vẽ.

Kết quả thành lập DEM của cả 3 khu đo vẽ này được lưu trữ dưới 2 khuôn dạng là *.ttn* (dạng TIN) và *grd* (dạng Grid) trong đĩa CD - ROM. Các hình vẽ 6.3, 6.4 và 6.5 thể hiện các mảnh DEM thành phẩm được vờn bóng địa hình (shaded-relief images).

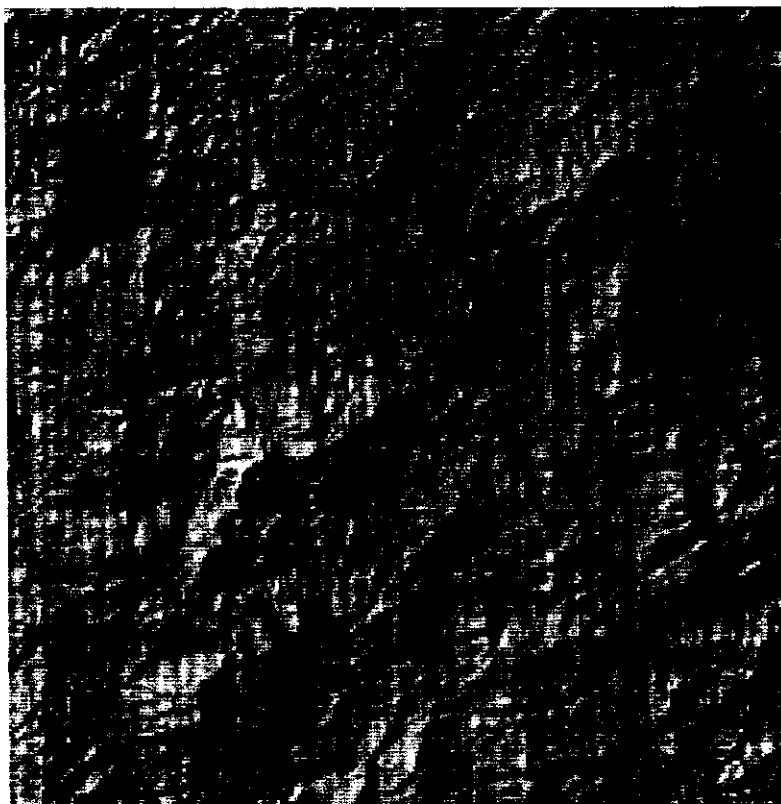


Hình 6.3: Mảnh Lào Cai (F-48-53- C)



Hình 6.4: Khu đo Kon Tum

Trong khu đo này có một phần nhỏ mây ở gần biên phía đông nên không thể đo vẽ được. Chúng tôi đã khoanh thành vùng bị che khuất (obscured area). Trên hình 6.4 vùng này được thể hiện bằng một hình tròn nhỏ màu đen (diện tích khoảng 0.3 km²).



Hình 6.5: Khu đo Quảng Ngãi

6.1.5 Một số điểm cần chú ý trong quá trình xây dựng DEM theo phương pháp đo vẽ ảnh số

Như đã phân tích ở các mục 6.1.2, 6.1.3 và 6.1.4 trong phương pháp này điều đặc biệt cần chú ý là công đoạn lấy mẫu các đối tượng đặc trưng của địa hình, đặc biệt

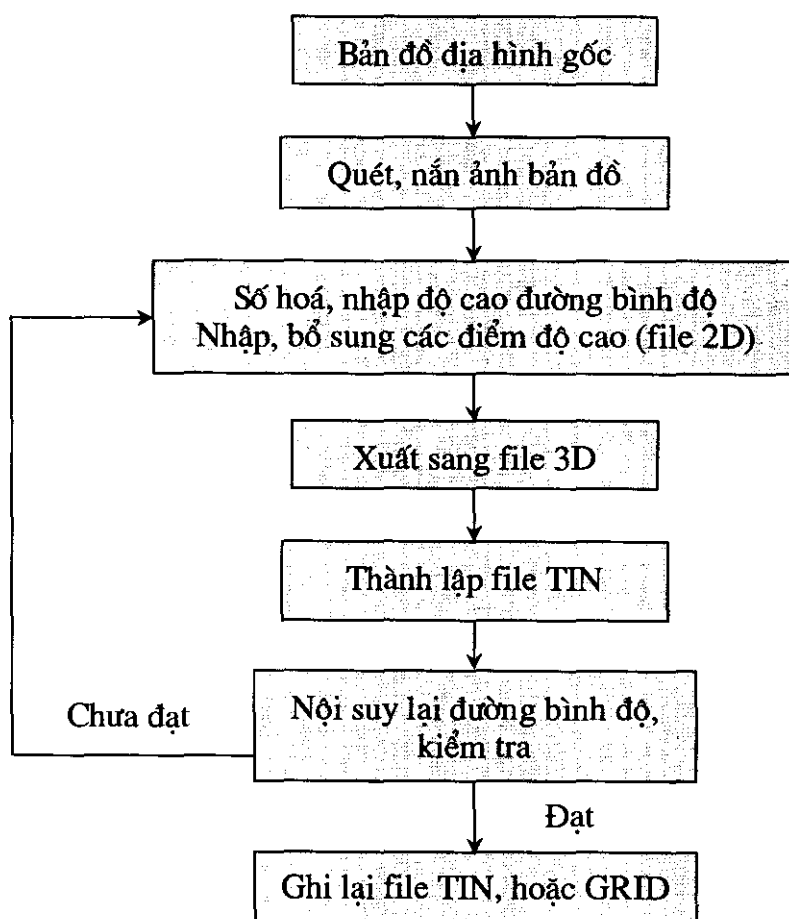
là các đường đặc trưng địa hình như phân thủy, tụ thủy, các đường breakline. Tại một số vị trí có tính chất vi địa hình đặc biệt, chẳng hạn đường sống núi hay vị trí yên ngựa như minh họa ở hình 6.2 thì phải hết sức chú ý để đảm bảo đường bình độ được nội suy từ DEM vừa bám đất vừa lột tả được dáng của địa hình. Trong ví dụ cụ thể như minh họa ở hình 6.2, nếu địa hình có dạng sống núi thì phải số hoá thêm đường sống núi này để có được kết quả nội suy A. Còn nếu địa hình có dạng yên ngựa thì phải số hoá thêm điểm trũng nhất của yên ngựa để có được kết quả nội suy B.

6.2 Xây dựng DEM theo phương pháp nội suy từ các đường bình độ được số hoá trên các bản đồ có sẵn

Theo phương pháp này 5 mảnh DEM được xây dựng, sử dụng phần mềm MGE của Intergraph.

6.2.1 Quy trình đo vẽ thành lập DEM theo phương pháp nội suy từ các đường bình độ

Quy trình thành lập DEM theo phương pháp này có thể được miêu tả theo hình 6.6:



Hình 6.6: Quy trình thành lập DEM từ các đường bình độ được số hoá trên bản đồ có sẵn

6.2.2. Nội dung công tác đo vẽ, thành lập DEM

1. Quét bản đồ

Sử dụng máy quét khổ A0. Chọn độ phân giải quét ảnh trong khoảng từ 200-400 dpi. Chọn kiểu file raster là dạng TIF, hoặc RLE nhị phân (binary file).

2. Nắn ảnh bản đồ

- Tạo file seed có các thông số về lưới chiếu, hệ toạ độ phù hợp với cơ sở toán học của tờ bản đồ gốc;
- Tạo lưới khung toạ độ cho mảnh bản đồ: khung toạ độ địa lý và lưới ki lô mét (km);
- Nắn ảnh bản đồ theo các góc khung, điểm giao nhau của các lưới km và điểm giao nhau của các lưới km với khung bản đồ; đảm bảo sai số tồn tại tại các điểm nắn ≤ 0.2 mm tính theo tỷ lệ bản đồ gốc.

3. Số hoá ảnh bản đồ

Các bước tiến hành chủ yếu như sau:

- Số hoá và nhập giá trị độ cao cho các đường bình độ dựa trên nền file raster đã được nắn chính xác; Phải đảm bảo mỗi đường bình độ là một đối tượng đồ họa duy nhất và liên tục dạng *linestring* hay *complexchain*. Các đường bình độ phải mềm, trơn nhưng phải có số lượng các điểm đỉnh trên đường là tối thiểu, nhằm đảm bảo dung lượng file đồ họa cũng là tối thiểu;
- Số hoá và nhập giá trị độ cao cho các điểm độ cao, các điểm đặc trưng địa hình.
- Xác định các vùng được coi như vùng bị che khuất, hay bằng phẳng như ao, hồ nước, các khu vực quân sự không được thể hiện chi tiết trên bản đồ (nếu có) và thể hiện chúng theo dạng đối tượng vùng che khuất (obscured area);
- Biên tập, hoàn thiện số liệu: làm trơn đường, lọc điểm, tạo đường complex chain...

Đối với trường hợp các file bản đồ số đã có sẵn, được thành lập và lưu trữ trong các phần mềm đồ họa khác, cần phải tiến hành:

- Tách riêng các đường bình độ và điểm độ cao để chuyển đổi sang dạng file *.DXF;
- Nhập file *.DXF, kiểm tra, chuyển về file seed phù hợp;
- Kiểm tra, sửa đổi, biên tập các đường bình độ tạo thành các đối tượng đồ họa kiểu đường complex chain;

- Nhập giá trị độ cao của các đường bình độ và các điểm độ cao.

4. Xuất sang file 3D

Sau khi số hoá xong tất cả các yếu tố trên được file 2D hoàn chỉnh, xuất sang file 3D (3D design file). Đảm bảo thống nhất đơn vị làm việc (working units) và độ phân giải (resolution) của tọa độ X, Y và độ cao Z.

5. Thành lập file TIN

- Nhập các yếu tố đặc trưng địa hình: đường bình độ, các điểm độ cao, và các yếu tố khác (nếu có). Tên của file mô hình số đặt theo danh pháp rút gọn của mảnh bản đồ gốc;
- Chuyển các yếu tố đặc trưng địa hình sang dạng TIN. Lưu ý chọn giá trị chiều dài tối đa cho cạnh của tam giác nội suy phù hợp;
- Ghi lại file TIN, file này có dạng “ *.ttn ”.

6. Nội suy lại đường bình độ, kiểm tra

Dựa trên file TIN vừa thành lập nội suy lại các đường bình độ.

Nếu các đường bình độ được nội suy lại bị sai lệch so với các đường bình độ gốc thì phải kiểm tra, chỉnh sửa lại các yếu tố địa hình trên file 2D, ví dụ như:

- sửa chữa giá trị độ cao cho đúng,
- bổ sung các điểm độ cao tại các vị trí cần thiết như yên ngựa, các đỉnh núi, thung lũng, với các con sông rộng có thể phải nội suy để thêm bổ sung một số điểm độ cao dọc theo lòng sông...

Giá trị độ cao gán cho các điểm bổ sung này được nội suy theo độ cao các đường bình độ trên bản đồ gốc.

Sau đó, tiến hành thành lập lại file TIN, và nội suy lại các đường bình độ để tiếp tục kiểm tra.

Khi các đường bình độ được nội suy lại nằm gần trùng với các đường bình độ gốc, có thể coi việc thành lập mô hình số đã hoàn tất.

7. Lưu trữ số liệu

Với mỗi mảnh bản đồ sau khi đã được số hoá cần phải:

- Lưu trữ các file design 2D và 3D;
- Lưu trữ các file dạng TIN, hoặc GRID.

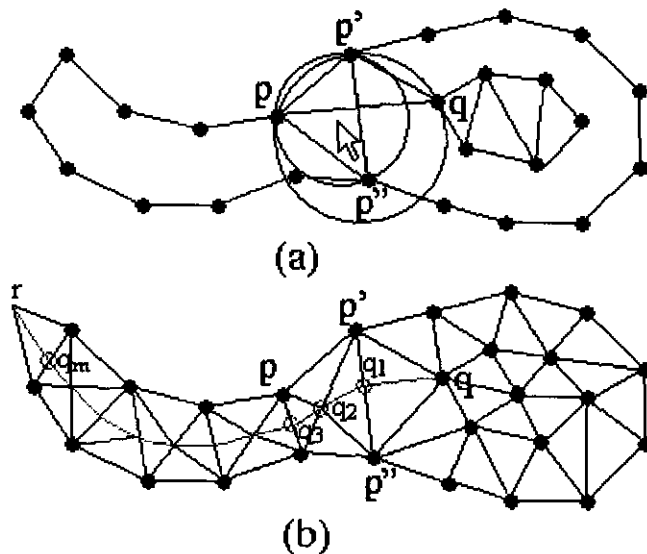
6.2.3. Vấn đề tam giác nằm ngang khi nội suy từ các đường bình độ sang mô hình TIN

Độ chính xác của DEM thành lập từ các đường bình độ và các điểm độ cao thường bị hạn chế do:

- Các đường bình độ ít nhiều đều đã được khái quát hoá tuỳ theo tỷ lệ bản đồ;
- Những thông tin về các điểm, đường đặc trưng của địa hình thường không được thể hiện đầy đủ trên bản đồ gốc.

Dưới góc độ kỹ thuật xây dựng DEM từ các đường bình độ thông qua mô hình TIN thì các hạn chế nêu trên có thể dẫn tới các tình huống không mong muốn nhưng lại khó tránh khỏi, đó là tình trạng tạo ra các tam giác nằm ngang (Horizontal triangles)- [30], trong một số tài liệu còn được gọi là tam giác phẳng (Flat triangles) — [45].

Tam giác nằm ngang là tam giác mà 3 đỉnh của chúng có cùng một độ cao, tức nằm trên cùng một đường bình độ. Loại tam giác này thường hay xuất hiện tại những vị trí mà đường bình độ có dạng thắt vòng hay lượn gập.



Hình 6.7: Vấn đề tam giác nằm ngang

Chẳng hạn như ở hình vẽ 6.7(a) thì đường tròn ngoại tiếp tam giác $pp'q$ chứa điểm p'' ở bên trong nên không thoả mãn các điều kiện của tam giác Delaunay và bị phần mềm loại bỏ. Còn tam giác $pp'p''$ thì lại thoả mãn các điều kiện của tam giác Delaunay vì đường tròn ngoại tiếp tam giác $pp'p''$ không chứa điểm q , cho nên được phần mềm chọn làm một tam giác của mô hình TIN. Do cả 3 đỉnh của tam giác $pp'p''$ cùng nằm trên một đường bình độ nên dẫn tới kết quả là phần vi địa hình tại khu vực tam giác này được miêu tả là bằng phẳng (vì $pp'p''$ là một tam giác nằm ngang với 3 đỉnh cùng độ cao). Tuy nhiên trên thực tế vi địa hình của khu vực này lại là gập các

đường sống núi, đường phân thủy, tụ thủy... tức là có một độ dốc đáng kể. Tóm lại lẽ ra phải chọn pp'q làm các đỉnh của một tam giác mới đúng thì phần mềm lại chọn sai thành pp'p''.

Ngoài tam giác pp'p'' còn có nhiều tam giác nằm ngang nữa, chẳng hạn các tam giác nằm bên trong đường bình độ khép kín chứa điểm q - hình 6.7 (a).

Để khắc phục tình trạng tạo ra các tam giác nằm ngang này (được tạo theo đúng các thuật toán của tam giác Delaunay của mô hình TIN nhưng lại dẫn đến việc miêu tả sai lệch về địa hình) thường phải tiến hành bổ sung thêm các thông tin về địa hình như các đường sống núi, tụ thủy, phân thủy hay các điểm độ cao.

Trên hình 6.7(b) miêu tả một giải pháp khắc phục hiện tượng tam giác nằm ngang bằng cách số hoá bổ sung một đường đặc trưng địa hình (đường sống núi) và thêm thêm 1 điểm độ cao tại tâm của đường bình độ hình vòng khép kín chứa điểm q. Lúc này dựa trên đường sống núi và điểm độ cao mới được bổ sung, phần mềm tạo TIN tính toán và chia lại các tam giác.

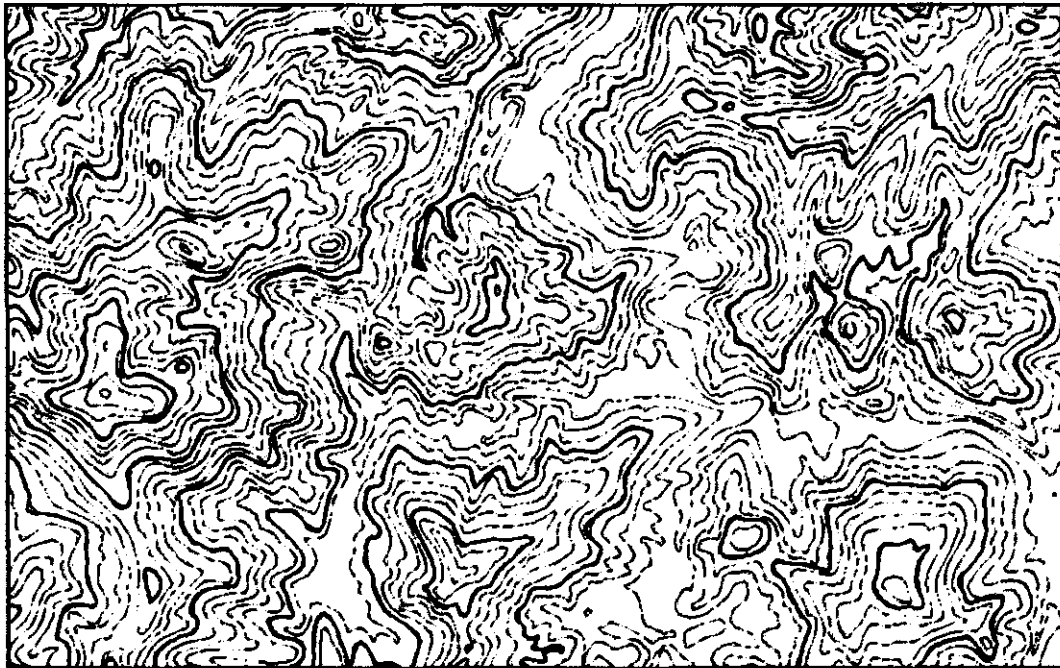
Tuy nhiên, trên thực tế, nếu chỉ dựa trên bản đồ địa hình truyền thống (bản đồ giấy) thì công việc này lại không đơn giản, đòi hỏi người thao tác phải có kỹ năng đọc địa hình và có các xử lý phù hợp. Do trên các bản đồ địa hình thường có mức độ khái quát nhất định mà tại vùng tâm của hình vòng khép tạo bởi đường bình độ q không được ghi chú độ cao, khi đó người thao tác phải tự nội suy ra độ cao của điểm này dựa trên các đường bình độ xung quanh (thông thường là nội suy tuyến tính). Muốn đưa thêm các đường phân thủy, tụ thủy, cũng phức tạp vì trên bản đồ địa hình thường thể hiện không đầy đủ các đường này mà chỉ thể hiện có chọn lọc các yếu tố, chẳng hạn như thủy hệ chính.

Đối với các bản đồ được thành lập theo công nghệ số, đặc biệt là do vẽ ảnh số thì vấn đề này trở nên đơn giản hơn rất nhiều vì khi đó các đường bình độ, các đường phân thủy, tụ thủy, các điểm đặc trưng của địa hình đều đã được số hoá, do vẽ trên các mô hình lập thể (số hoá 3D) nên có thể được dùng trực tiếp cho việc tạo DEM và có nhiều khả năng tránh được tình trạng tạo tam giác nằm ngang hơn. Nếu khắc phục được hiện tượng tạo tam giác nằm ngang thì không những cho phép từ DEM tạo được, nội suy ngược lại các đường bình độ một cách chính xác hơn, giữ được dáng tại các vị trí bình độ có dạng thắt vòng hay lượn gấp hơn mà còn đảm bảo độ chính xác tính toán độ dốc và hướng dốc, đáp ứng cho nhiều ứng dụng khác.

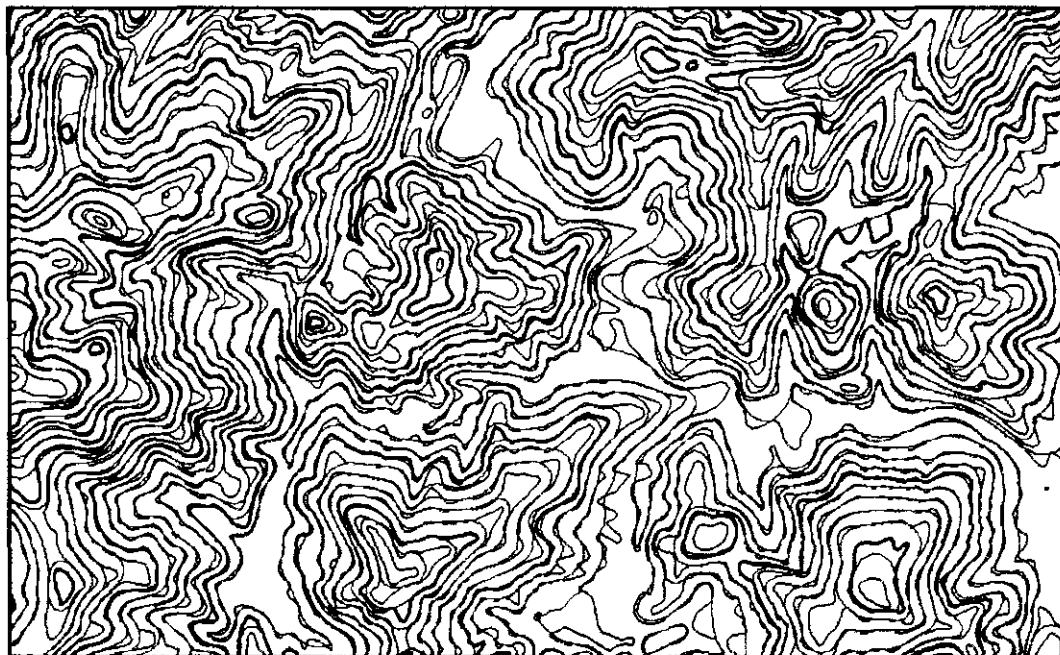
Trong phần mềm MGE Terrain Analyst (MTA) có một chức năng (tùy chọn) được gọi là *infer breaklines* (tạm dịch là suy đoán các đường breaklines). Chức năng này cho phép nội suy ra các đường đặc trưng địa hình như đường phân thủy, đường tụ thủy từ dữ liệu của các đường bình độ. Chức năng này được khuyến cáo dùng khi dữ liệu các đường bình độ thiếu các đường breaklines (do việc lấy bỏ, tổng hợp hoá trên bản đồ), mà lẽ ra phải có trên thực tế. Khi tạo mô hình TIN từ các dữ liệu đường bình độ phải sử dụng chức năng này. Nếu không thì kết quả DEM khi hiển thị sẽ có thể có dạng “bậc thang” hay có hiện tượng các tam giác nằm ngang. Sự góp mặt của các đường breaklines □*suy đoán*□ này cho phép miêu tả bề mặt địa hình chính xác hơn đồng thời khắc phục được hiện tượng tam giác nằm ngang vì sau khi được bổ sung thêm các đường breaklines này, phần mềm sẽ thực hiện việc “chia lại” các tam giác, với các cạnh của một số tam giác mới là các đoạn thẳng thuộc đường breaklines (Hình 6.7b). Các đặc trưng địa hình như các đường phân thủy, tụ thủy được ngấm chứa trong các đường bình độ. Chúng là những đường nối các điểm có độ cong lớn nhất trên các đường bình độ kế tiếp nhau. Dựa trên tính chất này của địa hình mà có thể suy đoán các đường breaklines.

Trong các thử nghiệm thành lập DEM từ các đường bình độ chúng tôi đều sử dụng tùy chọn *infer breaklines*. Với việc sử dụng chức năng *infer breaklines* này có thể đảm bảo rằng các đường bình độ được nội suy từ DEM gần như trùng khít với các đường bình độ trên bản đồ gốc (thông thường độ lệch chỉ ở mức 1/4 khoảng cao đều). Ngay cả tại các vị trí có nhiều điểm, đường đặc trưng địa hình độ lệch lớn nhất cũng không vượt quá 1/3 khoảng cao đều (hình 6.8).

Còn khi không sử dụng chức năng này thì các đường bình độ được tái nội suy có xu hướng khái quát hoá địa hình, làm thay đổi đáng kể đến đáng của địa hình, ở một số vị trí sự sai khác này có thể lên đến 1/2 hay 2/3 khoảng cao đều. Đặc biệt có một số đường bình độ bị bỏ, không nội suy được, chủ yếu xảy ra tại các vị trí xung quanh các độ cao cực bộ của địa hình. Một số địa hình dạng sống núi có thể được miêu tả thành các vị trí yên ngựa... (hình 6.9). Tuy việc không chọn *Infer breaklines* cho file TIN có dung lượng nhỏ hơn đáng kể, nhưng sự khác nhau giữa việc chọn và không chọn *Infer breaklines* có thể nhận thấy qua kết quả hiển thị lại đường bình độ so với các đường bình độ gốc.



Hình 6.8: Đường bình độ được nội suy từ DEM với chức năng *infer breaklines*



Hình 6.9: Đường bình độ được nội suy từ DEM không sử dụng chức năng *infer breaklines*

Trên các hình 6.8 và 6.9 màu thể hiện của các đường bình độ như sau:

-  đường bình độ cái gốc
-  đường bình độ con gốc
-  đường bình độ cái nội suy lại
-  đường bình độ con nội suy lại

Trong thực tế sản xuất ở nước ta, chẳng hạn như dự án thành lập 34 mảnh DEM dọc biên giới Việt nam - Trung Quốc, như đã nêu tại mục 4.3, Công ty Đo đạc Ảnh Địa hình đã phải tiến hành đo vẽ lập thể bổ sung các điểm, đường đặc trưng của địa hình để tăng cường độ chính xác của DEM thành lập từ các đường bình độ. Điều này lại một lần nữa khẳng định vai trò quan trọng của các đối tượng đặc trưng địa hình trong quá trình thành lập DEM, đặc biệt là trong phương pháp thành lập DEM từ các đường bình độ thì các thông tin về đặc trưng của địa hình thường thiếu do quá trình lấy, bỏ, thể hiện có chọn lọc và khái quát hoá bản đồ. Đó là trường hợp có ảnh để đo vẽ bổ sung. Còn nếu ở trong hoàn cảnh không có ảnh để đo vẽ bổ sung thì từ các thử nghiệm trong đề tài này chúng tôi thấy có thể làm tăng đáng kể độ chính xác của DEM khi sử dụng tuỳ chọn *infer breaklines*.

6.2.4 Các mảnh bản đồ dùng trong thực nghiệm và kết quả thành lập DEM

Bảng 6.2: Các mảnh bản đồ dùng để số hoá, thành lập DEM

Tên mảnh	Khoảng cao đều đường bình độ	Đặc điểm khu đo
D4949b	20 m , không có đường bình độ phụ hay vẽ nháp	Vùng núi cao, độ dốc lớn và thay đổi phức tạp. Độ cao từ 610 — 1530 m
C4823c	20 m , không có đường bình độ phụ hay vẽ nháp	Vùng đồi và núi xen kẽ, độ dốc không lớn, nhưng địa hình chia cắt. Độ cao từ 90-430 m.
C4824c	20 m , không có đường bình độ phụ hay vẽ nháp	Vùng núi cao, độ dốc lớn, thay đổi phức tạp, có sông và một số vùng bằng phẳng ven sông. Độ cao từ 130 — 1370 m.
F4853c	20 m , không có đường bình độ phụ hay vẽ nháp	Vùng núi cao, độ dốc rất lớn, xen kẽ một số đồi, địa hình bị chia cắt bởi các con sông, suối. Độ cao từ 70 — 1690 m.
F4879d	20 m , không có đường bình độ phụ. Có một số bình độ vẽ nháp, không thể số hóa được	Vùng địa hình tương đối đa dạng: núi không cao nhưng dốc, xen kẽ vùng đồi trung bình và thấp, vùng bằng phẳng ven các con sông. Độ cao từ 35 — 770 m.

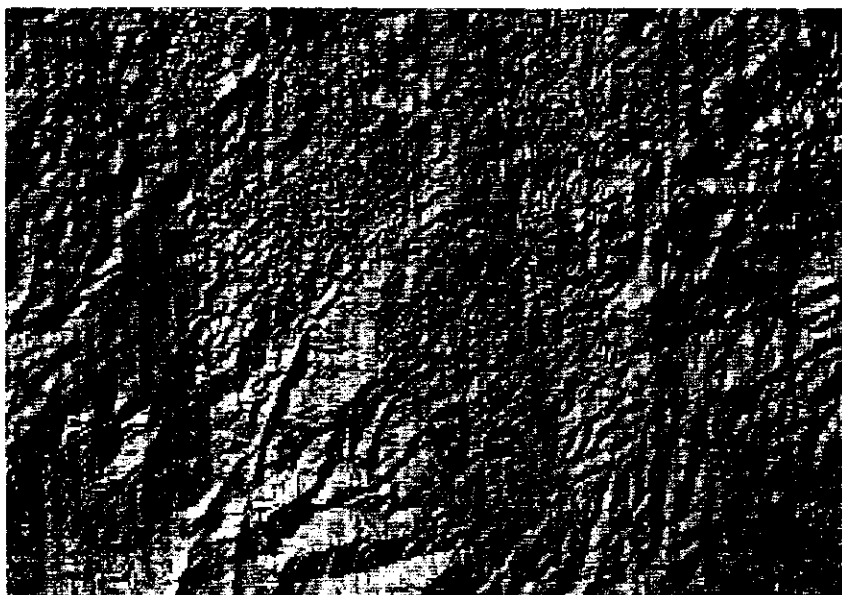
Năm mảnh bản đồ (xem bảng 6.2) với khoảng cao đều 20 mét được quét, nắn, số hoá các đường bình độ, các điểm ghi chú độ cao, các đặc trưng địa hình vv... theo quy trình thể hiện trên hình 6.6.

Theo bảng 6.2 thì đặc điểm của khu đo (hay đặc điểm địa hình của các mảnh bản đồ được chọn để thành lập DEM) khá đa dạng, bao gồm từ dạng địa hình vùng núi cao, có độ dốc lớn, tới địa hình vùng đồi và núi xen kẽ và vùng bằng phẳng.

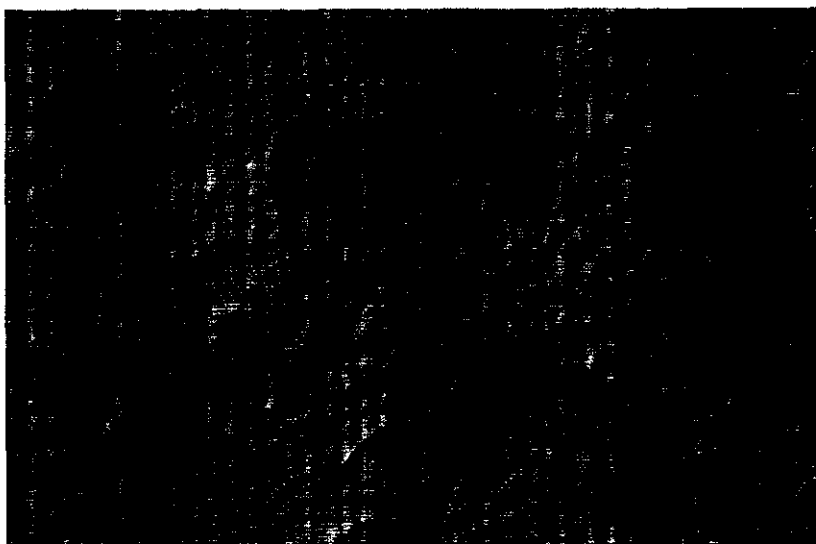
Kết quả thành lập DEM được lưu trữ dưới hai dạng TIN (các file .ttn) và Grid (các file grd). Các hình vẽ 6.10, 6.11, 6.12, 6.13 và 6.14 thể hiện các mảnh DEM thành phẩm được vờn bóng địa hình (shaded-relief images).



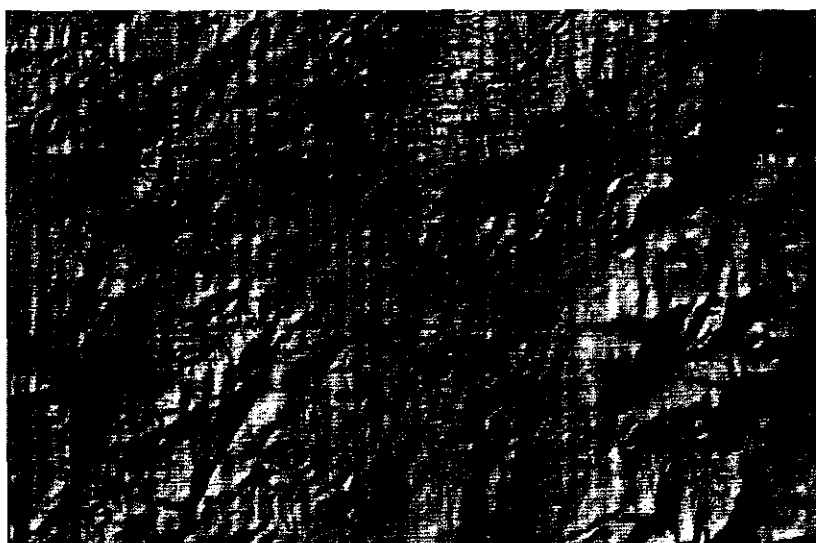
Hình 6.10: Mảnh Lào Cai (F-48-53-C)



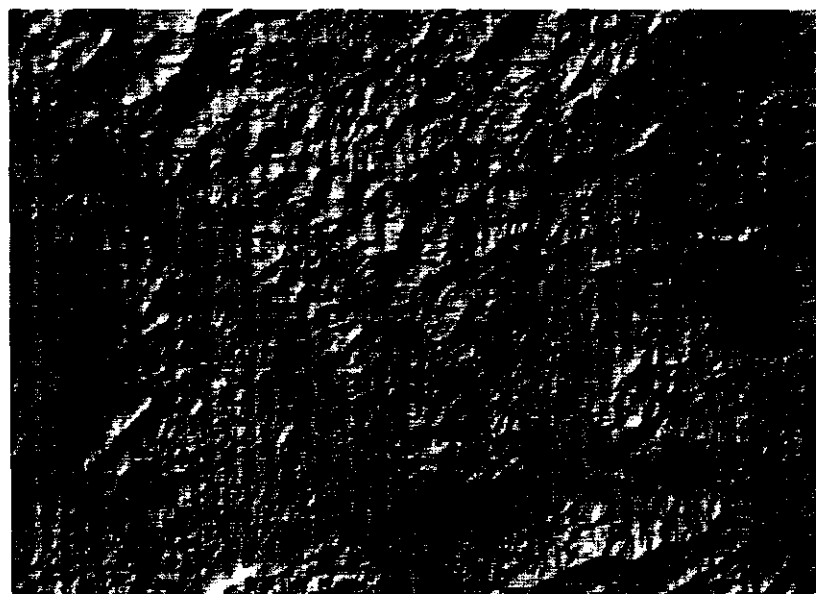
Hình 6.11: Mảnh D-49-49-B



Hình 6.12: Mẫu C-48-23-C



Hình 6.13: Mẫu C-48-24-C



Hình 6.14: Mẫu F-48-79-D

6.3 Đánh giá, so sánh các phương pháp

Dựa trên kết quả thành lập DEM, trong khuôn khổ của đề tài này những người thực hiện đã tiến hành so sánh, đánh giá chất lượng và độ chính xác của DEM theo các điểm sau đây:

1. Trước tiên tiến hành kiểm tra độ chính xác của DEM dựa trên chức năng **Assess Accuracy** của phần mềm MGE Terrain Analyst. Chức năng này cho phép so sánh giá trị độ cao của các điểm kiểm tra với độ cao của các điểm tương ứng (có cùng tọa độ X, Y như của các điểm kiểm tra), được nội suy từ DEM. Các phép so sánh, tính toán bao gồm: chênh lệch giữa giá trị độ cao của các điểm thuộc DEM (Model Z) và trị độ cao của các điểm kiểm tra (Z_{KT}) - tức Model Z - Z_{KT} ; giá trị tuyệt đối của độ chênh lớn nhất và độ chênh nhỏ nhất cũng như sai số trung phương (RMSE). Bảng 6.3 tóm tắt các kết quả kiểm tra, thể hiện RMSE của cả các DEM dạng TIN và các DEM dạng GRID với các khoảng cách mắt lưới là 50 mét, 25 mét và 10 mét cho các khu đo Lào Cai, Kon Tum và Quảng Ngãi.

Bảng 6.3: Sai số trung phương (RMSE) của DEM dạng TIN và DEM dạng GRID

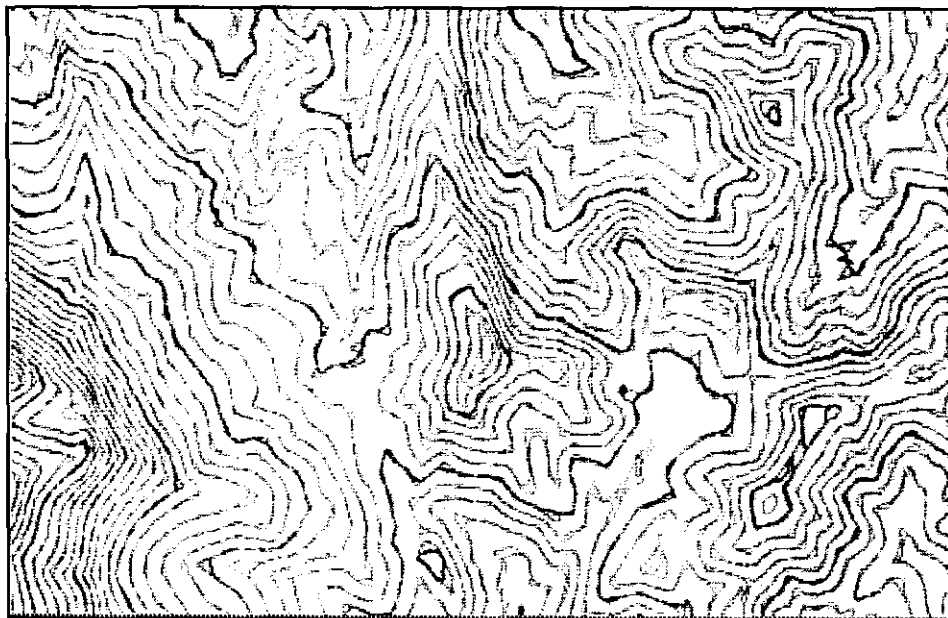
	Khu đo Lào Cai	Khu đo Kon Tum	Khu đo Quảng Ngãi
Tổng số điểm kiểm tra	2	18	9
RMSE (mét): TIN DEM	3.11	5.53	5.05
GRID DEM:			
Mắt lưới 50 m	3.32	5.73	6.84
Mắt lưới 25 m	3.09	5.67	5.65
Mắt lưới 10 m	3.11	5.57	5.18

Trong bảng 6.3 RMSE của GRID DEM với khoảng cách mắt lưới 10 mét và RMSE của TIN DEM là gần bằng nhau. RMSE của GRID DEM với khoảng cách mắt lưới 50 mét lớn hơn RMSE của TIN DEM từ 1.1 đến 1.3 lần.

2. Sau đó so sánh hai hình ảnh vờn bóng địa hình (hình 6.3 và hình 6.10) của cùng một mảnh bản đồ (mảnh F-48-53-C). Các hình ảnh vờn bóng địa hình này cho thấy DEM thành lập từ đo vẽ ảnh số (hình 6.3) miêu tả địa hình chi tiết hơn DEM thành lập từ các đường bình độ được số hoá trên bản đồ có sẵn (hình 6.10). Trên hình 6.10 địa hình bị khái quát hoá đi khá nhiều so với DEM trên hình 6.3. Để lượng hoá được các sai khác này chúng tôi cũng đã sử dụng công cụ **Assess Accuracy** để tiến hành so sánh các mô hình DEM của cùng một mảnh F-48-53-C (khu đo Lào Cai) nhưng được thành lập bằng hai phương pháp nói trên. Kết quả cho thấy các sai

khác giữa hai phương pháp là xấp xỉ 1 khoảng cao đều (≈ 20 mét). Ngoài ra chúng tôi còn sử dụng công cụ này để tiến hành phép so sánh nêu trên cho một số mảnh bản đồ khác nữa. Chẳng hạn các mảnh bản đồ 1: 50 000: Phú Thọ (F-48-67-A) và Đoan Hùng (F-48-55-C) được hiện chỉnh bằng ảnh vệ tinh. DEM thành lập bằng phương pháp đo vẽ ảnh trên các mảnh bản đồ này được chuyển thành tệp tin các điểm có toạ độ X, Y, H (file .xyz) và được dùng như là tệp tin của các điểm kiểm tra để đánh giá sai số của DEM thành lập bằng phương pháp số hoá các đường bình độ. Kết quả cho thấy sai số trung phương vào khoảng 1/2 khoảng cao đều (≈ 9 mét). Chúng tôi còn tiến hành xem xét, rà soát tại các khu vực có sai số lớn và nhận thấy có các dấu hiệu thay đổi khá rõ rệt về địa hình ở các khu vực này. Điều này cho thấy phương pháp số hoá các đường bình độ có thể cho các DEM miêu tả địa hình cũ, nay đã thay đổi nhiều. Lý do là nhiều mảnh bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 50 000 chỉ được hiện chỉnh phần địa vật, phần địa hình vẫn lấy từ các bản đồ cũ, có khi cũ tới gần 40 năm.

3. Tiếp đó tiến hành so sánh kết quả nội suy đường bình độ từ cùng một DEM nhưng dưới hai dạng là Grid và TIN. Hình 6.15 thể hiện các đường bình độ được nội suy từ một phần của mảnh DEM thuộc khu đo Quảng Ngãi, từ 2 dạng DEM khác nhau (đường màu xanh là từ DEM dạng Grid; đường màu đỏ là từ DEM dạng TIN).



Hình 6.15: Đường bình độ nội suy từ Grid DEM (đường màu xanh) và từ TIN DEM (đường màu đỏ)

Trung bình các tệp tin DEM dạng TIN có dung lượng lớn hơn DEM dạng Grid tới 20 - 30 lần nếu được thành lập bằng phương pháp đo vẽ ảnh. Còn khi được thành

lập bằng phương pháp nội suy từ các đường bình độ thì DEM dạng TIN có thể lớn hơn DEM dạng Grid tới 50 - 70 lần (DEM dạng Grid được lưu trữ với khoảng cách mắt lưới là 50 mét). Với các DEM phủ trùm trên một vùng lớn thì một độ chênh lệch về dung lượng tệp tin DEM lớn như trên là rất đáng quan tâm. Hình 6.15 cho thấy DEM dạng TIN cho các đường bình độ miêu tả được chính xác các chi tiết vi địa hình hơn. Còn DEM dạng Grid có xu thế khái quát hoá địa hình.

Đối với các dạng địa hình phức tạp, chẳng hạn như địa hình sông núi hay yên ngựa (như minh hoạ trên hình 6.2 của mục 6.1.3) thì DEM dạng Grid thậm chí có thể miêu tả sai (địa hình sông núi được miêu tả thành yên ngựa). Sự sai khác này thể hiện rõ nhất tại các khu vực có độ dốc thay đổi nhiều. Còn tại các khu vực có độ dốc lớn nhưng đồng nhất, ít thay đổi (các đường bình độ nằm sát nhau và cách đều nhau hơn) thì kết quả nội suy từ DEM dạng Grid và DEM dạng TIN lại gần trùng nhau.

Hơn nữa DEM dạng Grid còn bỏ, không nội suy được một số đường bình độ. Kết quả trên cho thấy các đường bình độ được nội suy từ DEM dạng Grid có độ chính xác và độ tin cậy kém hơn bình độ được nội suy từ DEM dạng TIN do ở dạng Grid, DEM không miêu tả hết được các tính chất vi địa hình. Muốn nâng cao chất lượng nội suy từ DEM dạng Grid thì phải thêm các điểm ghi chú độ cao hay các đặc trưng địa hình hoặc giảm khoảng cách mắt lưới. Tóm lại để nội suy các đường bình độ thì cần sử dụng DEM ở dạng TIN.

4. Việc so sánh ảnh trực giao được nắn từ DEM dạng Grid và DEM dạng TIN được tiến hành như sau:

- Chọn một số ảnh có địa hình tương đối đặc trưng (có đủ các phần địa hình bằng phẳng, đồi núi) để nắn ảnh trực giao;
- Các thông số nắn được chọn như nhau;
- Sự khác biệt duy nhất là ở DEM sử dụng để nắn ảnh với hai cấu trúc khác nhau (DEM dạng lưới đều Grid và DEM dạng TIN).

Kết quả nắn ảnh trực giao cho thấy ảnh được nắn sử dụng các DEM dạng TIN và dạng Grid hầu như không có sai lệch ở các vùng bằng phẳng. Ở các vùng địa hình phức tạp, có độ dốc lớn thì sai số trung bình là khoảng 4 mét (trong hạn sai của bình đồ ảnh trực giao số tỷ lệ 1: 10 000). Sai số lớn nhất là 10 mét. Như vậy nếu địa hình không quá phức tạp thì chỉ cần dùng DEM dạng lưới đều để nắn ảnh cũng đảm bảo được độ chính xác mà dung lượng tệp tin DEM lại nhỏ hơn hàng chục lần so với DEM dạng TIN. Một số kết quả so sánh được nêu ở phụ lục 1.

CHƯƠNG 7: CHƯƠNG TRÌNH XÂY DỰNG MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO QUỐC GIA

7.1 Phân tích các phương pháp xây dựng mô hình số độ cao phủ trùm trong điều kiện Việt nam

Dựa trên các phân tích, đặc biệt tại các mục 4.3 và 5.5, về phương pháp thành lập, độ chính xác đạt được, hiện trạng và các điều kiện để xây dựng DEM ở nước ta có thể thấy rằng, để thành lập DEM phủ trùm có thể chọn 1 trong 2 phương pháp sau:

- 1) Thành lập DEM từ ảnh bay chụp hàng không;
- 2) Thành lập DEM từ các bản đồ địa hình đã có.

Để có các cơ sở và luận cứ xác thực nhất, chúng tôi đã thu thập thông tin tư liệu về hiện trạng bay chụp ảnh hàng không và bản đồ địa hình dạng số tỷ lệ 1: 50 000 phủ trùm toàn quốc tính đến thời điểm hiện nay. Các thông tin chi tiết về hiện trạng bay chụp ảnh hàng không và bản đồ địa hình dạng số ở tỷ lệ 1: 50 000 được miêu tả tại Phụ lục 2.

Trong tương lai có thể phải tính đến cả các phương pháp mới như Radar độ mở tổng hợp giao thoa (IFSAR) hay quét laser (LIDAR) vì chúng cho phép thành lập DEM nhanh chóng hơn và cho độ chính xác cao hơn các phương pháp thông dụng hiện nay. Tuy nhiên do hiện tại chúng ta chưa có các thiết bị trên nên khả năng lựa chọn chỉ giới hạn trong 2 phương pháp nêu trên.

7.1.1. Thành lập DEM từ ảnh bay chụp hàng không

Như đã phân tích ở trên, DEM thành lập từ ảnh bay chụp hàng không là 1 trong 2 lựa chọn của Việt nam để có DEM phủ trùm toàn quốc. Nếu lựa chọn phương pháp này thì cần thiết phải có ảnh chụp phủ trùm. Rất may là điều kiện có ảnh chụp hàng không phủ trùm này đã hầu như được đáp ứng đầy đủ khi xem xét hiện trạng bay chụp ảnh hàng không của nước ta từ khoảng 10 năm trở lại đây (Hình P2.1 trong Phụ lục 2).

Ở nước ta từ năm 1995 đến nay đã có nhiều dự án bay chụp ảnh hàng không với tỷ lệ ảnh chụp phổ biến từ 1/ 30 000 đến 1/ 36 000 (khu vực đồi núi); từ 1/ 8 000 đến 1/18 000 tại hai khu vực đồng bằng châu thổ sông Hồng và đồng bằng sông Cửu Long; và từ 1/20 000 đến 1/33 000 tại các vùng ven biển miền Trung. Ngoài ra còn có các dự án bay chụp ảnh biên giới Việt - Lào và biên giới Việt - Trung. Trong các năm tiếp theo, đặc biệt từ năm 1999 trở lại đây chúng ta đã bay chụp được phần lớn khu vực

Đông Bắc và Tây Bắc của Bắc bộ, Các tỉnh ven biển miền Trung, Tây nguyên và một số khu vực khác. Kết quả là hầu hết diện tích lãnh thổ đã có ảnh chụp phủ trùm. Cụ thể là:

1. Vùng Đông Bắc và Việt Bắc:

Trong các năm 1995, 1998, 1999 và 2000 đã bay chụp vùng ven bờ và quần đảo thuộc hai tỉnh Quảng Ninh và Hải Phòng ở tỷ lệ 1: 28 000. Các tỉnh Bắc Giang, Lạng Sơn, Cao Bằng, Bắc Kạn, Thái Nguyên được chụp phủ trùm kín ở tỷ lệ từ 1: 30 000 đến 1: 32 000. Các tỉnh có biên giới với Trung Quốc được chụp có độ phủ với dự án bay chụp ảnh biên giới Việt - Trung. Trong năm 2002 các tỉnh Hà Giang, Tuyên Quang cũng được bay chụp phủ trùm ở tỷ lệ từ 1: 30 000 đến 1: 36 000.

2. Vùng Tây Bắc:

Các tỉnh có biên giới với Trung Quốc và Lào được chụp có độ phủ với dự án bay chụp ảnh biên giới Việt - Trung và dự án bay chụp ảnh biên giới Việt - Lào. Năm 1999 đã chụp phủ trùm hai tỉnh Lai Châu (cũ) và Sơn La ở tỷ lệ từ 1: 35 000 đến 1: 36 000. Các tỉnh Lào Cai, Yên Bái được chụp phủ kín năm 2002 ở tỷ lệ từ 1: 30 000 đến 1: 36 000.

3. Vùng đồng bằng và trung du Bắc Bộ:

Các tỉnh đồng bằng và trung du Bắc bộ được chụp vào các năm 1995, 1997, 1999, 2000 và 2002. Các tỉnh trung du được chụp ở các tỷ lệ nhỏ hơn so với các tỉnh đồng bằng. Chẳng hạn như tỉnh Phú Thọ được chụp ở tỷ lệ 1: 36 000 năm 1999 và 1: 31 000 vào các năm 2000 và 2002. Phần lớn tỉnh Vĩnh Phúc được chụp ở tỷ lệ 1: 31 000 năm 2000. Riêng phần phía nam của tỉnh Vĩnh Phúc (giáp Hà Nội và Hà Tây) được chụp năm 1997 ở tỷ lệ 1: 8 000. Thành phố Hà Nội có ảnh mới nhất chụp cuối năm 2003. Các tỉnh khác như Hà Tây, Bắc Ninh, Hưng Yên và Hải Dương được chụp ở tỷ lệ 1: 8 000 vào các năm 1995 và 1997. Trong năm 1997 cũng đã bay chụp ảnh các tỉnh Hà Nam, Nam Định, Thái Bình và Ninh Bình ở tỷ lệ 1: 10 000.

Tỉnh Hoà Bình đã được chụp phủ khoảng 2/3 diện tích vào các năm 1997 và 1999 ở các tỷ lệ 1: 8 000, 1: 33 000 và 1: 36 000.

Như vậy có thể thấy hầu hết các tỉnh miền Bắc nước ta đã có ảnh hàng không chụp phủ trùm từ 1995 đến nay. Chỉ còn lại 1/3 diện tích của tỉnh Hoà Bình (vùng đông nam) là chưa có ảnh.

4. Vùng Trung Bộ:

Trong năm 1999 đã tiến hành bay chụp ảnh tại nhiều tỉnh ven biển miền trung với tỷ lệ từ 1: 31 000 đến 1: 34 000. Các tỉnh đó là: Thanh Hoá (chụp năm 1999, tỷ lệ ảnh từ 1: 31 000 đến 1: 34 000); Nghệ An (chụp năm 1999, tỷ lệ 1: 31 000 - vùng ven biển và 1: 34 000 - vùng nằm sâu trong đất liền); Các tỉnh Hà Tĩnh, Quảng Bình, Quảng Trị, Thừa Thiên Huế được chụp năm 1999 ở tỷ lệ 1: 33 000; Các tỉnh Quảng Nam, Đà Nẵng được chụp ở tỷ lệ 1: 25 000 (năm 1996), 1: 33 000 (năm 1999) và 1: 30 000 (năm 2003). Các tỉnh Quảng Ngãi, Bình Định được chụp năm 1998 ở tỷ lệ 1: 33 000 và năm 2003 ở tỷ lệ 1: 30 000. Trong hai năm 2002 và 2003 cũng đã tiến hành bay chụp ảnh tại hai tỉnh Phú yên và Khánh Hoà ở các tỷ lệ 1: 20 000 và 1: 30 000. Hai tỉnh cực nam Trung Bộ là Ninh Thuận và Bình Thuận cũng đã được chụp ảnh ở các tỷ lệ 1: 20 000 (năm 1999) và 1: 30 000 (năm 2003).

Như vậy tuyệt đại đa số các tỉnh miền Trung cũng đã có ảnh chụp phủ trùm (trừ một phần nhỏ diện tích ở vùng đông bắc tỉnh Thanh Hoá). Các tỉnh có biên giới với Lào đều đã được chụp ảnh có độ phủ trùm với các phân khu bay chụp ảnh thuộc dự án bay chụp ảnh biên giới Việt - Lào. Ngoài ra một số thành phố, thị xã còn có ảnh chụp ở tỷ lệ lớn như thị xã Đồng Hới thành phố Huế và Đà Nẵng có ảnh ở tỷ lệ 1: 12 000, được chụp năm 2003.

5. Các tỉnh Tây Nguyên:

Các tỉnh Kon Tum, Gia Lai và Đắk Lắk (cũ) đã có ảnh chụp phủ trùm năm 2002 ở tỷ lệ từ 1: 28 000 đến 1: 30 000. Tỉnh Lâm Đồng có ảnh chụp ở tỷ lệ 1: 20 000 (năm 1999), tỷ lệ 1: 28 000 - vùng đông bắc (năm 2002) và tỷ lệ 1: 25 000 - vùng phía tây (năm 2002). Như vậy các tỉnh Tây Nguyên cũng đã có ảnh chụp phủ trùm.

6. Các tỉnh Đông Nam Bộ và thành phố Hồ Chí Minh:

Tỉnh Đồng Nai được bay chụp năm 1997 (phía bắc tỷ lệ 1: 13 000, phía nam tỷ lệ 1: 9 000). Toàn bộ tỉnh Bình Phước cũng đã có ảnh chụp năm 2002 tỷ lệ 1: 20 000. Các tỉnh Bình Dương và Tây Ninh tuy chưa có ảnh chụp mới nhưng cũng đã được chụp ảnh trong những năm 1991, 1992.

Thành phố Hồ Chí Minh có ảnh chụp năm 2000 ở tỷ lệ 1: 8 000 (khu trung tâm), năm 2003 ở tỷ lệ 1: 15 000 (Cần Giẽ).

7. Các tỉnh Tây Nam Bộ (Đồng bằng sông Cửu Long):

Hầu hết tỉnh Kiên Giang, một phần các tỉnh An Giang, Cần Thơ (cũ) và Sóc Trăng đã có ảnh chụp năm 1998 ở tỷ lệ 1: 14 000. Các tỉnh Cà Mau và Bạc Liêu đã có ảnh chụp phủ trùm ở tỷ lệ 1: 18 000, được chụp vào các năm 1999, 2000 và 2001. Các

khu vực còn lại sẽ được chụp phủ kín trong 2 năm 2004 và 2005 ở tỷ lệ 1: 22 000 cho các vùng ít ngập nước và ở tỷ lệ 1: 10 000 cho các vùng thường xuyên ngập lụt.

Với các tỷ lệ ảnh chụp nêu trên hoàn toàn có thể thành lập DEM với độ chính xác 5 mét ở vùng đồi núi, từ 1 đến 2 mét ở vùng đồng bằng.

Điểm lại các thông tin này nhằm chỉ ra rằng từ gần 10 năm nay chúng ta (bao gồm Tổng cục Địa chính cũ và Cục đo đạc bản đồ Quân đội) đã thực hiện được một khối lượng lớn công việc bay chụp nhằm các mục đích phát triển kinh tế, xã hội cũng như đảm bảo an ninh quốc phòng. Trong tình hình hiện nay, với một Bộ đa ngành như Bộ Tài nguyên và Môi trường thì công tác bay chụp cần phải được định hướng phục vụ đa mục đích chứ không chỉ dừng lại ở hai mục đích chính là thành lập bản đồ địa hình và bản đồ địa chính.

Cũng trong khoảng gần 10 năm trở lại đây nhiều nước trên thế giới đã bắt đầu xây dựng cơ sở hạ tầng dữ liệu không gian quốc gia (National Spatial Data Infrastructure - viết tắt là NSDI), trong đó DEM và ảnh nấn trực giao số là hai loại dữ liệu quan trọng [18]. Ở nước ta cũng đã có đề tài độc lập cấp Nhà nước nhằm nghiên cứu cơ sở khoa học xây dựng hạ tầng kỹ thuật thông tin địa lý. Do vậy nếu chúng ta có hướng coi DEM và ảnh nấn trực giao số là các thành phần quan trọng của NSDI thì phương án xây dựng DEM từ ảnh bay chụp hàng không phải là phương án cần được ưu tiên lựa chọn vì nó cho phép vừa có được DEM với độ chính xác khá cao, vừa có được dữ liệu ảnh trực giao số phủ trùm toàn quốc, mở ra nhiều khả năng ứng dụng khác liên quan đến quản lý tài nguyên thiên nhiên và môi trường. Light [41] đã chỉ ra nhiều lĩnh vực ứng dụng của các dữ liệu ảnh chụp hàng không như môi trường, nông nghiệp và lâm nghiệp, sử dụng đất, địa chất, tài nguyên nước và thành lập bản đồ.

Như vậy có thể nói điều kiện tiên quyết để có thể chọn phương án thành lập DEM từ ảnh bay chụp hàng không đã được đáp ứng (do đã có dữ liệu ảnh phủ trùm). Cũng từ các phân tích trên có thể thấy nếu lựa chọn phương án này thì nó phải được lồng ghép vào một chương trình quốc gia nào đó (chẳng hạn NSDI).

Tuy nhiên nếu nhìn vào thực tế hiện nay thì phương án này lại khó khả thi vì cho tới nay chúng ta vẫn chưa coi DEM và ảnh trực giao số (hay bình đồ ảnh số) là các sản phẩm độc lập. Ngay trong các công trình thành lập bản đồ bằng công nghệ ảnh số thì DEM và bình đồ ảnh số cũng chỉ được xem là các sản phẩm trung gian. Một lý do khác là nếu lựa chọn phương án này sẽ mất nhiều thời gian và chi phí.

7.1.2. DEM thành lập từ các đường bình độ được số hoá trên bản đồ địa hình

Ưu điểm lớn nhất của phương pháp này là có được DEM phủ trùm với chi phí thấp hơn và thời gian hoàn thành nhanh hơn nhiều so với phương pháp thành lập DEM từ ảnh chụp hàng không. Phương pháp này cũng có tính khả thi cao hơn vì bộ bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 50 000 dạng số phủ trùm nước ta đã được ban hành (hệ quy chiếu VN 2000). Cụ thể về tình hình bộ bản đồ này như sau:

1. Khu vực có bản đồ mới đo vẽ và biên vẽ từ bản đồ 1: 25 000 mới đo vẽ:
 - Phủ trùm hai tỉnh Sơn La, Lai Châu (cũ) đo vẽ và biên vẽ trong năm 2002- 2003;
 - Phủ trùm các tỉnh Thanh Hoá, Nghệ An, Hà Tĩnh, Quảng Bình, Quảng Trị, Thừa Thiên - Huế đo vẽ và biên vẽ trong các năm 2000 — 2003;
 - Phủ trùm các tỉnh Quảng Nam, Đà Nẵng, Quảng Ngãi, Bình Định và một phần các tỉnh Cao Bằng, Bắc Kạn, Thái Nguyên biên vẽ trong các năm 1999 - 2003;
 - Phủ trùm tỉnh Kon Tum và một phần tỉnh Gia Lai, tỉnh Khánh Hoà biên vẽ trong năm 2000 - 2001;
 - Phủ trùm các tỉnh Ninh Thuận, Bình Thuận biên vẽ trong năm 1998;
 - Phủ trùm hầu hết hai tỉnh Bình Dương và Bình Phước biên vẽ trong năm 1996;
 - Phủ trùm hầu hết 2 tỉnh Lào Cai và Hà Giang đo vẽ trong năm 1996 - 1997.
2. Bản đồ hiện chỉnh bằng ảnh viễn thám:
 - Khu Bãi Bằng (tỉnh Tuyên Quang, Yên Bái, Phú Thọ, Hà Giang) hiện chỉnh năm 2000 - 2001;
 - Khu đồng bằng Bắc Bộ 2 (một phần các tỉnh Vĩnh Phúc, Hà Tây, Hoà Bình, Thanh Hoá, Lạng Sơn, Bắc Giang, Quảng Ninh) hiện chỉnh năm 1998 - 1999;
 - Khu đồng bằng Bắc Bộ (64 mảnh 1: 25 000 Trung tâm Viễn Thám hiện chỉnh năm 1998) thuộc các tỉnh Bắc Giang, Hưng Yên, Thái Bình, Hà Nam, Nam Định, Ninh Bình;
 - Khu đồng bằng Nam Bộ (phủ trùm các tỉnh Ca Mau, Bạc Liêu, Kiên Giang, An Giang, Cần thơ (cũ), Sóc Trăng, Trà Vinh, Vĩnh Long, Bến Tre, Đồng Tháp, Long An, Tiền Giang; một phần thành phố Hồ chí Minh, các tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu, Đồng Nai, Bình Dương, Bình Phước) hiện chỉnh trong các năm 1998 - 2000.
3. Bản đồ hiện chỉnh bằng ảnh hàng không:

- Khu Bắc Ninh - Hưng Yên (một phần các tỉnh Bắc Ninh, Hưng Yên, Hà Tây, Hải Dương ...) Công ty Đo đạc ảnh Địa hình hiện chỉnh bản đồ 1: 25 000 năm 1999, Nhà xuất bản Bản đồ liên biên 1: 50 000 năm 2000;
 - Khu đồng bằng Bắc Bộ 1 Công ty Đo đạc ảnh Địa hình đo vẽ bổ sung bản đồ tỷ lệ 1: 10 000, Nhà xuất bản Bản đồ liên biên 1: 50 000 năm 2000 (một phần các tỉnh Quảng Ninh, Hải Phòng, Hải Dương).
4. Bản đồ liên biên xuất sứ từ bản đồ 1: 10 000 của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn:
- Khu Bãi Bằng (tỉnh Tuyên Quang, Yên Bái, Phú Thọ, Hà Giang) thành lập năm 1996;
 - Khu Bắc Đắc Lắc, Nam Đắc Lắc thành lập năm 1996;
 - Khu Kon Tum - Kon Hà Nừng, Phú Yên thành lập năm 1997;
 - Khu Lâm Đồng thành lập năm 1999;
 - Khu Tây Ninh thành lập năm 2002.

Bản đồ tỷ lệ 1: 50 000 vùng núi thành lập với khoảng cao đều 20m, vùng đồng bằng với khoảng cao đều 5m và 10m. Tất cả các khối bản đồ này đều đang lưu trữ ở dạng số trên hệ VN2000. Những khu vực hờ đo vẽ đủ trong năm 2003, biên vẽ trong năm 2004.

Như vậy hiện nay chúng ta đã có bộ bản đồ địa hình 1: 50 000 dạng số phủ trùm toàn bộ đất nước. Từ bộ bản đồ này có thể tiến hành xây dựng DEM phủ trùm. Tuy nhiên sau khi tìm hiểu khá chi tiết về tình hình của bộ bản đồ địa hình này chúng tôi thấy bộ bản đồ này được xây dựng bằng nhiều phương pháp khác nhau: đo vẽ mới từ ảnh hàng không và biên vẽ từ bản đồ 1: 25 000 mới đo vẽ; hiện chỉnh (phần địa vật) bằng ảnh hàng không và ảnh vệ tinh, phần địa hình vẫn lấy từ các bản đồ cũ; liên biên từ bản đồ 1: 10 000 của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn. Điều này có thể dẫn tới tính không đồng nhất về độ chính xác và tính cập nhật về địa hình của bộ bản đồ sắp được ban hành này. Hơn nữa sản phẩm có được theo phương pháp này chỉ là DEM mà không có ảnh trực giao. Thêm vào đó độ chính xác của DEM thành lập từ các đường bình độ thường chỉ đạt 1/2 khoảng cao đều. Bản đồ địa hình hiện nay thường có khoảng cao đều 10 mét ở vùng đồng bằng, 20 mét ở vùng núi vì thế độ chính xác của DEM thành lập theo phương pháp này ước tính là 5 mét ở vùng đồng bằng và 10 mét ở vùng núi. Theo các kết quả thử nghiệm của [17] thì nếu chỉ dùng các đường bình độ để nội suy DEM mà không dùng thêm các điểm, đường đặc trưng của địa hình thì độ

chính xác của DEM sẽ không đạt 1/2 khoảng cao đều. Các kết quả trên cũng cho thấy sai số của DEM có thể tăng lên đáng kể nếu như có biến dạng lớn trên bản đồ giấy hay khoảng cao đều trên bản đồ được vẽ không chính xác, chẳng hạn bình độ vẽ nháp. Việc sử dụng thêm các điểm, đường đặc trưng địa hình trên bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 50 000 cũng gặp nhiều khó khăn vì mức độ khái quát hoá trên bản đồ ở tỷ lệ này là khá lớn (thiếu nhiều điểm ghi chú độ cao cục bộ và các đường đặc trưng địa hình). Đưa các đường đặc trưng như thuỷ hệ, các đường sống núi, yên ngựa ... vào thành lập DEM cũng phức tạp ở chỗ phải gán độ cao cho các điểm nằm trên các đối tượng này trong khi trên bản đồ các thông tin về độ cao đều chỉ dựa trên các đường bình độ và các điểm ghi chú độ cao.

Nhiều nghiên cứu, chẳng hạn [9] cho rằng thành lập DEM từ các đường bình độ tiếp tục làm giảm chất lượng của bản đồ gốc bất luận các thuật toán xử lý có hiệu quả tới đâu đi nữa.

Với sai số ước tính là 5 mét ở vùng đồng bằng và 10 mét ở vùng núi thì DEM thành lập theo phương pháp này chỉ phù hợp cho thành lập bình đồ ảnh trực giao tỷ lệ 1: 10 000 ở vùng đồng bằng. Còn tại vùng núi nó chỉ đảm bảo cho việc thành lập bình đồ ảnh trực giao số tỷ lệ 1: 25 000 và nhỏ hơn mà thôi.

7.1.3. Nhận xét, đề xuất

Trong điều kiện của nước ta hiện nay có hai giải pháp thành lập DEM phủ trùm, đó là thành lập từ ảnh bay chụp hàng không và nội suy từ các đường bình độ được số hoá trên bản đồ hiện có. Hiện nay cả hai giải pháp này đều có tính khả thi. Giải pháp thành lập DEM từ ảnh chụp hàng không có thể cho ra sản phẩm DEM với độ chính xác ít nhất là cao gấp 2 lần so với giải pháp nội suy DEM từ các đường bình độ. Ngoài ra nếu thành lập DEM bằng phương pháp này, ngoài sản phẩm DEM, còn có thêm bình đồ ảnh số tỷ lệ 1: 10 000 ở vùng núi, 1: 5 000 và lớn hơn ở vùng đồng bằng. Tuy nhiên giải pháp thành lập DEM từ ảnh bay chụp hàng không này đòi hỏi nhiều thời gian và chi phí hơn nhiều so với giải pháp nội suy DEM từ các đường bình độ.

Giải pháp thành lập DEM từ các đường bình độ được số hoá trên bản đồ hiện có, tuy có độ chính xác không cao, nhưng có thể được thành lập một cách nhanh chóng và với chi phí thấp hơn nhiều so với phương pháp đo vẽ ảnh.

Liên hệ với các điều kiện hiện nay ở nước ta chúng tôi kiến nghị:

1. Nhanh chóng hoàn thành việc thành lập DEM bằng phương pháp nội suy từ các đường bình độ được số hoá trên bản đồ hiện có;

2. Trong từng trường hợp cụ thể, khi có các yêu cầu có DEM với độ chính xác cao hơn có thể thành lập DEM bằng phương pháp đo vẽ ảnh hay đo đạc trực tiếp hoặc bằng các công nghệ mới, nếu chúng ta có các thiết bị này trong tương lai.

7.2 Phương pháp quản lý số liệu mô hình số độ cao quốc gia

7.2.1. Chia mảnh và chọn khoảng cách mắt lưới DEM

Các số liệu của DEM sau khi được thành lập cần phải được lưu trữ theo một kết cấu và quy cách nhất định để tiện cho các mục đích sử dụng (GSTSKH Trương Anh Kiệt [31]). Phương pháp lưu trữ có thể theo từng đơn vị mảnh bản đồ hoặc thành lập cơ sở dữ liệu địa hình. Tại các nước phát triển như Anh, Úc,... các số liệu của DEM hiện đang được lưu trữ theo đơn vị mảnh bản đồ. Tại Úc dữ liệu DEM phục vụ quản lý tài nguyên và môi trường với khoảng cách mắt lưới 9" (≈ 250 mét) được lưu trữ theo mảnh bản đồ 1: 1 000 000 (kích thước mảnh $6^{\circ} \times 4^{\circ}$) - [8]. Còn tại Anh dữ liệu DEM phủ trùm toàn bộ Liên hiệp Anh với tên Land - Form PROFILE được lưu trữ theo mảnh bản đồ 1:10 000 với khoảng cách mắt lưới là 10 mét.

Một câu hỏi được đặt ra là chọn khoảng cách mắt lưới như thế nào là tối ưu. Khoảng cách mắt lưới hay mật độ của các điểm trong DEM về cơ bản là một sự dung hoà giữa lý do kinh tế (hạn chế mật độ điểm để hạn chế dung lượng tệp tin) và các yêu cầu về độ chính xác (mật độ điểm cao hơn thường bao hàm độ chính xác cao hơn). Ảnh hưởng của khoảng cách mắt lưới chủ yếu được khảo sát cho sai số về độ cao, tuy nhiên ảnh hưởng lớn nhất của nó (khoảng cách mắt lưới) lại gây ra cho các tính toán về hướng dốc và độ dốc [7, 30].

Theo [3] thì không có một thông số kỹ thuật hay quy tắc chung nào về độ chính xác của DEM trong mối liên hệ với dạng địa hình hay khoảng cách mắt lưới của DEM. Đó là điều khác biệt so với bản đồ địa hình truyền thống, trong đó khoảng cao đều đường bình độ có mối liên hệ tới độ chính xác về độ cao ($1/3$ khoảng cao đều). Trong DEM thì không có mối liên hệ nào tương tự như vậy. Tuy nhiên cũng theo [3] thì vẫn có những quy tắc gần đúng về mối liên hệ giữa độ chính xác DEM và khoảng cách mắt lưới. Chẳng hạn như với các DEM có khoảng cách mắt lưới 5 m thì độ chính xác của nó thường rất cao, với sai số trung phương về độ cao δ_H cỡ 10 đến 25 cm đối với địa hình bằng phẳng và sai số lớn gấp từ 2 lần trở lên tại các vùng có địa hình phức tạp (loại trừ các vùng núi đá). Tương tự như vậy sai số trung phương δ_H của DEM với khoảng cách mắt lưới 10 m sẽ vào khoảng 0.5 m, với khoảng cách mắt lưới 50 m sẽ là

gần 2.5 m tại các vùng bằng phẳng. Do đó, Ackermann đề xuất một quy tắc chung theo đó khoảng cách mắt lưới DEM được tính toán dựa trên sai số về độ cao của DEM. Tại các vùng bằng phẳng sai số về độ cao của DEM $\delta_H = \frac{1}{20} \cdot d$ (d là khoảng cách của mắt lưới). Tại các vùng có địa hình phức tạp hơn $\delta_H = \frac{1}{10} \cdot d$.

Nếu theo các đề xuất này của Ackermann thì đối với DEM phủ trùm được thành lập theo ảnh chụp hàng không tỷ lệ 1:33 000, khoảng cách mắt lưới phù hợp là 40 - 50 mét. Còn đối với DEM thành lập từ các bản đồ địa hình đã có, khoảng cách mắt lưới phù hợp là 100 mét. Mặt khác sau khi tham khảo cách phân chia mảnh của các nước Úc, Mỹ, Anh chúng tôi thấy có thể phân mảnh DEM phủ trùm theo mảnh bản đồ tỷ lệ 1: 50 000 (theo hệ VN 2000) với kích thước 15'×15'. Cũng theo kinh nghiệm của các nước thì để thuận tiện cho việc ghép nối và tiếp biên các mảnh DEM nên mở rộng hai biên của DEM (chẳng hạn biên Bắc và biên Đông) thêm 2 km. Như vậy các mảnh DEM có độ phủ trùm 2 km.

Cách phân chia mảnh DEM, chọn khoảng cách mắt lưới là những cơ sở quan trọng để quản lý số liệu DEM. Tuy nhiên cũng như nhiều sản phẩm dạng số khác thì khuôn dạng dữ liệu cũng là một vấn đề quan trọng cần đề cập đến.

7.2.2. Khuôn dạng dữ liệu DEM

Do các hệ thống phần mềm sử dụng dữ liệu DEM với các khuôn dạng khác nhau nên phải tiến hành chuyển đổi các tệp số liệu thu nhận được về khuôn dạng phù hợp với phần cứng và phần mềm của hệ thống sử dụng. Thông thường sử dụng các mã code sau:

- Code ASCII (American Standard Code for Information Interchange). Mã code này được sử dụng cho các DEM của Úc (DEM 9'') và DEM của Mỹ. Thông thường để lưu trữ 1 điểm độ cao theo khuôn dạng ASCII phải mất 55 byte. Mặc dù khi lưu trữ dưới dạng ASCII các tệp tin DEM có dung lượng lớn nhưng nó lại thường dễ dàng được đọc và chuyển đổi giữa các hệ thống khác nhau. Tại Úc DEM 9'' được lưu trữ dưới dạng tệp tin ASCII nén;
- Các code nhị phân chẳng hạn DTED (Digital Terrain Elevation Data) 2 byte/ 1 điểm DEM, USGS 6 byte/1 điểm DEM.

Thông thường đầu tệp dữ liệu DEM lưu giữ các thông tin cơ sở có liên quan như: toạ độ của điểm gốc trong mảnh DEM (thường là toạ độ của góc thấp bên trái -

lower left corner - của mảnh DEM), số cột, số hàng, khoảng cách của lưới ô vuông, phạm vi vùng đo...Sau phân đầu tệp dữ liệu là phần chủ thể của dữ liệu tức là độ cao của điểm lưới. Đối với DEM có phạm vi nhỏ thì lượng số liệu không lớn, nên có thể lưu trữ trực tiếp, tức là mỗi lần ghi là độ cao một điểm hoặc số liệu độ cao của một dải điểm. Phương thức này rất thuận lợi cho sử dụng và lưu trữ. Đối với DEM có phạm vi tương đối rộng thì lượng số liệu của nó cũng rất lớn. Vì vậy cần phải lựa chọn phương thức nén số liệu khi ghi và lưu trữ để tiết kiệm bộ nhớ. Lúc này tùy thuộc vào cấu trúc và quy cách số liệu mà chọn phương pháp nén số liệu phù hợp [31].

Một số khuôn dạng của tệp số liệu DEM không những cho phép lưu giữ số liệu độ cao của điểm lưới ô vuông mà còn lưu giữ các số liệu của đường và điểm đặc trưng địa hình theo phương thức vector. Theo GSTSKH Trương Anh Kiệt [31] thì ưu điểm của phương pháp này là dung lượng của tệp số liệu DEM nhỏ nhưng nhược điểm là không thuận tiện khi sử dụng. Một phương thức lưu trữ khác là lưu trữ tọa độ các giao điểm của đường đặc trưng với các cạnh của lưới. Phương thức này chiếm bộ nhớ tương đối lớn nhưng tiện lợi khi sử dụng.

7.2.3. Nén dữ liệu DEM

Như đã nêu ở phần 7.2.2 thì đối với DEM có phạm vi rộng, chẳng hạn DEM phủ trùm Quốc gia hay vùng lãnh thổ cần thiết phải lựa chọn phương thức nén số liệu phù hợp. Tại nhiều nước có DEM phủ trùm đều có các phương thức nén số liệu khác nhau. Tại Úc các dữ liệu DEM 9” được mã hoá và nén. Khi có các yêu cầu của khách hàng thì nhà cung cấp DEM sẽ đưa ra một phần mềm giải nén và tải số liệu sau khi đã kiểm tra mã số của khách hàng và mật khẩu (mật khẩu được nhà cung cấp quản lý). Tại Anh thì sau khi đã thực hiện các thủ tục giao dịch và kiểm tra an toàn đối với khách hàng, nhà cung cấp DEM sẽ đưa ra các tệp tin DEM để khách hàng có thể tải xuống. Các tệp số liệu DEM này là các tệp thi hành, cho phép giải nén tệp tin dữ liệu DEM. Tại Mỹ Cơ quan đo đạc bản đồ Quốc gia đã đưa ra một phương thức nén DEM, cho phép tiết kiệm một nửa khối lượng bộ nhớ. Phương thức này được gọi là “lưu trữ theo dạng số nguyên” theo đó mục tiêu chính là giảm dữ liệu “dư thừa”, thông thường giảm một thường số Z_0 - là độ cao trung bình của tất cả các điểm trong phạm vi vùng xử lý.

Căn cứ vào độ chính xác ghi, còn gọi là độ phân giải về độ cao của DEM (độ cao được lưu trữ tới 1 dm hay 1 cm; hay cần tăng 10 - 100 lần) có thể lưu giữ số liệu độ cao theo dạng số nguyên sau [31]:

$$Z_i = INT[(Z_i - Z_0).10^m + 0,5] \quad (i=0,1,2,...n) \quad (7.1)$$

Trong đó:

Z_i ở vế trái là giá trị lưu trữ nhị phân, dùng 2 byte;

Z_i ở vế phải là giá trị độ cao của điểm DEM, là số thực;

m là số đơn vị sau dấu phẩy của số liệu gốc

Các số liệu sau khi biến đổi về dạng số nguyên, mỗi số sẽ được ghi bởi 2 byte của bộ nhớ máy tính.

Theo công thức tổng quát này, cơ quan đo đạc bản đồ Quốc gia (Mỹ) đã lưu trữ dữ liệu DEM cho toàn bộ miền Tây Bắc của nước này (lưu trữ đến 0,1 m) như sau [60]:

$$Z_i = INT[(Z_i - 3000) \times 10] \quad (7.2)$$

Trong đó $Z_0 = 3000$, Z_i ở vế phải là số thực, có đơn vị đo là mét và được lưu trữ đến 0,1 m, Z_i ở vế trái là giá trị lưu trữ nhị phân, dùng 2 byte.

Theo cách này khối lượng dữ liệu giảm đi một nửa, mỗi giá trị độ cao tại từng điểm mắt lưới được lưu trữ theo 2 byte của bộ nhớ máy tính, khoảng độ cao có thể lưu trữ được là từ -276,7 m đến 6276,7 m. Lý do là Z_i lưới dạng số nguyên (ở vế trái) có thể nhận các giá trị từ 0 - $\pm(2^{15}-1)$ hay là từ 0 - ± 32767 . Như vậy cho phép lưu trữ các giá trị độ cao từ $\frac{-32767}{10} + 3000 = -276,7m$ đến $\frac{+32767}{10} + 3000 = 6276,7m$. Đối với nước ta cũng có thể sử dụng công thức (7.2).

Một phương án nữa là trong công thức (7.2) có thể cho $Z_0 = 0$, khi đó khoảng độ cao được lưu trữ là từ -3276,7 đến +3276,7 mét, vẫn cho phép lưu trữ toàn bộ độ cao (và hầu hết độ sâu) của Việt nam (đỉnh núi cao nhất ở nước ta là Fansipan cao 3141 mét). Lưu ý là theo công thức dạng này có thể lưu trữ độ cao với một đơn vị sau dấu phẩy của dữ liệu gốc (lưu trữ đến 1 dm). Việc lưu trữ đến 1 dm cho các DEM phủ trùm Việt Nam là phù hợp với nhiều ứng dụng và đảm bảo tiết kiệm bộ nhớ (2 byte/1 điểm DEM).

Tuy nhiên đối với các vùng có địa hình bằng phẳng thì lưu trữ độ cao của các điểm DEM tới 1 dm tỏ ra chưa đủ. Tại Mỹ, một trong các lý do khiến các DEM xây dựng trước đây khó áp dụng được vào trong các ứng dụng liên quan đến phân tích dòng chảy, là vì DEM được lưu trữ đến chẵn mét hoặc chẵn foot (1 foot = 0.3048 mét). Theo Carter (1992) và Gyasi - Agyei và các tác giả khác (1995) - được trích dẫn trong [66] thì việc làm tròn giá trị độ cao của các điểm DEM tới chẵn mét làm ảnh hưởng đáng kể

tới độ chính xác của kết quả tính toán hướng dốc và độ dốc. Để thích hợp cho các ứng dụng thủy văn (chẳng hạn như tính toán mạng dòng chảy) thì tỷ số giữa độ chênh cao trung bình theo khoảng cách mắt lưới DEM và độ phân giải về độ cao phải lớn hơn 1. Nói một cách khác nếu lưu trữ giá trị độ cao của các điểm DEM tới chẵn mét thì chênh cao trung bình của các điểm mắt lưới DEM liên kế nhau phải lớn hơn 1 mét. Điều này xem ra không phù hợp cho địa hình vùng đồng bằng, nơi mà độ cao của các điểm mắt lưới DEM liên kế thường chênh nhau rất ít. Từ kinh nghiệm này, độ cao của các điểm DEM tại Úc được lưu giữ tới chẵn 1 cm với lý do bảo toàn được cấu trúc dòng chảy tại các vùng bằng phẳng và tránh hiện tượng tạo vệt bậc thang trên DEM tại các vùng này.

Nếu liên hệ đến điều kiện địa hình của Việt nam thì có thể thấy DEM phủ trùm quốc gia có thể được lưu trữ tới chẵn 1 dm. Với cách lưu trữ như vậy chỉ mất 2 byte bộ nhớ để lưu trữ một điểm mắt lưới DEM theo dạng số nguyên, dựa theo công thức tổng quát (7.1) nêu trên, được GSTSKH Trương Anh Kiệt đưa ra. Trong trường hợp này (lưu trữ tới chẵn 1 dm), trong công thức (7.1) có $m = 1$, đảm bảo lưu trữ toàn bộ khoảng độ cao địa hình mặt đất và hầu hết độ sâu đáy biển thuộc lãnh thổ Việt nam.

Tuy nhiên tại các vùng bằng phẳng, chẳng hạn như đồng bằng châu thổ sông Hồng hay đồng bằng sông Cửu Long phải lưu trữ DEM tới chẵn 1 cm để có thể thích hợp cho các ứng dụng thủy văn. Nếu lưu trữ tới chẵn 1 cm thì trong các công thức của GSTSKH Trương Anh Kiệt nêu trên $m = 2$ và khoảng độ cao có thể được lưu trữ $Z_{\max} - Z_{\min} = 2 \times \frac{32767}{100} = 655.34$ mét. Tùy theo giá trị độ cao lớn nhất $Z_{\max}$ và giá trị độ cao nhỏ nhất $Z_{\min}$ của từng vùng mà có thể chọn giá trị Z_0 phù hợp. Chẳng hạn đối với các khu vực đồng bằng sông Hồng và sông Cửu long, để đơn giản có thể chọn $Z_0 = 0$.

Từ đây có thể ước tính tổng dung lượng dữ liệu cho DEM phủ trùm lãnh thổ Việt nam (chưa kể khu vực quần đảo Hoàng sa và Trường sa) trên các cơ sở sau:

- Một mảnh DEM có kích thước $15' \times 15'$ (mở rộng biên Bắc và biên Đông thêm 2 km) tương đương gần $29 \text{ km} \times 29 \text{ km}$;
- Khoảng cách mắt lưới 50 mét, như vậy trên một diện tích $29 \times 29 \text{ km}$ có 336.400 điểm mắt lưới DEM;
- Nếu lưu trữ theo 2 byte/ 1 điểm DEM thì dung lượng của một tệp tin DEM là 672,8 KB hay 0.657 MB;
- Nếu không kể hai khu vực quần đảo Trường sa và Hoàng sa thì phần còn lại của lãnh thổ Việt nam bao gồm khoảng 590 mảnh bản đồ tỷ lệ 1/ 50 000

(chia theo kích thước $15' \times 15'$). Như vậy tổng dung lượng file sẽ là: $0.657 \text{ MB} \times 590 \approx 388 \text{ MB}$.

Do dung lượng của 1 tệp tin DEM với kích thước phủ $15' \times 15'$ là khá nhỏ cho nên cũng có thể lưu trữ DEM theo mảnh kích thước $1^\circ \times 1^\circ$ với dung lượng khoảng $0.657 \text{ MB} \times 16 \approx 11 \text{ MB}$.

Một số tài liệu chẳng hạn [30] cũng đưa ra các phân tích, đề xuất, theo đó việc lưu trữ dữ liệu DEM theo 2 byte cho phép lưu trữ một khoảng các giá trị độ cao hơn 6000 mét, trong đó mỗi giá trị độ cao được lưu giữ tới chẵn 1 dm (như đã trình bày ở trên). Lưu trữ theo 2 byte là một sự dung hoà tốt giữa 1 byte (hạn chế khoảng độ cao - chỉ lưu trữ được $2^8 = 256$ giá trị độ cao tới chẵn 1 mét), và 4 byte (cho phép lưu trữ được nhiều giá trị độ cao hơn nhưng lại làm tăng dung lượng dữ liệu một cách không cần thiết). Ngoài cách mã hoá và lưu trữ dữ liệu DEM theo 2 byte nêu trên còn có các phương pháp mã hoá và nén khác như lưu trữ theo phương pháp ánh xạ phân sai hay nén theo mã số [31].

7.2.4. Quản lý dữ liệu DEM quốc gia

Sau khi đã xác định được cách thức chia mảnh DEM, chọn mật độ các điểm DEM, phương pháp mã hoá và nén dữ liệu DEM, có thể ước tính được tổng dung lượng các tệp tin DEM phủ trùm toàn quốc, làm cơ sở để đề xuất phương pháp lưu trữ, phân phối, quản lý dữ liệu DEM.

Đối với DEM phủ trùm Quốc gia có thể chọn khoảng cách mắt lưới là 50 mét và lưu trữ các điểm độ cao theo 2 byte như đã miêu tả ở trên. Tổng dung lượng các tệp tin DEM vào khoảng 400 MB, có thể lưu trữ được trong một đĩa CD. Kinh nghiệm của Úc đã cho thấy việc dùng CD - ROM làm phương tiện phân phối sản phẩm cho phép giảm thiểu nhiều về chi phí phân phối sản phẩm. Điều này cho phép khách hàng chỉ phải trả một lệ phí bản quyền nhỏ (licence fee), thấp hơn rất nhiều so với giá thành xây dựng DEM của AUSLIG.

Bằng cách áp dụng việc mã hoá và nén, sau đó dựa theo các mã số khách hàng và mật khẩu để cung cấp dữ liệu DEM. Có thể tham khảo kinh nghiệm của các nước đi trước để đưa ra các hình thức cung cấp dữ liệu DEM một cách linh hoạt và an toàn, chẳng hạn có thể cung cấp cho khách hàng không chỉ theo chẵn mảnh DEM mà còn có thể theo tọa độ tùy ý của các góc DEM, nếu có yêu cầu của khách hàng.

Do dữ liệu của DEM được lưu trữ theo mảnh bản đồ cho nên cần phải xây dựng các phần mềm để phục vụ việc lưu trữ, tiếp biên và cập nhật dữ liệu DEM theo mảnh bản đồ. Đối với mỗi mảnh bản đồ có thể thành lập một văn bản quản lý số liệu, trong đó ghi chép tình hình lưu trữ số liệu của lưới điểm DEM. Khi nhập bất kỳ một khối số liệu nào cũng phải tiến hành xử lý tiếp biên với khối số liệu đã có. Các dữ liệu DEM dạng lưới này có thể được sử dụng cho các ứng dụng như nắn ảnh trực giao từ ảnh chụp hàng không, ảnh trực giao từ ảnh vệ tinh hay các ứng dụng chuyên đề quản lý tài nguyên thiên nhiên và môi trường.

Tuy nhiên với việc lưu trữ DEM theo dạng lưới đều (GRID) thông thường thì không thể miêu tả chính xác các thay đổi đột ngột về độ cao, chẳng hạn như các đường phân thủy, tụ thủy, các điểm độ cao cục bộ. Thêm vào đó, từ các kết quả thử nghiệm cũng đã cho thấy các đường bình độ được nội suy từ DEM dạng Grid thiếu độ chính xác và tin cậy. Vì thế các cơ quan làm công tác đo đạc bản đồ, thành lập DEM cũng cần lưu trữ các tệp tin đường bình độ, các điểm, đường đặc trưng của địa hình để sử dụng cho các mục đích chuyên ngành đòi hỏi mức độ chi tiết và độ chính xác cao.

Đối với các số liệu đã được đưa vào cơ sở dữ liệu cần có biện pháp bảo mật, bảo quản để phòng virus xâm nhập phá hoại dữ liệu, đảm bảo cho số liệu luôn chính xác và sử dụng có hiệu quả [31].

CHƯƠNG 8: KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

8.1 Kết luận

Từ các nội dung nghiên cứu đã được trình bày có thể nêu ra được một số kết luận sau đây:

1. DEM có tầm quan trọng lớn trong các khoa học về trái đất, có thể được ứng dụng trong việc mô hình hoá các quá trình liên quan tới tài nguyên thiên nhiên và môi trường, chẳng hạn như: thủy học, khí hậu học, địa mạo học và sinh thái học và nhiều ứng dụng khác trong dân sự cũng như quân sự;
2. Ở nước ta hiện nay DEM chưa được coi là một sản phẩm độc lập;
3. Hiện trạng thành lập DEM ở nước ta chưa đáp ứng được tiềm năng ứng dụng to lớn của nó, do đó cần thiết phải thành lập DEM phủ trùm quốc gia phục vụ đa mục đích, trong đó có quản lý tài nguyên thiên nhiên và môi trường;
4. Để phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên và môi trường, theo kinh nghiệm của một số nước trên thế giới và liên hệ với các điều kiện của nước ta DEM phủ trùm cần được thành lập với độ chính xác và mức độ chi tiết ở mức trung bình, đáp ứng được nhiều ứng dụng, dự án trên quy mô quốc gia và vùng;
5. DEM phủ trùm phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên có cấu trúc dạng lưới đều (Grid DEM);
6. Trong điều kiện của Việt nam hiện nay có hai phương pháp xây dựng DEM phủ trùm phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên, đó là phương pháp đo vẽ ảnh và phương pháp nội suy từ các đường bình độ được số hoá trên các bản đồ địa hình có sẵn;
7. Phương pháp đo vẽ ảnh cho phép có được DEM phủ trùm với độ chính xác, tính cập nhật, mức độ chi tiết và tính đồng nhất cao hơn so với phương pháp nội suy từ các đường bình độ. Ngoài ra nó còn cho phép thành lập bình đồ ảnh trực giao phủ trùm, mở ra nhiều khả năng ứng dụng khác liên quan đến quản lý tài nguyên thiên nhiên và môi trường;
8. Phương pháp nội suy từ các đường bình độ được số hoá trên bản đồ địa hình là một phương pháp cho phép có được DEM phủ trùm với chi phí thấp và khả năng hoàn thành nhanh nhất. Tuy nhiên độ chính xác, tính cập nhật, mức độ chi tiết

và tính đồng nhất thấp hơn so với phương pháp đo vẽ ảnh. Không có các sản phẩm nào khác ngoài DEM;

8.2 Kiến nghị

Dựa trên các kết quả phân tích về vai trò và tầm quan trọng cũng như tiềm năng ứng dụng của DEM; thông qua việc phân tích so sánh các cấu trúc của DEM; các phương pháp thành lập DEM; yêu cầu về độ chính xác của DEM trong các ứng dụng đo đạc bản đồ và quản lý tài nguyên thiên nhiên; kết quả thử nghiệm xây dựng DEM; tham khảo DEM phủ trùm quốc gia và vùng lãnh thổ của một số nước trên thế giới và liên hệ với điều kiện của Việt nam có thể đưa ra một số kiến nghị sau:

1. Coi DEM là một sản phẩm độc lập trong công tác đo đạc bản đồ. Bổ sung quy phạm về DEM, quy định các cấu trúc DEM, phương pháp, quy trình thành lập cũng như độ chính xác của DEM;
2. Thử nghiệm trên thực tế độ chính xác của DEM trong điều kiện Việt nam cho một số loại địa hình tiêu biểu. Trong khuôn khổ của đề tài này chưa cho phép tiến hành các thử nghiệm thực tế về độ chính xác của DEM trong điều kiện Việt Nam. Vì thế để có cơ sở chắc chắn và thuyết phục hơn cần thiết phải tiến hành các thử nghiệm về vấn đề này.
3. Nhanh chóng hoàn thành việc thành lập DEM bằng phương pháp nội suy từ các đường bình độ được số hoá trên bản đồ hiện có, đồng thời xem xét khả năng xây dựng DEM phủ trùm từ ảnh hàng không phục vụ đa mục đích;
4. Trong từng trường hợp cụ thể, tại một số khu vực khi có yêu cầu có DEM với độ chính xác cao hơn có thể thành lập DEM bằng phương pháp đo vẽ ảnh hay đo đạc trực tiếp hoặc bằng các công nghệ mới, nếu chúng ta có các thiết bị này trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ackermann, F. (1979) The accuracy of Digital Height Models, *Proceeding of 37th Photogrammetric Week*, 24-28 September, University of Stuttgart, Stuttgart, Germany, pp. 133-144.
- [2] Ackermann, F. (1994) Digital Elevation Models - Techniques and Application, Quality Standards, Development, in: *Proceedings of the Symposium Mapping and Geographic Information Systems, Commission IV of ISPRS*, Athens G.A., USA, pp. 421- 432.
- [3] Ackermann, F. (1996) Techniques and Strategies for DEM Generation, in: *Digital Photogrammetry - An Addendum to the Manual of Photogrammetry*, Greve, C. (ed), American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Maryland, USA, pp. 135-141.
- [4] Afify, H., Derenyi, E. and Hosny, M. (1997) DTM Generation from SPOT Imagery in a Digital Photogrammetric Workstation, *Proceedings of GER'97*, CD-ROM (paper 25).
- [5] Baltsavias, E.P. (1999) A comparison between photogrammetry and laser scanning, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 54, No. 2/3, pp. 83-94.
- [6] Burrough, P.A. (1986) *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Clarendon Press, Oxford, 193 pp.
- [7] Burrough, P.A. and McDonnell, R.A. (1998) *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press Inc, New York, 333 pp.
- [8] Carroll, D. and Morse, M.P. (1996) A National Digital Elevation Model for Resource and Environmental Management, *Cartography*, vol. 25, pp. 43-49.
- [9] Carrara, A., Bitelli, C. and Carla, R. (1997) Comparison of Techniques for Generating Digital Terrain Models from Contour Lines, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 11, No. 5, pp. 451-473.
- [10] Davis, C.H. and Wang, X. (2001) High-Resolution DEMs for Urban Applications from NAPP Photography, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 67, No. 5, pp. 585 - 592.
- [11] Demers, M.N. (1997) *Fundamental of Geographic Information Systems*, John Wiley & Sons, New York.
- [12] El-Sheimy, N.(1998) *Digital Terrain Modeling*, ENGO 573, Department of Geomatics Engineering. <http://www.geomatics.ucalgary.ca/%7Eel-shei/engo573.htm>.
- [13] Flood, M. (2001) Laser Altimetry: From Science to Commercial LIDAR Mapping, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 67, No. 11, pp. 1209 - 1217.
- [14] Flotron, A. and Koelbl, O. (2000) *Precision Terrain Model for Civil Engineering*. Official Publication n° 38, OEEPE, European Organization for Experimental Photogrammetric Research, 12.2000, P. 37-134 – Frankfurt a. M., Available at http://phot.epfl.ch/research/oeepe_op_38/toc_38.htm
- [15] Franklin, W.R. and Gousie, M.B. (1999) Terrain Elevation Data Structure Operations, *Proceedings of 19th International Cartographic Conference, 11th General Assembly of ICA*, Ottawa, Canada, August 14-21.

- [16] GDTA (1996) *Spacemaps Image Mapping Methods, Examples of Implementation Tutorial*, Booklet A1.
- [17] Gong, J., Li, Z., Zhu, Q., Sui, H. and Zhou, Y. (2000) Effects of Various Factors on the Accuracy of DEMs: An Extensive Experimental Investigation, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 66, No. 9, pp. 1113 - 1117.
- [18] Groot, R. and McLaughlin, J. (2000) *Geospatial Data Infrastructure, Concepts, Cases and Good Practice*, Oxford University Press, Oxford, 286 pp.
- [19] Gruen, A., Bar, S. and Buhner, T. (2000) DTMs Derived Automatically from DIPS, Where Do We Stand?, *GeoInformatics*, Vol. 3, July/August, pp. 36-39.
- [20] Heipke, C., Koch, A. and Lohmann, P., 2002: Analysis of SRTM DTM – Methodology and practical results, *Journal of Swedish Soc. of Photogrammetry and Remote Sensing*, No. 2002: 1, pp 69 – 80.
- [21] Hill, J.M., Graham, L.A. and Henry, R.J. (2000) Wide-Area Topographic Mapping and Applications Using Airborne Light Detection and Ranging (LIDAR) Technology, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 66, No. 8, pp. 908-914.
- [22] Hodgson, M.E., Jensen, J.R., Schmidt, L., Schill, S. and Davis, B. (2003) An evaluation of LIDAR- and IFSAR-derived digital elevation models in leaf-on conditions with USGS Level 1 and Level 2 DEMs, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 84, pp. 295–308.
- [23] Hội thảo: □*Ứng dụng viễn thám trong quản lý môi trường Việt nam*□, Cục Môi trường, Bộ Khoa học, công nghệ và Môi trường, Hà nội 10/1999.
- [24] I.S.M. International Systemap Corp. (2000) *The Fundamentals of Digital Photogrammetry*, Vancouver, British Columbia, Canada.
- [25] Jacobsen, K. (2002) State-of-the-art Trends in Mapping - Past, Present and Future, *INCA Workshop 2002*, Ahmedabad, India.
- [26] Jacobsen, K. and Passini, R. (2003) Accuracy of Digital Orthophotos from High Resolution Space Imagery, International Workshop: “*High Resolution Mapping from Space 2003*”, Hannover 2003.
- [27] Jelaska, S.D., Antoni, O., Nikoli, T., Hršak, V., Plazibat, M. and Križan, J. (2003) Estimating plant species occurrence in MTB/64 quadrants as a function of DEM-based variables—a case study for Medvednica Nature Park, Croatia, *Ecological Modelling*, Vol 170, pp.333–343.
- [28] Jensen, J.R. (1996a) *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (2nd Edition), Prentice Hall, New Jersey, USA, 316 pp.
- [29] Jensen, J.R. (1996b) Issues Involving the Creation of Digital Elevation Models and Terrain Corrected Orthoimagery Using Soft-Copy Photogrammetry, in: *Digital Photogrammetry - An Addendum to the Manual of Photogrammetry*, Greve, C. (ed), American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Maryland, USA, pp. 167-179.
- [30] Kasser, M. and Egels, Y. (2002) *Digital Photogrammetry*, Taylor & Francis, London and New York, 351 pp.
- [31] GS -TSKH Trương Anh Kiệt (2000) *Phương pháp đo ảnh giải tích và đo ảnh số*, Đại học Mở - Địa chất Hà Nội, 177 trang.

- [32] Kirby, J.F. and Featherstone, W.E. (2001) Anomalously Large Gradients in the "GEODATA 9 SECOND" Digital Elevation Model of Australia and their Effects on Gravimetric Terrain Corrections, *Cartography*, Vol. 30, No. 1, pp.1-10.
- [33] Koch, A. and Lohmann, P. (2000) Quality Assessment and Validation of Digital Surface Models Derived from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), *Proceedings of IAPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam, Netherlands*.
- [34] Kraak, M.J. and Ormeling, F.J. (1996) *Cartography: Visualization of Spatial Data*, Longman, Harlow, Exess.
- [35] Kraus, K. (1995) From Digital Elevation Model to Topographic Information System, *Photogrammetric Week 1995*, Fritsch/Hobbie (Eds), pp. 277 - 285.
- [36] Kraus, K. and Pfeifer, N. (1998) Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 4, pp. 193-203.
- [37] Kumler, M.P. (1994) An Intensive Comparison of Triangulated Irregular Network (TINs) and Digital Elavation Models (DEMs), *Cartographica*, Vol. 32, No. 2, pp. 1-99.
- [38] Lee, J. (1996) Digital Elevation Models: Issues of Data Accuracy and Applications, *Proceedings of the ESRI User Conference*, 1996.
- [39] Li, Z. (1993) Mathematical Models of the Accuracy of Digital Terrain Model Surfaces Linearly Constructed from Gridded Data, *Photogrammetric Record*, Vol. 14, No. 82, pp. 661-674.
- [40] Li, Z. (1994) A Comparative Study on the Accuracy of Digital Terrain Models based on Various Data Models, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 49, No. 1, pp. 2-11.
- [41] Light, D.L. (1993) The National Aerial Photography Program as a Geographic Information System Resource, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 59, No. 1, pp. 61-65.
- [42] Light, D.L. (1999) C-Factor for Softcopy Photogrammetry, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.65, No. 6, pp. 667- 669.
- [43] Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W. (2000) *Remote Sensing and Image Interpretation* (4th Edition), John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 724 pp.
- [44] Phạm Thị Loan, Phạm Hùng Thuấn, Phan Đức Hiếu, Đào Văn Thịnh (2003) Vài nét về ứng dụng công nghệ ảnh số trong thành lập bản đồ chuyên đề địa chất, *Tạp chí Địa chính*, số 6 năm 2003, tr. 24-26.
- [45] Lu, W. (2001) Digital Terrain Models: An Overview of DTM Generation and Interpolation Issues, *GIM International*, Vol. 15, No. 12, pp. 28-31.
- [46] Maas, H.G. (2003): Planimetric and height accuracy of airborne laserscanner data - User requirements and system performance, *Proceedings 49. Photogrammetric Week* (Ed. D. Fritsch), Wichmann Verlag, pp. 117-125.
- [47] Mandlbürger, G. and Brockmann, H. (2001) Modelling a Watercourse DTM Based on Airborne Laser Scanner Data – Using the Example of the River Oder along the German/Polish Border, *Proceedings of OEEPE Workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models*, 1- 3 March, Stockholm, Sweden.
- [48] Manzer, G. (1996) Avoiding Digital Orthophoto Problems, in: *Digital Photogrammetry - An Addendum to the Manual of Photogrammetry*, Greve, C.

- (ed), American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Maryland, USA, pp. 158-162.
- [49] Maune, D.F. (1996) Introduction to Digital Elevation Models (DEM), in: *Digital Photogrammetry - An Addendum to the Manual of Photogrammetry*, Greve, C. (ed), American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Maryland, USA, pp. 131-134.
- [50] Mercer, B. (2001) Combining LIDAR and IFSAR: What can you expect?, *Photogrammetric Week 2001*, University of Stuttgart, Stuttgart, Germany, pp. 227-237.
- [51] MGE Terrain Analyst (MTA) User's Guide, Intergraph Corporation, 1997.
- [52] Morin, K. and El-Sheimy, N. (2001) The Effects of Residual Errors in Airborne Laser Scanning Terrain Data on Ortho-Rectification of Imagery, in: *Airborne Laser Scanning in Optical 3-D Measurement Techniques*, Grun, A., Kahmen, H. (eds), Vienna, Austria, pp. 88 - 96.
- [53] Muller, M. (2001) 3D Geo-spatial Data Requirements in Environmental Planning, *Proceedings of OEEPE/ISPRS Workshop: From 2D to 3D - Establishment and Maintenance of National Core Geospatial Databases*, 8-10 October, Hannover, Germany.
- [54] Oksanen, J. and Jaakkola, O. (1999) Computing and Visualizing Morphologically Sound DEMs in a Raster Environment, *Proceedings of 19th International Cartographic Conference, 11th General Assembly of ICA*, Ottawa, Canada, August 14-21.
- [55] Okubo, T. (2001) Airborne Laser Measurement Technology in Japan, *FIG Working Week 2001, Technical Conference: "New Technology for a New Century"*, Seoul, Korea, May 6-11.
- [56] Petzold, B. (1999) DTM Determination by Laserscanning An Efficient Alternative, *OEEPE Workshop on Automation in Digital Photogrammetric Production*, Marne la Vallée (France), June 22-24.
- [57] Raaflaub, L. D. (2002) *The Effect of Error in Gridded Digital Elevation Models on Topographic Analysis and on the Distributed Hydrological Model TOPMODEL*, MSc Thesis, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Alberta, Canada, 113 pp.
- [58] Renouard, L. and Lehmann, F. (1999) Digital Aerial Survey Data for Telecoms Network Planning: Practical Experience with a High-resolution Three-view Stereo Camera, *OEEPE Workshop on Automation in Digital Photogrammetric Production*, Marne la Vallée (France), June 22-24.
- [59] Seo, J. and Han, S. (2001) Study on Geographic Information Production Using Airborne Laser Scanning, *FIG Working Week 2001, Technical Conference: "New Technology for a New Century"*, Seoul, Korea, May 6-11.
- [60] Smith, D.A. and Roman, D.R. (2001) A New High Resolution DEM for the Northwest United States, *Surveying and Land Information Systems*, Vol. 61, No. 2, pp. 103-112.
- [61] Sulebak, J. R. (2000) Applications of Digital Elevation Models, *DYNAMAP "White paper"*, Oslo 2000, Norway.
- [62] Taylor, D.R.F. (2003) Down to Earth: Geographic Information for Sustainable Development in Africa, *Proceedings of 21th International Cartographic Conference*, Durban, South Africa, August 10 -16.

- [63] Lê Quý Thúc (2002) Cơ sở hạ tầng thông tin địa lý, *Tạp chí Trắc địa và Bản đồ*, Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt nam, số 2/2002.
- [64] Tổng Cục Địa chính (2002) Quy trình hiện chỉnh bản đồ địa hình bằng ảnh vệ tinh.
- [65] USGS - United States Geological Survey (1997) *Standards for Digital Elevation Models*, Part 1: General (17 p.); Part 2: Specifications (70 p.); Part 3: Quality Control (10 p.), USGS, Department of the Interior, Washington, D.C.
- [66] Wechsler, S. (1999), Digital Elevation Model (DEM) Uncertainty: Evaluation and Effect on Topographic Parameters, available at:
<http://www.csulb.edu/~wechsler/Dissertation/P262/P262.html>
- [67] Weibel, R. and Heller, M. (1991) Digital Terrain Modelling, in: *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, Maguire, D.J., Goodchild, M.F., and Rhind, D.W. (eds), Longman, London, Vol. 1, pp. 269- 297.
- [68] Wijesekera, S. and Samakaroorn, L. (2001) Extraction of Parameters and Modelling Soil Erosion Using GIS in a Grid Environment, *Proceedings of the 22nd Asian Conference on Remote Sensing*, 5 – 9 November, Singapore.
- [69] Zhang, K.F. and Featherstone, W.E. (1997) A Preliminary Evaluation of the Terrain Effects on Gravimetric Geoid Determination in Australia, in: *Gravity, Geoid and Marine Geodesy*, Segawa, J., Fujimoto, H. and Okubo, S. (eds), Springer, Berlin, Germany, pp. 565 – 572.

Phụ lục 1: Một số kết quả thử nghiệm

1. Khu đo Lào Cai

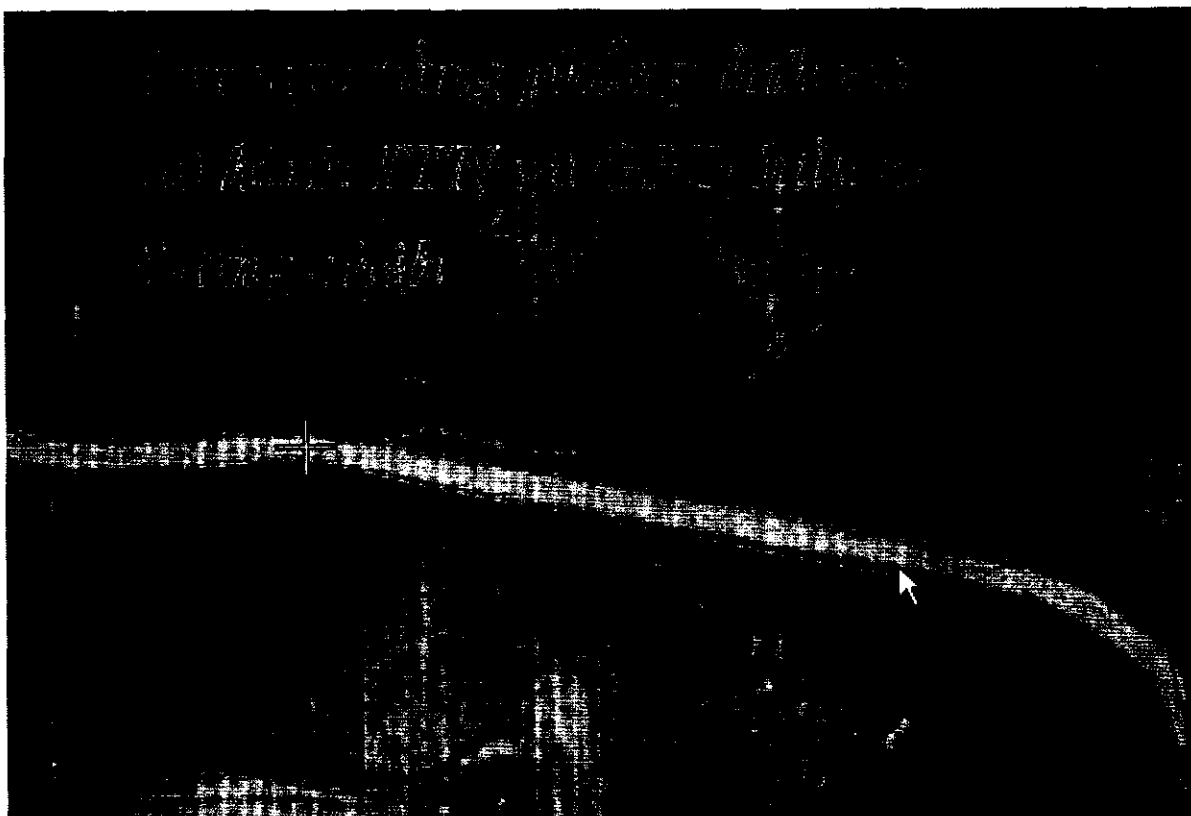
Trong các hình P1.1, P1.2, P1.3 và P1.4 phần đường nét được số hoá trên ảnh nắn bằng mô hình TTN (TIN), còn phần nền ảnh được nắn bằng mô hình GRD (Grid). Cả hai mô hình TTN và GRD đều được thành lập bằng phương pháp đo vẽ ảnh.



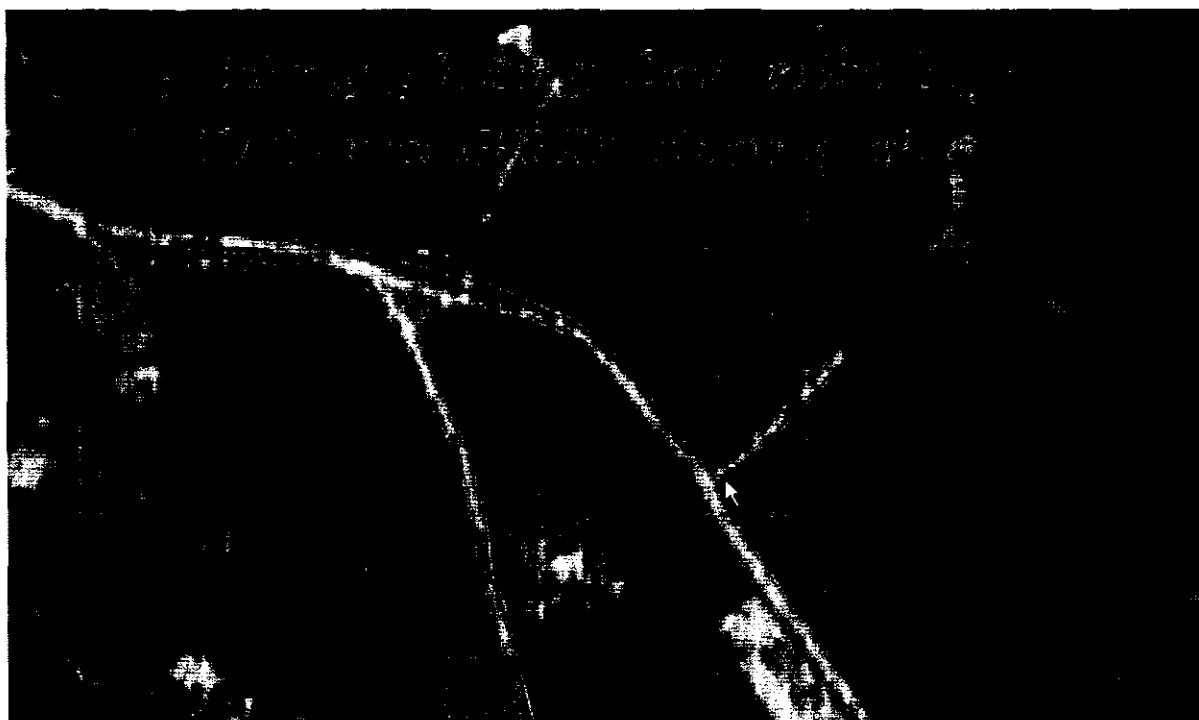
Hình P1.1: Vùng địa hình có chênh cao lớn



Hình P1.2: Vùng địa hình phức tạp



Hình P1.3: Khu vực bằng phẳng

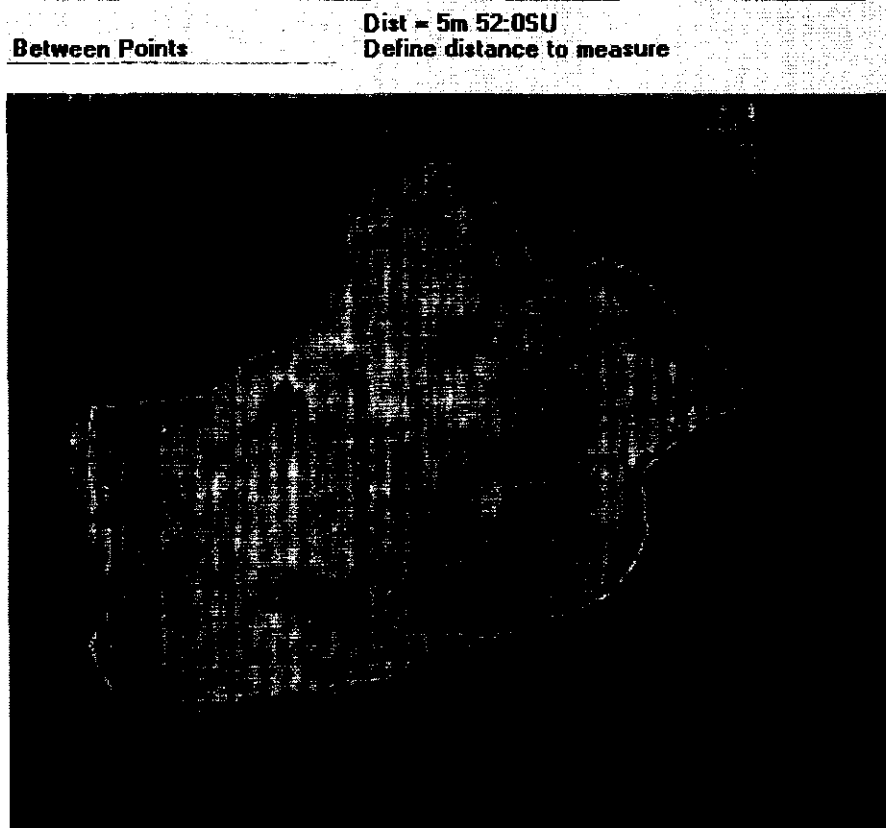


Hình P1.4: Khu vực bằng phẳng

Trong các hình P1.5, P1.6, P1.7 và P1.8, phân đường nét được số hoá trên ảnh nấn bằng mô hình TTN (TIN) thành lập theo phương pháp đo vẽ ảnh số, còn phần nền ảnh được nấn bằng mô hình TIN nội suy từ các đường bình độ có sẵn trên bản đồ.



Hình P1.5: Vùng địa hình có chênh cao lớn (giống hình P1.1)



Hình P1.6: Vùng địa hình phức tạp (giống P1.2)



Hình P1.7: Khu vực bằng phẳng (giống P1.3)



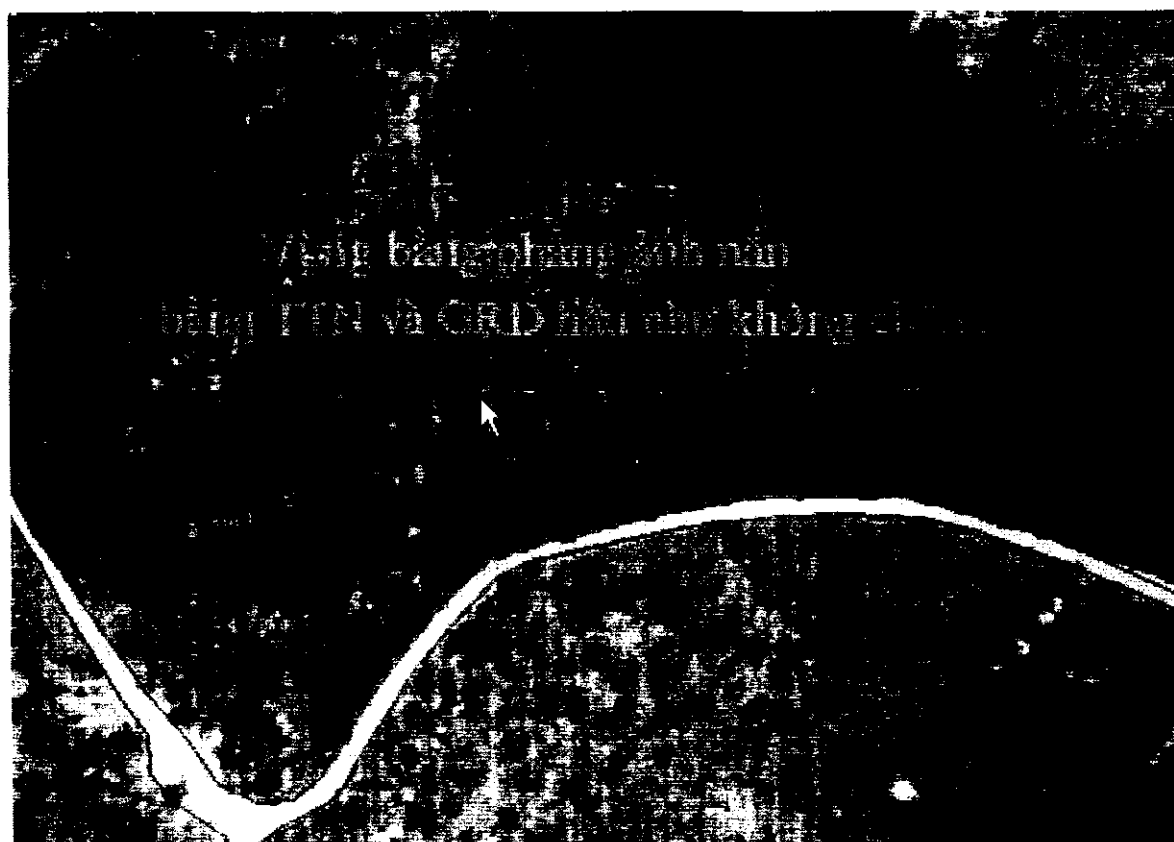
Hình P1.8: Khu vực bằng phẳng (giống P1.4)

2. Khu đo Kon Tum

Trong các hình P1.9 và P1.10 phần đường nét được số hoá từ ảnh nắn theo mô hình TIN, nền ảnh được nắn theo mô hình Grid



Hình P1.9: Vùng có chênh cao lớn



Hình P2.10: Vùng bằng phẳng

3. Khu đo Quảng Ngãi

Trong các hình P1.11, P1.12 và P1.13 phần đường nét được số hoá từ ảnh nấn theo mô hình TIN, phần nền ảnh được nấn theo mô hình Grid.



Hình P1.11: Vùng bằng phẳng

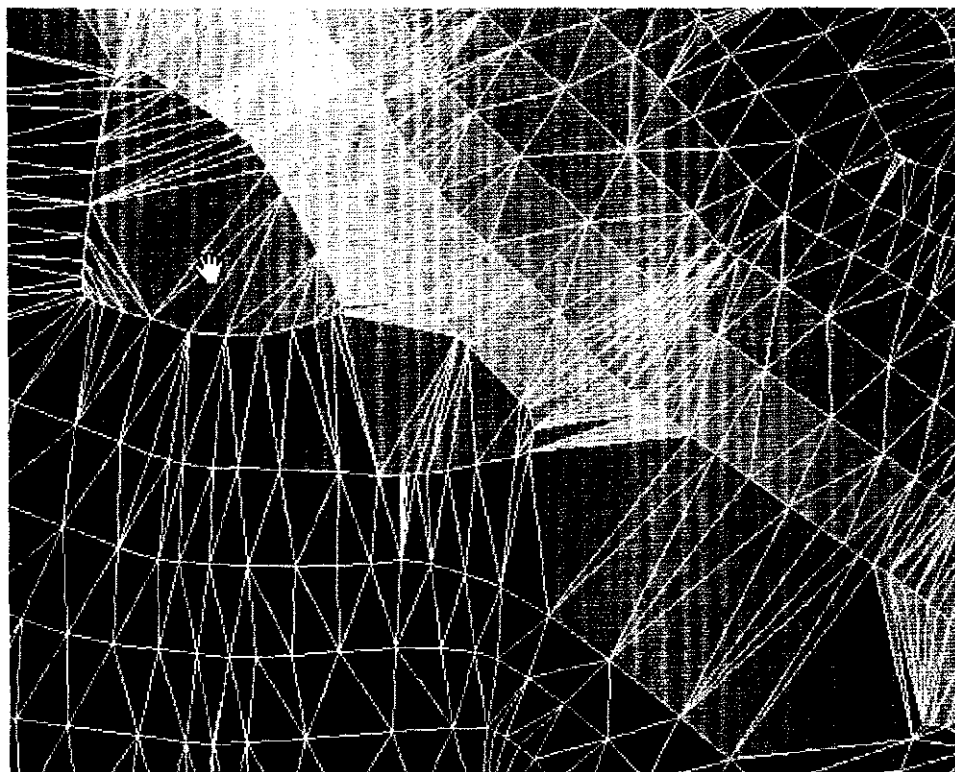


Hình P1.12: Vùng bằng phẳng

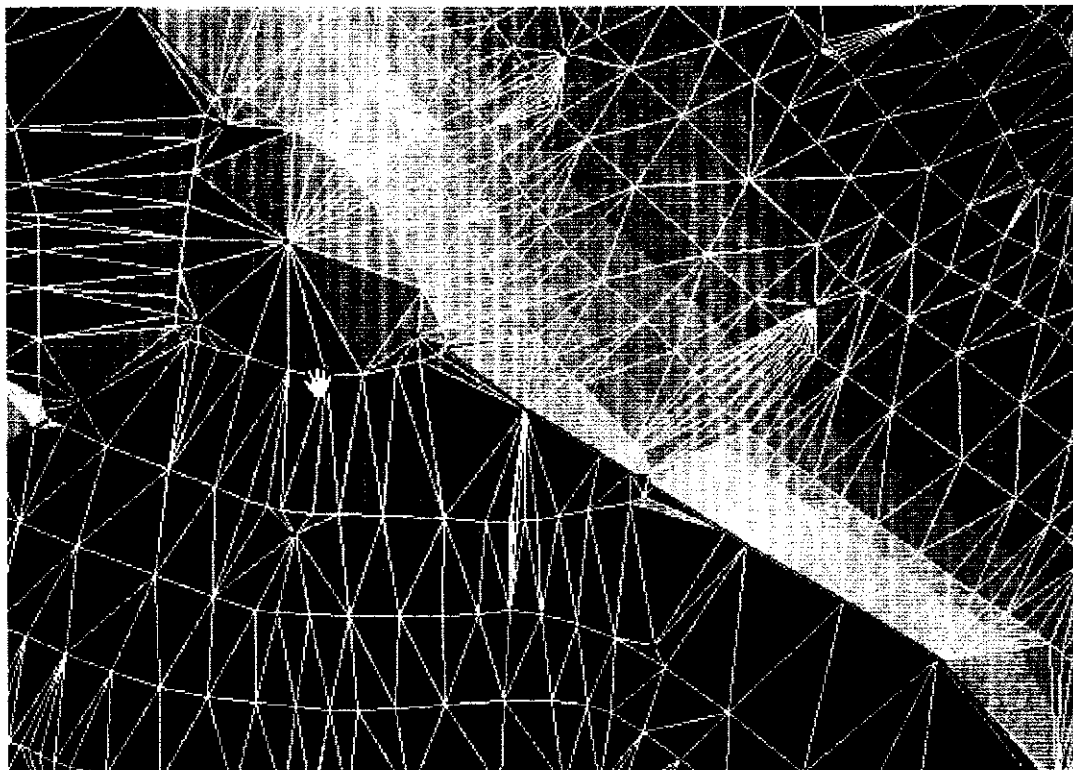


Hình P1.13: Vùng có chênh cao lớn

4. Vấn đề tam giác nằm ngang



Hình P1.14: Vấn đề tam giác nằm ngang



Hình P2.15: Biện pháp khắc phục vấn đề tam giác nằm ngang

Phụ lục 2: Tư liệu ảnh hàng không và bản đồ tỷ lệ 1: 50 000 phủ trùm Việt Nam

