

**BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG
VIỆN NGHIÊN CỨU ĐỊA CHÍNH**

BÁO CÁO TỔNG KẾT KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

ĐỀ TÀI:

**NGHIÊN CỨU, THỬ NGHIỆM THÀNH LẬP
MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO (DEM) ĐỘ CHÍNH XÁC CAO
BẰNG CÔNG NGHỆ GPS-RTK KẾT HỢP ĐO
THỦY CHUẨN PHỤC VỤ GIS PHÒNG CHỐNG LŨ LỤT
ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG**

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

2005-04-264/KQ

HÀ NỘI - 2005

5343-TK

21/5/05.

**BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG
VIỆN NGHIÊN CỨU ĐỊA CHÍNH**

BÁO CÁO KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

Đề tài:

**“NGHIÊN CỨU, THỬ NGHIỆM THÀNH LẬP
MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO (DEM) ĐỘ CHÍNH XÁC CAO
BẰNG CÔNG NGHỆ GPS-RTK KẾT HỢP ĐO
THỦY CHUẨN PHỤC VỤ GIS PHÒNG CHỐNG LŨ LỤT
ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG”**

Số đăng ký:

Hà Nội, ngày 22 tháng 3 năm 2005
CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI



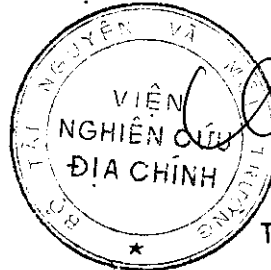
Tang Quốc Cương

Hà Nội, ngày tháng năm 2005
**HỘI ĐỒNG ĐÁNH GIÁ CHÍNH THỨC
CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG**



TS. Lê Kim Sơn

Hà Nội, ngày 25 tháng 3 năm 2005
**CƠ QUAN CHỦ TRÌ ĐỀ TÀI
VIỆN TRƯỞNG
VIỆN NGHIÊN CỨU ĐỊA CHÍNH**



ts. Lê Minh

Hà Nội, ngày tháng năm 2005
**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**



TS Lê Kim Sơn

Hà Nội, 2005

Những người thực hiện chính:

- | | |
|-------------------------------|----------------------------|
| 1. Kỹ sư Trần Đình Ấu: | Viện Nghiên cứu Địa chính. |
| 2. Kỹ sư Nguyễn Ngọc Lâm: | Viện Nghiên cứu Địa chính. |
| 3. Kỹ sư Đinh Hồng Phong: | Viện Nghiên cứu Địa chính. |
| 4. Kỹ sư Nguyễn Tuấn Anh: | Viện Nghiên cứu Địa chính. |
| 5. Kỹ sư Lưu Hải Âu: | Viện Nghiên cứu Địa chính. |
| 6. Kỹ sư Đinh Hải Nam: | Viện Nghiên cứu Địa chính. |
| 7. Kỹ sư Đào Minh Đức: | Viện Nghiên cứu Địa chính. |
| 8. Thạc sỹ Cao Xuân Triều: | Viện Nghiên cứu Địa chính. |
| 9. Kỹ sư Nguyễn Thị Minh Cẩm: | Viện Nghiên cứu Địa chính. |

BÀI TÓM TẮT

Đề tài: “Nghiên cứu, thử nghiệm thành lập mô hình số độ cao (DEM) độ chính xác cao bằng công nghệ GPS-RTK kết hợp đo thủy chuẩn phục vụ GIS phòng chống lũ lụt đồng bằng sông Cửu long” có mục đích nghiên cứu, phân tích và kiểm chứng bằng thử nghiệm một số vấn đề kỹ thuật trong công tác thành lập DEM có độ chính xác cao vùng đồng bằng sông Cửu long. Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu, phân tích và thử nghiệm này đề xuất phương án tối ưu trong điều kiện Việt Nam để thành lập DEM có độ chính xác cao (từ 0,1 đến 0,2 m), trực tiếp đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật của DEM trong dự án: “Xây dựng cơ sở dữ liệu hệ thống thông tin địa hình-thủy văn cơ bản phục vụ phòng chống lũ lụt và phát triển kinh tế xã hội vùng đồng bằng sông Cửu long”. Để thực hiện mục tiêu này đề tài đã: miêu tả và phân tích tổng quan các đặc điểm tự nhiên, địa hình cũng như đặc điểm lũ lụt vùng đồng bằng sông Cửu long; phân tích nhu cầu cần có DEM độ chính xác cao cho các phép phân tích, lập mô hình toán tính lũ, cụ thể là trong việc mô phỏng chế độ thủy văn-thủy lực sông Mekong; phân tích các vấn đề kỹ thuật trong công tác xây dựng DEM có độ chính xác cao vùng địa hình đồng bằng. Phần kỹ thuật chính của đề tài tập trung miêu tả, phân tích và đánh giá phương pháp xây dựng DEM bằng công nghệ GPS-RTK kết hợp đo thủy chuẩn. Bằng thử nghiệm đề tài đã kiểm chứng độ chính xác, tính khả thi và một số vấn đề kỹ thuật trong công tác thành lập DEM độ chính xác cao vùng đồng bằng sông Cửu long. Dựa trên các phân tích, đánh giá phương pháp và kết quả thành lập DEM đề tài đã đề xuất một phương pháp thành lập DEM phù hợp với điều kiện Việt Nam, có độ chính xác cao, có khả năng phục vụ dự báo quy hoạch phòng chống lũ lụt vùng đồng bằng sông Cửu long. Ngoài ra đề tài đã chỉ ra một số hạn chế nhất định của phương pháp và những điểm cần lưu ý khi thực hiện phương pháp.

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1: SỰ CẦN THIẾT CỦA DEM ĐỘ CHÍNH XÁC CAO PHỤC VỤ GIS PHÒNG CHỐNG LŨ LỤT ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG.....	4
1.1 TỔNG QUAN VỀ ĐẶC ĐIỂM TỰ NHIÊN, ĐỊA HÌNH VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG	4
1.2 TỔNG QUAN VỀ ĐẶC ĐIỂM LŨ LỤT VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG	6
1.2.1 Lưu vực sông Mekong.....	7
1.2.2 Đặc điểm lũ sông Mekong trên địa phận Việt Nam.....	8
1.3 YÊU CẦU VỀ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA DEM CHO CÁC PHÉP PHÂN TÍCH KHÔNG GIAN TRONG CÁC GIS PHỤC VỤ DỰ BÁO, QUY HOẠCH PHÒNG CHỐNG LŨ LỤT	12
CHƯƠNG 2: CÁC VẤN ĐỀ KỸ THUẬT TRONG CÔNG TÁC XÂY DỰNG DEM ĐỘ CHÍNH XÁC CAO VÙNG ĐỊA HÌNH ĐỒNG BẰNG	16
2.1 HỆ ĐỘ CAO	16
2.2 CÁC YẾU TỐ CHÍNH ẢNH HƯỞNG ĐẾN ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA DEM	17
2.3 ĐẶC TÍNH CỦA BỀ MẶT ĐỊA HÌNH VÙNG ĐBSCL VÀ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA DEM.	23
2.4 CẤU TRÚC CỦA DEM VÀ MẬT ĐỘ CÁC ĐIỂM DEM	24
2.5 GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ THÀNH LẬP DEM ĐỘ CHÍNH XÁC CAO VÙNG ĐBSCL.	26
CHƯƠNG 3: PHƯƠNG PHÁP KẾT HỢP CÔNG NGHỆ GPS-RTK VÀ ĐO THỦY CHUẨN HÌNH HỌC ĐỂ THÀNH LẬP DEM.....	28
3.1 ĐO ĐỘ CAO BẰNG CÔNG NGHỆ GPS	28
3.1.1 Tổng quan.....	28
3.1.2 Độ cao trắc địa (H), độ cao thủy chuẩn (h) và các bề mặt quy chiếu tương ứng	29
3.1.3 Các phương pháp xác định độ cao thủy chuẩn chính xác từ kết quả đo GPS.....	31
3.1.4 Phương pháp kết hợp trọng lực và hình học	35
3.2 CÔNG NGHỆ GPS - RTK VÀ CÔNG TÁC ĐO ĐIỂM ĐỘ CAO ĐỂ THÀNH LẬP DEM CÓ ĐỘ CHÍNH XÁC CAO.	36
3.2.1 Hệ thống thiết bị đo GPS - RTK (đo động thời gian thực).....	37
3.2.2 Kỹ thuật đo GPS - RTK ngoài thực địa.	38
3.3 CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG TỚI ĐỘ CHÍNH XÁC ĐO ĐỘ CAO BẰNG GPS - RTK.....	39
3.3.1 Sai số xác định độ cao trắc địa H bằng GPS	39
3.3.2 Sai số độ cao thủy chuẩn tại khu đo.....	41
3.3.3 Sai số mô hình geoid trọng lực	42
3.3.4 Sai số của phương pháp đo GPS - RTK và của người đo	42
3.4 THẢO LUẬN.....	43
CHƯƠNG 4: THỬ NGHIỆM XÂY DỰNG DEM ĐỘ CHÍNH XÁC CAO BẰNG PHƯƠNG PHÁP KẾT HỢP	46

4.1	KHU VỰC THỬ NGHIỆM	46
4.2	CÔNG TÁC ĐO NỐI TOẠ ĐỘ, ĐỘ CAO NHÀ NƯỚC, THÀNH LẬP LƯỚI KHỐNG CHẾ TOẠ ĐỘ VÀ ĐỘ CAO CHO KHU ĐO	47
4.3	THỰC HIỆN THIẾT LẬP CÁC THAM SỐ CHO QUÁ TRÌNH ĐO GPS ĐỘNG	50
4.4	ĐO GPS-RTK	53
4.5	KẾT QUẢ ĐO ĐẠC VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO	54
4.6	KẾT QUẢ SO SÁNH ĐỘ CAO THUỶ CHUẨN XÁC ĐỊNH BẰNG HAI PHƯƠNG PHÁP ĐO GPS ĐỘNG VÀ ĐO THUỶ CHUẨN HÌNH HỌC	57
4.7	KẾT QUẢ SO SÁNH ĐỘ CAO ĐO BẰNG THUỶ CHUẨN HÌNH HỌC VỚI ĐỘ CAO NỘI SUY TỪ MÔ HÌNH TIN	59
4.8	PHÂN TÍCH, ĐÁNH GIÁ PHƯƠNG PHÁP VÀ KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM	61
4.9	ĐỀ XUẤT PHƯƠNG PHÁP THÀNH LẬP DEM PHỤC VỤ DỰ BÁO, QUY HOẠCH PHÒNG CHỐNG LŨ LỤT ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG	67
	KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	69
	TÀI LIỆU THAM KHẢO	71
	PHỤ LỤC 1: LŨ LỤT NĂM 2000	74
	PHỤ LỤC 2: KẾT QUẢ THÀNH LẬP DEM	84
	PHỤ LỤC 3: HƯỚNG DẪN THIẾT LẬP ĐỘ CAO THUỶ CHUẨN VỚI ĐỘ CHÍNH XÁC ± 30 MM TỪ KẾT QUẢ ĐO GPS (ÁP DỤNG TẠI MỸ) – NGUỒN [33]	86
	PHỤ LỤC 4: CHỈ DẪN ĐO GPS-RTK CHO LOẠI MÁY THU TRIMBLE DÒNG 4000 – NGUỒN [33]	87
	PHỤ LỤC 5: DỰ THẢO QUY TRÌNH CÔNG NGHỆ VÀ MỘT SỐ QUY ĐỊNH KỸ THUẬT, TIÊU CHUẨN THÀNH LẬP DEM ĐỘ CHÍNH XÁC CAO VÙNG ĐỒNG BẰNG PHỤC VỤ PHÒNG CHỐNG LŨ LỤT.	89
	PHỤ LỤC 6: ĐO KIỂM TRA BẰNG THUỶ CHUẨN HÌNH HỌC	93

BẢNG CHÚ GIẢI CÁC CHỮ VIẾT TẮT

2-D	Two Dimensions: Hai chiều
3-D	Three Dimensions: Ba chiều
A/S	Anti-Spoofing: Một kỹ thuật mã hoá của Bộ Quốc Phòng Mỹ nhằm ngăn người dùng có được tín hiệu mã P
CSDL	Cơ sở dữ liệu
ĐBSCL	Đồng bằng sông Cửu long
DTM	Đồng Tháp Mười
DEM	Digital Elevation Model: Mô hình số độ cao
FEMA	Cơ quan Quản lý trường hợp Khẩn cấp, Chính phủ Mỹ
GIS	Geographic Information System: Hệ thống thông tin địa lý
GPS	Global Positioning System: Hệ thống định vị toàn cầu
GPS-RTK	GPS động thời gian thực
GRID	Cấu trúc lưới đều của mô hình số độ cao
IFSAR	InterFerometric Synthetic Aperture Radar: Radar độ mở tổng hợp giao thoa
LIDAR	LIght Detection And Ranging: Công nghệ đo laser
OTF	Giải số đa trị nguyên N trong khi chuyển động
PDOP	Chỉ số suy giảm độ chính xác vị trí
RMSE	Root Mean Square Error: Sai số trung phương
TGLX	Tứ Giác Long Xuyên
TIN	Triangulated Irregular Network: Mạng tam giác không đều
TSH	Tây sông Hậu
VDOP	Chỉ số suy giảm độ chính xác độ cao
WGS84	Hệ thống trắc địa toàn cầu 1984

MỞ ĐẦU

Phạm vi nghiên cứu và mục đích của đề tài

Lụt và bão là hai loại thiên tai thường hay xảy ra nhất ở nước ta, có phạm vi ảnh hưởng rộng nhất, có sức phá hoại mãnh liệt nhất và do đó, gây tổn thất nặng nề nhất đến tính mạng, tài sản, đời sống và sản xuất của người dân. Vùng ĐBSCL là vùng hạ lưu của sông Mekong, với diện tích 39.000 km², chỉ chiếm khoảng 5% toàn bộ lưu vực sông Mekong, song lại là nơi hội tụ của gần như toàn bộ nguồn nước khổng lồ của sông Mekong. Do vậy, lũ lụt thường xảy ra với tần suất và diện tích ngập lụt lớn, tác hại tới sản xuất nông nghiệp nói riêng cũng như toàn bộ nền kinh tế và đời sống xã hội nói chung của ĐBSCL.

Địa hình của vùng ĐBSCL rất bằng phẳng, do vậy dưới tác động của mùa mưa hàng năm và chỉ cần mực nước thay đổi cỡ đềximét là đã có thể gây nên lũ ở cả một vùng đồng bằng rộng lớn. Từ trước tới nay vẫn chưa có nhiều biện pháp để khắc phục tình trạng này ngoại trừ biện pháp sống chung với lũ. Trong bản: "Chiến lược và kế hoạch hành động Quốc gia về phòng chống và giảm nhẹ thiên tai ở Việt Nam giai đoạn 2001 đến 2020" có nêu rõ chiến lược giảm nhẹ thiên tai cho ĐBSCL là: "sống chung với lũ và kiểm soát lũ".

Tuy bằng phẳng nhưng địa hình của vùng ĐBSCL lại bị chia cắt mạnh bởi một mạng lưới kênh rạch dày đặc. Hơn nữa trong hơn hai thập kỷ vừa qua con người đã tác động mạnh mẽ lên vùng ĐBSCL bằng các việc như đào nhiều kênh mới, nạo vét nhiều kênh cũ, xây mới và tôn cao hệ thống giao thông đường bộ, càng làm cho đặc điểm thủy văn - thủy lực vùng ĐBSCL vốn đã rất phức tạp nay lại có nhiều thay đổi. Theo [32] để mô phỏng chế độ thủy văn - thủy lực sông Mekong và vùng ngập lụt, đồng thời dự báo những diễn biến có thể xảy ra khi xây dựng các công trình kiểm soát lũ nói riêng và các công trình cơ sở hạ tầng nói chung, thì chỉ có thể được thực hiện bằng mô hình tính toán thủy lực cho toàn bộ hệ thống. Như vậy có thể nói các mô hình tính toán thủy văn - thủy lực đóng một vai trò đặc biệt quan trọng trong việc dự báo, quy hoạch phòng chống lũ lụt.

Để có thể tính toán, mô phỏng theo các mô hình thủy văn - thủy lực nói trên thì mô hình số độ cao DEM là không thể thiếu. Theo [29; 32] thì trong hơn 10 năm trở lại đây một số mô hình toán tính lũ ĐBSCL, tổ hợp các mô hình thủy lực và hệ thống thông tin địa lý (GIS) đã được áp dụng. Tuy nhiên, do các mô hình sử dụng

MỞ ĐẦU

những dữ liệu không thống nhất, đặc biệt là dữ liệu địa hình và thủy văn nên khó so sánh, đánh giá kết quả của từng mô hình. Có một thực tế là các mô hình hiện nay mới chỉ mới đủ sức luận chứng những vấn đề mang tính vĩ mô mà chưa đủ sức mô tả ở mức vi mô những hiện tượng của dòng chảy hai chiều phức tạp, nhằm thoả mãn được yêu cầu cao của bài toán quy hoạch lũ đề ra. Như vậy một mặt là yêu cầu vừa tiếp tục nghiên cứu hoàn chỉnh các mô hình tính toán hiện có, vừa xây dựng thêm và áp dụng các mô hình mới, đặc biệt là mô hình 2 chiều. Mặt khác là yêu cầu phải có các tài liệu đo đạc chính xác hơn, cụ thể là cần có DEM với độ chính xác cao hơn.

Hơn nữa, trong dự án: “Xây dựng CSDL hệ thống thông tin địa hình - thủy văn cơ bản phục vụ phòng chống lũ lụt và phát triển kinh tế xã hội vùng ĐBSCL” có đặt ra yêu cầu thành lập DEM với độ chính xác 0,10 - 0,20 m tại các vùng có nguy cơ ngập lụt cao (Xem hình P1.5 của Phụ lục 1) - với diện tích 18500 km². Yêu cầu này được đưa ra sau khi có sự trao đổi ý kiến với các Bộ, Ngành liên quan.

Vì những lý do nêu trên đề tài có mục tiêu: “Nghiên cứu, phân tích và kiểm chứng bằng thử nghiệm một số vấn đề kỹ thuật trong công tác thành lập DEM có độ chính xác cao vùng ĐBSCL. Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu, phân tích và thử nghiệm này đề xuất phương pháp tối ưu trong điều kiện Việt Nam để thành lập DEM có độ chính xác cao (từ 0,1 đến 0,2 m), trực tiếp đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật của DEM trong dự án “Xây dựng CSDL hệ thống thông tin địa hình - thủy văn cơ bản phục vụ phòng chống lũ lụt và phát triển kinh tế xã hội vùng ĐBSCL”.

Nội dung và phương pháp nghiên cứu

Các nội dung nghiên cứu chính bao gồm: tìm hiểu tổng quan về đặc điểm tự nhiên, địa hình và đặc điểm lũ lụt vùng ĐBSCL; phân tích yêu cầu về độ chính xác của DEM cho các phép phân tích phục vụ dự báo, quy hoạch phòng chống lũ lụt; phân tích một số vấn đề kỹ thuật trong công tác xây dựng DEM có độ chính xác cao vùng địa hình đồng bằng; miêu tả, phân tích và đánh giá phương pháp xây dựng DEM bằng công nghệ GPS-RTK kết hợp với đo thủy chuẩn; thử nghiệm xây dựng DEM có độ chính xác cao bằng phương pháp kết hợp; đánh giá phương pháp và kết quả thử nghiệm; đề xuất phương pháp thành lập DEM tối ưu cho vùng ĐBSCL.

Các phương pháp nghiên cứu được áp dụng trong đề tài bao gồm: kế thừa các thành quả nghiên cứu, xây dựng DEM độ chính xác cao ở trong và ngoài nước; so sánh, đánh giá, phân tích các phương pháp thành lập DEM độ chính xác cao vùng địa hình đồng bằng; phân tích và hệ thống hóa các cơ sở lý thuyết; phân tích, đánh

MỞ ĐẦU

giá tính khả thi và độ chính xác đo cao bằng công nghệ GPS-RTK; sử dụng thiết bị công nghệ hiện có để thực nghiệm xây dựng DEM nhằm kiểm chứng một số vấn đề kỹ thuật trong công tác thành lập DEM có độ chính xác cao vùng ĐBSCL.

Bố cục của đề tài

Chương 1: Sự cần thiết của DEM độ chính xác cao phục vụ GIS phòng chống lũ lụt ĐBSCL miêu tả đặc điểm tự nhiên, địa hình và đặc điểm lũ lụt vùng ĐBSCL. Phân tích yêu cầu về độ chính xác của DEM cho các phép phân tích không gian trong các GIS phục vụ dự báo, quy hoạch phòng chống lũ lụt.

Chương 2: Các vấn đề kỹ thuật trong công tác xây dựng DEM độ chính xác cao vùng địa hình đồng bằng phân tích các vấn đề kỹ thuật trong công tác xây dựng DEM vùng địa hình đồng bằng. Liệt kê và phân tích các yếu tố chính ảnh hưởng đến độ chính xác của DEM. Phân tích đặc tính của bề mặt địa hình vùng ĐBSCL và độ chính xác của DEM; cấu trúc của DEM và mật độ các điểm DEM. So sánh, đánh giá các giải pháp công nghệ thành lập DEM độ chính xác cao vùng ĐBSCL.

Chương 3: Phương pháp kết hợp công nghệ GPS-RTK và đo thủy chuẩn hình học để thành lập DEM. Miêu tả, phân tích phép đo độ cao bằng công nghệ GPS. Trình bày và so sánh các phương pháp xác định độ cao thủy chuẩn chính xác từ kết quả đo GPS. Trình bày cơ sở khoa học và các nội dung chính của phương pháp kết hợp. Trình bày công nghệ GPS-RTK và công tác đo điểm độ cao để thành lập DEM có độ chính xác cao. Trình bày và phân tích các yếu tố ảnh hưởng tới độ chính xác đo độ cao bằng GPS.

Chương 4: Thử nghiệm xây dựng DEM độ chính xác cao bằng phương pháp kết hợp. Miêu tả phương pháp, quy trình đo; trình bày kết quả, kiểm tra, phân tích, đánh giá kết quả. Đánh giá phương pháp thử nghiệm và đề xuất phương pháp tối ưu để thành lập DEM vùng ĐBSCL.

Kết luận và kiến nghị:

Phần này tổng kết các kết quả nghiên cứu, phân tích, đánh giá, kết luận ở các chương trước về độ chính xác, tính khả thi và độ tin cậy của phương pháp kết hợp đồng thời đưa ra một số kiến nghị, đề xuất.

Các phụ lục

CHƯƠNG 1: SỰ CẦN THIẾT CỦA DEM ĐỘ CHÍNH XÁC CAO PHỤC VỤ GIS PHÒNG CHỐNG LŨ LỤT ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

1.1 Tổng quan về đặc điểm tự nhiên, địa hình vùng đồng bằng sông Cửu Long

Đồng bằng sông Cửu long (ĐBSCL) nằm ở phần tận cùng phía nam của Việt Nam, trong khoảng từ vĩ tuyến $8^{\circ}30'$ đến $11^{\circ}00'$ vĩ bắc và kinh tuyến từ $104^{\circ}30'$ đến $107^{\circ}30'$ kinh đông. Đây là vùng hạ lưu của sông Mekong với diện tích gần 4 triệu ha (39.000 km^2) bao gồm địa giới hành chính của 13 tỉnh, thành phố là: Tiền Giang, Long An, Bến Tre, Vĩnh Long, Trà Vinh, Sóc Trăng, Đồng Tháp, Hậu Giang, An Giang, Kiên Giang, Bạc Liêu, Cà Mau và thành phố Cần Thơ (xem hình P1.1 của phụ lục1). ĐBSCL của Việt Nam là một vùng đất đai bằng phẳng, có hệ thống kênh đào phát triển nối sông Tiền, sông Hậu với các hệ thống kênh rạch khác của đồng bằng rồi thoát ra biển, hình thành một mạng lưới cung cấp nước trong mùa khô và tiêu nước trong mùa mưa.

Đặc điểm nổi bật nhất của ĐBSCL là có các vùng trũng (địa hình lòng chảo) và bị chia cắt mạnh. Độ cao phổ biến nằm trong khoảng từ 0,5 đến 3,0 m , thấp dần từ thượng lưu ra biển và từ sông chính vào nội đồng. Trong phạm vi đồng bằng hình thành các vùng trũng rộng lớn bị ngập sâu trong mùa mưa lũ, kém thoát nước và trở thành vùng chịu ảnh hưởng nặng của chua, phèn, trong đó điển hình là các vùng trũng Đồng Tháp Mười (ĐTM), Tứ giác Long Xuyên (TGLX) và khu vực giữa sông Tiền và sông Hậu.

Đồng Tháp Mười là một vùng đồng bằng trũng có diện tích trên 7.000 km^2 , kéo dài từ bờ sông Tiền đến sông Vàm Cỏ Đông. ĐTM có dạng đồng lụt kín, bao bọc bởi dạng phù sa cổ ở phía Bắc với cao độ từ 2 - 4 m; bởi gờ sông Tiền phía Tây và Nam với cao độ thấp dần từ thượng xuống hạ du (từ 4,0 m xuống 1,0 m); bởi vòng cung đôi cát cổ ở Châu Thành, Cai Lậy với độ cao 1,0 đến 1,5 m. Trung tâm ĐTM là đồng máng trũng thấp dần theo hướng Tây Bắc - Đông Nam với độ cao 0,7 – 0,3 m và thấp nhất là vùng Bo Bo với độ cao khoảng 0,3 – 0,4 m.

Vùng TGLX có diện tích khoảng 4.900 km^2 . Trừ một số vùng đồi núi rải rác ở phía Tây Bắc (như Bảy Núi) và dọc theo bờ biển từ Hà Tiên đến Hòn Đất, đại bộ phận vùng TGLX có độ cao từ 0,25 - 2,00 m. Vùng ven biên giới Việt Nam - Campuchia, vùng ven sông Hậu là dải đất tương đối cao, trung bình khoảng 1,5 - 2,0 m. Vùng ven bờ biển Tây là vùng đất thấp có cao độ trung bình khoảng 0,25 - 0,5 m.

Do địa hình thấp lại nằm ở đầu nguồn nên hầu hết diện tích vùng TGLX bị ngập lụt với độ sâu từ 0,5 - 3,0 m, thời gian kéo dài từ 1 - 5 tháng.

Vùng giữa sông Tiền và sông Hậu có diện tích tự nhiên khoảng 3.570 km², dạng địa hình lòng chảo, cao ở bờ sông Tiền, bờ sông Hậu và thấp dần vào giữa. Sông Tiền được nối với sông Hậu bằng kênh Tân Châu - Châu Đốc, sông Vàm Nao, sông Chợ Mới và một số kênh rạch nhỏ khác.

Ngoài ra còn có vùng Tây sông Hậu (TSH), với diện tích tự nhiên là 3.650 km² là một vùng tương đối bằng phẳng và có hướng dốc từ sông Hậu đến sông Cái lớn - Cái Bé. Vùng ven sông Hậu có cao độ khoảng 1,0 - 1,5 m, vùng giữa có cao độ khoảng 0,6 - 0,8 m và vùng ven sông Cái Bé - Cái Lớn có độ cao khoảng 0,2 - 0,3 m.

ĐBSCL có khí hậu nhiệt đới gió mùa điển hình, tức chế độ khí hậu được quy định bởi một lượng bức xạ đối dào và một cơ chế gió mùa thuận nhất. Đặc điểm nổi bật nhất cần nhấn mạnh là khí hậu vùng ĐBSCL có chế độ bức xạ đối dào, rất nhiều nắng, có nền nhiệt cao, đồng đều trong toàn vùng và hầu như không thay đổi trong năm.

Trong chế độ mưa, độ ẩm có sự phân hóa sâu sắc theo mùa mưa và khô phù hợp với mùa gió. Lượng mưa năm thay đổi trên toàn vùng ĐBSCL trong phạm vi rộng từ 1100 đến 2400 mm/năm và có xu thế giảm dần từ bờ biển phía Tây Nam vào sâu trong đất liền. Ở vùng ven biển Tây có lượng mưa cao nhất và đạt tới 200 - 2400 mm/năm trong khi ở Tân Châu và Cai Lậy - Tiền Giang lượng mưa năm chỉ đạt dưới 1200 mm/năm.

Lượng mưa phân bố rất không đồng đều trong năm và tập trung chủ yếu trong mùa mưa. Mùa mưa ở ĐBSCL thường kéo dài 6 - 7 tháng, từ tháng 5 đến tháng 10 hay tháng 11. Riêng vùng Cà Mau mùa mưa có thể kéo dài tới 8 tháng (từ tháng 4 đến tháng 11) và chiếm tới 87 - 97% lượng mưa cả năm. Trong mùa mưa lượng mưa phân bố tương đối đều. Tuy nhiên trên đại bộ phận lãnh thổ ĐBSCL tháng 10 hoặc tháng 9 có lượng mưa lớn nhất, đạt khoảng 240 - 300 mm/tháng. Riêng khu vực ven biển Tây tháng 8 hoặc tháng 10 có lượng mưa lớn nhất, đạt 300 - 400 mm/tháng. Hai tháng 1 và 2 có lượng mưa thấp nhất, chỉ đạt dưới 10 mm/tháng. Lượng mưa ngày cực đại trên đại bộ phận lãnh thổ ĐBSCL ít khi vượt quá 200 mm/ngày, tuy nhiên có thể đạt tới 260 - 315 mm/ngày ở một số nơi như Rạch Giá, Sóc Trăng và Mỹ Tho. Như vậy ở ĐBSCL mưa cục bộ ít có khả năng gây úng ngập trên diện rộng nếu địa hình thoát nước tốt.

Đặc điểm nổi bật nhất và có ảnh hưởng trực tiếp đến chế độ lũ của ĐBSCL là sự chi phối của hệ thống sông Mekong và Biển Hồ. Trừ sông Vàm Cỏ Đông và Vàm Cỏ Tây có lưu vực nhỏ, nằm gọn trong lãnh thổ Việt Nam ở phía Bắc của ĐBSCL, còn toàn bộ hệ thống mạng lưới thủy văn của đồng bằng này chịu sự chi phối của hệ thống sông Mekong. Ngoài ra một đặc điểm nổi bật nữa là trong quá trình khai thác lãnh thổ, con người đã tạo nên hệ thống kênh mương dày đặc làm cho mạng lưới thủy văn ĐBSCL có những nét đặc trưng riêng biệt của một vùng châu thổ hạ lưu giáp biển. Do có địa hình bằng phẳng nên độ dốc mặt nước trên các sông rất nhỏ (2 -3 cm/km). Khi lượng dòng chảy lớn lòng sông không đủ tải sẽ gây hiện tượng tràn bờ làm ngập các vùng trũng xung quanh.

Nhìn một cách tổng quan về hệ thống sông của ĐBSCL có thể thấy sông Mekong chảy vào Việt Nam theo hai nhánh chính là sông Tiền và sông Hậu. Trên địa phận nước ta cả hai sông tiếp tục phân nhánh. Sông Tiền chảy qua Tân Châu, Chợ Mới, Sa Đéc, Mỹ Thuận. Sau Mỹ Thuận, sông Tiền bị chia làm 4 nhánh và đổ ra biển bằng 6 cửa là: cửa Đại, cửa Tiểu, cửa Ba Lai, cửa Hàm Luông, cửa Cổ Chiên, cửa Cung Hầu. Sông Hậu chảy qua Châu Đốc, Long Xuyên, Cần Thơ, Đại Ngãi và đổ ra biển qua 3 cửa Định An, Bassac và Trần Đề. Ngoài ra ở phía nam vùng ĐBSCL còn có các sông Cái Lớn, Ông Đốc và Cửa Lớn là những con sông nước mặn với 2 phía đều ăn thông ra biển. Ven sông Bassac (sông Hậu) là giải đất thấp trũng được mở rộng dần về phía hạ lưu qua Takeo đến Tứ Giác Long Xuyên (TGLX) và Tây sông Hậu (TSH) của Việt nam.

Từ khoảng hai thập kỷ trở lại đây, hệ thống đường giao thông trên bộ với cao độ mặt đường lớn hơn mức nước lũ đã được xây dựng và từng bước hoàn chỉnh. Hệ thống giao thông đường bộ được xây mới và tôn cao hơn nhiều nhưng khẩu độ cầu cống lại thường chưa đủ lớn đã làm tắc nghẽn các đường thoát lũ, làm dâng cao mực nước lũ một số vùng, trong đó đáng chú ý là các vùng ĐTM và TGLX [32]. Điều này càng làm gia tăng mức độ chia cắt của vùng ĐBSCL và trực tiếp làm thay đổi chế độ dòng chảy mùa lũ của vùng này.

1.2 Tổng quan về đặc điểm lũ lụt vùng đồng bằng sông Cửu Long

ĐBSCL có chung lưu vực với 5 nước láng giềng. Do có địa hình rất bằng phẳng nên dưới tác động của mùa mưa hàng năm chỉ cần mực nước thay đổi vài cm là có thể gây ra lũ ở cả một vùng đồng bằng rộng lớn. Lũ lụt ở ĐBSCL là một đặc thù quan trọng về môi trường của vùng này và có đặc tính hai mặt: tích cực và tiêu

cực. Mặt tích cực là làm tăng độ phì nhiêu của đất, bồi đắp mở rộng mũi Cà Mau ra phía biển, bổ sung nguồn thủy sản. Mặt tiêu cực là nó gây thiệt hại về người và của, làm cho cuộc sống của người dân không ổn định, trở ngại đối với giao thông vận tải nên gây khó khăn cho các hoạt động công nghiệp và dịch vụ.

Từ trước đến nay, vẫn chưa có biện pháp nào khác để khắc phục tình trạng này ngoại trừ biện pháp sống chung với lũ. Trong chiến lược và kế hoạch hành động quốc gia về quản lý và giảm nhẹ thiên tai ở Việt Nam giai đoạn 2001-2020, Chính phủ đã xác định chiến lược giảm nhẹ thiên tai cho ĐBSCL là: "Sống chung với lũ và kiểm soát lũ".

1.2.1 Lưu vực sông Mekong

Sông Mekong là con sông lớn nhất vùng Đông Nam Á, bắt nguồn từ cao nguyên Tây Tạng sau đó chảy qua lãnh thổ các nước Trung Quốc, Myanmar, Thái Lan, Lào, Campuchia và cuối cùng là Việt Nam. Sông có chiều dài là 4.200 km và diện tích lưu vực là 795.000 km² với phần Việt Nam là 39.000 km² (tương đương 4,9% của tổng lưu vực).

Dòng chảy sông Mekong được cung cấp bởi nguồn nước chính là mưa. Mưa lớn trên lưu vực là nguyên nhân chính gây ra lũ trên sông Mekong, đặc biệt là vùng tam giác châu sông Mekong. Tổng lượng nước hàng năm sông Mekong tại Kratie (Campuchia) khoảng 440 tỷ m³, trong đó các tháng mùa lũ (6-11) chiếm 90% và các tháng mùa cạn (12-5) chỉ chiếm 10%.

Phần thượng lưu sông Mekong bắt đầu là vùng núi cao hiểm trở, lòng sông hẹp và có nhiều thác ghềnh. Sau Kratie sông Mekong bắt đầu phân nhánh và hai bờ sông xuất hiện các dải đất trũng bị ngập lụt hàng năm; nhưng phải đến Kompong Cham, sông Mekong mới thực sự đi vào vùng đất thấp của châu thổ. Diện tích của tam giác châu sông Mekong là 55.000 km², trong đó thuộc Campuchia là 16.000 km² và Việt Nam là 39.000km².

Chảy đến Phnom Penh, sông Mekong nhận thêm nước từ Biển Hồ qua Tonglesap. Biển Hồ với diện tích lưu vực 85.000 km², là một hồ điều tiết tự nhiên có dung tích hồ ứng với mức nước lũ lớn nhất là 80 tỷ m³. Biển Hồ nhận nước sông Mekong trong thời kỳ lũ lên và chảy trở lại sông Mekong trong thời kỳ lũ rút.

Vào tháng 6, khi lũ sông Mekong bắt đầu lên, nước lũ sông chính theo Tonglesap chảy vào Biển Hồ. Thời gian chảy ngược kéo dài cho đến khi lũ trên sông chính vượt quá đỉnh cao nhất (khoảng cuối tháng 9 đầu tháng 10). Sau đó là thời kỳ

nước từ Biển Hồ chảy ra sông Cửu long và kéo dài đến mùa cạn năm sau (tháng 4,5). Nhờ có Biển Hồ mà đỉnh lũ sông Mekong giảm thiểu và lưu lượng mùa cạn tăng lên đáng kể. Sau Phnom Penh, sông Mekong có chế độ thủy văn khác hẳn phần thượng lưu do tác động của Biển Hồ.

Cũng tại Phnom Penh, sông Mekong chia làm 2 nhánh chảy về hạ lưu là sông Mekong (sông Tiền) và sông Bassac (sông Hậu). Nước lũ sông Mekong chảy vào Việt Nam qua 2 đường: 1) Qua sông Tiền và sông Hậu; 2) Qua các vùng ngập lụt trên đất Campuchia đổ vào các vùng ngập lụt ĐTM và TGLX của Việt Nam.

1.2.2 Đặc điểm lũ sông Mekong trên địa phận Việt Nam

Tuy diện tích chỉ chiếm khoảng 5% toàn bộ lưu vực sông Mekong, song ĐBSCL lại là nơi hội tụ của hầu như toàn bộ nguồn nước khổng lồ của sông Mekong. Nếu như tổng lượng nước hàng năm sông Mekong tại Kratie khoảng 440 tỷ m³ thì lượng lũ sông Mekong chảy vào Việt Nam trong những năm lũ lớn khoảng 300 - 350 tỷ m³, cá biệt là vào năm 2000 tổng lượng lũ trong 90 ngày đã là 367 tỷ m³ [29, 32]. Trong tổng lượng lũ chảy vào Việt Nam có khoảng 80-85% theo sông Tiền, sông Hậu và khoảng 15-20% tràn qua các vùng ngập lụt trên đất Campuchia đổ vào các vùng ngập lụt ĐTM và TGLX của Việt Nam. Ở đỉnh lũ thì lưu lượng chảy qua sông Tiền, sông Hậu chiếm khoảng 70-75%, lưu lượng chảy vào các vùng ĐTM và TGLX chiếm khoảng 25-30%. Khi chảy qua biên giới vào Việt Nam, sông Tiền nhận tới gần 80% lượng nước của dòng sông chính, trong khi sông Hậu chỉ nhận trên 20%. Vào địa phận Việt Nam, một lượng lớn dòng chảy lại được dồn từ sông Tiền vào sông Hậu qua sông Vàm Nao, kênh Tân Châu - Châu Đốc và kênh Chợ Mới, làm cho dòng chảy của sông Tiền và sông Hậu ở dưới sông Vàm Nao gần như tương đương [29, 31]. Do các tính chất địa hình, thủy văn của vùng ĐBSCL mà có thể chia thành các vùng lũ nhỏ: nước lũ trên dòng chính sông Tiền và sông Hậu; nước lũ vùng giữa sông Tiền sông Hậu; nước lũ vùng ĐTM; nước lũ vùng TGLX và nước lũ vùng TSH (xem các hình P1.2; P1.3 và P1.4 của phụ lục 1).

1.2.2.1 Nước lũ trên dòng chính sông Tiền và sông Hậu

Nước lũ sông Mekong chảy vào nước ta theo hai đường 1) qua sông Tiền và sông Hậu và 2) qua các vùng ngập lụt trên đất Campuchia đổ vào vùng ngập lụt ĐTM và TGLX.

Lượng lũ sông Mekong chảy vào nước ta trong những năm lũ lớn khoảng 300-350 tỷ m³, trong đó khoảng 80-85% theo sông Tiền, sông Hậu và khoảng

15-20% tràn vào qua các vùng ngập lụt. Theo tính toán, trong 40 năm qua lưu lượng đỉnh lũ tràn qua các vùng ngập tăng lên trên 2 lần. Đây là một nguyên nhân quan trọng làm cho tình hình ngập lụt ở ĐBSCL ngày càng nghiêm trọng. Cùng với sự gia tăng lưu lượng chảy vào ĐTM và TGLX là sự suy giảm khả năng tải của sông Tiền.

Theo tài liệu thực đo, khả năng tải của sông Hậu đoạn Châu Đốc có gia tăng chút ít. Khác với sông Hậu, khả năng tải nước của sông Tiền những năm gần đây có xu thế giảm sút, ít ra là với những trận lũ có dòng tràn lớn. Nguyên nhân nào đã gây ra hiện tượng đó cho đến nay vẫn chưa có thể khẳng định được như sự giảm sút khả năng tải của sông Tiền đi đôi với hiện tượng gia tăng dòng chảy tràn vào vùng ngập lụt ĐTM và TGLX làm cho chúng ta có thể nghĩ rằng kết quả này là do hiện tượng kia gây ra và ngược lại [32].

Nước lũ sông Tiền, sông Hậu và các vùng ngập lụt ĐBSCL chịu ảnh hưởng lớn của thủy triều ở Biển Đông theo 9 cửa sông truyền vào nội đồng. Một yếu tố nữa cũng ảnh hưởng rất lớn đến diễn biến lũ dọc sông Tiền, sông Hậu đó là lưu lượng đỉnh lũ, dạng lũ và tổng lượng lũ. Những trận lũ tuy có đỉnh lũ tương đương nhau nhưng tổng lượng lũ hay một đơn vị tương đương là thời gian giữ lũ khác nhau thì ảnh hưởng cũng khác nhau. Cùng với thủy triều, lưu lượng đỉnh lũ, dạng lũ và tổng lượng lũ là các yếu tố chính ảnh hưởng đến diễn biến lũ vùng hạ du sông Tiền và sông Hậu.

1.2.2.2 Nước lũ vùng giữa sông Tiền và sông Hậu

Khu giữa sông Tiền và sông Hậu có diện tích tự nhiên khoảng 3.570 km², dạng địa hình lòng chảo, cao ở bờ sông Tiền, bờ sông Hậu và thấp dần ở giữa. Kênh Tân Châu - Châu Đốc và sông Vàm Nao là hai đường phân lũ chính đưa nước từ sông Tiền qua sông Hậu.

Mức nước lũ trong nội đồng khu giữa sông Tiền và sông Hậu phụ thuộc chủ yếu vào mức nước lũ của sông Tiền sông Hậu và trường hợp nguy hiểm nhất vẫn là năm có đỉnh lũ lớn, tổng lượng lũ lớn và dạng lũ bất lợi, khi chuyển xuống hạ du gặp lúc triều cường và năm thủy triều mạnh như những năm 1961, 1978, 1984, 2000.

1.2.2.3 Nước lũ vùng ĐTM

ĐTM là một vùng đồng bằng trũng có diện tích trên 7.000 km². kéo dài từ bờ sông Tiền đến sông Vàm Cỏ Đông.

Nửa đầu thập niên 80 về trước, hàng năm khi nước sông Tiền bắt đầu lên thì nước lũ theo các kênh rạch hướng Tây- Đông vào vùng ĐTM. Lúc mực nước Tân Châu lên cao trên 2,5 m, nước lũ bắt đầu tràn bờ trên rạch Sở Hạ, chảy vào ĐTM và đến lúc lũ lên cao, dòng chảy tràn qua biên giới chiếm ưu thế.

Vào nửa thập niên 80 về sau, một hệ thống kênh trục theo hướng Đông - Tây và một hệ thống kênh cấp II nối từ biên giới xuống quá quốc lộ 1 và một hệ thống đường giao thông, vượt cao hơn mức lũ lịch sử đang được từng bước hoàn chỉnh để thay đổi chế độ dòng chảy mùa lũ vùng ĐTM. Có thể nêu một số điểm chính:

- Dòng chảy tràn qua biên giới sớm hơn và ngày càng tăng;
- Mực nước nội đồng ngày càng dâng cao;
- Nước thoát lũ ra sông Tiền ngày càng nhiều lên.

Trong những năm qua, lưu lượng nước chảy vào vùng ĐTM ngày càng lớn. Cùng với sự gia tăng nước lũ tràn qua biên giới từ Campuchia vào ĐTM, sự kìm hãm dòng chảy từ sông Tiền ở phía Tây vào ĐTM ngày càng lớn. Trong những năm gần đây, do sự phát triển các hệ thống kênh trục nên qui luật truyền lũ trong vùng ĐTM có nhiều thay đổi, không chỉ về hướng mà còn về vận tốc truyền lũ làm cho thời gian truyền lũ ngắn lại.

Thời gian truyền lũ ngắn lại, tức là tốc độ truyền lũ tăng lên, đó cũng là nguyên nhân dòng chảy tràn qua biên giới tăng lên. Trong những năm gần đây, nước lũ tràn qua biên giới ngày càng lớn, vận tốc truyền lũ ngày càng cao, trong khi đó các đường giao thông trong nội đồng ngày càng được nâng cao và đan dày nên mực nước lũ một số nơi trong vùng ĐTM ngày càng dâng cao.

Nước lũ ĐTM được thoát ra theo hai hướng:

- Hướng Nam trở lại sông Tiền đoạn từ Phong Mỹ đến Mỹ Tho;
- Hướng Đông chảy về sông Vàm Cỏ Tây, Vàm Cỏ Đông sau đó đổ ra biển Đông qua cửa Soài Rạp.

Tóm lại, diễn biến dòng chảy mùa lũ vùng ĐTM rất phức tạp và rất nhiều yếu tố tác động đến vùng ngập lụt nên lũ vùng ĐTM ngày càng nghiêm trọng.

1.2.2.4 Nước lũ vùng TGLX

Nước lũ từ vùng ngập bờ hữu sông Hậu trên đất Campuchia chảy qua biên giới vào vùng TGLX. Trừ một số vùng đồi núi rải rác ở phía Tây Bắc và dọc theo bờ biển từ Hà Tiên đến Hòn Đất, đại bộ phận vùng TGLX có cao độ từ 0,25 đến 2.0 m. Vùng ven biên giới Việt Nam- Campuchia, vùng ven sông Hậu là các dải đất tương

đổi cao, trung bình khoảng 1,5 - 2,0 m. Vùng ven bờ biển Tây là vùng đất thấp có cao độ trung bình 0,25 - 0,5 m. Do địa hình thấp lại nằm ở đầu nguồn nên hầu hết diện tích vùng TGLX bị ngập lụt với độ sâu từ 0,5 - 3,0 m. Thời gian kéo dài từ 1 - 5 tháng.

Nước lũ đổ vào TGLX theo hai hướng :

- Từ các vùng ngập trên đất Campuchia;
- Từ sông Hậu theo các kênh rạch chảy vào nội đồng.

Nước lũ vùng TGLX phần lớn thoát ra biển Tây, một phần thoát xuống vùng TSH và phần còn lại quay trở lại sông Hậu.

Trong những năm qua, lượng lũ từ Campuchia tràn vào TGLX ngày càng tăng, trong lúc đường giao thông ngày càng được tôn cao vượt mực nước lũ nhưng khẩu độ cầu cống không đủ để thoát lũ nên mực nước ở trung tâm TGLX ngày càng tăng lên. Lưu lượng lớn nhất là từ sông Hậu chảy vào TGLX theo các kênh rạch từ Châu Đốc đến Chấn Cà Dao.

Tóm lại nguyên nhân chủ yếu làm nước lũ vùng TGLX ngày càng dâng cao là do nước lũ tràn từ biên giới Việt Nam - Campuchia ngày càng tăng, đường giao thông được nâng cao. Tuy nhiên khi hệ thống thoát lũ ra biển Tây hoàn thành, đặc điểm lũ vùng TGLX đã có thay đổi đáng kể [29]. Thật vậy theo kết quả đo đạc, điều tra khảo sát lũ, lụt ở ĐBSCL năm 2000 của Tổng Cục Khí tượng Thủy văn thì các công trình thoát lũ ra biển Tây đã giúp dẫn lũ nhiều hơn về phía Tây. Các công trình trên tuyến Châu Đốc - Tịnh Biên đã chặn nước lũ từ biên giới đổ vào TGLX nên đã tạo ra các khu khá "rỗng" trong TGLX. Ngập lụt tại phần lớn các khu của TGLX đều thấp hơn các năm lũ lụt trước đó khoảng 10 - 20 cm, mặc dù lũ ngoài sông tương đương hoặc lớn hơn (xem hình P1.4 của Phụ lục 1).

1.2.2.5 Nước lũ vùng TSH

Vùng TSH, với diện tích tự nhiên 3.650 km² là vùng tương đối bằng phẳng và có hướng dốc từ sông Hậu đến sông Cái lớn - Cái bé. Vùng ven sông Hậu có cao độ khoảng 1,0 - 1,5 m, vùng giữa có cao độ khoảng 0,6 - 0,8 m và vùng ven sông Cái lớn - Cái bé có cao độ khoảng 0,2 - 0,3m.

Nước lũ từ vùng TGLX chảy qua các cầu cống trên quốc lộ 80 từ Lộ Tẻ đến Rạch Sỏi vào vùng Tây sông Hậu (TSH). Hàng năm, vùng TSH ngập lụt khoảng 1 - 4 tháng với độ sâu lớn nhất ở vùng Đông Bắc giáp sông Hậu là 1,0 đến

1,5 m; vùng giữa có độ sâu ngập lụt khoảng 0,8 - 1,0m và vùng ven sông Cái lớn khoảng dưới 0,5m.

Nguyên nhân gây ra ngập lụt vùng TSH là lũ từ vùng TGLX tràn xuống, lũ từ sông Hậu theo các kênh rạch chảy vào và do mưa tại chỗ gây ra. Phần lớn nước lũ vùng TSH được thoát ra vịnh Thái Lan theo sông Cái lớn, Cái bé và phần nhỏ thoát ra sông Hậu. Tây sông Hậu là vùng chuyển lũ từ vùng TGLX để ra sông Cái lớn, Cái bé nhưng với lượng lũ không lớn so với tổng lũ vào ĐBSCL.

Qua phân tích đặc điểm lũ châu thổ sông Mekong có thể rút ra một số kết luận sau:

1) Vùng ngập lụt châu thổ sông Mekong từ Kratie đến Mỹ Tho, Mỹ Hóa, Cái Côn dài gần 500 km, rộng hàng trăm km. Từ Kratie, sông Mekong bắt đầu đi vào châu thổ chảy qua vùng ngập lụt rộng lớn ở Campuchia, chảy vào vùng ngập lụt tại ĐBSCL đến vùng chịu ảnh hưởng thủy triều biển Đông;

2) Với một hệ thống sông ngòi, kênh rạch dày đặc và Biển Hồ là một hồ lớn điều tiết tự nhiên, với một vùng ngập rộng lớn bao gồm nhiều vùng trùng kế tiếp nhau đã tác động lên dòng chảy mùa lũ sông Mekong và làm nó diễn biến vô cùng phức tạp;

3) Trong những năm qua, con người đã tác động mạnh mẽ lên châu thổ sông Mekong. Nhiều kênh đã được đào, nhiều đường giao thông được xây dựng làm thay đổi chế độ dòng chảy, gia tăng lượng dòng chảy tràn qua biên giới vào các vùng ĐTM và TGLX, làm giảm khả năng tải nước của sông Tiền và làm dâng cao mực nước lũ ở các vùng ĐTM và TGLX.

1.3 Yêu cầu về độ chính xác của DEM cho các phép phân tích không gian trong các GIS phục vụ dự báo, quy hoạch phòng chống lũ lụt

Các phép phân tích không gian điển hình trong các GIS phục vụ dự báo lũ lụt là các phép phân tích thủy văn - thủy lực. Các phép phân tích này là cần thiết để có được các thông tin hoàn chỉnh và chính xác về nguy cơ ngập lụt, được đưa ra một cách nhanh chóng và hiệu quả.

Các mô hình thủy văn dự đoán lưu lượng nước cho các đỉnh lũ với chu kỳ lặp lại 100, 50, 20, 10, 5 năm tương ứng với tần suất 1%, 2%, 5%, 10%, 20%. Các lưu lượng này được dự đoán dựa trên: lượng mưa; hướng dòng chảy của lũ; khả năng tích trữ và các tính chất của lưu vực, chẳng hạn như lớp phủ mặt đất, độ dốc địa hình và tính chất thổ nhưỡng. Khi có mưa, một lượng nước nhất định ngấm xuống lòng

đất và một lượng khác chảy tràn với mức độ tùy thuộc vào loại đất, độ ẩm bão hoà của đất, thực phủ, độ dốc... Kết quả cuối cùng của một mô hình thủy văn là lưu lượng lũ lớn nhất, được tính bằng số mét khối trên giây (m^3/s) tại các điểm then chốt dọc theo sông suối trong vùng lưu vực.

Trong phần tiếp theo của quá trình mô hình hoá thủy văn - thủy lực, mô hình thủy lực tính toán tốc độ, hướng dòng chảy và cao độ của lũ từ: kết quả lưu lượng lũ của mô hình thủy văn; hệ thống kênh rạch; các mặt cắt; thông tin về cầu cống, bờ bao, đê bao, DEM. Mô hình thủy lực đòi hỏi phải có DEM với độ chính xác cao. Tóm lại các mô hình thủy văn - thủy lực dự đoán diện tích và độ sâu của nước lũ - những yếu tố sống còn cho công tác giảm thiểu thiệt hại và quản lý tích cực lũ lụt.

Các yêu cầu cao nhất về độ chính xác của DEM là cần thiết cho nghiên cứu lũ lụt. Chỉ với DEM có độ chính xác cao mới cho phép các quá trình mô hình hoá thủy văn - thủy lực có độ chính xác, tính tin cậy và hiệu quả cao [25]. Đối với vùng ĐBSCL, theo Tô Văn Trường [32], để mô phỏng chế độ thủy văn - thủy lực và vùng ngập lụt, đồng thời dự báo những diễn biến có thể xảy ra khi xây dựng các công trình kiểm soát lũ nói riêng và các công trình cơ sở hạ tầng nói chung, thì chỉ có thể được thực hiện bằng mô hình toán thủy lực cho toàn bộ hệ thống. Tuy nhiên, do các mô hình sử dụng những dữ liệu không thống nhất, đặc biệt là dữ liệu địa hình và thủy văn nên khó so sánh, đánh giá kết quả của từng mô hình. Có một thực tế là các mô hình hiện nay chỉ mới đủ sức luận chứng những vấn đề mang tính vĩ mô mà chưa đủ sức mô tả chính xác ở mức vi mô những hiện tượng của dòng chảy 2 chiều phức tạp, nhằm thoả mãn được yêu cầu cao của bài toán quy hoạch lũ đề ra.

Yêu cầu cao nhất về độ chính xác của DEM phục vụ công tác phòng chống lũ lụt là của cơ quan quản lý trường hợp khẩn cấp Mỹ (FEMA), theo đó sai số trung phương của DEM là 15 cm [25]. Ngoài công tác phòng chống lũ lụt thì DEM với độ chính xác 15 cm còn phục vụ đặc lực cho công tác giám sát và bảo vệ vùng bờ. Các quốc gia khác, chẳng hạn như Hà Lan - một đất nước với đa phần diện tích thấp hơn mực nước biển và có nguy cơ ngập lụt cao - xây dựng DEM với độ chính xác 30 cm [18]. Tuy nhiên, cuối năm 2003 nước này đã có DEM phủ trùm với độ chính xác 15 cm được thành lập bằng công nghệ laser trên không (LIDAR) - [3]. Kolbl [18] cũng đã đề xuất yêu cầu về độ chính xác của DEM trong nghiên cứu lũ lụt là 15 cm

ở các vùng có độ dốc nhỏ hơn 1%, với các vùng có độ dốc lớn hơn 1% yêu cầu này là 30 cm.

Trên đây là các yêu cầu về độ chính xác của DEM cho các phép phân tích thủy văn - thủy lực tại vùng đồng bằng. Đối với các vùng khác thì theo [23], yêu cầu về độ chính xác của DEM là 0,2 m với địa hình bằng phẳng, độ dốc nhỏ và thực phủ thưa; 0,4 m với địa hình bằng phẳng, độ dốc thấp và thực phủ dày; 0,5 m với địa hình có độ dốc lớn và thực phủ thưa.

Yêu cầu về độ chính xác của DEM là cao như vậy, tuy nhiên bề mặt địa hình tự nhiên thường phức tạp và không thể đo được với độ chính xác tùy ý. Một ví dụ là ruộng trồng lúa nước thường rất bằng phẳng nhưng nếu tại thời điểm đo DEM lại đang là mặt ruộng cày hay lớp đất mặt có thể nở ra khi hấp thụ độ ẩm và nước do trời mưa thì độ chính xác có thể bị giảm đi. Theo Kolbl [18] có thể cho rằng địa hình tự nhiên không thể được đo với độ chính xác cao hơn (về độ cao) ± 10 cm đến ± 15 cm tùy theo dạng và độ phức tạp của địa hình.

Ở nước ta cũng đã có những ứng dụng bước đầu về mô phỏng lũ năm 2000 của Tổng cục khí tượng thủy văn (2000), theo đó phần địa hình bao gồm: DEM dạng lưới đều từ bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 25000 - thành lập 1984-1994; địa hình sông rạch chính trên cơ sở ATLAS thủy đặc năm 1987-1998 và địa hình kênh, cầu cống, đường giao thông, bờ bao, ô chứa, cao trình đã được đưa vào mô hình mô phỏng cùng với số liệu khí tượng thủy văn để kiểm định và thử nghiệm mô hình [29]. Nhận xét sơ bộ là bức tranh tổng quát về lũ lụt năm 2000 theo mô hình công nghệ về cơ bản cho thấy sự phù hợp khá tốt với thực tế. Mô hình mô phỏng ở đây là tổ hợp các mô hình thủy lực và hệ thống thông tin địa lý GIS - HYDROGIS.

Trong đề tài nghiên cứu khoa học cấp nhà nước: “Xây dựng cơ sở dữ liệu thống nhất cho mô hình tính toán tính lũ đồng bằng sông Cửu Long” của Phân Viện Khảo sát Quy hoạch Thủy lợi Nam Bộ - Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn [32] đã tiến hành tính toán mô hình lũ theo các chương trình VRSAP và TLUC (các chương trình tính toán thủy lực). Một trong số các kết luận và kiến nghị của đề tài là việc hiệu chỉnh mực nước trong các vùng ngập nước còn chênh lệch khoảng 0,2- 0,3 m, nhưng vẫn chấp nhận được. Tuy nhiên đề tài cũng đưa ra đánh giá về đặc điểm thủy văn - thủy lực rất phức tạp vùng ĐBSCL, khiến cho tới nay chưa một mô hình nào thực sự có thể mô phỏng một cách phù hợp với điều kiện tự nhiên của vùng này. Các kết quả mô phỏng của đề tài cũng khiến những người thực hiện có nhận định rằng

việc nghiên cứu mô hình tính toán lũ cho châu thổ sông Mekong vẫn đang và sẽ là một vấn đề quan trọng cần được tiếp tục, vừa hoàn chỉnh những mô hình hiện có, vừa xây dựng và áp dụng thêm những mô hình mới, trong đó hướng đến một mô hình 2 chiều hoàn chỉnh. Các mô hình phải luôn được cập nhật tài liệu mới và hiệu chỉnh tốt hơn để dần mô phỏng được đặc điểm thủy văn - thủy lực ở châu thổ sông Mekong. Tuy mô hình hai chiều sẽ đòi hỏi tài liệu đo đạc chính xác và tốn kém hơn, song nó có thể mô phỏng tốt hơn các hiện tượng thực tế ngày càng diễn ra phức tạp ở đồng bằng sông Cửu Long. Đây là hướng đi mà có lẽ các nhà làm mô hình cần được đầu tư nghiên cứu thêm.

Như vậy rõ ràng rằng dữ liệu độ cao đã phần nào đáp ứng được các bài toán mô phỏng hiện nay nhưng mới chỉ dừng ở mức vĩ mô mà chưa đủ sức mô tả chính xác ở mức vi mô những hiện tượng của dòng chảy 2 chiều phức tạp, nhằm thoả mãn được yêu cầu cao của bài toán quy hoạch lũ đề ra. Do đó nhu cầu cần có các tài liệu đo đạc được cập nhật thường xuyên hơn và có độ chính xác cao hơn là có thực, nhằm làm tăng độ chính xác và tính tin cậy của các phép phân tích không gian (thủy văn - thủy lực) trong các GIS phục vụ dự báo, quy hoạch phòng chống lũ lụt.

Hơn nữa, trong quá trình lập dự án: “Xây dựng CSDL hệ thống thông tin địa hình - thủy văn cơ bản phục vụ phòng chống lũ lụt và phát triển kinh tế xã hội vùng ĐBSCL” chúng tôi có tham khảo ý kiến của các Bộ, Ngành liên quan và được biết rằng cao trình của các công trình kiểm soát lũ nói riêng và các công trình cơ sở hạ tầng nói chung cần phải được xác định với độ chính xác cỡ 0.1 m. Do đó, mục tiêu chính của đề tài này là thử nghiệm xây dựng DEM với độ chính xác 0.1 m cho các địa hình, địa vật quan trọng như đường giao thông, công trình thủy lợi, đê bao, bờ kênh rạch, muông, khu dân cư và 0.2 m cho các đối tượng mặt đất còn lại trong vùng có nguy cơ ngập lụt (xem hình P1.5 của Phụ lục 1).

CHƯƠNG 2: CÁC VẤN ĐỀ KỸ THUẬT TRONG CÔNG TÁC XÂY DỰNG DEM ĐỘ CHÍNH XÁC CAO VÙNG ĐỊA HÌNH ĐỒNG BẰNG

Đối với một dự án thành lập DEM thì mục đích cuối cùng là có được kết quả DEM với độ chính xác đáp ứng yêu cầu đặt ra và nếu có thể, có hiệu quả kinh tế nhất (tiết kiệm nhất). Nói cách khác, độ chính xác, giá thành và hiệu quả là các yếu tố được quan tâm nhiều nhất. Đối với vùng ĐBSCL thì độ chính xác của DEM là yếu tố quan trọng nhất vì nó quyết định độ chính xác và tính tin cậy của các phép phân tích không gian (chẳng hạn như thủy văn - thủy lực) trong GIS phục vụ phòng chống lũ lụt ĐBSCL.

2.1 Hệ độ cao

Vấn đề trước tiên liên quan đến hệ độ cao. Ở nước ta, cũng như nhiều nước khác trên thế giới, hệ độ cao được thiết lập dựa trên kết quả đo các trạm nghiệm triều để xác định mực nước biển trung bình. Gốc độ cao có thể được xác định bằng cách cố định (fix) một hay nhiều trạm nghiệm triều bằng giá trị độ cao zero (0). Tiếp đó độ cao được truyền sâu vào đất liền bằng thủy chuẩn hình học. Đối với nước ta thì, do điều kiện lịch sử, ở miền Bắc có gốc độ cao là điểm nghiệm triều Hòn Dấu (Hải Phòng) và ở miền Nam là Mũi Nai (Hà Tiên). Do đó, trên các bản đồ cũ do Mỹ thành lập ở miền Nam có độ cao Mũi Nai. Tuy nhiên các bản đồ được thành lập ở miền Nam sau ngày giải phóng đều có độ cao Hòn Dấu.

Trong điều kiện hiện nay của đồng bằng sông Cửu Long thì phải sử dụng hệ độ cao của các điểm thủy chuẩn hạng cao hiện có. Các mốc độ cao hạng I, II, III Nhà nước đều có 2 trị số độ cao: độ cao Hòn Dấu (Hải Phòng) và độ cao Mũi Nai (Hà Tiên). Hai trị số độ cao này có hằng số chênh lệch 167 mm, là hiệu số giữa độ cao hệ Mũi Nai và độ cao hệ Hòn Dấu. Do hai hệ này có độ chênh là một hằng số cho nên về lý thuyết có thể tùy chọn một trong hai hệ số trên. Tuy nhiên trên thực tế nên chọn hệ độ cao Hòn Dấu. Các vấn đề kỹ thuật khác đều tập trung xoay quanh việc nâng cao độ chính xác của DEM.

Do trong chương 3 có đề cập tới việc làm khớp mô hình Geoid trọng lực với hệ độ cao địa phương cho nên trong mục này, cần thiết phải trình bày chi tiết hơn về hệ độ cao. Do mực nước biển trung bình có thể chênh so với bề mặt đẳng thế tới 2 m

cho nên việc xác định bề mặt nước biển trung bình thông qua các kết quả đo tại trạm nghiệm triều không xác định được bề mặt Geoid theo đúng nghĩa là một bề mặt đẳng thế [13]. Thêm vào đó, kết quả đo tại các trạm nghiệm triều phải được tính trung bình theo chu kỳ 18,67 năm của mặt trăng để có thể khử hiệu ứng chu kỳ dài của thủy triều [4, 13].

Ngoài ra, còn có một số vấn đề khác liên quan đến quá trình đo và tính toán thủy chuẩn. Chẳng hạn như việc tính số hiệu chỉnh độ cao. Trên thực tế chỉ có số hiệu chỉnh gần đúng được áp dụng bởi vì, theo lý thuyết, nếu muốn có số hiệu chỉnh chính xác cần phải có giá trị của gia tốc trọng lực trái đất tại tất cả các điểm dọc theo hướng dây dọi, một đại lượng mà hầu như không thể đo được trên một quy mô lớn như trong một mạng lưới thủy chuẩn quốc gia. Do đó người ta thường sử dụng các giá trị đo trọng lực bề mặt và một giả thuyết về mật độ phân bố vật chất của địa hình. Thông thường một hằng số mật độ vật chất là 2.670 kg.m^{-3} được áp dụng thông qua mô hình gradient trọng lực có tên Poincare-Prey [4].

2.2 Các yếu tố chính ảnh hưởng đến độ chính xác của DEM

Sai số của mô hình DEM là kết quả tổng hợp của các sai số tích lũy trong tất cả các công đoạn thành lập DEM. Tuy nhiên các yếu tố chính ảnh hưởng tới độ chính xác của DEM bao gồm [19, 20]:

1. Đặc tính của bề mặt địa hình;
2. Phương pháp thành lập;
3. Ba tham số: độ chính xác, mật độ và phân bố của các dữ liệu gốc và dữ liệu đo (điểm lấy mẫu);
4. Tính chất của các cấu trúc DEM (TIN, GRID).

Các đặc tính của bề mặt địa hình quyết định mức độ khó khăn trong việc mô hình hoá và do đó, có ảnh hưởng lớn tới độ chính xác của DEM. Các đặc tính này thường bao gồm: độ dốc, thực phủ, độ chia cắt của địa hình và các yếu tố điểm, đường đặc trưng.

DEM có thể được thành lập bằng nhiều phương pháp khác nhau: đo đạc trực tiếp ngoài thực địa; đo vẽ lập thể ảnh hàng không, vũ trụ; số hoá, nội suy từ các bản đồ địa hình có sẵn và các phương pháp mới sử dụng các hệ thống viễn thám chủ động như Radar độ mở tổng hợp giao thoa (IFSAR) hay laser (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.

Độ chính xác của các dữ liệu gốc (các điểm mốc thủy chuẩn hiện có) và các điểm, đường lấy mẫu ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác của DEM.

Mật độ của các điểm lấy mẫu là một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến độ chính xác của DEM [1, 19, 20]. Yếu tố này có thể được cụ thể hoá bởi các tham số như: khoảng cách trung bình của các điểm lấy mẫu, số điểm lấy mẫu trên một đơn vị diện tích và tần số cắt (tần số Nyquist) của các thay đổi không gian thể hiện qua các dữ liệu đo [17]. Trong trường hợp lưới ô vuông thì khoảng cách mắt lưới là tham số chính. Ngay cả trong trường hợp lấy mẫu kết hợp (lưới đều và các điểm, đường đặc trưng) thì khoảng cách mắt lưới vẫn đóng một vai trò quan trọng [20].

Tính chất phân bố của các điểm gốc cũng như các điểm lấy mẫu là một yếu tố chính nữa ảnh hưởng đến độ chính xác của kết quả DEM. Tham số này có thể được miêu tả bằng đồ hình phân bố, vị trí và định hướng của bộ dữ liệu đo. Đồ hình phổ biến nhất là một mạng lưới ô vuông của các điểm đo cộng với các điểm, đường đặc trưng địa hình (điểm độ cao, các điểm dọc theo đường phân thủy, tụ thủy và các đường đặc trưng khác).

Trong đề tài này mô hình DEM dạng TIN được chọn để thể hiện DEM kết quả (lý do của việc lựa chọn này được phân tích trong mục 2.4). Đối với DEM dạng TIN thì phép nội suy ngầm định là phép nội suy tuyến tính. Do vậy, trong phần này cần thiết phải khảo sát mối liên quan giữa độ chính xác của DEM với độ chính xác, mật độ và phân bố của các dữ liệu gốc và dữ liệu đo (điểm lấy mẫu) theo các khía cạnh sau đây: 1) Sự lan truyền sai số của DEM trong các phép nội suy tuyến tính và 2) Sai số do việc thể hiện bề mặt DEM bằng các hàm tuyến tính. Các khảo sát này dựa trên kết quả nghiên cứu của Li [20].

1) Lan truyền sai số trong các phép nội suy tuyến tính

(a) Lan truyền sai số dọc theo một mặt cắt.

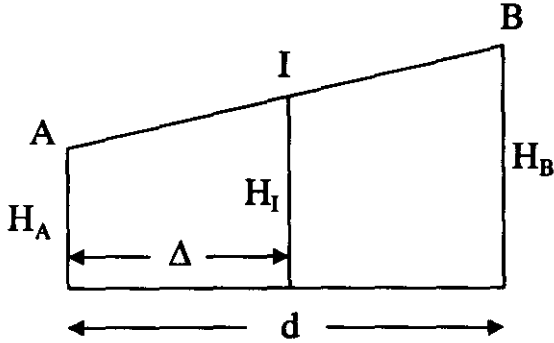
Khi khảo sát sai số lan truyền trong mô hình tuyến tính, trước tiên cần xem xét theo một mặt cắt. Giả sử hai điểm A và B trong hình 2.1 là hai điểm được lấy mẫu tạo DEM với giãn cách giữa hai điểm là d . Có một điểm I nằm trên đoạn AB cần được nội suy, nếu Δ là khoảng cách từ điểm I tới điểm A thì

$$H_I = \frac{d - \Delta}{d} H_A + \frac{\Delta}{d} H_B \quad (2.1)$$

Trong đó H_A và H_B là độ cao, tương ứng của điểm A và điểm B; H_I là độ cao nội suy của điểm I. Nếu các điểm A và B được đo với sai số trung phương σ_{nod} thì

sai số σ_i của điểm I, được lan truyền từ sai số của 2 điểm A và B có thể được thể hiện như sau:

$$\sigma_i^2 = \left(\frac{d-\Delta}{d}\right)^2 \sigma_{nod}^2 + \left(\frac{\Delta}{d}\right)^2 \sigma_{nod}^2 \quad (2.2)$$



Hình 2.1: Nội suy tuyến tính độ cao của điểm I nằm trên đoạn AB

Mối quan tâm cuối cùng ở đây là tính sai số cho bất kỳ điểm nào nằm trên đoạn AB. Trong trường hợp này khoảng cách Δ của các điểm I này tới điểm A cần được coi là một biến số, lấy giá trị từ 0 (tại điểm A) đến d (tại điểm B). Do đó, giá trị trung bình của sai số cho tất cả các điểm nằm trên đoạn AB có thể được tính như sau:

$$\sigma_S^2 = \frac{1}{d} \int_0^d \left[\left(\frac{d-\Delta}{d}\right)^2 \sigma_{nod}^2 + \left(\frac{\Delta}{d}\right)^2 \sigma_{nod}^2 \right] d\Delta = \frac{2}{3} \sigma_{nod}^2 \quad (2.3)$$

Trong đó σ_S là giá trị trung bình của sai số của tất cả các điểm nằm dọc theo đoạn AB và chịu ảnh hưởng của sai số lan truyền từ các điểm A và B.

Để tính sai số cho các điểm nằm dọc theo một mặt cắt AB cần phải thêm vào một đại lượng đại diện cho sai số thể hiện bề mặt bằng các hàm tuyến tính, do đó có công thức sau:

$$\sigma_{pr}^2 = \sigma_S^2 + \sigma_T^2 = \frac{2}{3} \sigma_{nod}^2 + \sigma_T^2 \quad (2.4)$$

Ở đây σ_T là sai số do phép thể hiện bề mặt bằng các hàm tuyến tính, σ_{nod} là sai số của các điểm được lấy mẫu tại A và B, σ_{pr} là sai số tổng thể của các điểm DEM nằm dọc theo một mặt cắt AB.

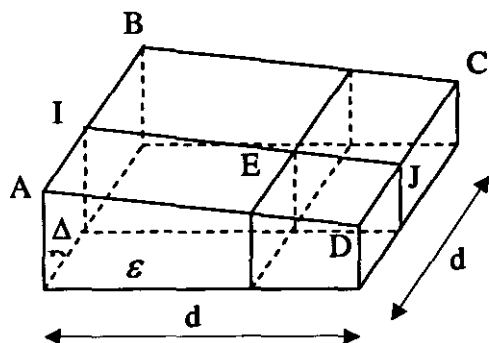
(b) Lan truyền sai trên một bề mặt song tuyến.

Trong trường hợp của một bề mặt song tuyến, việc nội suy giá trị độ cao của một điểm được tính theo hai hướng vuông góc với nhau. Giả sử có 4 điểm được lấy

mẫu tạo DEM là A, B, C và D (hình 2.2). Cần nội suy độ cao của điểm E. Đầu tiên, phép nội suy có thể được thực hiện dọc theo AB và DC, theo công thức (2.1). Như vậy điểm I có thể được nội suy theo A và B, tương tự như vậy điểm J được nội suy từ D và C. Bước tiếp theo là nội suy điểm E theo hai điểm I và J như sau:

$$H_E = \frac{d - \varepsilon}{d} H_I + \frac{\varepsilon}{d} H_J \quad (2.5)$$

Trong đó ε là khoảng cách từ điểm E đến điểm I và H_E , H_I và H_J tương ứng là giá trị độ cao của các điểm E, I và J.



Hình 2.2: Nội suy song tuyến độ cao của điểm E theo 4 điểm A, B, C và D

Do đó phương trình (2.5) lại một lần nữa thể hiện phép nội suy tuyến tính dọc theo một mặt cắt tương tự như phương trình (2.1). Thực hiện các phép biến đổi tương tự sẽ có được một phương trình tương tự như phương trình (2.3).

Tuy nhiên, sai số của các điểm I, J trên hình 2.2 và I trên hình 2.1 khác sai số tại các điểm A, B, C và D. Giá trị sai số thực sự thay đổi theo vị trí của các điểm I và J giữa các điểm A, B, C, D và đặc tính của bề mặt địa hình. Do đó, giá trị trung bình của sai số thể hiện trong phương trình (2.4): σ_{pr} cần được áp dụng cho các điểm I và J trong hình 2.2. Sai số σ_T do việc thể hiện DEM bằng các hàm tuyến tính cũng phải được cộng thêm vào. Như vậy, một phương trình tương tự như phương trình (2.4) có thể được thiết lập để thể hiện sai số của các điểm được nội suy theo hàm song tuyến:

$$\sigma_{sur}^2 = \frac{2}{3} \sigma_{pr}^2 + \sigma_T^2 \quad (2.6)$$

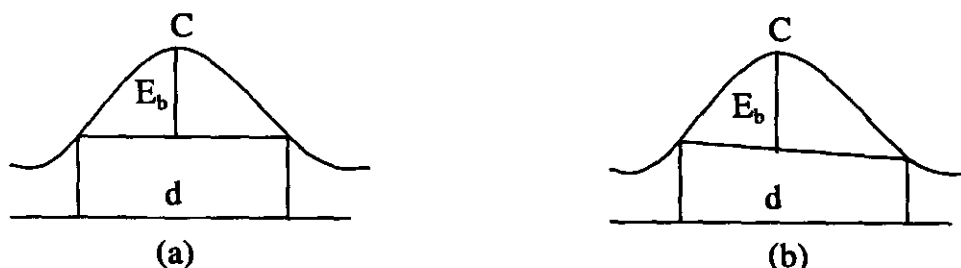
Thế giá trị σ_{pr}^2 trong phương trình (2.4) vào phương trình (2.6) có được:

$$\sigma_{sur}^2 = \frac{2}{3} \left(\frac{2}{3} \sigma_{nod}^2 + \sigma_T^2 \right) + \sigma_T^2 = \frac{4}{9} \sigma_{nod}^2 + \frac{5}{3} \sigma_T^2 \quad (2.7)$$

Trong các phương trình (2.6) và (2.7) σ_{sur} là giá trị sai số trung bình của điểm được nội suy theo hàm song tuyến, σ_{nod} là sai số của các điểm lấy mẫu và σ_T là sai số do việc thể hiện DEM bằng các hàm tuyến tính. Nếu so sánh phương trình (2.4) với phương trình (2.7) có thể thấy rằng hệ số của σ_{nod}^2 trong phương trình (2.7) thậm chí còn nhỏ hơn trong phương trình (2.4): $\frac{4}{9} < \frac{2}{3}$. Điều này xảy ra bởi vì trong phép nội suy song tuyến có nhiều điểm lấy mẫu hơn (4 điểm) được sử dụng, trong khi ở phép nội suy tuyến tính dọc theo một mặt cắt thì chỉ có 2 điểm. Một ví dụ minh họa có thể được đưa ra là nếu nội suy song tuyến cho một điểm nằm chính giữa 4 điểm A, B, C và D thì giá trị trung bình của độ cao 4 điểm này là kết quả thu được của phép nội suy, với sai số của điểm nội suy chỉ là $\sqrt{\left(\frac{1}{4}\right)\sigma_{nod}^2} = \frac{1}{2}\sigma_{nod}$. Tuy nhiên, nếu nội suy tuyến tính cho một điểm nằm chính giữa một mặt cắt (chính giữa hai điểm A và B) thì giá trị trung bình của độ cao 2 điểm A, B là kết quả của phép nội suy và sai số của điểm nội suy là $\sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)\sigma_{nod}^2} = \frac{\sqrt{2}}{2}\sigma_{nod}$. Như vậy, sai số của DEM được nội suy theo các hàm tuyến tính hay song tuyến được thể hiện theo các phương trình (2.4) và (2.7). Liên quan tới các phương trình này 2 vấn đề quan trọng cần giải quyết, đó là:

- Giá trị σ_{nod} và giá trị σ_T . Giá trị σ_{nod} có thể được ước tính không mấy khó khăn. Chẳng hạn nếu thành lập DEM bằng phương pháp đo vẽ ảnh $\sigma_{nod} = 0,07\text{‰}$ H tới $0,1\text{‰}$ H (‰ H - phần ngàn của độ cao bay chụp) - trên các máy đo vẽ giải tích hoặc trạm ảnh số; $\sigma_{nod} = 0,2\text{‰}$ H - trên các máy tương tự chính xác.
- Vấn đề còn lại là xác định giá trị σ_T .

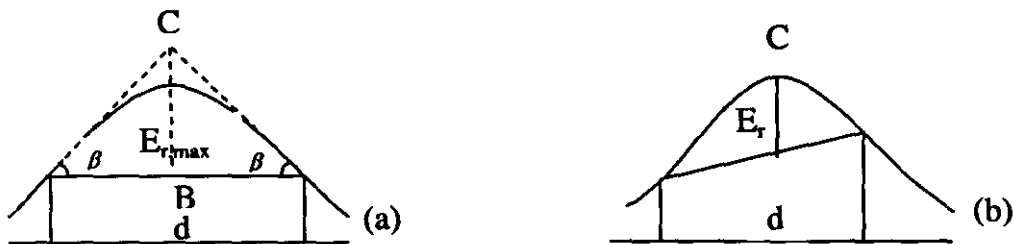
2) Sai số lớn nhất (E_{max}) do việc thể hiện địa hình bằng các hàm tuyến tính



Hình 2.3: Các sai số lớn nhất có thể xảy ra do việc thể hiện địa hình bằng các hàm tuyến tính.

Trên hình 2.3(a) và 2.3(b) minh họa sai số lớn nhất có thể xảy ra tại điểm C. Cùng một địa hình nhưng vị trí của các điểm lấy mẫu khác nhau thì sai số cũng khác nhau. Điểm C thể hiện các điểm đặc trưng của địa hình (đỉnh núi, đồi, điểm trên mặt đường giao thông, công trình thủy lợi, đê bao, bờ bao, bờ kênh, rạch, mương). Nếu không lấy mẫu tạo DEM tại điểm C sẽ dẫn tới sai số E_c .

Hình 2.4(a) và 2.4(b) thể hiện sai số lớn nhất có thể xảy ra tại điểm C cho các vị trí khác nhau của điểm lấy mẫu khi chỉ có các điểm lưới đều được lấy mẫu mà không có các đặc trưng địa hình.



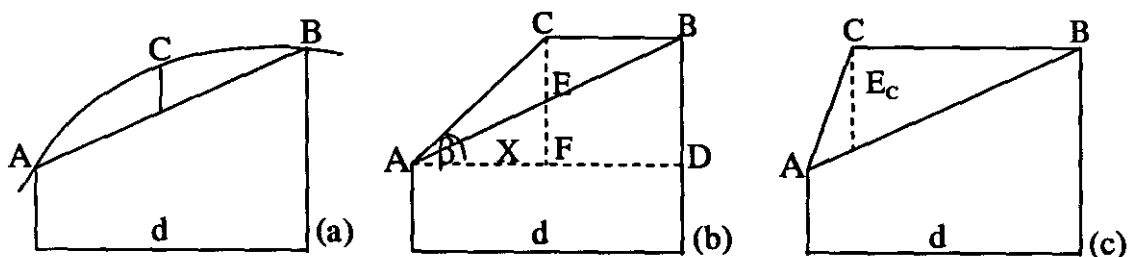
Hình 2.4: Sai số lớn nhất có thể xảy ra do việc thể hiện địa hình bằng các hàm tuyến tính với các vị trí khác nhau của điểm mất lưới.

Hình 2.4(a) chỉ ra rằng giá trị lớn nhất xảy ra khi chính giữa các điểm được lấy mẫu (các điểm mất lưới) có điểm cao nhất, thấp nhất cục bộ của địa hình.

$$\text{Trong trường hợp này } E_{r,\max} = CB = \frac{1}{2} d \operatorname{tg} \beta \quad (2.8)$$

Với β là góc độ dốc cục bộ của địa hình. Hình 2.4(b) cho thấy giá trị E_r thay đổi tùy theo vị trí của các điểm cân đo, giữa hai điểm được lấy mẫu A, B.

Hình 2.5(a) minh họa sai số có thể xảy ra trong một lưới các điểm đo. Giữa hai điểm được lấy mẫu A, B địa hình có độ dốc lồi. Sai số này thường hay xảy ra nhất vì trên thực tế lấy mẫu tạo DEM (kể cả lấy mẫu theo các phương thức hỗn hợp hay lựa chọn) cũng không thể đo hết các điểm "uốn lồi" hay "uốn lõm" của địa hình (điểm C trên hình 2.5(a)).



Hình 2.5: Sai số lớn nhất có thể theo một khoảng dốc của địa hình: (a) trong một độ dốc "lồi"; (b) phóng đại của (a); (c) E_c thay đổi theo vị trí của điểm lấy mẫu.

Hình 2.5(b) là hình 2.5(a) được phóng đại lên để tiện cho việc ước tính sai số. Điểm C trên hình 2.5(b) thể hiện trường hợp sai số lớn nhất của một độ dốc lỗi. A và B là các điểm lấy mẫu tạo DEM. Góc $\angle CAD$ là góc độ dốc của địa hình tại điểm A (góc β) và đoạn $CE = E_c$ là sai số lớn nhất có thể xảy ra tại điểm C. Do đó:

$$E_c = CE = CF - EF = X \operatorname{tg}\beta - \frac{X^2 \operatorname{tg}\beta}{d} \quad (2.9)$$

Trong đó $AF = X$. Nếu đạo hàm bậc nhất của CE có giá trị bằng 0 thì vị trí C tương ứng sẽ cho giá trị cực đại, do đó:

$$\frac{d(CE)}{dX} = \operatorname{tg}\beta - \frac{2X \operatorname{tg}\beta}{d} = 0 \quad (2.10)$$

Từ phương trình (2.10) suy ra $X = \frac{d}{2}$. Thay giá trị này vào phương trình (2.9) có:

$$E_{c,\max} = CE = \frac{1}{4} d \operatorname{tg}\beta \quad (2.11)$$

Tính chất của các cấu trúc DEM (TIN, GRID) là yếu tố xác định mức độ khớp của mô hình DEM với bề mặt địa hình thực tế. Bề mặt DEM có thể được miêu tả liên tục (DEM dạng raster), ít nhiều giống như cấu trúc của file ảnh số, hoặc không liên tục (bao gồm các điểm, đường rời rạc).

Độ trơn (smooth) của bề mặt cũng có thể được miêu tả bằng các hàm nội suy khác nhau. Các hàm đa thức bậc cao thường làm cho bề mặt “trơn” hơn, trong khi các hàm tuyến tính (áp dụng trong cấu trúc TIN) lại cho bề mặt kém trơn hơn. Các phép nội suy DEM khác nhau được miêu tả trong [2, 17]

2.3 Đặc tính của bề mặt địa hình vùng ĐBSCL và độ chính xác của DEM.

Độ dốc của địa hình là một yếu tố quan trọng miêu tả đặc tính của địa hình và có ảnh hưởng lớn tới độ chính xác của DEM [1; 20]. Tuy nhiên đối với ĐBSCL thì độ dốc của địa hình lại rất nhỏ ($<1\%$) do chênh cao nhỏ. Độ cao phổ biến nằm trong khoảng từ 0,5 đến 3 m. Độ dốc mặt nước của các sông cũng rất nhỏ (2- 3 cm/km) - [31]. Vì thế độ dốc không phải là vấn đề làm ảnh hưởng tới độ chính xác của DEM ở ĐBSCL.

Tuy bằng phẳng nhưng địa hình vùng ĐBSCL lại bị chia cắt mạnh bởi nhiều sông, kênh mương, đê bao, bờ ngăn, hệ thống đường giao thông. Các yếu tố này đóng vai trò là các đặc trưng địa hình trong công tác thành lập DEM và có ảnh hưởng lớn tới độ chính xác của DEM. Hình 2.4 và công thức 2.8 thể hiện sai số lớn

nhất có thể xảy ra nếu không lấy mẫu đủ các đặc trưng địa hình như: hệ thống đường giao thông, công trình thủy lợi, đê bao, bờ kênh, rạch, mương...

Thực phủ là một yếu tố phức tạp ảnh hưởng đến độ chính xác của DEM vùng ĐBSCL. Thực phủ thường tập trung tại các khu dân cư, hai bên bờ kênh, rạch. Đặc biệt có một số tỉnh, chẳng hạn Bạc Liêu và Cà Mau có rừng đước, rừng tràm trên một diện tích lớn. Bề mặt đất tại các khu rừng này lại thường ngập nước và có nhiều chất mùn cho nên nền đất yếu, không ổn định. Đó cũng là một yếu tố ảnh hưởng tới độ chính xác thành lập DEM.

Tuy nhiên có thể nói độ chia cắt lớn bởi sông, kênh mương, đê bao, bờ ngăn mới là yếu tố chủ yếu ảnh hưởng tới độ chính xác của DEM vùng ĐBSCL. Dưới khía cạnh thuần túy kỹ thuật của công tác thành lập DEM thì các sông, kênh, đê bao...nói trên đều là các đặc trưng địa hình và do đó cần phải được lấy mẫu chính xác và đầy đủ. Mặt khác chúng lại là các yếu tố có ảnh hưởng trực tiếp đến dòng chảy và do đó, đến diễn biến của quá trình ngập lụt. Các mô hình tính toán thủy văn - thủy lực cũng cần đến các thông tin này. Tuy nhiên do chế độ thủy văn mùa lũ ở ĐBSCL rất phức tạp, hệ thống sông ngòi lại dày đặc cho nên theo [32] nếu đưa toàn bộ hệ thống sông ngòi, kênh rạch vào mô hình thì quá phức tạp. Vì vậy, phải lựa chọn những sông ngòi, kênh rạch và các vùng ngập quan trọng để đưa vào mô hình, ngõ hầu có thể mô tả tương đối phù hợp với chế độ thủy văn - thủy lực mùa lũ của ĐBSCL.

2.4 Cấu trúc của DEM và mật độ các điểm DEM

Vấn đề đặt ra ở đây là so sánh hai cấu trúc DEM là TIN và GRID để chọn ra một cấu trúc DEM phù hợp. Bảng 2.1 so sánh tóm tắt hai dạng nói trên của DEM.

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. Các ứng dụng của DEM, xét dưới khía cạnh công cụ có thể được chia làm 3 nhóm: phân tích, hiển thị trực quan (visualization) và kết hợp cả phân tích và hiển thị trực quan.

DEM dạng GRID được dùng rất phổ biến, chủ yếu là do các công cụ phân tích dữ liệu dạng raster đã được phát triển mạnh [30]. Một ví dụ điển hình là các phép toán đại số về bản đồ (map algebra) đặc biệt phù hợp cho các ứng dụng phân tích DEM ở dạng GRID cả về lý thuyết lẫn thực tế. Liên hệ với các ứng dụng như tính toán lưu vực sông hay phân tích thủy văn các vùng ngập lụt, mô hình DEM

dạng GRID thường được sử dụng nhiều hơn [27]. Như vậy DEM dạng GRID phù hợp tốt nhất cho các ứng dụng phân tích và ở một mức độ nhất định cho các ứng dụng hiển thị trực quan.

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.

DEM ở dạng TIN thì ngược lại, lại phù hợp tốt nhất cho các mục đích hiển thị trực quan. Tuy nhiên, cho tới nay các thuật toán phân tích, xử lý phức tạp vẫn chưa được phát triển và ứng dụng một cách đầy đủ với mô hình TIN [30].

Tính phức tạp của bề mặt địa hình vùng ĐBSCL chủ yếu thể hiện ở độ chia cắt lớn, gây nên bởi hệ thống sông, kênh mương, đê bao, bờ bao, hệ thống giao thông. Các đối tượng này phải được mô tả chính xác và đầy đủ bằng công tác đo đạc. Kết quả đo đạc là các thông tin gốc, bao gồm tập hợp các điểm độ cao và các đặc trưng địa hình. Một yêu cầu được đặt ra là các thông tin gốc này cần được bảo toàn trong mô hình DEM. Cấu trúc TIN cho phép DEM giữ được các thông tin gốc của địa hình, còn cấu trúc GRID thì không. Vì những lý do nêu trên, mô hình TIN được chọn để thể hiện DEM kết quả.

Trước khi được đưa vào các ứng dụng phân tích thì DEM có thể được chuyển sang dạng GRID. Tùy theo tính chất và yêu cầu của các ứng dụng phân tích cụ thể mà khoảng cách mắt lưới của DEM dạng GRID có thể lớn nhỏ khác nhau. Tuy nhiên theo Kolbl [18] khoảng cách mắt lưới nhỏ nhất của DEM là 5 m. Khi tiến

hành đo DEM ngoài thực địa để thể hiện theo mô hình TIN thì tùy theo tính chất và mật độ của các đặc trưng địa hình mà mật độ điểm đo có thể thay đổi khác nhau. Trung bình là khoảng 100 m/1 điểm.

2.5 Giải pháp công nghệ thành lập DEM độ chính xác cao vùng ĐBSCL.

Do yêu cầu về độ chính xác cao của DEM vùng ĐBSCL (0,1 - 0,2 m) mà trong số tất cả các phương pháp thành lập DEM thì chỉ có hai phương pháp có tính khả thi trong điều kiện hiện nay của nước ta. Đó là thành lập từ ảnh chụp hàng không tỷ lệ lớn và đo đạc trực tiếp ngoài thực địa. Các phương pháp khác đều hoặc không đạt được độ chính xác theo yêu cầu hoặc không có tính khả thi vì không có trang thiết bị hoặc tư liệu cần thiết.

Phương pháp số hóa bản đồ địa hình có sẵn để thành lập DEM có độ chính xác từ $1/3 - 1/2 C_1$ (C_1 là khoảng cao đều đường bình độ trên bản đồ) - [14; 21]. Tại ĐBSCL hiện có bản đồ địa hình tỷ lệ lớn nhất là 1: 5000 với khoảng cao đều là 1 m. Như vậy độ chính xác của DEM được thành lập từ loại bản đồ này tối đa cũng chỉ đến 0,3 m. Chúng tôi đã nghiên cứu kỹ loại bản đồ này và thấy trên mỗi mảnh bản đồ chỉ có 1 đến 2 đường bình độ và khoảng cách giữa các đường bình độ là rất lớn (do độ cao phổ biến của ĐBSCL nằm trong khoảng từ 0,5 đến 3,0 m). Các điểm ghi chú độ cao cũng rất thưa (cách nhau 200 - 300 m), được ghi tới chẵn 0,1 m. Hơn nữa, loại bản đồ địa hình tỷ lệ 1:5000 này cũng đã khá cũ, mới nhất cũng cách đây trên 10 năm. Theo [14] thì độ chính xác của DEM có thể còn không đạt $1/2 C_1$ nếu như có biến dạng lớn trên bản đồ giấy hay đường bình độ trên bản đồ được vẽ không chính xác.

Phương pháp đo vẽ lập thể các cặp ảnh vệ tinh có độ phân giải cao hiện nay cũng chỉ có thể thành lập DEM với độ chính xác tối đa khoảng 3 m. Phương pháp Radar độ mở tổng hợp giao thoa cho độ chính xác cao nhất là 0,5 m.

Giải pháp công nghệ quét laser đặt trên máy bay (LIDAR) có thể cung cấp DEM với độ chính xác rất cao từ 0,15 - 0,4 m [11; 22]. Do vậy giải pháp công nghệ này rất phù hợp để thành lập DEM, đặc biệt để phục vụ công tác phòng chống lũ lụt. Tuy nhiên, hiện nay chúng ta chưa có thiết bị.

Trở lại hai phương pháp khả thi là đo vẽ ảnh hàng không lập thể tỷ lệ lớn và đo đạc trực tiếp ngoài thực địa. Nhiều khảo sát, thử nghiệm, chẳng hạn như [12] đã cho thấy để có DEM với độ chính xác 15 - 20 cm, thành lập từ ảnh hàng không, tỷ lệ ảnh chụp phải vào khoảng 1/6000. Riêng sai số hệ thống của định hướng mô hình có

thể đạt tới 10 cm (tức 0,1‰H). Thành phần sai số hệ thống này cần phải được khống chế rất cẩn thận trong quá trình đo vẽ. Với tỷ lệ này sẽ tốn rất nhiều giờ bay và chi phí. Chúng tôi ước tính để bay chụp toàn bộ ĐBSCL ở tỷ lệ này phải chi phí khoảng 50 - 60 tỷ đồng. Khối lượng công việc đo vẽ nội nghiệp cũng rất lớn, khoảng 80.000 mô hình lập thể cần được đo để tạo DEM. Nếu chỉ bay chụp ở tỷ lệ 1/6000 này cho các vùng có nguy cơ ngập lụt với diện tích 18500 km² như trên hình P1.5 của Phụ lục 1 thì chi phí bay chụp và khối lượng đo vẽ nội nghiệp sẽ bằng khoảng 1/2 các con số nêu trên. Hơn nữa tại các vùng thực phủ dày, độ chính xác của DEM thành lập bằng phương pháp đo vẽ ảnh chỉ đạt khoảng 1/4 chiều cao của cây [18].

Giải pháp đo đạc trực tiếp, do đó được lựa chọn. Giải pháp này cho phép thành lập DEM với độ chính xác cao cỡ decimet. Theo logic, đo thủy chuẩn là phương pháp chặt chẽ nhất vì khi đo thủy chuẩn thì tia ngắm sẽ vuông góc với hướng của trọng lực, do đó song song với độ dốc cục bộ của geoid. Nói một cách khác để kiểm tra, giám sát hiện tượng “nước chảy chỗ trũng - chảy từ chỗ cao xuống chỗ thấp hơn” thì đo thủy chuẩn là phương pháp hữu hiệu nhất. Tuy nhiên, nếu đo thủy chuẩn dày đặc, dày bằng mật độ các điểm lấy mẫu tạo DEM (100 - 200 m/điểm) thì khối lượng công việc sẽ rất lớn, thời gian thực hiện dài. Hơn nữa các điểm lấy mẫu tạo DEM yêu cầu phải có cả tọa độ và độ cao trong khi kết quả đo thủy chuẩn chỉ là độ cao. Muốn có tọa độ phải kết hợp đo, chẳng hạn GPS hay toàn đạc điện tử.

Do vậy, một giải pháp kết hợp được đưa ra, cho phép đo DEM nhanh hơn mà vẫn có khả năng đạt độ chính xác cần thiết, đó là kết hợp đo GPS-RTK và thủy chuẩn. Ngoài ra nó còn cho phép: 1) cập nhật, hoàn chỉnh và hiện đại hóa hệ thống độ cao vùng ĐBSCL; 2) làm chính xác hóa mô hình geoid vùng ĐBSCL và hy vọng trong tương lai cho phép tính chuyển từ độ cao trắc địa sang độ cao thủy chuẩn với độ chính xác ít nhất tương đương hạng IV. Phương pháp kết hợp này cũng đã được áp dụng tại nhiều nước như Mỹ, Úc, Pháp [5; 6; 28]. Phương pháp này được miêu tả chi tiết trong chương 3.

CHƯƠNG 3: PHƯƠNG PHÁP KẾT HỢP CÔNG NGHỆ GPS-RTK VÀ ĐO THỦY CHUẨN HÌNH HỌC ĐỂ THÀNH LẬP DEM

3.1 Đo độ cao bằng công nghệ GPS

3.1.1 Tổng quan

Hệ thống định vị toàn cầu (GPS) không trực tiếp đo được độ cao thủy chuẩn mà tính tọa độ của điểm cần đo trong hệ tọa độ địa tâm WGS84 (X, Y, Z). Tọa độ địa tâm này sau đó được tính chuyển sang vĩ độ, kinh độ (B, L) và độ cao trắc địa H so với mặt ellipsoid WGS84. Để có thể sử dụng các tọa độ này trong hệ tọa độ địa phương hay quốc gia thì phải tiến hành hai phép tính chuyển khác nhau là tính chuyển mặt bằng và tính chuyển độ cao. Việc tính chuyển mặt bằng đơn giản hơn tính chuyển độ cao. Hơn nữa, hiện tại và trong tương lai nhiều quốc gia đã và sẽ chuyển sang sử dụng hệ quy chiếu địa tâm tương thích với WGS84 trong đo đạc bản đồ. Do đó, công tác tính chuyển mặt bằng có thể trở nên không cần thiết nữa.

Trái với tọa độ mặt bằng, độ cao trắc địa H, được đo bằng GPS hầu như không thể sử dụng được cho các mục đích đo đạc, xây dựng hay các ứng dụng địa vật lý vì nó không có ý nghĩa vật lý (ellipsoid đơn thuần là một bề mặt hình học). Chẳng hạn như nếu sử dụng độ cao trắc địa thì sẽ có thể xảy ra hiện tượng nước chảy ngược (chảy từ nơi có độ cao nhỏ hơn sang nơi có độ cao lớn hơn) do không tính đến lực vật lý của trọng trường trái đất. Do đó, việc chuyển đổi (tính chuyển) độ cao trắc địa sang độ cao thủy chuẩn luôn luôn là cần thiết. Việc tính chuyển này thường dựa trên độ lệch giữa mặt geoid và mặt ellipsoid WGS84, hay còn gọi là độ cao Geoid.

Định nghĩa truyền thống của Gauss-Listing về Geoid trọng lực là bề mặt đẳng thế của trường trọng lực trái đất và trùng với mực nước biển trung bình. Định nghĩa này, xét một cách chặt chẽ, là không hoàn toàn chính xác vì mực nước biển trung bình có thể chênh so với bề mặt đẳng thế tới 2 m do các hiện tượng khác nhau của đại dương như sự thay đổi về nhiệt độ, độ mặn nước biển và một số yếu tố khác. Geoid trọng lực được sử dụng như là một bề mặt quy chiếu cho độ cao thủy chuẩn. Trên thực tế geoid trọng lực không nhất thiết phải trùng với hệ độ cao được áp dụng tại từng quốc gia cụ thể [7; 28; 33].

Trong trường hợp này giải pháp khá phổ biến ở nhiều nước là làm khớp mô hình geoid trọng lực với mô hình geoid hình học (được xác định khi có dữ liệu GPS

đo trùng vào các điểm thủy chuẩn). Một ví dụ mới nhất là mô hình GEOID03 của Mỹ - kết quả của việc làm khớp mô hình geoid trọng lực USGG2003 với mô hình geoid hình học, dựa trên các giá trị độ cao trắc địa đo được bằng GPS và đo trùng vào các điểm thủy chuẩn [28]. GEOID03, do đó được gọi là mô hình geoid kết hợp (hybrid geoid model). Ở các nước khác các mô hình geoid được thiết lập theo cách này cũng đã được đề cập, chẳng hạn như Pháp [16 - được trích dẫn trong 4] hay Úc [4]. Đó cũng là nội dung chủ yếu của phương pháp kết hợp được nêu trong đề tài này.

Mô hình geoid kết hợp cho phép tính chuyển độ cao đo được bằng GPS (độ cao trắc địa) sang độ cao thủy chuẩn địa phương một cách trực tiếp và hiệu quả hơn. Ở một số nước, chẳng hạn như Mỹ, trong vòng hơn 10 năm trở lại đây đã liên tục thiết lập các mô hình geoid (bao gồm 2 loại: geoid trọng lực và geoid kết hợp). Geoid trọng lực chủ yếu phục vụ các mục đích nghiên cứu khoa học trong trắc địa, địa vật lý và hải dương học còn geoid kết hợp được dùng để chuyển độ cao trắc địa sang độ cao thủy chuẩn. Đó là tư tưởng chủ đạo của Chương trình hiện đại hoá độ cao ở Mỹ [25]. Mỗi khi có thêm các dữ liệu đo trọng lực, đo GPS hay đo thủy chuẩn thì các mô hình geoid này lại được làm chính xác hóa thêm [28]. Trong các phần còn lại của đề tài này chỉ tập trung vào mô hình geoid kết hợp để tính độ cao thủy chuẩn từ kết quả đo cao bằng GPS.

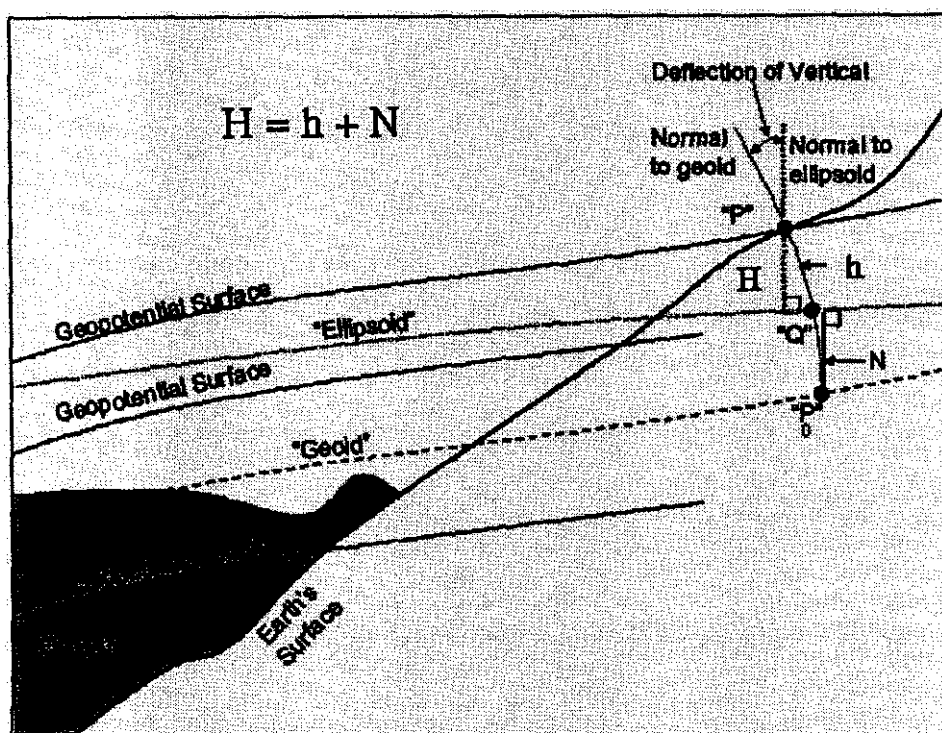
3.1.2 Độ cao trắc địa (H), độ cao thủy chuẩn (h) và các bề mặt quy chiếu tương ứng

Ứng dụng chính của mô hình Geoid trong trắc địa là chuyển từ độ cao trắc địa H (đo được bằng GPS) sang độ cao thủy chuẩn h (orthometric height).

Độ cao trắc địa H (ellipsoidal heights) được tính dựa trên một mô hình hình học (ellipsoid), do đó H là một đại lượng thuần túy hình học và nó không có liên quan tới trường trọng lực Trái đất. Độ cao này được tính từ bề mặt ellipsoid WGS84 (khi được đo bằng GPS) tới điểm cần xác định độ cao, dọc theo một đường thẳng vuông góc với bề mặt ellipsoid tại điểm đó. Hệ quy chiếu ellipsoid phù hợp cho việc theo dõi vệ tinh.

Độ cao thủy chuẩn là một đại lượng có ý nghĩa vật lý vì nó liên quan chặt chẽ với trường trọng lực trái đất. Độ cao này được tính từ bề mặt geoid tới điểm cần xác định độ cao, dọc theo hướng dây dọi (hướng dây dọi là một đường cong) - hình 3.1.

Trường trọng lực có thể được minh họa bằng một tập hợp các bề mặt đẳng thế, tuy không cắt nhau nhưng cũng không hoàn toàn đồng đều và song song với nhau. Một trong số các bề mặt đẳng thế này khớp gần đúng nhất với mực nước biển trung bình được gọi là Geoid. Sự khác nhau giữa Geoid và hệ độ cao có thể xảy ra tùy thuộc vào việc chọn độ cao nghiệm triều nào tốt nhất để đại diện cho mực nước biển trung bình. Mô hình Geoid (nói chung) là độ chênh giữa một mặt ellipsoid cụ thể và một gốc chuẩn độ cao cụ thể. Độ cao Geoid, hay giá trị N là một hàm diễn đạt trường trọng lực Trái đất. Độ cao N được đo từ bề mặt WGS84 tới bề mặt Geoid, dọc theo một đường thẳng vuông góc với bề mặt ellipsoid (hình 3.1).



Hình 3.1: Mối quan hệ giữa độ cao trắc địa H và độ cao thủy chuẩn h

Mô hình geoid trọng lực có thể được xác định bởi nhiều nguồn thông tin của trường trọng lực, thường bao gồm: mô hình số độ cao, mô hình trọng lực toàn cầu và các trị đo trọng lực trên đất liền, trên không và trên biển. Thông thường khối lượng dữ liệu để tạo mô hình geoid trọng lực là rất lớn.

Một phương pháp thông dụng để tính toán mô hình geoid (kết hợp) là lấy độ chênh trực tiếp giữa độ cao GPS và độ cao thủy chuẩn. Mô hình này có thể được xây dựng nếu như có giá trị độ cao geoid từ hai nguồn: từ mô hình geoid trọng lực và từ dữ liệu đo GPS trùng vào các điểm có độ cao thủy chuẩn. Mô hình geoid kết hợp này vừa giữ được đặc tính bước sóng dài của geoid trọng lực vừa được hiệu chỉnh để

làm khớp với hệ độ cao địa phương, thể hiện thông qua các điểm có độ cao thủy chuẩn. Các điểm độ cao thủy chuẩn này có vai trò như các điểm khống chế cho việc làm khớp này.

3.1.3 Các phương pháp xác định độ cao thủy chuẩn chính xác từ kết quả đo GPS

Độ cao trắc địa H được chuyển đổi sang độ cao thủy chuẩn h theo công thức sau:

$$h = H - N \quad (3.1)$$

Trong đó N là độ chênh cao giữa bề mặt geoid và bề mặt ellipsoid (độ cao geoid).

Tuy đơn giản về hình thức nhưng trên thực tế việc áp dụng công thức (3.1) có những vấn đề sau [13]: 1) Sai số ngẫu nhiên trong H, h và N; 2) Chênh lệch của các hệ quy chiếu; 3) Sai số hệ thống và biến dạng gây ra chủ yếu bởi bước sóng dài của geoid, sai số mô hình hoá GPS (chẳng hạn khúc xạ tầng đối lưu) và sai số trong lưới thủy chuẩn; 4) Bỏ qua địa hình bề mặt biển, ảnh hưởng của số hiệu chỉnh lưu lượng nước sông tới giá trị các trạm nghiệm triều; 5) Số hiệu chỉnh gần đúng hoặc không chính xác của độ cao chuẩn; 6) Tính không ổn định của các mốc thủy chuẩn theo thời gian do các ảnh hưởng địa động học và chuyển dịch bề mặt đất.

Hơn nữa, công thức (3.1) thường không trực tiếp được áp dụng trong công tác đo đạc. Lý do là trên thực tế người ta thường thực hiện các phép đo GPS tương đối (relative) để có được chênh cao trắc địa so với trạm tĩnh. Chẳng hạn, khi thực hiện phép đo GPS tương đối với hai máy thu đặt tại hai điểm: trạm tĩnh B (đã biết độ cao thủy chuẩn) và điểm I (cần xác định độ cao thủy chuẩn) có thể thiết lập các phương trình sau dựa trên công thức (3.1):

$$h_I = H_I - N_I$$

$$h_B = H_B - N_B$$

Trong đó: h_I , H_I và N_I tương ứng là độ cao thủy chuẩn, độ cao trắc địa và độ cao geoid tại điểm I; h_B , H_B và N_B tương ứng là độ cao thủy chuẩn, độ cao trắc địa và độ cao geoid tại điểm B.

$$\text{Do đó } h_I - h_B = (H_I - H_B) - (N_I - N_B) \quad (3.2)$$

$$\text{Hay } h_I = h_B + (H_I - H_B) - (N_I - N_B) = h_B + (\Delta H_{IB} - \Delta N_{IB}) \quad (3.3)$$

Trong đó ΔH_{IB} là hiệu độ cao trắc địa và ΔN_{IB} là hiệu độ cao geoid giữa hai điểm I, B. Trong các phương trình (3.2) và (3.3) thì h_B là độ cao thủy chuẩn đã biết tại trạm tĩnh (base).

Featherstone và các tác giả khác [9] miêu tả và phân tích hai phương pháp chủ yếu để tính chuyển độ cao trắc địa H sang độ cao thủy chuẩn h . Đó là sử dụng mô hình geoid trọng lực (phương pháp trọng lực) và nội suy giữa các điểm có đo GPS trùng vào các mốc thủy chuẩn (phương pháp hình học).

3.1.3.1 Phương pháp trọng lực

Phương pháp này thường được áp dụng tại những nước đã có mô hình geoid trọng lực chính xác, chẳng hạn như Mỹ, Đức, Đan Mạch. Tuy nhiên hiện nay phương pháp này mới chỉ có thể được áp dụng tại một số nước phát triển. Bảng 3.1 tóm tắt các ưu điểm và nhược điểm của phương pháp này.

Bảng 3.1: Ưu điểm và nhược điểm của phương pháp trọng lực

Ưu điểm	Nhược điểm
1. Không cần có lưới khống chế độ cao trong khu vực đo GPS 2. Phương pháp trọng lực cung cấp mô hình geoid trên một vùng rộng lớn, có thể phủ trùm toàn quốc.	1. Độ chính xác của geoid trọng lực thường khó đánh giá và thay đổi theo vị trí. 2. Chịu ảnh hưởng kết hợp của cả sai số đo cao GPS và sai số của mô hình geoid trọng lực 3. Có độ lệch giữa độ cao thủy chuẩn của các mốc thủy chuẩn và độ cao tính được theo mô hình geoid trọng lực. 4. Độ phân giải của geoid trọng lực bị giới hạn bởi mật độ của dữ liệu trọng lực và dữ liệu địa hình.

Mô hình Geoid trọng lực, theo định nghĩa truyền thống, là một bề mặt đẳng thế, có thể được tính từ các dữ liệu đo trọng lực thông qua phép tích phân Stokes. Kết quả tính toán phụ thuộc vào việc khai triển và giải tích phân Stokes và giải bài toán giá trị biên. Geoid trọng lực, theo nghĩa truyền thống này đóng một vai trò nền tảng trong các môn khoa học như trắc địa, hải dương học hay địa vật lý. Nó cũng đóng một vai trò sống còn trong việc thống nhất hệ độ cao toàn cầu [4].

Tuy nhiên, trên thực tế geoid trọng lực thường không trùng với hệ độ cao đang được sử dụng tại nhiều quốc gia [7]. Hơn nữa, việc xác định geoid trọng lực khó có thể được xem là hoàn hảo do bị ảnh hưởng của nhiều nguồn sai số. Ba trong số các nguồn sai số này được tóm tắt như sau. Thứ nhất là các lý thuyết và phương trình sử dụng trong tính toán geoid trọng lực có chứa một số phép gần đúng và các

giả sử. Điều này làm cho kết quả tính không thật chính xác. Thứ hai là các hệ số thể năng toàn cầu, được sử dụng làm cơ sở cho việc tính toán các geoid tại các vùng lãnh thổ hay các quốc gia, có chứa sai số bước sóng dài và không thể khử hết được bằng các dữ liệu trọng lực địa phương [34]. Thứ ba là bản thân các dữ liệu trọng lực và độ cao sử dụng để tính dị thường trọng lực cũng chứa sai số, các sai số này lan truyền vào tất cả các thành phần của geoid trọng lực.

3.1.3.2 Phương pháp hình học

Nếu như trong phương pháp trọng lực, GPS được kết hợp với mô hình Geoid trọng lực để tính toán độ cao thủy chuẩn thì trong phương pháp hình học, GPS và độ cao thủy chuẩn tại các mốc thủy chuẩn được sử dụng để tính độ cao Geoid tại các điểm rời rạc thông qua việc biến đổi phương trình (3.1).

Giả sử rằng Geoid có thể được miêu tả gần đúng bằng một mặt phẳng trên một khu vực tương đối nhỏ. Tùy thuộc vào sự biến đổi có tuyến tính hay không của độ dốc geoid mà diện tích khu vực có thể chọn lớn nhỏ khác nhau, trung bình khoảng $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$. Khi đó có thể áp dụng phép nội suy tuyến tính để tính độ cao Geoid. Bằng cách đồng thời đo trùng GPS vào hai mốc thủy chuẩn A và B, độ cao trắc địa tại một điểm X nằm trên đoạn AB có thể được tính chuyển về độ cao thủy chuẩn như sau:

$$h_X = h_A + \Delta H_{AX} - \frac{l_{AX}}{S_{AB}} \Delta N_{AB} \quad (3.4)$$

Trong đó S_{AB} là khoảng cách giữa hai mốc thủy chuẩn A và B, l_{AX} là khoảng cách từ mốc A tới điểm cần xác định độ cao X. Hai khoảng cách này có thể tính được trong hầu hết các phần mềm của các nhà cung cấp máy thu GPS trắc địa.

Tuy nhiên, công tác đo GPS hiếm khi được thực hiện dọc theo một đoạn AB như trên. Do đó, phương trình (3.4) có thể được biến đổi cho một mặt phẳng:

$$H - h = N = N_0 + N_1 e + N_2 n \quad (3.5)$$

Trong đó các hệ số N_0 là độ lệch; N_1 và N_2 là độ dốc của mặt phẳng geoid so với bề mặt WGS84; e và n là các tọa độ theo trục X và Y trong một hệ tọa độ mặt phẳng nào đó. Để xác định 3 hệ số N_0 , N_1 và N_2 cần thiết phải đo GPS trùng với ít nhất 3 điểm mốc thủy chuẩn bao quanh khu đo. Phương trình (3.5) được thiết lập tại mỗi mốc thủy chuẩn này và hệ phương trình được giải theo công thức sau:

$$\begin{bmatrix} N_0 \\ N_1 \\ N_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & e_A & n_A \\ 1 & e_B & n_B \\ 1 & e_C & n_C \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} (H-h)_A \\ (H-h)_B \\ (H-h)_C \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Trong phương trình (3.6) các ký hiệu viết ở dưới (A, B và C) để chỉ 3 mốc thủy chuẩn A, B và C. Sau khi các hệ số N_0 , N_1 và N_2 được xác định, chúng sẽ được sử dụng trong phương trình (3.7) dưới đây. Phương trình (3.7) là sự kết hợp giữa phương trình (3.1) và (3.5):

$$h_X = h_A + \Delta H_{AB} - N_A + N_0 + N_1 e_X + N_2 n_X \quad (3.7)$$

Nếu trạm A được chọn sao cho $N_A = N_0$ thì phương trình (3.7) sẽ được rút gọn như sau:

$$h_X = h_A + \Delta H_{AB} + N_1 e_X + N_2 n_X \quad (3.8)$$

Nếu sử dụng nhiều hơn 3 mốc thủy chuẩn, hệ phương trình (3.6) sẽ được giải theo nguyên lý bình phương tối thiểu. Tuy nhiên, nếu có thêm nhiều mốc thủy chuẩn thì mô hình Geoid có thể được mô hình hóa bằng các hàm đa thức bậc thấp [5; 28]. Featherstone và các tác giả [9] đã nêu một số điểm chính cần lưu ý khi áp dụng phương pháp nội suy hình học để xác định độ cao thủy chuẩn từ kết quả đo GPS như sau:

1. Độ cao geoid hình học thu được có độ chính xác phụ thuộc vào độ chính xác của kết quả đo GPS và độ chính xác độ cao tại các mốc thủy chuẩn.
2. Độ chính xác của phương pháp này có thể cao hơn phương pháp trọng lực ở một số khu đo có diện tích nhỏ hơn độ phân giải của mô hình geoid trọng lực (khu vực có dữ liệu đo trọng lực thưa).
3. Phép nội suy chỉ có thể được áp dụng trong vùng được bao bọc bởi các điểm mốc thủy chuẩn. Ở ngoài vùng này kết quả sẽ kém chính xác vì đó là phép ngoại suy.
4. Phải có các phép kiểm tra độc lập để đảm bảo rằng mô hình bề mặt được chọn để mô tả geoid trong khu đo là phù hợp. Trong trường hợp mô hình là mặt phẳng, 4 (hoặc nhiều hơn) mốc độ cao nên được sử dụng, trong đó 3 để xác định mặt phẳng và các mốc còn lại dùng để kiểm tra.

Các ưu điểm và nhược điểm chính của phương pháp hình học được tóm tắt trong bảng 3.2 [9]:

Bảng 3.2: Ưu điểm và nhược điểm chính của phương pháp hình học

Ưu điểm	Nhược điểm
1. Phương pháp hình học đảm bảo rằng độ cao đo GPS tương thích (khớp tốt nhất) với độ cao thủy chuẩn của khu vực đo. 2. Phương pháp này có thể mô hình hoá chính xác bề mặt geoid tại các vùng nhỏ bởi các hàm đa thức.	1. Phương pháp này chịu ảnh hưởng của sai số đo cao GPS (độ cao trắc địa) và sai số độ cao thủy chuẩn tại các mốc. Các sai số này được cộng với nhau và lan truyền trong quá trình nội suy. 2. Phương pháp này giả sử rằng geoid được mô hình hóa chính xác bằng mặt phẳng hoặc các hàm đa thức bậc thấp.

3.1.4 Phương pháp kết hợp trọng lực và hình học

Sau khi miêu tả và phân tích các ưu điểm và nhược điểm của hai phương pháp trọng lực và hình học nêu trên, cũng như đặt mục đích chính là áp dụng GPS để xác định độ cao thủy chuẩn sao cho khớp tốt nhất với độ cao thủy chuẩn tại các mốc đã có. Featherstone và các tác giả [9] đã đề xuất một phương pháp được gọi là phương pháp kết hợp trọng lực - hình học. Phương pháp này được chúng tôi áp dụng cho khu vực thử nghiệm của đề tài. Các nội dung chính của phương pháp này như sau:

1. Đo độ cao trắc địa H bằng GPS trùng vào ít nhất 3 điểm mốc thủy chuẩn bao quanh khu đo để có thể mô hình hóa phép chuyển đổi bằng một mặt phẳng. Ở các khu vực mà giá trị độ cao Geoid N biến đổi phức tạp có thể phải đo tại nhiều hơn 3 điểm mốc thủy chuẩn để kiểm tra hoặc để mô hình hóa phép chuyển đổi bằng một hàm đa thức.
2. Lấy giá trị độ cao Geoid N_{TL} từ mô hình Geoid trọng lực tại tất cả các điểm có đo trùng GPS. Ở nước ta hiện nay có thể sử dụng mô hình Geoid trọng lực 3'x3' [24].
3. Lấy độ cao trắc địa đo bằng GPS (H) trừ đi N_{TL} tại tất cả các điểm đo theo phương trình (3.1).
4. Tính độ lệch giữa độ cao geoid trọng lực N_{TL} và độ cao geoid hình học N_{GPS-TC} tại các điểm mốc thủy chuẩn theo công thức sau:

$$N_{GPS-TC} - N_{TL} = H - h - N_{TL} = \Delta N$$

Trong đó: N_{GPS-TC} là độ cao geoid hình học: $N_{GPS-TC} = H - h$;

CHƯƠNG 3: PHƯƠNG PHÁP KẾT HỢP CÔNG NGHỆ GPS-RTK VÀ ĐO THỦY CHUẨN HÌNH HỌC ĐỂ THÀNH LẬP DEM

H là độ cao trắc địa được xác định bằng đo GPS;

h là độ cao hình học được xác định bằng đo thủy chuẩn;

ΔN là độ lệch giữa độ cao geoid trọng lực và độ cao geoid hình học.

5. Sử dụng phương pháp hình học để xác định bề mặt mô tả các độ lệch ΔN này dựa trên các điểm mốc thủy chuẩn (điểm khống chế) bao quanh khu đo theo các công thức từ (3.4) đến (3.6), hoặc mô hình hoá độ lệch ΔN bằng các hàm đa thức.
6. Nội suy các độ lệch ΔN cho tất cả các điểm khác được đo GPS trong khu đo để tính độ cao thủy chuẩn theo các công thức (3.7) và (3.8).
7. Sử dụng thêm một số điểm kiểm tra để xác định xem phương pháp này cho kết quả độ cao chính xác hơn các phương pháp trọng lực và hình học riêng biệt tại khu đo hay không.

Ưu điểm lớn nhất của phương pháp này là các độ lệch cục bộ giữa độ cao geoid trọng lực N_{TL} và độ cao geoid hình học N_{GPS-TC} đều được khử hoặc giảm tối thiểu thông qua quá trình làm khớp (bước 5). Kết quả là các giá trị độ cao trắc địa H được xác định bằng đo GPS có thể được tính chuyển với sai số khớp nhỏ nhất so với hệ độ cao địa phương. Bằng thực nghiệm nhiều tác giả [9; 13; 28] đã chứng minh rằng phương pháp kết hợp này, mà trọng tâm là việc làm khớp mô hình geoid trọng lực với mô hình geoid hình học, cho phép phát hiện và khử các sai số cục bộ, mô hình hóa và khử các sai số hệ thống hay độ lệch giữa mô hình geoid trọng lực và hệ độ cao địa phương trong khu đo. Hơn nữa, mô hình Geoid trọng lực cung cấp các thông tin với bước sóng lớn hơn mật độ dữ liệu địa hình và trọng lực dùng để tính toán nó (Geoid). Nếu giãn cách giữa các điểm thủy chuẩn được đo trùng GPS nhỏ hơn độ phân giải của mô hình Geoid thì các điểm này có thể hạn chế được sai số tương ứng với bước sóng nêu trên và thêm vào thông tin tương ứng với mật độ điểm thủy chuẩn.

Phương pháp này được chúng tôi áp dụng trong phần thực nghiệm để đo lưới GPS nhằm xác định độ cao của trạm base và các điểm dùng để thực hiện phép “site calibration” - quy chuẩn hệ thống tọa độ và độ cao giới hạn khu đo.

3.2 Công nghệ GPS - RTK và công tác đo điểm độ cao để thành lập DEM có độ chính xác cao.

Các quan điểm ứng dụng cơ bản của công nghệ GPS - RTK được phát triển ngay từ đầu những năm 1980 bởi Ben Remondi (Mỹ). Trong 10 năm trở lại đây

công nghệ này đã phát triển nhanh chóng và ngày nay hầu như tất cả các nhà sản xuất máy thu GPS đều cung cấp công nghệ đo GPS - RTK cho khách hàng với các ứng dụng trong xây dựng các công trình dân dụng, đo khoanh bao ranh giới... Lý do chủ yếu là công nghệ này cung cấp một phương pháp đo hiệu quả với khả năng định vị gần như tức thời, cho phép đo một số lượng điểm lớn trong một khoảng thời gian ngắn nhất. Công nghệ này cũng được ứng dụng để đo độ cao dọc theo các mặt cắt hay thành lập mô hình số độ cao. Theo [33] thì công nghệ này đã được áp dụng trong việc đo độ cao và mặt cắt đê, đường bờ nước, đo mô hình số độ cao DEM phục vụ các nghiên cứu thủy văn và thủy lực. Cũng theo tài liệu này thì công nghệ GPS - RTK có thể cho phép xác định độ cao với độ chính xác 1 dm hoặc thậm chí cao hơn tại các vùng bằng phẳng. Cụ thể là nếu sử dụng các máy thu GPS loại Geodetic chất lượng cao để đo GPS-RTK, với khoảng cách tới trạm base nhỏ hơn 10 km có thể cho độ chính xác về mặt bằng từ 1 đến 3 cm, về độ cao từ 3 đến 10 cm. Ở các nước khác chẳng hạn như Úc công nghệ GPS - RTK cũng đã được ứng dụng rộng rãi để thành lập DEM có độ chính xác cao. Featherstone và Stewart [10] đã đưa ra một ví dụ từ công tác đo đạc thực tế, đánh giá độ chính xác thành lập DEM trong xây dựng đường giao thông với độ chính xác 5,3 cm (2σ).

Ở nước ta cũng đã có một số ứng dụng đo GPS động (trong đó có GPS-RTK) trong công tác đo đạc bản đồ địa chính tỷ lệ từ 1: 1 000 đến 1: 10 000 [26]. Trong tài liệu này cũng có nêu kết quả đo kiểm tra độ chính xác thực tế của phương pháp đo GPS-RTK theo một số cạnh đáy tại một bãi kiểm nghiệm với chiều dài cạnh từ 24 đến 912 mét. Sai số đo chênh cao bằng GPS-RTK trên các cạnh đáy này là từ 1 đến 5 cm.

3.2.1 Hệ thống thiết bị đo GPS - RTK (đo động thời gian thực).

Hệ thống thiết bị đo GPS-RTK bao gồm một trạm tĩnh (base station) và một hay nhiều trạm động (rover). Chi tiết của hệ thống thiết bị này được nêu khá rõ trong [26]. Các máy thu GPS phải thỏa mãn yêu cầu xử lý thông tin đo sóng mang trong thời gian thực. Công tác đo đạc GPS-RTK đòi hỏi phải có các máy thu hai tần số L_1/L_2 . Trạm tĩnh phải được đặt tại điểm đã biết tọa độ và cả độ cao nếu như muốn đo tăng dày độ cao ngoài thực địa. Trạm tĩnh phải có khả năng thu thập các dữ liệu giả cự ly và sóng mang của vệ tinh GPS. Để giảm thiểu hiện tượng đa tuyến cần

phải có ăng ten chất lượng cao. Các máy thu phải có khả năng thu với tần suất 1 giây/1 trị đo hoặc cao hơn.

Bộ xử lý tại trạm tĩnh sẽ tính toán các số cải chính giả cự ly và sóng mang và mã hoá sau đó được truyền sang cho trạm động nhờ sóng radio. Do đó, tọa độ của trạm động có thể được xác định trong thời gian thực. Hệ tọa độ của trạm động phải trùng với hệ tọa độ của trạm tĩnh, trong trường hợp đo cao phải tính đến các thay đổi của độ cao geoid giữa trạm tĩnh và trạm động.

Radio link cho đo GPS - RTK đòi hỏi tốc độ truyền dữ liệu tối thiểu là 4800 baud (baud là đơn vị tốc độ điện báo được tính bằng số phần tử mã trong một giây). Tốc độ truyền dữ liệu cao như vậy loại bỏ nhiều hệ thống phát tần số thấp và giới hạn vùng phủ sóng. Các hệ thống có tần số thông tin VHF và UHF rất phù hợp với tốc độ truyền dữ liệu này. GPS - RTK rất hiếm khi được sử dụng cho một khu đo với bán kính lớn hơn 20 km so với trạm tĩnh.

3.2.2 Kỹ thuật đo GPS - RTK ngoài thực địa.

Công tác đo GPS-RTK đòi hỏi phải có các trị đo GPS hai tần L_1/L_2 , tuy nhiên cho phép mất tín hiệu vệ tinh giữa hai lần đo. Vì GPS-RTK sử dụng cả tần số L_2 cho nên máy thu GPS phải có khả năng thu được tần số L_2 ngay cả trong trường hợp có A/S. Có một số kỹ thuật để có thể có được sóng L_2 trong khi có A/S. Theo [33] các kỹ thuật đó là: bình phương (squaring) và tương quan chéo (cross correlation).

a. Xác định số đa trị nguyên N

Nếu máy thu GPS được trang bị kỹ thuật khởi đo ngay trong quá trình chuyển động (OTF initialization technology) thì trạm động có thể được khởi đo và giải số đa trị nguyên N mà không cần phải khởi động tĩnh. Kỹ thuật OTF cho phép khởi động lại để xác định trị N (nếu bị mất tín hiệu vệ tinh) ngay trong quá trình chuyển động. OTF thường có thể xác định số đa trị nguyên N tại trạm động trong vòng 10 - 30 giây, tùy theo khoảng cách tới trạm base. OTF sử dụng tần số L_2 để giải trị nguyên N. ít nhất phải có 5 vệ tinh để xác định N và sau đó là 4 vệ tinh để đo. Sau khi trị N được xác định thì chỉ có L_1 và C/A được sử dụng để tính toán vị trí.

Nếu không có kỹ thuật OTF thì việc khởi động phải được thực hiện tại một điểm đã biết tọa độ và luôn luôn phải quan sát được ít nhất 4 vệ tinh. Nếu mất tín hiệu vệ tinh thì phải khởi động lại.

b. Quá trình đo.

Đo GPS -RTK có kỹ thuật OTF đòi hỏi phải có các máy thu GPS hai tần số. Một máy thu đặt cố định ở trạm tĩnh (trạm base) đã biết tọa độ và các máy khác chuyển động. Ngoài ra còn phải có thiết bị truyền dữ liệu (data link) và bộ xử lý (processor) bên trong hay bên ngoài để có thể đo được trong thời gian thực. Bộ truyền dữ liệu được sử dụng để truyền các dữ liệu thô từ trạm tĩnh đến trạm động. Nếu mất tín hiệu radio, có thể tính toán tọa độ bằng chế độ xử lý sau, chẳng hạn như tùy chọn “Infill” của hãng Trimble.

c. Độ chính xác của phép đo độ cao bằng GPS - RTK

Theo [33] độ chính xác của phép đo độ cao bằng GPS-RTK là từ 3 - 10 cm (3D base line) khi khoảng cách từ trạm tĩnh tới trạm động không vượt quá 10 km.

3.3 Các yếu tố ảnh hưởng tới độ chính xác đo độ cao bằng GPS - RTK

3.3.1 Sai số xác định độ cao trắc địa H bằng GPS

Trong đo GPS thì độ cao H thường kém chính xác hơn tọa độ mặt bằng từ 1,5 đến 2 lần [9]. Các nguồn sai số xác định độ cao trắc địa H có thể được phân ra làm 3 nhóm: sai số liên quan đến vệ tinh; sai số truyền tín hiệu; sai số liên quan đến máy thu và xử lý kết quả.

1) Sai số do đồ hình và quỹ đạo vệ tinh

a. Chỉ số suy giảm độ chính xác: PDOP, VDOP

Cấu trúc hình học của phép định vị GPS về bản chất là yếu hơn về độ cao (so với mặt bằng) vì tất cả các vệ tinh đều nằm bên trên ăngten máy thu. Hầu hết các thiết bị đo GPS-RTK đều yêu cầu có ít nhất 6 vệ tinh với PDOP nhỏ, thường nhỏ hơn 6 để xác định số đa trị nguyên N. Featherstone và Stewart [10] đề xuất nên đo GPS - RTK với 6 vệ tinh và với giá trị PDOP < 7. Về khả năng quan sát vệ tinh thì mặc dù đã được cải thiện rất nhiều nhưng theo Bộ Quốc phòng Mỹ thì ngay cả khi tầm nhìn bầu trời là tối ưu hệ thống GPS cũng chỉ phủ được toàn cầu với tối thiểu 4 vệ tinh có PDOP không lớn hơn 6 trong 99.90% thời gian. Như vậy là thậm chí trong các điều kiện tối ưu thì GPS-RTK vẫn không thể được sử dụng với độ chính xác ổn định ở mọi lúc, mọi nơi và trong mọi điều kiện môi trường.

b. Sai số quỹ đạo vệ tinh

Độ chính xác của phép đo GPS-RTK thường có xu hướng giảm khi khoảng cách giữa trạm tĩnh và trạm động tăng lên mà nguyên nhân chủ yếu là do ảnh hưởng khúc xạ của bầu khí quyển. Khi chiều dài cạnh đáy tăng lên thì các ảnh hưởng này không bị khử hết thông qua các thuật toán tính phân sai. Với các cạnh đáy dài thì

phần mềm xử lý GPS-RTK khó có thể giải trị nguyên N hơn và do đó đòi hỏi thời gian đo dài hơn. Độ nhiễu tăng lên làm giảm độ tin cậy của việc xác định số đa trị nguyên N fixed và do đó làm tăng khả năng xác định sai trị N. Với khoảng cách dài thì radio link trở nên khó khăn hơn và có thể làm cho việc đo GPS-RTK không thực hiện được.

Featherstone và các tác giả [9] có trích dẫn mối liên hệ gần đúng giữa chiều dài của cạnh đáy b và độ chính xác σ_b như sau:

$$\frac{\sigma_b}{b} \approx \frac{\sigma_\rho}{\rho}$$

Trong đó ρ là độ cao của vệ tinh, σ_ρ là sai số xác định độ cao vệ tinh. Có thể coi $\rho \approx 20200$ km và $\sigma_\rho \approx \pm 2,6$ m nếu sử dụng lịch vệ tinh dự báo (broadcast ephemeris). Do đó sai số xác định độ cao vào khoảng $\pm 0,13$ ppm (mm/km) của chiều dài cạnh đáy.

2) Sai số truyền tín hiệu qua bầu khí quyển

a) Ảnh hưởng của các tầng ion và tầng đối lưu

Các tầng ion và tầng đối lưu của bầu khí quyển có ảnh hưởng xấu tới phép đo GPS. Ảnh hưởng này lớn nhất là trong xác định độ cao [9]. Các phép đo GPS hai tần số như trong GPS-RTK có thể loại bỏ gần hết ảnh hưởng khúc xạ của tầng ion, do tính chất của ảnh hưởng này là phân tán, bằng cách sử dụng các trị đo ionosphere - free (không phụ thuộc tầng ion). Tuy nhiên ảnh hưởng của tầng đối lưu là không phân tán và do đó không thể khử hết được với việc sử dụng các dữ liệu đo hai tần. Các mô hình tầng đối lưu, do đó, phải được sử dụng để khử ảnh hưởng này.

Mặc dầu vậy, các ảnh hưởng của bầu khí quyển có thể được giảm thiểu gần hết khi sử dụng phép đo phân sai, đặc biệt đối với các cạnh đáy ngắn. Dầu vậy, theo [9] thì việc xử lý ảnh hưởng của tầng đối lưu vẫn còn là một cản trở trong việc xác định độ cao trắc địa H với độ chính xác cao.

b) Hiện tượng đa tuyến và nhiễu điện từ

Hiện tượng đa tuyến xuất hiện khi tín hiệu GPS bị phản xạ từ các vật thể xung quanh trước khi tới được ăng ten của máy thu. Nhiễu điện từ xảy ra khi có một nguồn phát sóng làm “méo” tín hiệu GPS, hay làm ảnh hưởng tới hệ thống mạch điện của máy thu. Điều này có thể là một vấn đề trong đo GPS-RTK vì nó sinh ra độ lệch, đặc biệt khi phép đo được thực hiện trong một khoảng thời gian ngắn, thậm chí

có thể làm mất tín hiệu vệ tinh. Hiện nay giải pháp duy nhất là chọn đo tại các vị trí xa các vật thể có thể làm phản xạ tín hiệu, dùng các thiết bị gắn vào ăng ten để làm giảm hiện tượng đa tuyến, hay áp dụng các kỹ thuật lọc số. Trong trường hợp có nhiều điện từ thì việc chọn điểm đo khó khăn hơn. Chẳng hạn như một trạm phát vô tuyến với công suất 785 MHz có thể ảnh hưởng tới một máy thu GPS ở cách xa tới 15 km [9].

3) Sai số máy thu và phần mềm xử lý

a) Độ lệch của tâm pha ăng ten

Khi đo GPS vị trí được tính là tâm pha của ăng ten máy thu, sau đó phần mềm sẽ hiệu chỉnh vào điểm đo trên mặt đất. Tâm pha này không nhất thiết phải trùng với tâm hình học của ăng ten hay có vị trí cố định theo thời gian. Nó có thể thay đổi theo độ cao và phương vị của từng vệ tinh. Do đó nên luôn sử dụng ăng ten của một hãng và cùng một kiểu vì làm như vậy ảnh hưởng của tâm pha ăng ten có thể được làm giảm bớt đáng kể.

b) Fix số đa tuyến nguyên N

Đối với các phép đo tương đối sử dụng sóng mang cần thiết phải fix số đa trị nguyên N đúng với giá trị của nó để đảm bảo độ chính xác xác định độ cao. Số đa trị N này được tính toán bởi phần mềm GPS dựa trên các phép thống kê. Tất cả các phép xử lý dữ liệu GPS đều sử dụng các phép thử độ tin cậy thống kê để kiểm tra xem kết quả tính có tin cậy không. Tuy nhiên đôi khi các giả sử về bản chất của quá trình giải trị nguyên N lại là sai dẫn đến kết quả tính N sai. Việc xác định trị nguyên N sai hay xảy ra hơn trong đo GPS - RTK vì thời gian đo ngắn.

c) Ước tính sai số của phần mềm

Sai số đo GPS được tính trong các phần mềm xử lý là các sai số tương đối, chứ không phải sai số tuyệt đối. Các sai số hệ thống thường không được mô hình hoá. Kết quả là sai số được đưa ra bởi phần mềm có thể quá lạc quan, tức là nhỏ hơn một bậc so với sai số tuyệt đối. Chẳng hạn nếu sai số do phần mềm đưa ra là 1 cm thì sai số tuyệt đối có thể là 1 dm [10].

3.3.2 Sai số độ cao thủy chuẩn tại khu đo

Trong các phương pháp hình học (mục 3.1.3.2) và phương pháp kết hợp trọng lực và hình học (mục 3.1.4) độ cao thủy chuẩn tại một số điểm trong khu đo được sử dụng để mô hình hóa bề mặt geoid hình học hay đánh giá độ chênh cao (độ lệch) giữa geoid và hệ độ cao địa phương. Do đó để giảm thiểu nguồn sai số này nên sử

dụng các điểm thủy chuẩn hạng càng cao, càng tốt. Thông thường có các sai số hệ thống và ngẫu nhiên trong mạng lưới thủy chuẩn do tính chất của phương pháp đo thủy chuẩn. Các sai số này bao gồm sai số của máy đo, điều kiện thời tiết, áp suất không khí và sai số của quá trình tính toán.

3.3.3 Sai số mô hình geoid trọng lực

Độ chính xác của mô hình geoid trọng lực nói chung là khó đánh giá, nó thay đổi tùy theo vị trí và để lượng hóa được độ chính xác của nó cũng là việc không dễ. Hơn nữa không thể coi độ chính xác của geoid là đồng nhất. Mô hình geoid có thể được miêu tả chính xác tại một vùng và cho phép có được độ cao thủy chuẩn chính xác từ các phép đo GPS. Tuy nhiên tại một hay nhiều vùng khác thì lại không vì geoid có độ chính xác thấp. Phương pháp chính để kiểm tra độ chính xác của mô hình geoid trọng lực hiện nay là so sánh độ cao GPS với độ cao thủy chuẩn mà chính các độ cao này cũng chứa sai số.

Các yếu tố chính ảnh hưởng tới độ chính xác của mô hình geoid trọng lực là:

- Chất lượng và độ phân giải không gian (mật độ) của dữ liệu trọng lực, các hệ số thế năng trái đất và dữ liệu mô hình số độ cao sử dụng;
- Sự tính toán theo công thức của bài toán giá trị biên trong trắc địa cao cấp và các phép gần đúng áp dụng trong quá trình tính toán;
- Quá trình tính toán và phương pháp tính toán.

Hiện nay việc nghiên cứu làm giảm sai số của mô hình geoid trọng lực tới mức vài centimét, tương đương độ chính xác xác định độ cao trắc địa H bằng đo GPS đang tiếp tục diễn ra tại nhiều nước trên thế giới [8; 28]

3.3.4 Sai số của phương pháp đo GPS - RTK và của người đo

a. GPS -RTK được đo theo đồ hình toả tia.

Tọa độ tại trạm rover về bản chất là tọa độ cực, hay tọa độ treo vì không có đo khép. Các kỹ thuật đo đạc thực địa từ trước tới nay đều dựa trên các trị đo dư, quan sát đo ngắm cần trọng và tính toán cần thận. Đo đạc bằng GPS cũng không phải là ngoại lệ [9]. Do đó, mặc dầu công nghệ GPS-RTK cho tọa độ trực tiếp ngay tại trạm đo ngoài thực địa, các cạnh baseline vẫn nên được đo như là một phần của mạng lưới trắc địa để trợ giúp cho việc phát hiện các sai số. Theo đó tọa độ và độ cao của các điểm đo GPS-RTK cần được tính toán bình sai theo nguyên lý bình phương tối thiểu với các trị đo dư tới điểm đó.

b. Công tác tính chuyển độ cao

Nói chung, việc tính chuyển độ cao áp dụng trong các phần mềm GPS-RTK dựa trên các mô hình geoid có sẵn. Độ cao geoid tại trạm tĩnh không thể được áp dụng cho trạm động, đặc biệt với các cạnh đo lớn, vì độ chênh giữa mặt geoid và mặt ellipsoid là hàm số của vị trí. Thêm vào đó, thường có sự không đồng nhất giữa hệ độ cao địa phương và mô hình geoid trọng lực [5; 6]. Do đó nhiều khi phải mô hình hóa thêm độ lệch giữa mô hình geoid trọng lực và hệ độ cao địa phương như phương pháp kết hợp đã trình bày.

c. Điều kiện đo và các thao tác của người đo

Các sai số này bao gồm

- Đo sai độ cao ăng ten tại trạm tĩnh và trạm động;
- Ăng ten tại trạm động không được giữ cố định và thẳng đứng tại điểm đo;
- Sai số về tọa độ tại trạm tĩnh;
- Thời gian để khởi đo trị N và tái khởi đo quá ít;
- Các chỉ số chất lượng kém của hệ thống GPS, chẳng hạn số vệ tinh khỏe quan sát được và PDOP;
- Thời gian đo ngắn và không có đo khép tại trạm động.

Một giải pháp hiện nay, tuy không phải tối ưu, là đo GPS-RTK vào các điểm đã có tọa độ và độ cao để so sánh, kiểm tra. Lý do không phải tối ưu của giải pháp này, theo Featherstone và Stewart [10] là nó không thực sự đánh giá được sai số nằm ở giữa các điểm kiểm tra. Bản chất phụ thuộc vị trí của một số nguồn sai số GPS - RTK (chẳng hạn hiện tượng đa tuyến) phủ nhận tính đúng đắn của quan niệm cho rằng nếu như GPS-RTK cho vị trí chính xác tại một điểm thì nó cũng phải cho vị trí chính xác tại tất cả các điểm khác trong ca đo, hay trong khu đo.

3.4 Thảo luận

Trước hết cần làm rõ bản chất của phép đo cao bằng GPS và vị trí của phép đo này trong các phép đo GPS. Có thể chia các phép định vị bằng GPS ra làm 3 nhóm lớn: đo tuyệt đối; đo phân sai (DGPS) sử dụng các mã C/A hoặc mã P để tính số cải chính phân sai giả cự ly; đo tương đối sử dụng sóng mang L_1/L_2 . Mặc dù phép đo DGPS hay thậm chí phép đo tuyệt đối có thể cho các giá trị độ cao phù hợp trong một số ứng dụng nhất định, tuy nhiên thuật ngữ đo cao GPS chủ yếu được dùng để chỉ nhóm phép đo sử dụng sóng mang. Nhóm phép đo này lại được chia ra thành các

phép đo như: tĩnh nhanh, động xử lý sau (GPS - PPK), động thời gian thực (GPS - RTK) [15, 26].

Như đã trình bày trong mục 3.3, có nhiều nguồn sai số ảnh hưởng đến độ chính xác của phép đo cao bằng GPS. Tuy nhiên điểm mấu chốt trong thực tiễn đo cao bằng GPS là trả lời câu hỏi: độ chính xác có thể đạt được (về mặt bằng và độ cao) của các phép đo như tĩnh nhanh và RTK là bao nhiêu? Để trả lời câu hỏi này theo cách tiếp cận thực dụng có thể tham khảo độ chính xác mà các nhà sản xuất máy thu GPS đưa ra. Chẳng hạn hãng Leica đưa ra con số sai số trung phương của cạnh đáy khi đo bằng máy SR530 theo phép đo tĩnh nhanh và động là 10 mm + 2ppm. Hãng Ashtech sản xuất dòng máy thu GG-RTK để đo theo phương pháp RTK, cho phép thu tín hiệu của cả hai hệ thống là GPS và GLONASS. Sai số trung phương về độ cao là 10 mm + 1ppm. Hãng Trimble đưa ra các thông số sau đây về độ chính xác của dòng máy 4800 GPS Total Station (được sử dụng trong phần thực nghiệm của đề tài này). Bảng 3.3 tóm tắt các thông số này (b là chiều dài cạnh đáy).

Bảng 3.3: Độ chính xác của dòng máy Trimble 4800 GPS Total Station

Chế độ đo	Độ chính xác
Tĩnh và tĩnh nhanh	5 mm + 1 ppm (Mặt bằng)
	10 mm + 1 ppm (Độ cao)
Động xử lý sau	10 mm + 2 ppm (Mặt bằng) $b < 10$ km
	20 mm + 1 ppm (Mặt bằng) $b > 10$ km
	20 mm + 1 ppm (Độ cao)
RTK tần số thu 1 Hz	10 mm + 2 ppm (Mặt bằng)
	20 mm + 2 ppm (Độ cao)
RTK tần số thu 5 Hz	30 mm + 2 ppm (Mặt bằng)
	50 mm + 2 ppm (Độ cao)

Nếu chấp nhận các thông số này thì độ chính xác đo độ cao trắc địa H bằng GPS có thể được tóm tắt trong bảng 3.4 [15]. Trong bảng này các sai số trung phương được tính cho các chiều dài cạnh đáy $b = 1, 5$ và 10 km.

Do các chế độ đo trong bảng 3.4 đều là các phép đo cao tương đối, tức là xác định hiệu độ cao giữa trạm tĩnh A và trạm động B $\Delta H_{AB} = H_A - H_B$ (xem các công thức 3.2, 3.3) cho nên các sai số nêu trong bảng trên chính là sai số của hiệu độ cao trắc địa.

Bảng 3.4: Độ chính xác có thể đạt được của độ cao trắc địa H

Chế độ đo	Độ chính xác	Sai số (cm)		
		b = 1 km	b = 5 km	b = 10 km
Tĩnh nhanh	10 mm + 1 ppm	1.1	1.5	2.0
Động	20 mm + 1 ppm	2.1	2.5	3.0
RTK 1 Hz	20 mm + 2 ppm	2.2	3.0	4.0
RTK 5 Hz	50 mm + 2 ppm	5.2	6.0	7.0

Cũng từ công thức 3.3 có thể tính sai số của hiệu độ cao thủy chuẩn $\sigma_{\Delta h}$ theo sai số hiệu độ cao trắc địa $\sigma_{\Delta H}$ và sai số hiệu độ cao Geoid $\sigma_{\Delta N}$ như sau:

$$\sigma_{\Delta h}^2 = \sigma_{\Delta H}^2 + \sigma_{\Delta N}^2 \tag{3.9}$$

Theo các kết quả nghiên cứu mới đây của TS Lê Minh [24] thì tại ĐBSCL đã có mô hình geoid được xây dựng bằng phương pháp GPS - thủy chuẩn với độ chính xác 5-6 cm. Với sai số Geoid này, dựa trên công thức (3.9) và kết hợp với bảng 3.4 có thể ước tính được độ chính xác có thể đạt được của hiệu độ cao thủy chuẩn $\sigma_{\Delta h}$ xác định bằng GPS tại vùng ĐBSCL theo bảng sau (sai số tính theo cm):

Bảng 3.5: Độ chính xác có thể đạt được của hiệu độ cao thủy chuẩn $\sigma_{\Delta h}$, đo bằng GPS vùng ĐBSCL (b là chiều dài cạnh đáy).

Chế độ đo	b = 1 km			b = 5 km			b = 10 km		
	$\sigma_{\Delta H}$	$\sigma_{\Delta N}$	$\sigma_{\Delta h}$	$\sigma_{\Delta H}$	$\sigma_{\Delta N}$	$\sigma_{\Delta h}$	$\sigma_{\Delta H}$	$\sigma_{\Delta N}$	$\sigma_{\Delta h}$
Tĩnh nhanh	1.1	6.0	6.1	1.5	6.0	6.2	2.0	6.0	6.3
Động	2.1	6.0	6.4	2.5	6.0	6.5	3.0	6.0	6.7
RTK 1 Hz	2.2	6.0	6.4	3.0	6.0	6.7	4.0	6.0	7.2
RTK 5 Hz	5.2	6.0	7.9	6.0	6.0	8.5	7.0	6.0	9.2

Từ kết quả của bảng 3.5 có thể thấy mục tiêu thành lập DEM có độ chính xác cao (0.1 đến 0.2 m) tại vùng ĐBSCL bằng công nghệ đo cao GPS là có tính khả thi.

CHƯƠNG 4: THỬ NGHIỆM XÂY DỰNG DEM ĐỘ CHÍNH XÁC CAO BẰNG PHƯƠNG PHÁP KẾT HỢP

Trong phần thử nghiệm của đề tài này, về cơ bản chúng tôi áp dụng phương pháp kết hợp như đã miêu tả tại mục 3.1.4

4.1 Khu vực thử nghiệm

1. Vị trí, địa danh khu vực thử nghiệm

- Tại hai huyện Tân Trụ và Cần Đức, tỉnh Long An.
- Giới hạn khu đo: Khu đo nằm trong khoảng từ vĩ tuyến $10^{\circ} 30' 02''$ đến $10^{\circ} 33' 18.5''$ vĩ bắc và kinh tuyến từ $106^{\circ} 29' 52''$ đến $106^{\circ} 37' 35.7''$ kinh đông, chiếm diện tích khoảng 10720 ha (107,2 km²). Hai thị trấn Tân Trụ và Cần Đức nằm gần biên phía Tây và phía Đông của khu đo.

2. Đặc điểm tự nhiên, địa hình

- Địa hình khu đo tương đối bằng phẳng, chênh cao địa hình ở mức độ tổng quát không quá 1.5 mét;
- Khu đo có đường quốc lộ 50 đi qua, độ cao trung bình của đường là 1.5m so với mặt nước biển, độ rộng của đường là 20 m;
- Hệ thống đường liên xã, liên huyện;
- Rất nhiều hệ thống kênh đào có 2 bờ đắp cao và rạch nước nhỏ;
- Hệ thống kênh mương nội đồng;
- Các cụm khu dân cư, ao hồ nuôi trồng thủy sản và cánh đồng;
- Khu đo có hai con sông lớn Vàm Cỏ Đông và Vàm Cỏ Tây chảy qua;
- Hệ thống đê bao của hai con sông Vàm Cỏ.

Lũ của vùng ĐTM được thoát ra theo hướng Đông chảy theo hai con sông Vàm Cỏ này sau đó đổ ra biển Đông theo cửa Soài Rạp [32]. Theo [29] thì lượng nước thoát ra từ vùng lũ ĐTM qua hai sông Vàm Cỏ có xu hướng tăng trong những năm gần đây.

3. Đặc điểm thời tiết, khí hậu, dân cư, kinh tế, xã hội

- Trong thời gian đo thời tiết khô hanh, ban ngày trời nắng gắt, có gió thổi nhẹ.
- Dân cư chủ yếu làm nghề nông, một số khu vực người dân có tham gia nuôi trồng thủy sản, một số hộ ở hai bên ven đường có kinh doanh buôn bán.

4.2 Công tác đo nối toạ độ, độ cao Nhà nước, thành lập lưới khống chế toạ độ và độ cao cho khu đo

1. Khảo sát khu đo và thiết kế đo.

Sau khi nghiên cứu, khảo sát khu đo chúng tôi thiết kế một lưới khống chế toạ độ và độ cao gồm 14 điểm như trên hình 4.1. Có 10 điểm đo mới cần phải được chôn mốc, bao gồm: 4 điểm phân bố bên trong khu đo để làm các điểm trạm Base (các điểm từ B1 đến B4) và 6 điểm nằm bao quanh khu đo có tác dụng Calibrate (quy chuẩn hệ thống toạ độ, độ cao) giới hạn khu đo - các điểm từ C1 đến C6. Các điểm này được thiết kế đo nối với hai điểm khống chế mặt phẳng là TD1 và TD2 và hai điểm khống chế độ cao là DC1 và DC2.

2. Chọn điểm chôn mốc.

- Sau khi có thiết kế, chúng tôi tiến hành chọn và chôn 10 mốc. Các mốc được chọn tại vị trí có nền đất ổn định, thuận tiện cho việc đi lại, và công tác đo đạc GPS.
- Đóng cọc gỗ cao 65 cm, đường kính 8 cm tại các vị trí đã chọn, đầu cọc cao hơn mặt đất là 5cm, mỗi cọc được đóng đinh 4mm lên đầu cọc làm tâm.
- Điểm trạm base được bố trí thuận lợi cho việc đo GPS và trông coi máy trong thời gian dài, có vị trí cao để đặt anten Radio.

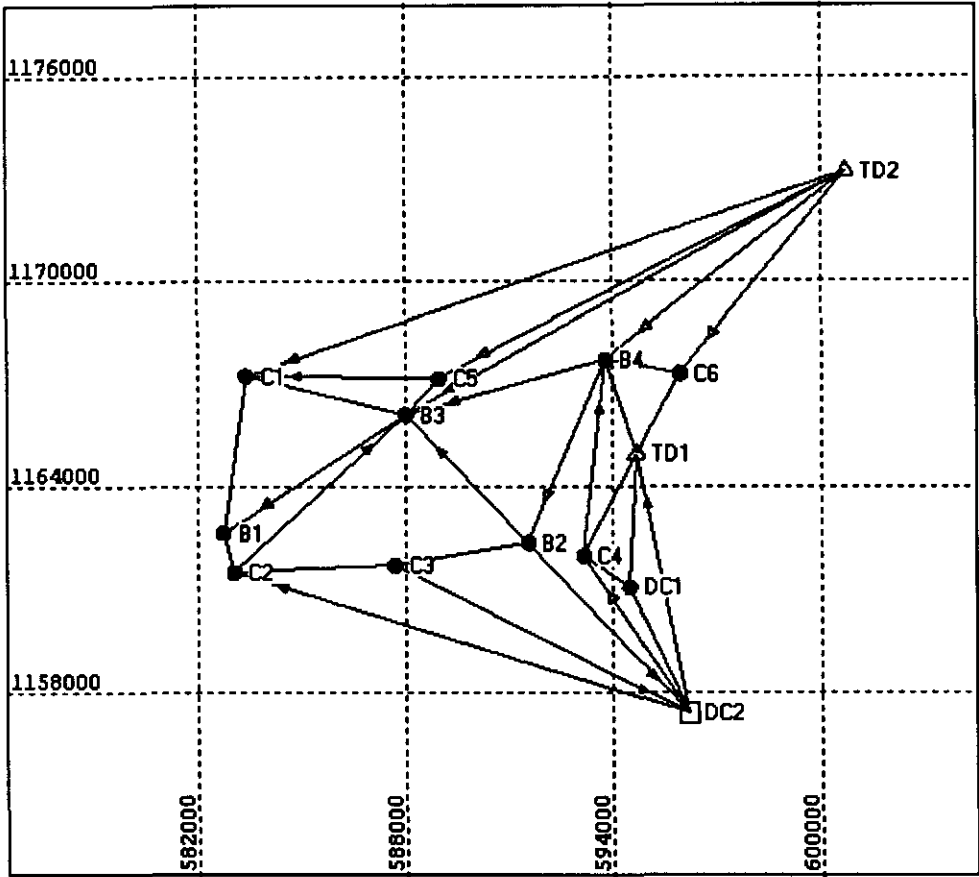
3. Đo nối, tính toán toạ độ, độ cao nhà nước.

Dùng các điểm khống chế có toạ độ và độ cao thuỷ chuẩn gần khu đo nhất làm điểm gốc toạ độ, độ cao. Chúng tôi đã tìm và đo nối với hai điểm khống chế mặt phẳng nhà nước (TD1 và TD2), có toạ độ trong hệ VN2000 và một điểm khống chế độ cao hạng II (DC2) trong hệ Hòn Dấu. Theo thiết kế ban đầu thì còn một điểm khống chế độ cao hạng II nữa là DC1. Tuy nhiên chỉ khi tiến hành đo chúng tôi mới phát hiện điểm này đã được làm lại mốc và chúng tôi đã không có được số liệu đo mới.

Bảng 4.1: Các điểm khống chế mặt bằng và độ cao

Số TT	Họ và tên	X ₂₀₀₀ (m)	Y ₂₀₀₀ (m)	Độ cao (m)
1	TD1	1164954.450	594679.166	
2	TD2	1173191.196	600663.155	
3	DC2			1.675

Tại mỗi điểm trong lưới thời gian đo GPS là từ 1 giờ đến 1 giờ 30 phút. Tần suất thu tín hiệu GPS là 15 giây/trị đo. Sơ đồ lưới đo GPS được thể hiện trên hình 4.1



Hình 4.1 Lưới khống chế tọa độ và độ cao

Bảng 4.2: Kết quả bình sai lưới trên WGS84

Tên	Vĩ độ (N)	Sai số N	Kinh độ (E)	Sai số E	Độ cao H	Sai số H	Fix
TD2	10°36'26.89403"N	0.005m	106°40'18.23237"E	0.007m	18.106m	0.016m	
TD1	10°31'59.38068"N	0.005m	106°37'00.62293"E	0.005m	-2.053m	0.017m	
C6	10°33'15.13326"N	0.004m	106°37'42.22915"E	0.004m	-0.698m	0.013m	
B4	10°33'28.15771"N	0.000m	106°36'31.88526"E	0.000m	-2.135m	0.000m	NEH
B3	10°32'37.45035"N	0.005m	106°33'20.90342"E	0.007m	-1.648m	0.015m	
C5	10°33'11.23492"N	0.006m	106°33'52.73384"E	0.007m	-0.415m	0.015m	
C1	10°33'14.04723"N	0.005m	106°30'49.44645"E	0.007m	-2.272m	0.015m	
B1	10°30'46.75894"N	0.005m	106°30'27.77140"E	0.006m	7.827m	0.013m	
B2	10°30'36.80919"N	0.005m	106°35'17.88635"E	0.006m	-1.888m	0.014m	
C2	10°30'08.99204"N	0.005m	106°30'37.96373"E	0.006m	-2.267m	0.014m	
C3	10°30'15.60101"N	0.005m	106°33'10.05033"E	0.006m	5.361m	0.014m	
DC2	10°27'54.05417"N	0.006m	106°37'49.66748"E	0.006m	-1.140m	0.018m	
C4	10°30'24.32991"N	0.006m	106°36'10.49223"E	0.006m	-1.402m	0.019m	
DC1	10°29'54.25581"N	0.007m	106°36'53.87341"E	0.007m	-2.459m	0.022m	
Sai số trung phương		0.005 m		0.006 m		0.016 m	

Bảng 4.3: Kết quả bình sai trên VN2000 kinh tuyến trực $105^{\circ}45'$ múi 3°

Tên điểm	X (m)	Sai số X (m)	Y (m)	Sai số Y (m)	Fix
TD2	1173191.196	0.000	600663.155	0.000	X Y
C6	1167285.512	0.005	595937.652	0.006	
B4	1167679.754	0.005	593797.928	0.005	
B3	1166106.311	0.011	587995.751	0.011	
C5	1167146.850	0.010	588960.789	0.010	
C1	1167219.197	0.014	583388.284	0.013	
TD1	1164954.450	0.000	594679.166	0.000	X Y
B1	1162692.212	0.015	582740.269	0.015	
B2	1162408.926	0.009	591562.306	0.010	
C2	1161532.587	0.014	583052.984	0.014	
C3	1161747.150	0.011	587676.941	0.011	
DC2	1157420.835	0.009	596191.454	0.010	
C4	1162029.804	0.006	593162.911	0.006	
DC1	1161109.373	0.007	594484.545	0.007	
Sai số trung phương		0.010		0.010	

4. Truyền độ cao thủy chuẩn nhà nước

Trước khi tính toán chúng tôi đã nghiên cứu bản đồ đường đẳng trị dị thường độ cao trong phạm vi khu đo và tham khảo ý kiến của các đơn vị thường xuyên đo đạc, tính toán GPS tại khu vực này. Trong quá trình tính toán GPS chúng tôi đã Fix một điểm DC2 có độ cao thủy chuẩn trong lưới, sử dụng mô hình Geoid kết hợp do Viện Nghiên cứu Địa chính xây dựng (VNGra Geoid), để bình sai và truyền độ cao thủy chuẩn tới các điểm còn lại. Mô hình Geoid kết hợp này là kết quả của việc hiệu chỉnh khớp giữa mô hình geoid trọng lực $3' \times 3'$ và các điểm GPS-TC (50 điểm thủy chuẩn tại vùng ĐBSCL có đo trùng GPS) theo phương pháp Collocation [24]. Như vậy, về cơ bản mô hình VNGra Geoid này được xây dựng theo các bước của mục 3.1.4 (phương pháp kết hợp trọng lực và hình học). Kết quả thu được như sau:

Bảng 4.4: Kết quả truyền độ cao thủy chuẩn Nhà nước

Tên điểm	Độ cao (m)	Sai số (m)	Fix
TD2	20.999	0.045	
C6	2.272	0.037	
B4	0.912	0.036	
B3	1.564	0.039	
C5	2.782	0.040	
C1	1.106	0.044	

TĐM	0.923	0.033	
B	11.147	0.041	
B	1.150	0.031	
B	1.023	0.041	
B	8.509	0.035	
B	1.675	0.000	h
B	1.578	0.031	
B	0.464	0.030	
Sai số trung phương		0.037	

Ngoài ra chúng tôi còn thử truyền độ cao thủy chuẩn theo cách nêu trên nhưng thay mô hình VNGra Geoid bằng mô hình trọng trường toàn cầu EGM-96. Tuy mô hình trọng trường toàn cầu EGM-96 không được sử dụng trong đo thử nghiệm nhưng thông qua việc truyền độ cao thủy chuẩn bằng hai mô hình trên có thể khảo sát một cách sơ bộ và so sánh ảnh hưởng của độ chính xác mô hình geoid lên kết quả truyền độ cao và so sánh hai mô hình geoid trong phạm vi khu vực thử nghiệm. Kết quả cho thấy mặt EGM-96 "thấp" hơn mặt VNGraGeoid gần 0.7 mét. Nếu dùng EGM-96 để truyền độ cao thủy chuẩn cho các điểm thuộc lưới khống chế thì độ cao thủy chuẩn của các điểm này cao hơn một cách có hệ thống so với các giá trị độ cao thủy chuẩn khi được truyền bằng VNGraGeoid, với giá trị trung bình là +10.2 cm (nhỏ nhất +4.2 cm, lớn nhất +18.2 cm). Sai số trung phương là 11 cm. Như vậy có thể sơ bộ nhận định rằng dùng EGM-96 không đảm bảo độ chính xác đề ra cho DEM là từ 0.1- 0.2 mét.

4.3 Thực hiện thiết lập các tham số cho quá trình đo GPS động

1. Thực hiện phép Calibrate và Thiết lập các tham số tính chuyển giữa hệ toạ độ GPS về hệ toạ độ địa phương cho đo đạc tại khu vực thử nghiệm.

Bảng 4.5: Các tham số tính chuyển

Phương pháp	3 tham số
Dịch chuyển theo trục X	192.049 m
Dịch chuyển theo trục Y	38.872 m
Dịch chuyển theo trục Z	111.344 m

Bảng 4.6: Các tham số bình sai mặt phẳng (Horizontal Adjustment Parameters)

Toạ độ X của tâm xoay	1164326.010 m
Toạ độ Y của tâm xoay	589786.627 m

Góc xoay tại tâm xoay	-0° 00' 0.040490"
Dịch chuyển theo trục X	0.001 m
Dịch chuyển theo trục Y	0.001 m
Hệ số tỷ lệ	0.99999496

Bảng 4.7: Các tham số bình sai độ cao (Vertical Adjustment Parameters)

Toạ độ X của điểm gốc	1167219.197 m
Toạ độ Y của điểm gốc	583388.284 m
Chênh cao tại điểm gốc	0.002 m
Độ dốc theo hướng Bắc	0.051 ppm
Độ dốc theo hướng Đông	0.019 ppm

Thiết lập hệ toạ độ cho đo đạc tại khu vực thử nghiệm:

- Phép chiếu UTM múi 3°, Kinh tuyến trục 105° 45';
- Hệ số tỷ lệ dài tại kinh tuyến trục: 0.9999;
- Dịch chuyển theo trục X: 0.000 m;
- Dịch chuyển theo trục Y: 500000.000 m;
- Các tham số tính chuyển hệ quy chiếu :
 - + Dịch theo trục X: 192.049 m.
 - + Dịch theo trục Y: 38.872 m.
 - + Dịch theo trục Z: 111.344 m.
 - + Ellipsoid: WGS84.
- Tham số bình sai mặt bằng của phép calibration (Calibration Horizontal Adjustment):
 - + Dịch theo trục X: 0.001 m.
 - + Dịch theo trục Y: 0.001 m.
 - + Góc xoay: -0° 0' 0.040490".
 - + Hệ số tỷ lệ: 0.99999496.
 - + Toạ độ X của điểm gốc: 1164326.010 m.
 - + Toạ độ Y của điểm gốc: 589786.627 m.
- Tham số bình sai độ cao của phép calibration (Calibration Vertical Adjustment):

- + Hằng số chênh cao: 0.002 m.
- + Độ dốc theo hướng Bắc: 0.051 ppm.
- + Độ dốc theo hướng Đông: 0.019 ppm.
- + Tọa độ X của điểm gốc: 1167219.197 m.
- + Tọa độ Y của điểm gốc: 583388.284 m.

2. Thiết lập các tham số cho trạm Base.

- Survey style: RTK.
- Correction record type: CMR Plus.
- Elevation mask: 15°
- Non-4000 rovers: Yes.
- Antenna:
 - o Type: Micro Center L1/L2.
 - o Measure to: Bottom of notch.
 - o Part number: 33429-0.
- Base radio:
 - o Type: TRIMTALK 450S.
 - o Control port: Top.
 - o Receiver port : Port 2.
 - o Baud rate: 38400.
 - o Parity: Odd.

3. Thiết lập các tham số cho trạm Rover.

- Survey style: RTK.
- Correction record type: CMR Plus.
- Elevation mask: 15°
- PDOP mask: 7.0.
- Antenna:
 - o Type: Micro Center L1/L2.
 - o Measure to: Bottom of antenna mount.
- Rover radio:
 - o Type: TRIMTALK 450S.
 - o Control port: Top.
 - o Receiver port : Port 2.

- Baud rate: 38400.
- Parity: Odd.

4. Thiết lập các tham số cho chế độ đo Rapid points.

- Quality control: QC1.
- Horizontal precision: 0.020 m.
- Vertical precision: 0.040 m.

4.4 Đo GPS-RTK

- a) Máy đo được sử dụng là các máy GPS 2 tần số Trimble 4700, 4800 và bộ đo động. Phần mềm xử lý là Trimble Geomatics Office (TGO) 1.5 - phiên bản đã sửa lỗi Database và bộ DTM. Thời gian đo: Từ ngày 15-02-2004 đến ngày 04-03-2004;
- b) Các lỗi dữ liệu gặp phải trong các ngày đo: tập trung vào các ngày 24 và 25 tháng 2. Cụ thể như sau:

Bong28: 1412,1413
Au28: Verygood
Bong27Sang:Verygood
Bong27Chieu:Good diem 1270 hoi kem mot chut (mh=0.051, mv=0.086)
AuDuc27:Verygood
Bong26Sang:Verygood
Bong26Sang: Diem 348 hoi kem(mh=0.054, mv=0.094), Diem 356 ke'm (mh=0.110, mv=0.190)
AuDuc26Sang:Verygood
AuDuc26Chieu:Verygood
NamBong25: Chet 2 diem: 68(mh=0.055, mv=0.103) 197(mh=0.092, mv=0.130)
AuDuc25:Verygood
NamBong24Sang:Chet hang loat gom 13 diem (17,18,19,20,21,34,35,36,37) Rat ke'm (50,83,97,109) Ke'm
NamBong24Chieu: Chet 2 diem, (163 mh=0.066, mv=0.129) (165 mh=0.105, mv=0.205)
AuDuc24Sang:Chet 2 Diem (524 mh=0.069, mv=0.123) , (659 Tam duoc mh=0.050, mv=0.092)
AuDuc24Chieu: Chet 2 diem (688 mh=0.096, mv=0.301)

Những điểm này sau đó đều được đo lại;

c) Các thao tác đo

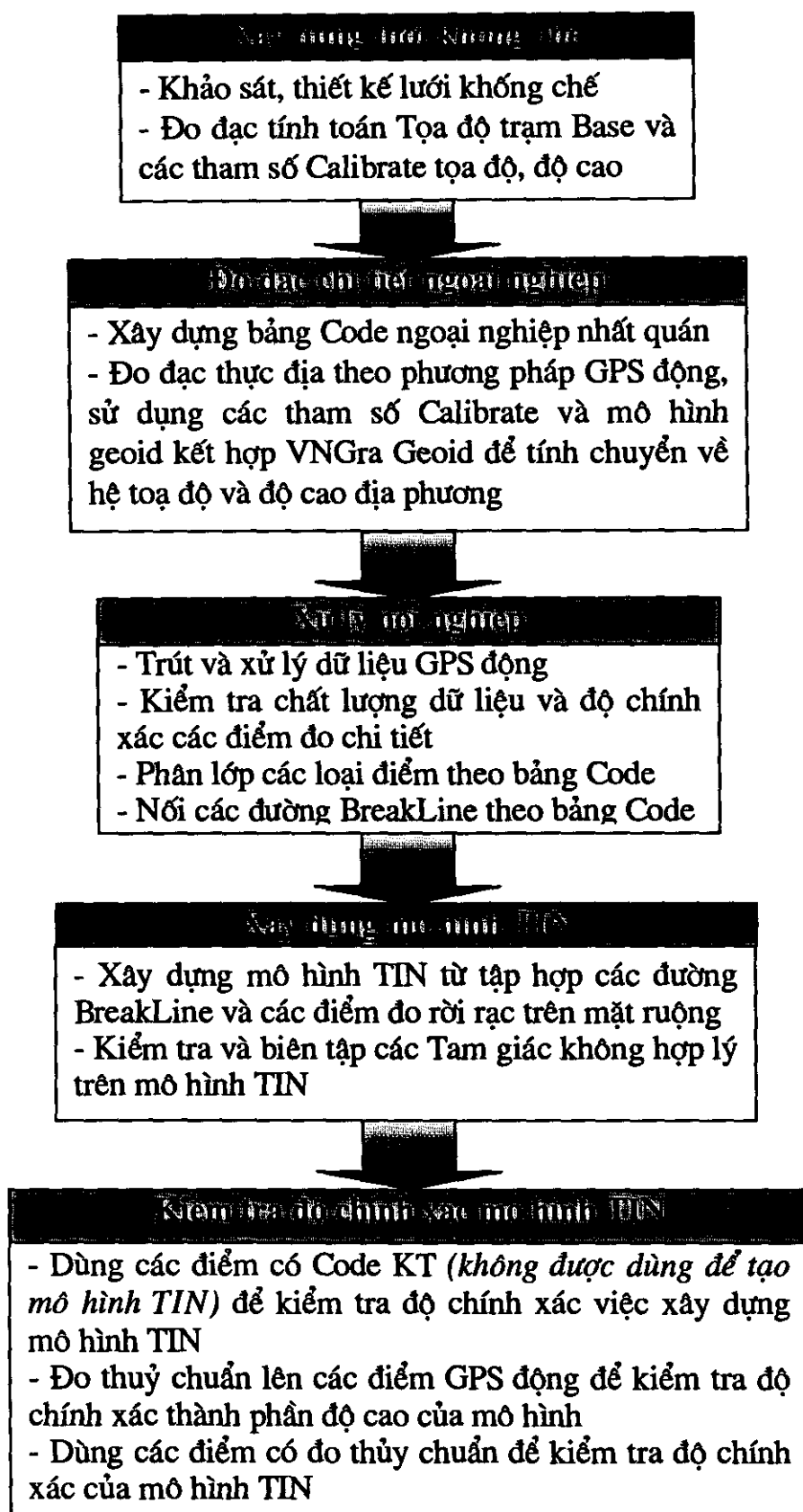
- Người trông trạm Base khởi động (Start) Trạm Base ở chế độ đo động trong khi các trạm Rover đang trên đường di chuyển ra thực địa
- Các Rover khi ra tới thực địa, chọn vị trí quang đăng không chịu ảnh hưởng của các điều kiện ngoại cảnh đến tín hiệu GPS, tiến hành Start Survey, đợi khi nào đủ lượng tín hiệu để giải được số nguyên đơn trị (Thu được lời giải Fix cho baseline giữa trạm Base và trạm Rover) thì tiến hành đo ở chế độ Rapid.

- Tần suất thu tín hiệu tại trạm Base và các trạm Rover là 1 giây/trị đo.

4.5 Kết quả đo đạc và xây dựng mô hình số độ cao

1. Các điểm đo được trải đều khoảng 300 m một điểm, bỏ qua các bờ thửa nhỏ, chỉ đo Breakline chi tiết cho đường và mương lớn.
 - Đặc điểm của phương pháp: Đo chi tiết đường breaklines tại các đường và kênh (mương) lớn (Có độ rộng của chân lớn hơn 4 m), đo trải đều các điểm cách nhau khoảng 200m đến 500m tại các khu vực còn lại. Sử dụng bản đồ địa hình 1:5000 để:
 - o Xác định các địa hình đặc trưng cần đo đường Breakline chi tiết và khoanh vùng các khu dân cư, khu mặt ruộng;
 - o Số hoá các kênh rạch nhỏ có nhiều cây bụi không đo GPS vào được, sau đó gán độ cao mép nước đo được ngoài thực địa vào các điểm số hoá dọc theo bờ của mỗi kênh rạch.
 - Tổng số điểm: 7165 điểm, trong đó:
 - + 696 điểm đo trải đều dưới mặt ruộng (chiếm 9.7% của tổng số điểm).
 - + 6469 điểm đo đường Breakline cho đường, mương lớn và kênh rạch (chiếm 90.3% của tổng số điểm).
 - Tổng số tam giác trong mô hình TIN: 29024 tam giác.
 - Tổng diện tích khu đo: 10720 ha.
 - Tổng số điểm kiểm tra 77 điểm. Các điểm kiểm tra phân bố đều trên toàn khu đo (trên đường, kênh mương và trên mặt ruộng), mỗi điểm cách nhau khoảng 400 m và không tham gia vào việc xây dựng mô hình TIN.
 - Các bản vẽ: phân bố điểm đo; các tam giác của mô hình TIN; đường đẳng trị độ cao với khoảng cao đều 0.1 m, nội suy trực tiếp từ mô hình TIN và bản vẽ mô hình số độ cao theo thang màu trong phụ lục 2 (xem các hình P2.1; P2.2; P2.3 và P2.4).

SƠ ĐỒ KHỐI QUY TRÌNH TRIỂN KHAI THỰC HIỆN CÁC CÔNG VIỆC



Hình 4.2: Quy trình đo độ cao bằng phương pháp kết hợp

Để kiểm tra mức độ khái quát hoá và khả năng mô tả các đặc trưng địa hình của mô hình TIN đã được xây dựng, trong quá trình đo đạc chúng tôi đã đo trải đều 77 điểm trong phạm vi khu đo, tại các vị trí như mặt đường, mặt đê, mặt ruộng, mép nước vv..., các điểm này có mã là KT (*Kiểm tra*). Các điểm này không tham gia vào việc tạo mô hình TIN mà chỉ dùng để kiểm tra sai số của việc dựng mô hình TIN. Các sai số trong bảng 4.8 là các sai số tương đối của các điểm thuộc mô hình TIN.

Bảng 4.8: Sai số của mô hình TIN tính theo 77 điểm kiểm tra

Tên điểm	X (m)	Y (m)	h (m)	Mã điểm KT	Sai số giữa độ cao của TIN và độ cao của điểm KT (m)
38	1163331.08	582727.57	0.59	KT-R	0.005
762	1164605.01	583518.94	0.64	KT-R	0.011
309	1164644.67	587415.48	0.48	KT-R	-0.119
321	1163756.16	588250.95	0.71	KT-R	0.015
323	1163335.53	588006.93	0.73	KT-R	0.193
984	1167310.56	581745.14	0.68	KT-R	-0.032
1019	1167973.87	582971.42	1.15	KT-D	0.064
5017	1166938.65	589987.72	0.79	KT-R	0.039
5028	1167715.04	590084.54	0.51	KT-R	0.045
5304	1167282.96	593764.03	0.28	KT-R	0.001
970	1167357.62	582753.94	0.74	KT-R	-0.038
1160	1167730.65	588367.78	0.84	KT-R	-0.057
1179	1167625.94	587950.91	0.97	KT-R	0.209
1254	1168141.21	586085.27	0.74	KT-R	-0.067
1260	1167698.03	586360.96	0.69	KT-R	-0.006
1266	1167636.91	587142.39	0.87	KT-R	0.041
1103	1166453.16	586248.34	0.8	KT-R	0.075
1119	1165984.33	586972.56	0.43	KT-R	-0.023
1122	1166490.05	587233.76	0.74	KT-R	-0.021
1091	1167187.04	584219.08	0.81	KT-R	-0.001
1100	1166259.86	585383.51	0.59	KT-R	-0.114
1117	1165667.5	587260.51	0.4	KT-R	-0.286
1143	1165921.37	587632.82	1.18	KT-D	0.051
1144	1165924.59	587630.51	0.72	KT-R	-0.219
5195	1166095.49	591677.09	0.32	KT-R	0.112
5230	1167824.26	592482.77	0.3	KT-R	-0.090
5311	1167242.83	594498.48	0.23	KT-R	-0.025
140	1161977.81	583952.32	0.38	KT-R	-0.196
130	1162690.55	586653.28	0.53	KT-R	0.069
670	1164009.94	584850.01	0.62	KT-R	-0.009
682	1164629.43	585043.15	0.62	KT-R	0.121
5329	1167634.93	595002.31	0.38	KT-R	0.066
218	1161670.03	587203.46	0.43	KT-R	-0.219
5309	1167103.13	594906.14	0.27	KT-R	-0.047
2007	1164285.85	592699.86	0.33	KT-R	0.208

CHƯƠNG 4: THỬ NGHIỆM XÂY DỰNG DEM ĐỘ CHÍNH XÁC CAO BẰNG PHƯƠNG PHÁP KẾT HỢP

2085	1164101.1	595117.8	0.41	KT-R	0.102
124	1164174.92	584061.89	0.54	KT-R	-0.075
1220	1165344.49	588803.21	0.56	KT-R	0.020
5449	1163168.48	594052.66	0.3	KT-R	0.030
5474	1161751.84	594068.66	0.32	KT-R	-0.018
5477	1161721.99	594716.39	0.48	KT-R	0.123
5497	1162729.49	592041.79	0.47	KT-R	-0.048
5498	1163338.99	591981.68	0.53	KT-R	-0.033
1662	1164647.65	589815.96	0.62	KT-R	-0.066
1670	1163664.08	589841.13	0.51	KT-R	0.009
1469	1162779.47	589801.24	0.43	KT-R	-0.105
1509	1162274.91	591206.77	0.47	KT-R	0.220
1456	1162590.73	589363.04	0.54	KT-R	-0.034
1076	1164637.53	588298.88	0.72	KT-R	-0.036
5452	1162862.87	594350.05	0.34	KT-R	0.071
851	1166043.62	584706.56	0.75	KT-R	0.042
852	1166305.97	584836.31	1.54	KT-D	0.243
860	1166347.45	585004.74	0.75	KT-R	0.032
862	1166151.07	585393.81	0.6	KT-R	-0.052
868	1166780.28	584632.38	1.22	KT-D	-0.093
869	1166785.64	584636.2	0.7	KT-R	-0.073
5187	1165782.85	590466.19	0.49	KT-R	-0.047
5392	1164148.26	594042.98	0.32	KT-R	-0.017
696	1165198.71	585455.68	0.53	KT-R	0.029
715	1165892.62	585257.72	0.52	KT-R	-0.011
895	1167306.07	583695.25	0.7	KT-R	-0.094
10	1162898.94	584910.13	0.4	KT-R	0.198
56	1161397.54	584676.27	0.51	KT-R	-0.082
103	1164428.33	586097.87	0.47	KT-R	-0.061
816	1166240.01	582784.3	0.78	KT-R	0.094
844	1165293.57	584248.21	0.64	KT-R	0.104
867	1166370.25	584718.73	0.75	KT-R	0.004
5364	1166314.16	593007.89	0.44	KT-R	0.109
1109	1165332.06	586573.89	0.63	KT-R	-0.019
5395	1165109.08	593938.61	0.31	KT-R	-0.016
5427	1166512.94	594414.84	0.39	KT-R	-0.024
5430	1165751.08	594933.13	0.22	KT-R	-0.126
5191	1166180.71	591136.46	0.52	KT-R	0.056
1499	1161872.38	590523.12	0.56	KT-R	0.127
2017	1161624.34	592530.32	0.22	KT-R	-0.066
2007	1163925.63	592532.76	0.33	KT-R	-0.055
1657	1164997.45	591005.79	0.51	KT-R	0.180

KT-R Điểm kiểm tra đo trên mặt ruộng KT-D Điểm kiểm tra đo trên đường

Sai số trung phương của mô hình TIN: 0.102 (m)

4.6 Kết quả so sánh độ cao thủy chuẩn xác định bằng hai phương pháp đo

GPS động và đo thủy chuẩn hình học

Để kiểm tra, tính toán sai số tuyệt đối của các kết quả đo cao bằng phương pháp GPS động, chúng tôi đã thiết kế và đo đạc một tuyến thủy chuẩn dài 26 km

CHƯƠNG 4: THỬ NGHIỆM XÂY DỰNG DEM ĐỘ CHÍNH XÁC CAO BẰNG PHƯƠNG PHÁP KẾT HỢP

theo các tiêu chuẩn lưới thủy chuẩn hạng 4, từ điểm khống chế độ cao hạng II (II-10), chạy ngang qua khu đo đến điểm khống chế độ cao hạng II (II-12) - tức điểm DC2. Tổng cộng có 45 mốc, mỗi mốc cách nhau từ 400m đến 600 m (xem hình P6.1). Sau đó sử dụng phương pháp đo GPS động đo lên chính các mốc thủy chuẩn của lưới này. Như vậy, sau khi thực hiện tính toán bình sai lưới thủy chuẩn và tính toán độ cao thủy chuẩn cho các điểm đo GPS động thu được hai giá trị độ cao trên mỗi mốc theo hai cách hoàn toàn độc lập nhau. Kết quả so sánh giá trị độ cao theo hai phương pháp thu được như bảng sau:

Bảng 4.9: Sai số độ cao tại các điểm được đo cao bằng hai phương pháp: GPS động và thủy chuẩn hình học

Điểm	Điểm chuẩn		Kết quả đo độ cao bằng phương pháp GPS động			
	Độ cao theo điểm số	Sai số	Sai số tại điểm bằng đo GPS động	Sai số tại điểm bằng	Sai số độ cao	Độ sai lệch
ĐC-01	1.148	0.000	Điểm gốc này bị khuất nên không đo GPS vào được			
ĐC-02	1.457	0.001	1.411	0.014	0.028	0.046
ĐC-03	1.376	0.002	1.421	0.006	0.014	-0.045
ĐC-04	1.344	0.002	1.372	0.004	0.010	-0.028
ĐC-05	1.376	0.003	1.317	0.002	0.008	0.059
ĐC-06	1.708	0.003	1.657	0.003	0.010	0.051
ĐC-07	1.363	0.003	1.426	0.006	0.017	-0.063
ĐC-08	1.688	0.003	1.640	0.007	0.016	0.048
ĐC-09	1.830	0.003	1.887	0.007	0.015	-0.057
ĐC-10	1.866	0.004	1.818	0.009	0.018	0.048
ĐC-11	1.931	0.004	1.878	0.004	0.007	0.053
ĐC-12	1.956	0.004	1.897	0.003	0.005	0.059
ĐC-13	1.258	0.004	1.315	0.017	0.035	-0.057
ĐC-14	0.845	0.004	0.777	0.007	0.020	0.068
ĐC-15	0.871	0.004	0.822	0.007	0.018	0.049
ĐC-16	0.883	0.004	0.918	0.005	0.014	-0.035
ĐC-17	1.060	0.004	0.994	0.002	0.006	0.066
ĐC-18	0.749	0.004	0.790	0.003	0.011	-0.041
ĐC-19	1.210	0.004	1.261	0.008	0.025	-0.051
ĐC-20	0.981	0.004	1.040	0.011	0.032	-0.059
ĐC-21	2.782	0.004	2.744	0.007	0.017	0.038
ĐC-22	2.121	0.004	2.190	0.003	0.005	-0.069
ĐC-23	2.421	0.004	2.470	0.004	0.007	-0.049
ĐC-24	2.431	0.005	2.380	0.005	0.009	0.051

TC-25	2.028	0.004	2.080	0.011	0.019	-0.052
TC-26	1.911	0.004	1.856	0.006	0.010	0.055
TC-27	1.799	0.004	1.852	0.007	0.015	-0.053
TC-28	2.811	0.004	2.740	0.003	0.007	0.071
TC-29	1.120	0.004	1.035	0.008	0.016	0.085
TC-30	1.005	0.004	1.049	0.002	0.004	-0.044
TC-31	1.003	0.004	0.913	0.012	0.027	0.090
TC-32	1.144	0.004	1.071	0.005	0.007	0.073
TC-33	1.062	0.004	1.104	0.002	0.005	-0.042
TC-34	1.071	0.004	1.071	0.005	0.015	0.000
TC-35	1.510	0.004	1.541	0.002	0.006	-0.031
TC-36	1.550	0.004	1.567	0.002	0.004	-0.017
TC-37	1.520	0.004	1.433	0.003	0.005	0.087
TC-38	1.378	0.003	1.401	0.005	0.009	-0.023
TC-39	1.533	0.003	1.484	0.011	0.021	0.049
TC-40	1.708	0.003	1.651	0.002	0.003	0.057
TC-41	1.460	0.003	1.526	0.003	0.010	-0.066
TC-42	1.659	0.002	1.599	0.003	0.013	0.060
TC-43	1.321	0.002	1.390	0.005	0.027	-0.069
ĐC22	1.675	0.000	1.624	0.012	0.048	0.051

- Lưới thủy chuẩn có sai số khép là 9mm;

- Sai số trung phương trên 1Km Thủy chuẩn là: 1.8 mm

- Bản vẽ sơ đồ lưới thủy chuẩn trong phụ lục 6 kèm theo.

Sai số trung phương về độ cao xác định bằng hai phương pháp là: 0.055 m.

Trong bảng này không có kết quả so sánh tại các điểm TC13, TC36 và TC37 do tín hiệu GPS có lỗi: PDOP kém và thậm chí không fix được ambiguity N.

4.7 Kết quả so sánh độ cao đo bằng thủy chuẩn hình học với độ cao nội suy từ mô hình TIN

Bảng 4.9 cho thấy kết quả so sánh trực tiếp về độ sai lệch giữa độ cao đo được bằng GPS động và độ cao đo bằng thủy chuẩn hình học của các điểm thuộc một tuyến thủy chuẩn chạy qua khu đo. Tuy nhiên mục tiêu của việc thử nghiệm là đánh giá độ chính xác của DEM thành lập được. Vì vậy chúng tôi tiến hành thêm một bước so sánh nữa: so sánh độ cao đo bằng thủy chuẩn hình học với độ cao nội suy trên mô hình TIN. Kết quả so sánh được thể hiện trong bảng 4.10. Trong bảng này ngoài các điểm TC13, TC36 và TC37 không so sánh được do lỗi tín hiệu GPS

CHƯƠNG 4: THỬ NGHIỆM XÂY DỰNG DEM ĐỘ CHÍNH XÁC CAO BẰNG PHƯƠNG PHÁP KẾT HỢP

còn có thêm các điểm từ TC40 đến TC45 nằm ngoài mô hình TIN nên cũng không thể so sánh được. Ngoài ra còn có thêm 14 điểm khi đo thủy chuẩn chúng tôi đặt mìn lên các vật kiên cố như cột bê tông, tảng đá hay cột mốc km cho nên cũng không thể so sánh được vì các vật kiên cố này không đại diện cho bề mặt mặt đất. Rất tiếc là chúng tôi đã không đo độ cao của các vật này so với bề mặt đất. Cuối cùng chỉ còn 22 điểm để so sánh. Trong bảng 4.10 này các điểm đặt mìn lên đế mìn vẫn chưa được trừ đi độ cao của đế mìn (5 cm).

Bảng 4.10: Sai số của mô hình TIN dựa trên kết quả đo thủy chuẩn hình học

Stt	X	Y	H. TC	H. TIN	Sai số	Ghi chú
TC1	1165946.604	595170.770	1.457	1.450	0.007	Đặt mìn trên mặt đường
TC2	1165975.872	595188.093	1.376	1.449	-0.073	Đặt mìn trên mặt đường
TC3	1165453.734	594878.520	1.344	0.885	0.459	Đặt mìn lên vật kiên cố
TC4	1164918.500	594574.662	1.376	1.291	0.085	Đặt mìn trên mặt đường
TC5	1164334.304	594238.527	1.708	1.427	0.281	Đặt mìn lên đế mìn
TC6	1163783.915	593925.394	1.363	1.531	-0.168	Đặt mìn trên mặt đường
TC7	1163938.970	593485.137	1.688	1.696	-0.008	Đặt mìn trên mặt đường
TC8	1164379.714	593154.981	1.830	1.233	0.597	Đặt mìn lên vật kiên cố
TC9	1164967.440	593050.180	1.866	1.886	-0.020	Đặt mìn trên mặt đường
TC10	1165535.183	592945.983	1.931	1.875	0.056	Đặt mìn trên mặt đường
TC11	1166089.862	592846.392	1.956	1.822	0.134	Đặt mìn trên mặt đường
TC12	1166645.044	592741.274	1.258	0.356	0.902	Đặt mìn lên vật kiên cố
TC13	1167517.012	592037.163	0.845	0.895	-0.050	Đặt mìn trên mặt đường
TC14	1167729.187	591444.163	0.871	0.388	0.483	Đặt mìn lên vật kiên cố
TC15	1167967.359	590811.389	0.883	0.948	-0.065	Đặt mìn trên mặt đường
TC16	1168218.224	590130.037	1.060	0.413	0.647	Đặt mìn lên vật kiên cố
TC17	1167977.005	589723.504	0.749	0.407	0.342	Đặt mìn lên đế mìn
TC18	1167460.820	589264.218	1.210	1.155	0.055	Đặt mìn trên mặt đường
TC19	1167237.399	588912.597	0.981	0.721	0.260	Đặt mìn lên đế mìn
TC20	1167146.827	588960.819	2.782	0.576	2.206	Đặt mìn lên cột bê tông
TC21	1166557.946	589548.721	2.121	0.656	1.465	Đặt mìn lên tảng đá
TC22	1165869.851	589637.325	2.421	0.535	1.886	Đặt mìn Cột mốc km
TC23	1165625.006	589831.409	2.431	2.328	0.103	Đặt mìn trên mặt đường
TC24	1165044.539	589607.001	2.028	1.359	0.669	Đặt mìn lên vật kiên cố
TC25	1164284.880	589482.648	1.911	0.735	1.176	Đặt mìn lên vật kiên cố
TC26	1163483.642	589228.232	1.799	1.601	0.198	Đặt mìn lên đế mìn
TC27	1162913.306	588940.874	2.811	1.043	1.768	Đặt mìn lên vật kiên cố
TC28	1162743.530	589737.086	1.120	1.144	-0.024	Đặt mìn trên mặt đường
TC29	1162686.995	590075.632	1.005	0.984	0.021	Đặt mìn trên mặt đường
TC30	1162581.463	590740.651	1.003	0.736	0.267	Đặt mìn lên đế mìn
TC31	1162456.291	591390.139	1.144	0.886	0.258	Đặt mìn lên đế mìn

Điểm 22	1162301.090	591902.671	1.062	0.513	0.549	Đặt mìn lên vật kiên cố
Điểm 30	1162076.014	591931.759	1.071	0.901	0.170	Đặt mìn lên đế mìn
Điểm 35	1161730.728	592328.132	1.510	0.503	1.007	Đặt mìn lên vật kiên cố
Điểm 38	1161414.272	593796.535	1.550	0.380	1.170	Đặt mìn lên vật kiên cố
Điểm 39	1160982.058	594280.459	1.520	1.482	0.038	Đặt mìn trên mặt đường

Sai số trung phương tại 22 điểm nói trên là 0.134 m

4.8 Phân tích, đánh giá phương pháp và kết quả thử nghiệm

Tại khu vực thử nghiệm công tác đo đạc được thực hiện theo các bước sau đây:

1. Công tác đo nối tọa độ, độ cao Nhà nước, thành lập lưới khống chế tọa độ và độ cao trong phạm vi khu đo;
2. Thực hiện phép calibration - quy chuẩn hệ thống tọa độ, độ cao để thiết lập các tham số cho quá trình đo GPS động;
3. Đo GPS-RTK bao gồm các điểm trải đều và các điểm nằm trên các đường breakline để thành lập DEM;
4. Đo kiểm tra bằng thủy chuẩn;
5. Tính toán, so sánh, đánh giá kết quả.

Phép Calibration là cần thiết trong các phép đo GPS - RTK vì nó cho phép liên kết tọa độ điểm đo GPS trong hệ WGS84 với hệ tọa độ địa phương. Thêm vào đó phép Calibration về độ cao cũng cần được tiến hành để chuyển độ cao trắc địa H đo được bằng GPS về hệ độ cao địa phương h (độ cao thủy chuẩn) và có tính đến các thay đổi về độ cao Geoid tại khu đo. Phép Calibration dựa trên một số điểm có tọa độ và độ cao trong cả hai hệ WGS84 và hệ tọa độ, độ cao địa phương. Nên chọn các điểm tọa độ, độ cao Nhà nước hạng cao để thực hiện phép Calibration. Số lượng điểm sử dụng trong phép Calibration phụ thuộc vào các hãng sản xuất máy thu GPS và phần mềm sử dụng. Theo [33] thì nếu khu đo nhỏ có thể thực hiện phép Calibrate với một điểm có tọa độ và độ cao (điểm 3-D). Tuy nhiên đối với khu đo lớn phải sử dụng 3 hoặc 4 điểm 3-D. Các điểm dùng để Calibrate cần được phân bố đều bao quanh khu đo. Phép Calibrate có thể được thực hiện ngoài thực địa hoặc trong quá trình tính toán bình sai lưới. Trong đề tài này phép Calibration được thực hiện trong quá trình tính toán bình sai lưới GPS.

Vì đề tài này tập trung vào việc đo cao bằng GPS với độ chính xác cao nên chúng tôi tập trung vào phân tích về độ cao là chủ yếu. Bắt đầu từ việc phân tích các tham số Calibration về độ cao có thể thấy trong công thức (3.5) - mục 3.1.3.2 $N_0 =$

0,002 m, $N_1=0,019$ ppm, $N_2=0,051$ ppm (mm/km) với các tham số này có thể thấy mô hình Geoid kết hợp (VNGra Geoid) có độ nghiêng và độ chênh so với hệ độ cao địa phương là không đáng kể. Như vậy có thể nói rằng mô hình VNGra Geoid, một phần kết quả đề tài của TS Lê Minh [24] đã được làm khớp khá tốt với hệ độ cao địa phương. Tuy nhiên, phép Calibration có thể được làm chặt chẽ hơn nếu chúng tôi đo dẫn thủy chuẩn trước vừa để làm kết quả kiểm tra sau này, vừa có đo nối thủy chuẩn hình học vào ít nhất 3 điểm bao quanh khu đo và nằm trong lưới GPS. Nói cách khác, trước khi thực hiện phép calibration thì trong lưới GPS phải có ít nhất 3 điểm bao quanh khu đo có độ cao thủy chuẩn (có sẵn hoặc đo dẫn thủy chuẩn). Do vậy, đối với các khu đo sau này chúng tôi đề nghị đo dẫn thủy chuẩn sao cho có ít nhất 3 điểm có độ cao thủy chuẩn bao quanh khu đo và thuộc lưới GPS trước khi thực hiện phép calibration.

Hơn nữa, để đảm bảo độ chính xác của phép Calibration thì các điểm thủy chuẩn nói trên phải có độ chính xác cao, được đo bằng thủy chuẩn hình học. Theo [9] thì chỉ nên sử dụng các điểm thủy chuẩn hạng cao nhất để làm khớp mô hình Geoid với hệ độ cao địa phương. Không nên dùng các điểm thủy chuẩn hạng thấp hay thủy chuẩn lượng giác. Cũng theo [9] thì trong nhiều trường hợp chỉ cần thực hiện phép đo GPS và mô hình EGM96 cũng có thể cho độ chính xác cao hơn đo thủy chuẩn lượng giác. Do vậy, theo chúng tôi, việc sử dụng chỉ một điểm thủy chuẩn hạng cao (hạng II) như trong khu thử nghiệm này vẫn có thể cho độ chính xác cao hơn là sử dụng 3 hay nhiều điểm thủy chuẩn hạng thấp hơn.

Thêm vào đó, theo [24] bản thân mô hình geoid vùng DBSCL đã có độ chính xác tương đương thủy chuẩn hạng III và đã được làm khớp với hệ độ cao địa phương, do vậy có thể sử dụng chỉ 1 điểm thủy chuẩn hạng cao.

Sau khi có các tham số Calibration có thể thiết lập hệ tọa độ và các tham số tính chuyển (mặt bằng và độ cao) tại khu đo, cũng như thiết lập các tham số cho trạm tĩnh và trạm động, công việc đo GPS-RTK có thể được tiến hành. Một vấn đề quan trọng cần được cân nhắc kỹ là việc lấy bỏ, chọn lọc các điểm lấy mẫu cho DEM. Do yêu cầu cao về độ chính xác của DEM nên mật độ điểm đo không thể quá thưa vì sẽ không đảm bảo miêu tả bề mặt DEM đủ mức độ chi tiết và độ chính xác. Theo logic thông thường thì các địa vật có chênh cao tương hỗ từ 0,2 mét trở lên đều phải được đo. Tuy nhiên nhiều đối tượng địa vật là bờ đất (bờ ngăn giữa các thửa ruộng trong cùng một khu nội đồng) vừa không kiên cố đối với lũ (nước có thể thấm

qua) vừa không cố định. Mặt khác cũng không thể đo quá dày đặc và chi tiết vì sẽ ảnh hưởng đến tiến độ đo cũng như giá thành của phương pháp. Hơn nữa trong các mô hình toán tính lũ (các bài toán phân tích thủy văn, thủy lực) cũng không thể đưa tất cả các thông tin vào làm cho mô hình quá phức tạp. Việc lựa chọn, lấy bỏ các thông tin địa hình để đưa vào bài toán tính lũ là cần thiết [32].

Do vậy chúng tôi quyết định đo chi tiết các đường breakline tại các đường và kênh, mương lớn (có độ rộng của chân lớn hơn 4 m) và đo trải đều các điểm cách nhau từ 200 đến 500 m tại các khu vực còn lại. Kolbl [18] đề xuất khoảng cách mắt lưới nhỏ nhất cho DEM thành lập với độ chính xác 0.15 m ở vùng đồng bằng là 5 mét. Để thực hiện các phép phân tích (thủy học- thủy lực) chẳng hạn, DEM dạng TIN thường phải được chuyển sang dạng Grid. Với khoảng cách mắt lưới 5 mét thì các đường đặc trưng có độ rộng nhỏ hơn 5 mét sẽ không thể được miêu tả bởi mô hình Grid. Đó là lý do để chúng tôi chọn đo chi tiết các đường breakline tại các đường và kênh mương lớn, với độ rộng của chân lớn hơn 4 mét. Trên diện tích khu đo là 107,2 km² có tất cả 7165 điểm đo, trong đó chỉ có 696 điểm (chiếm 9,7%) là được đo trải đều trên mặt ruộng, còn lại là 6469 điểm đo đường breakline cho đường, mương lớn và kênh rạch (chiếm 90,3%). Nếu so sánh khu đo này với các khu vực khác của ĐBSCL thì có thể thấy nhiều khu vực khác có địa hình bị chia cắt mạnh hơn, tức là có nhiều đường breakline hơn. Vì vậy có thể nói trong số các điểm được đo để tạo DEM chỉ có dưới 10% số điểm trải đều dưới ruộng, còn lại là trên 90% số điểm đo để miêu tả các đường breakline.

Một phương pháp thông dụng để kiểm tra sai số của mô hình TIN là đo các điểm kiểm tra trải đều trong khu đo. Các điểm kiểm tra này không tham gia vào việc tạo TIN. Chúng tôi đã đo 77 điểm kiểm tra bằng GPS-RTK (các điểm có màu đỏ trên hình P2.1 của Phụ lục 2). Sai số trung phương về độ cao tính theo 77 điểm kiểm tra này là 10.2 cm.

Kết quả đo GPS-RTK có thể được kiểm tra một cách hoàn toàn độc lập nếu tiến hành đo thủy chuẩn hình học và lấy kết quả đo này để kiểm tra sai số đo cao bằng GPS. Chúng tôi đã thiết kế và đo đạc một tuyến thủy chuẩn dài 26 km, theo các tiêu chuẩn lưới thủy chuẩn hạng 4, từ điểm khống chế độ cao hạng II (điểm II-10) chạy qua khu đo đến điểm khống chế độ cao hạng II (điểm II-12 hay DC2). Tuyến thủy chuẩn này có tổng cộng 45 mốc, mỗi mốc cách nhau từ 400 đến 600 m. Sau đó sử dụng phương pháp đo GPS động đo lên chính các mốc thủy chuẩn của lưới

này. Trong số 45 mốc thủy chuẩn này có 3 điểm là: TC13, TC36 và TC37 mà khi đo GPS-RTK vào thì bị lỗi. Các lỗi điển hình là PDOP không đảm bảo (Poor PDOP). Thậm chí tại các điểm TC36 và TC37 còn không fix được số đa trị nguyên N.

Như vậy là có 42 điểm vừa có giá trị độ cao được đo bằng thủy chuẩn hình học, vừa có giá trị độ cao đo bằng GPS-RTK có sử dụng mô hình VNGrA Geoid, kết hợp với các tham số Calibration theo phương pháp được đưa ra trong đề tài này. Sai số trung phương của chênh lệch độ cao tại 42 điểm này là 5,5 cm. Có thể thấy kết quả đo cao bằng GPS-RTK tại khu vực thử nghiệm khá thống nhất với kết quả đo cao bằng thủy chuẩn hình học. Các sai số được phân bố khá đồng đều cả về dấu (20 dấu “-”; 22 dấu “+”) lẫn giá trị tuyệt đối (không có sai số nào vượt quá 2 lần sai số trung phương). Điều này cho thấy tại khu vực thử nghiệm có thể tiến hành đo cao bằng GPS với độ chính xác khoảng 5 - 6 cm.

Ngoài ra chúng tôi còn lấy các giá trị độ cao đo bằng thủy chuẩn hình học để kiểm tra độ chính xác của mô hình TIN (tọa độ mặt bằng của các điểm này được lấy từ kết quả đo GPS-RTK). Theo cách này có thể kiểm tra được sai số thành lập DEM, cụ thể là sai số của mô hình TIN. Tuy nhiên, số các điểm có thể dùng để kiểm tra chỉ còn lại 22 điểm do có 6 điểm nằm ngoài mô hình TIN nên không so sánh được, ngoài ra còn có 14 điểm khác được đo trên các vật kiên cố, cột mốc km, chứ không phải mặt đất. Đáng tiếc là chúng tôi đã không ghi lại được chênh cao của các điểm này so với bề mặt đất. Với 22 điểm kiểm tra còn lại thì sai số trung phương của DEM tính được là $\sigma_{DEM} = 13,4$ cm. Sai số được tính là độ cao thủy chuẩn H_{TC} trừ đi độ cao nội suy từ mô hình TIN, H_{TIN} : $H_{TC} - H_{TIN}$. Nếu xem xét kỹ có thể thấy độ cao đo bằng thủy chuẩn thường cao hơn độ cao nội suy từ mô hình TIN. Trong số 22 giá trị sai số chỉ có 7 giá trị âm, lớn nhất về giá trị tuyệt đối là 0,168 m, 6 điểm còn lại lớn nhất về giá trị tuyệt đối cũng chỉ là 0,073 m. Giá trị trung bình là -0,058 m. Trong khi đó, 15 điểm còn lại có giá trị dương thì giá trị lớn nhất là 0,292 m. Giá trị trung bình là + 0,128 m - xấp xỉ sai số trung phương. Đây cũng là một điểm cần lưu ý vì như trên đã nêu, nếu so sánh trực tiếp độ cao đo bằng thủy chuẩn với độ cao đo bằng GPS-RTK theo từng mốc thủy chuẩn thì các sai số được phân bố khá “chuẩn”.

Tóm lại qua kết quả thử nghiệm có thể thấy phương pháp đo GPS-RTK kết hợp với đo thủy chuẩn có thể cho phép thành lập DEM tại vùng ĐBSCL với độ chính xác 0,1 đến 0,2 mét như mục tiêu đặt ra của đề tài.

Tuy nhiên, cũng cần lưu ý một số điểm sau:

1. Khu vực đo và thời gian đo khá thuận lợi cho đo GPS: khu đo có hệ thống đường, kênh mương nội đồng khá tốt, đi lại thuận tiện. Thời gian đo là vào mùa khô có thể dễ dàng đo vào mặt ruộng. Một số khu vực tuy có thực phủ làm ảnh hưởng đến việc thu tín hiệu GPS cũng như Radio link nhưng chúng tôi tin rằng tại ĐBSCL sẽ có nhiều khu vực khác phức tạp hơn nhiều cho đo GPS.
2. Mô hình geoid kết hợp - VNGra Geoid, do đã được hiệu chỉnh khớp với các điểm GPS-TC (làm khớp với hệ độ cao địa phương) nên có độ nghiêng và độ chênh so với hệ độ cao địa phương là không đáng kể (theo các tham số Calibration về độ cao - Vertical Adjustment Parameters tại khu đo). Tuy nhiên, như đã phân tích, độ chính xác của mô hình geoid thay đổi theo vị trí, phụ thuộc vào chất lượng, mật độ, độ chính xác của dữ liệu, phương pháp tính toán và nhiều yếu tố khác nữa. Do vậy vẫn còn một số nghi vấn về độ chính xác của geoid tại một số vùng thuộc ĐBSCL, nhất là tại các vùng giáp biên giới Việt Nam - Campuchia.

Chúng tôi thấy cần lưu ý các điểm nói trên vì theo đánh giá chung thì khu vực ĐBSCL có địa hình rất phức tạp với độ chia cắt lớn, nền đất yếu. Vì thế mặc dù độ chính xác của DEM tại khu vực thử nghiệm là khá khả quan nhưng cũng không vì thế mà có thể khái quát hóa cho toàn bộ vùng ĐBSCL một cách quá lạc quan được.

Hơn nữa cần nhấn mạnh rằng công nghệ đo GPS, đặc biệt là GPS-RTK có những hạn chế nhất định, đó là:

1. GPS-RTK không thể được áp dụng ở mọi lúc mọi nơi. Theo lý thuyết thì ít nhất phải thu được tín hiệu của 5 vệ tinh để xác định trị N theo công nghệ OTF và sau đó là 4 vệ tinh để đo. Tuy nhiên nhiều thiết bị đo GPS yêu cầu phải có ít nhất 6 vệ tinh với $PDOP \leq 6$ để xác định số đa trị nguyên N. Thậm chí nếu đặt máy thu GPS tại một vị trí có thể quan sát bầu trời theo mọi hướng thì GPS cũng chỉ cho phép quan sát được ≥ 4 vệ tinh với $PDOP \leq 6$ trong 99,9% thời gian. Do đó ngay trong các điều kiện lý tưởng, GPS-RTK cũng không thể áp dụng được trong mọi lúc. Trên thực tế bầu trời tại điểm quan sát có thể bị che khuất cho nên có nơi, có lúc không thể đo GPS-RTK được. Cụ thể trong khu vực thử nghiệm có các ca đo, tập trung vào các ngày 24, 25/2/2004 tín hiệu GPS rất kém, nhiều điểm không đo được. Hơn nữa trong khu đo có những vùng bị che khuất làm cho cả tín hiệu vệ tinh lẫn tín hiệu radio đều kém đi. Chúng tôi thường bố trí sao cho ăngten radio cao hơn so với mặt đất ít nhất là 6 mét. Mặc

dầu vậy khoảng cách giữa trạm base và trạm rover cũng không quá 4 km. Nếu vượt quá 4 km tín hiệu radio link thường bị mất. Để khắc phục, trong một số trường hợp chúng tôi phải dùng thêm trạm tiếp sóng Radio (Radio Repeater). Đối với một số trường hợp, khi chỉ có tín hiệu vệ tinh tốt còn tín hiệu radio kém thì chúng tôi chọn chế độ đo xử lý sau (post process).

Ở các vùng dân cư có nhiều thực phủ, chúng tôi cố gắng chọn một vài điểm khả dĩ có thể đo GPS-RTK được. Nếu thực phủ quá dày đặc phải chọn phương án đo bù bằng thủy chuẩn và kết hợp với các phương pháp khác để có được cả tọa độ mặt bằng và độ cao.

2. Nếu so sánh, liên hệ với các phương pháp đo đạc truyền thống thì GPS-RTK là phép đo toả tia hay đo tọa độ cực, đo treo vì không có đo khép. Do đó cần nhấn mạnh đến công tác kiểm tra. GPS-RTK không đo chênh cao giữa các điểm kề cạnh nhau như trong thủy chuẩn hình học mà lại đo chênh cao giữa từng điểm của trạm động với trạm tĩnh. Hiện nay chỉ có một phương pháp kiểm tra phổ biến nhất, đó là đo GPS-RTK trùng vào các điểm đã biết tọa độ hay độ cao để kiểm tra, mặc dù theo Featherstone và Stewart [10] thì một phép đo GPS-RTK có độ chính xác tốt tại một điểm chưa chắc đã đảm bảo rằng phép đo GPS-RTK này chính xác tại các điểm khác trong khu đo.
3. Trong nhiều trường hợp công tác đo dẫn, đo chêm dày và đo bù bằng thủy chuẩn là cần thiết vì:
 - a. Các điểm thủy chuẩn hạng I, II vùng ĐBSCL tuy đã được tu bổ, đo lại và hoàn thiện, có mật độ khá cao so với nhiều vùng khác ở nước ta nhưng vẫn chưa cho phép đảm bảo rằng tại bất cứ vùng nào với diện tích 10×10 km hay thậm chí 20×20 km có ít nhất 3 điểm độ cao hạng I, II.
 - b. Trong nhiều trường hợp không thể trực tiếp đo GPS vào các mốc thủy chuẩn vì nhiều mốc đặt dưới tán cây, gần nhà hay các công trình xây dựng kiên cố. Điều này khiến cho việc thu tín hiệu GPS gặp nhiều khó khăn, thậm chí không thể thực hiện được.
 - c. Tại các khu vực dân cư, khu vực xây dựng hay khu vực có thực phủ lớn không thể đo GPS được thì phải đo bù ở ngoại nghiệp (thường là bằng thủy chuẩn để có giá trị độ cao) và kết hợp với các phương pháp khác để có tọa độ mặt bằng.

4. Công nghệ GPS-RTK được miêu tả trong đề tài này chỉ có thể được áp dụng theo từng vùng nhỏ. Nếu sau khi đã đo hết toàn bộ đồng bằng sông Cửu Long thì phải tiến hành bình sai tổng thể, tức là từ các dữ liệu đo GPS trùng vào các mốc thủy chuẩn tiến hành phép làm khớp geoid trọng lực với geoid hình học (dựa trên các điểm mốc thủy chuẩn). Kết quả làm khớp này là một mô hình geoid “kết hợp” - như cách gọi ở Mỹ, cho phép trực tiếp tính chuyển độ cao trắc địa được đo bằng GPS sang độ cao thủy chuẩn. Theo các kết quả nghiên cứu mới đây của Tiến sỹ Lê Minh [24] thì tại ĐBSCL hiện đã có mô hình geoid với độ chính xác khoảng 5-6 cm. Sau khi tiến hành đo trùng GPS vào nhiều điểm thủy chuẩn hơn, hy vọng chúng ta sẽ có được một mô hình geoid mới với độ chi tiết và độ chính xác cao hơn cho vùng ĐBSCL để làm cơ sở khống chế độ cao, cho phép xác định độ cao thủy chuẩn bằng công nghệ GPS với độ chính xác của thủy chuẩn hạng III.

4.9 Đề xuất phương pháp thành lập DEM phục vụ dự báo, quy hoạch phòng chống lũ lụt đồng bằng sông Cửu Long.

Sau khi tiến hành đo, phân tích, đánh giá phương pháp và kết quả thu được tại khu vực thử nghiệm chúng tôi thấy có thể áp dụng quy trình đo như miêu tả trên hình 4.2 của mục 4.5. Tuy nhiên từ những vấn đề mà chúng tôi gặp phải trong quá trình đo thử nghiệm chúng tôi thấy cần bổ sung, nhấn mạnh và lưu ý những điểm sau đây:

1. Trước khi tiến hành xây dựng và đo lưới khống chế phải nghiên cứu, khảo sát kỹ khu đo để:
 - a) Có các phương án thiết kế đo nối, đo dẫn thủy chuẩn cụ thể (do mật độ thưa của các điểm thủy chuẩn hạng cao và nhiều điểm thủy chuẩn bị che khuất, không cho phép đo GPS trùng trực tiếp);
 - b) Có các phương án đo chêm dày, đo bù thích hợp ở ngoại nghiệp;
 - c) Có hình thức chuyển quân (cơ động từ điểm đo này) đến điểm đo khác hiệu quả nhất. Ví dụ là tại khu vực thử nghiệm của đề tài này chúng tôi đã cơ động bằng xe máy nên tiến độ đo được đẩy nhanh hơn.
2. Khi tính toán lưới khống chế cần kiểm tra kỹ các sai số nhằm kiểm soát chặt chẽ chất lượng sản phẩm. Do GPS-RTK thường được áp dụng để đo điểm chi tiết theo các khu vực tương đối nhỏ cho nên cạnh baseline của lưới khống chế

thường nhỏ hơn 20 km. Theo [33] thì độ chính xác tương đối 3-D của cạnh đáy có chiều dài nhỏ hơn 20 km, được đo bằng máy hai tần số thường nhỏ hơn hoặc bằng 3 cm (2σ) - σ là sai số trung phương. Zilkoski và các tác giả [35] cũng khuyến nghị rằng sai số trung phương của từng baseline không vượt quá 2,5 cm. Còn về độ cao, sai số của độ cao trắc địa được tính tại một điểm nhưng theo hai baseline không được vượt quá 5 cm.

3. Mặc dù trong nhiều phần mềm cho phép thực hiện phép Calibration chỉ với một điểm tọa độ, độ cao nhưng tốt nhất nên đo trùng vào ít nhất 3 điểm tọa độ, độ cao (điểm thủy chuẩn) để tăng độ tin cậy của kết quả Calibration. Nếu không có từ 3 mốc thủy chuẩn trở lên có thể đo trùng GPS vào thì phải tiến hành đo chêm dày, đo dất thủy chuẩn trước khi thực hiện phép Calibration. Phải xem xét kỹ các tham số sau đây của kết quả Calibration: hệ số tỷ lệ (horizontal scale); các giá trị độ nghiêng (slope north) và (slope east) cũng như các sai số tính chuyển lớn nhất về mặt bằng và độ cao. Có thể nghiên cứu bản đồ đường đẳng trị độ cao (nếu có) trong phạm vi khu đo để phân tích, đánh giá kết quả Calibration.
4. Khi xây dựng lưới khống chế tọa độ và độ cao giữ giới hạn khu đo trong vùng bán kính 20 km tính từ các điểm khống chế tọa độ và độ cao Nhà nước. Cụ thể là trong hình 4.1 các điểm cần đo mới (từ B1 đến B4 và từ C1 đến C6) phải được bố trí không xa hơn 20 km tới các điểm khống chế nhà nước TD1, TD2 và DC2. Với các lưới khống chế có cạnh đáy (baseline) nhỏ hơn 20 km, sai số tương đối độ cao trắc địa sẽ bị khống chế. Thời gian đo tại các trạm có thể dưới 1 giờ (xem phụ lục 3) cũng đảm bảo độ chính xác tốt cho các cạnh đáy ngắn này.
5. Thực tế đo tại khu vực thử nghiệm đã cho thấy khoảng cách giữa trạm base và trạm rover không nên vượt quá 4 km. Trong một số tài liệu chẳng hạn như [10] cũng cho thấy phép đo GPS-RTK thường chỉ cho kết quả đáng tin cậy khi khoảng cách giữa trạm base và trạm rover ≤ 5 km.
6. Sử dụng các ăngten cùng loại (giống hệt nhau). Các nhãn hiệu (Trimble, Ashtech, Leica) và các dòng, hay phiên bản khác nhau của ăngten GPS có các vị trí tâm pha không giống nhau. Chỉ dùng lẫn các loại ăngten khác nhau khi phần mềm xử lý có khả năng hiệu chỉnh các khác biệt này. Nếu không, việc sử dụng lẫn các ăngten khác nhau trong một khu đo có thể gây ra sai số về thành phần độ cao tới 10 cm [33; 35].

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Thành lập DEM có độ chính xác cao (từ 0.1 đến 0.2 mét) tại một số khu vực của ĐBSCL bằng phương pháp kết hợp nêu trong đề tài này là có thể thực hiện được. Tuy nhiên, khó có thể khẳng định cho toàn vùng ĐBSCL vì còn một số nghi vấn về độ chính xác của mô hình VNGrA Geoid tại một vài vị trí, chẳng hạn giáp biên giới Việt Nam - Campuchia. Ngoài ra mật độ và độ chính xác của lưới thủy chuẩn hiện có tại vùng ĐBSCL là không giống nhau, mức độ phức tạp của địa hình tại các vùng khác nhau của ĐBSCL cũng có nhiều khác biệt.
2. Để đạt được độ chính xác cao DEM phải được thành lập theo quy trình nêu tại phụ lục 5, có chú ý đến các đề xuất, các điểm cần lưu ý tại mục 4.9.
3. Phương pháp kết hợp trọng lực và hình học cho phép kết quả đo cao bằng GPS khớp tốt nhất với hệ độ cao địa phương. Hơn nữa phương pháp này còn có thể cho phép phát hiện và khử các sai số cục bộ, mô hình hóa và khử các sai số hệ thống hay độ lệch giữa mô hình geoid trọng lực và hệ độ cao địa phương trong khu đo. Thêm vào đó, với việc đo trùng GPS vào các điểm thủy chuẩn, mô hình Geoid trọng lực được làm khớp với mô hình geoid hình học. Mô hình bề mặt sau khi được làm khớp cho phép tính chuyển tốt nhất độ cao trắc địa về độ cao thủy chuẩn.
4. Mặc dù một số phần mềm cho phép thực hiện phép calibration chỉ với một điểm có độ cao thủy chuẩn và được đo trùng GPS nhưng để đảm bảo tính chặt chẽ của phương pháp kết hợp phải sử dụng ít nhất 3 điểm thủy chuẩn có đo trùng GPS trong một khu đo.
5. Phải xem xét kỹ các tham số của kết quả calibration như hệ số tỷ lệ, các giá trị độ nghiêng cũng như các sai số tính chuyển lớn nhất về mặt bằng và độ cao. Có thể nghiên cứu bản đồ đường đẳng trị dị thường độ cao (nếu có) trong phạm vi khu đo để phân tích, đánh giá kết quả calibration.
6. Do GPS-RTK thường được áp dụng để đo điểm chi tiết theo các khu vực tương đối nhỏ cho nên cạnh của lưới khống chế thường nhỏ hơn 20 km. Khoảng cách giữa trạm Base và trạm Rover không nên vượt quá 4 - 5 km.
7. Công nghệ GPS-RTK cho phép đo một số lượng điểm lớn trong một thời gian rất ngắn, nhưng không thể được áp dụng tại mọi nơi, mọi lúc. Đôi khi tín hiệu

- vệ tinh kém làm giảm độ tin cậy của kết quả đo cao bằng GPS (PDOP lớn, khó fix trị nguyên N).
8. Trong nhiều trường hợp công tác đo dẫn, đo chênh dày, đo bù độ cao bằng thủy chuẩn hình học là cần thiết.
 9. Nguyên lý đo GPS-RTK là đo chênh cao giữa từng trạm Rover với trạm Base, không có đo khép. Do đó cần hết sức chú ý công tác kiểm tra để đảm bảo độ chính xác và tính tin cậy của kết quả đo.
 10. Khi đo DEM tại ĐBSCL với địa hình tuy bằng phẳng nhưng bị chia cắt nhiều, đại đa số các điểm đo (khoảng 90% trong tổng số các điểm đo) là để miêu tả các đặc trưng địa hình như: đê bao, bờ bao, bờ kênh ... Chỉ có khoảng 10% trong tổng số các điểm đo là các điểm trải đều trên mặt ruộng.
 11. Công nghệ GPS-RTK được miêu tả trong đề tài này chỉ có thể được áp dụng theo từng khu vực nhỏ một. Vì vậy sau khi đã đo hết toàn bộ vùng ĐBSCL đề nghị tiến hành bình sai tổng thể cho toàn vùng, tức là thực hiện việc làm khớp mô hình geoid trọng lực với geoid hình học cho toàn vùng.
 12. Để có thể khẳng định chắc chắn về độ chính xác và tính khả thi của phương pháp kết hợp nêu trong đề tài đề nghị cho tiến hành sản xuất thử tại một số khu vực nhỏ nhưng có mức độ khó khăn hơn, chẳng hạn về: địa hình, thủy hệ, thực phủ, lưới độ cao hiện có.

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] Tăng Quốc Cường và nnk (2004) *Nghiên cứu cơ sở khoa học xây dựng mô hình số độ cao phục vụ quản lý tài nguyên thiên nhiên*, Viện Nghiên cứu Địa chính, Bộ Tài nguyên và Môi trường.
- [3] Elberink, S.O., Brand, G. and Brugelmann, R.(2003) Quality Improvement of Laser Altimetry DEM's, *proceedings of the ISPRS working group III/3 workshop: "3-D reconstruction from airborne laser Scanner and InSAR data"*, Dresden, Germany, 8-10 October 2003.
- [4] Featherstone, W.E. (1998) Do We Need a Gravimetric Geoid or a Model of the Base of the Australian Height Datum to Transform GPS Heights? *The Australian Surveyor*, Vol 43, No. 4, pp: 273-280.
- [5] Featherstone, W.E. (2000) Refinement of Gravimetric Geoid Using GPS and Levelling Data, *Journal of Surveying Engineering*, Vol 126. No. 2:27-56.
- [6] Featherstone, W.E. (2004) Evidence of a North - South Trend between AUSGeoid 98 and the Australian Height Datum in South West Australia, *Survey Review*, Vol 37, No.291:334-342.
- [7] Featherstone, W.E.(1995) On the Use of Australian Geodetic Datum in Gravity Field Determination, *Geomatics Research Australias*, 62:17-36.
- [8] Featherstone, W.E., J.F.Kirby, S.A. Holmes, G.Fotopoulos, J.M. Goos (2002) Recent Research Towards an Improved Geoid Model for Australia, *Joint AURIA/Institution of Surveyors Conference*, Adelaide, South Australia, 25-30 November 2002.
- [9] Featherstone, W.E., M.C. Dentith and J.F.Kirby (1998) Strategies for the Accurate Determination of Orthometric Heights from GPS, *Survey Review*, Vol 34, No. 267, pp. 278-296.
- [10] Featherstone, W.E.and M.P.Stewart (2001) Combined Analysis of Real-Time Kinematic GPS Equipment and Its Users for Height Determination, *Journal of Surveying Engineering*, Vol 127, No.2:31-51.
- [11] Flood, M. (2001) Laser Altimetry: From Science to Commercial LIDAR Mapping, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 67, No. 11, pp. 1209 - 1217.
- [12] 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
- [13] Fotopoulos, G. (2003) *An Analysis on the Optimal Combination of Geoid, Orthometric and Ellipsoidal Height Data*. Ph.D. Thesis, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Alberta, Canada, 238 pp. <http://www.geomatics.ucalgary.ca/links/GradTheses.html>
- [14] 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.
- [15] Higgins, M.B. (1999) Heighting with GPS: Possibilities and Limitations, *FIG Commission 5 Seminar: "Geodesy and Surveying in the Future - The Importance of Heights"*, Gavle, Sweden, 15 -17 March 1999.
- [16] Jiang, Z. and H. Duquenne (1996) On the Combined Adjustment of Gravimetrically Determined Geoid and GPS Levelling Stations, *Journal of Geodesy*, 70:505-514.
- [17] 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.
- [18] Kolbl, O. (2001) Technical Specification for the Elaboration of Digital Elevation Models, http://www.intesagis.it/specifiche_tecniche/DTM/DTM161_spec_Apr01.pdf
- [19] Li, Z.(1992) Variation of the Accuracy of Digital Terrain Models with sampling Intervant, *Photogrammetric Record*, Vol. 14, No 79:113-128.
- [20] Li, Z. (1993) Mathematical Models of the Accuracy of Digital Terrain Model Surfaces Linearly Constructed from Square Gridded Data, *Photogrammetric Record*, Vol. 14, No. 82, pp. 661-674.
- [21] 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.
- [22] Maas, H.G. (2003): Planimetric and height accuracy of airborne laserscanner data - User requirements and system performance, *Proceedings 49th Photogrammetric Week* (Ed. D. Fritsch), Wichmann Verlag, pp. 117-125.
- [23] 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.
- [24] Lê Minh và nnk (2004) *Xây dựng cơ sở dữ liệu trường trọng lực toàn cầu, thiết lập mô hình geoid độ chính xác cao trên lãnh thổ Việt Nam phục vụ nghiên cứu hoạt động của trái đất và đổi mới công nghệ đo độ cao bằng hệ thống định vị toàn cầu, thuộc đề tài cấp Nhà nước: "Nghiên cứu cơ sở khoa học xây dựng hạ tầng kỹ thuật thông tin địa lý phục vụ hợp tác và giải quyết một số vấn đề cơ bản về khoa học trái đất trên lãnh thổ Việt Nam, khu vực và toàn cầu"*, Viện Nghiên cứu Địa chính, Bộ Tài nguyên và Môi trường.
- [25] National Geodetic Survey (1998) National Height Modernization Study, *Report to Congress*, National Oceanic and Atmospheric Administration, US. Department of Commerce, June 1998. <http://www.acsm.net/heightmod.pdf>
- [26] Vũ Tiến Quang (2001) Đo GPS động - phương pháp mới trong đo vẽ bản đồ tỷ lệ lớn, *Đặc san Khoa học Công nghệ Địa chính* của Viện Nghiên cứu Địa chính - Tổng cục Địa chính, số tháng 10 năm 2001, trang 54-60.
- [27] 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, University of Calgary, Alberta, Canada, 113 pp. <http://www.geomatics.ucalgary.ca/links/GradTheses.html>

- [28] Roman, D.R, Y.M.Wang, W. Henning and J.Hamilton (2004) Assessment of the New National Geoid Height Model, GEOID03, *Proceedings of 2004 ACSM/TAPS Conference and Technology Exhibition*, Nashville, Tennessee, April 16-21. <http://www.acsm.net/04sessions.html>
- [29] Tổng cục Khí tượng Thủy văn (2000) Bước đầu đánh giá về lũ lụt năm 2000 ở Đồng bằng sông Cửu Long, *Báo cáo của Tổng cục Khí tượng Thủy văn tại hội nghị khắc phục hậu quả lũ lụt ở các tỉnh ĐBSCL do Thủ tướng Chính phủ chủ trì*, Đồng Tháp 10-11-2000.
- [30] Tarig, A. (2004) On the Selection of an Interpolation Method for Creating a Terrain Model (TM) from LIDAR Data, *proceedings of 2004 ACSM/TAPS conference and Technology Exhibition*, Nashville, Tennessee, April 16-24,2004. <http://www.acsm.net/04sessions.html>
- [31] PGS-TS. Bùi Doãn Trọng, ThS. Lại Anh Khôi, TS. Nguyễn Bá Linh, KS. Nguyễn Xuân Lăng, Đinh Thị Minh (1999) Ứng dụng ảnh radar trong xây dựng bản đồ hiện trạng ngập lụt ở đồng bằng sông Cửu Long, *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.
- [32] Tô Văn Trường (1999) Xây dựng cơ sở dữ liệu thống nhất cho mô hình toán tính lũ Đồng bằng sông Cửu Long, *Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Nhà nước*, Phân viện Khảo sát và Quy hoạch Thủy lợi Nam Bộ, Bộ Nông nghiệp và phát triển Nông thôn.
- [33] USACE (2003) *NAVSTAR Global Positioning System Surveying*, USArmy Corps of Engineers, Engineer Manual, 469 pp. http://www.tec.army.mil/info_pubs.html
- [34] Vanicek, P. and W.E. Featherstone (1998) Performance of three Types of Stokes's Kenel in the Combined Solution for Geoid, *Journal of Geodesy*, 72(12): 684-697.
- [35] Zilkoski, D.B., J.D.D'Onofrio and S.J.Frakes (1997) *Guidelines for Establishing GPS-Derived Ellipsoid Heights (Standards: 2 cm and 5 cm)*, NOAA Technical Memorandum, NOS, NGS-58, Silver Spring, MD. http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/NGS-58.html

Phụ lục 1: Lũ lụt năm 2000

Vùng ĐBSCL đã có những năm lũ lụt rất lớn, chẳng hạn những năm 1961, 1966, 1978, 1996, 2000, 2001. Trong đó, trận lũ lụt năm 2000 có thể coi là lớn nhất.

Năm 2000, lũ ĐBSCL xuất hiện rất sớm ngày đầu tháng 7. Trận lũ này là trận lũ lịch sử, lớn nhất trong hơn 70 năm qua, gây những tổn thất rất nghiêm trọng về người và của. Chúng ta sẽ xem xét cụ thể trận lũ năm 2000 là tiêu biểu cho lũ lụt vùng ĐBSCL.

Cơ chế lũ lụt ở ĐBSCL:

ĐBSCL phải chuyển tải toàn bộ dòng chảy lũ sông Mekong với tổng lượng nước khoảng 500 tỷ m³/năm trong đó tới trên 70% (300-350 tỷ m³) tập trung trong khoảng 3 tháng lũ. Lượng nước rất lớn, tăng rất nhanh, tập trung nhanh về ĐBSCL trũng, nhỏ hẹp, mạng sông thường quá tải nên gây ngập nghiêm trọng. Lũ lớn có thể xảy ra sớm hoặc muộn.

Lụt tại ĐBSCL do nước lũ từ dòng chính, nước lụt tràn vào từ Campuchia qua biên giới, mưa tại chỗ và thủy triều. Lũ và lụt tại ĐBSCL có quan hệ chặt chẽ. Khoảng 70%-80% dòng chảy sông Mekong thoát ra biển Đông theo sông Tiền, sông Hậu, phần còn lại tràn qua ĐTM, TGLX sau đó trở lại biển Đông hoặc biển Tây. Cơ chế truyền nước lũ vào ra ĐTM, TGLX phụ thuộc điều kiện dòng chảy lũ trên sông, tình hình nước đềm trong vùng trũng, tác động thủy triều và chi phối bởi cơ sở hạ tầng (đê, đường giao thông, kênh thoát lũ...).

Đặc điểm lũ lụt năm 2000:

Từ đầu tháng 7, mưa lớn đã xảy ra trên lưu vực sông Mekong, tổng lượng mưa năm 2000 ở ĐBSCL thuộc loại lớn nhất trong những năm có lũ. Do mưa nội địa kết hợp với lũ ở thượng nguồn sông Mekong làm xuất hiện lũ sớm nhất và cao nhất (tháng 7 cao hơn 3,0 m tại Tân Châu) cùng kỳ trong hơn 40 năm qua. Mực nước sông Tiền, sông Hậu lên nhanh. Lũ lụt về sớm nhất, đổ về đồng bằng nhanh hơn. Đỉnh lũ sông Mekong thuộc loại lớn nhất, tổng lượng lũ 90 ngày là 367 t³, lớn nhất trong những trận lũ lớn 75 năm qua.

Lụt ở ĐBSCL lớn nhất, bao trùm diện rộng nhất, kéo dài nhất trong hơn 75 năm quan trắc gần đây, lớn hơn lũ các năm 1978, 1996 khoảng 20-60 cm, có nơi cao hơn. Lũ tại Tân châu trên 4 mét kéo dài từ tháng 7 đến tháng 11, dài chưa từng thấy. Lũ lụt đạt mức nước cao nhất khá đồng bộ ở đồng bằng, truyền lũ về trung tâm

ĐTM, TGLX nhanh hơn trước đây 2-5 ngày. Đỉnh lũ cao nhất tại Tân Châu là 5,06m, Châu Đốc là 4,90 m tương đương đỉnh lũ cao nhất trong 75 năm gần đây. Lụt tại ĐTM và phần phía Tây TGLX, cao hơn lụt 1978, 1996 khoảng 20-60cm.

Diễn biến ngập lụt rất phức tạp, tuy nguyên nhân chính và cơ chế gây lụt vẫn như trước đây nhưng mức độ đã khác biệt nhiều. Những thay đổi về cơ sở hạ tầng như các tuyến giao thông, hệ thống bờ kênh, bờ bao, các kênh rạch, công trình kiểm soát lũ... đã tạo ra các khu, ô trũng khá tách biệt và cho bức tranh ngập lụt rất đa dạng ở vùng, tiểu vùng trong ĐTM và TGLX. Lũ dẫn về ĐTM, TGLX nhiều hơn, nhanh hơn, đặc biệt phía tây TGLX, đầu nguồn thuộc Đồng Tháp, Long An và rất đồng bộ với lũ trên dòng chính tại Tân Châu và Châu Đốc. Vì vậy ngập lụt ở ĐBSCL nghiêm trọng hơn do nước lụt buộc phải truyền từ ô này sang ô khác, từ vùng cao xuống vùng thấp, thời gian ngập cũng kéo dài hơn.

Cơ chế dòng chảy trong ĐBSCL biến đổi phức tạp hơn, xuất hiện dòng chảy với lưu tốc lớn, hướng chảy khác trước. Tại một số đầu, cuối các kênh, lưu tốc lớn nhất lên tới 3,0 m/s, tương tự như lưu tốc dòng lũ các sông miền núi, nên tiềm tàng khả năng gây xói lở bờ, hư hại công trình.

Cơ chế truyền dòng nước lũ ở đồng bằng đã khác biệt nhiều so với những năm trước, nước lụt từ Campuchia truyền về vùng biên giới bị ngăn lại bởi các tuyến giao thông, các công trình kiểm soát lũ và dẫn lũ nên tạo ra vùng ngập ú nước khá rõ tại khu dọc biên giới và trên tuyến Giang Thành, Châu Đốc, Tân Châu. Nước cao tại phía Campuchia đã tạo một đầu nước lớn uy hiếp các tuyến đường thấp cầu, các công trình đầu kênh dẫn. Nước lụt đổ về ĐTM và vùng tam giác Hà Tiên, phần phía tây của TGLX nhanh hơn trước rất nhiều. Tuy nhiên nước lụt truyền về vùng hạ nguồn của TGLX lại ít và chậm hơn nhiều tạo thuận lợi cho phòng tránh.

Cơ chế dẫn lũ và diễn biến lũ ở ĐBSCL theo các hướng, các kênh trục về ĐTM, TGLX cũng có những khác biệt rõ. Nước từ vùng biên giới và thượng du đường Hồng Ngự-Tân Hồng cao hơn so với những trận lụt trước khoảng 50-60 cm, có nơi tạo thế nước chuyển về sông Tiền khá nhiều, chiếm tỷ lệ lớn trong tổng lượng nước vào ĐTM. Nước lũ dẫn về trung tâm ĐTM nhanh hơn, nhiều hơn nhất là theo các kênh dọc vì vậy ngập lụt vùng tam giác Vĩnh Hưng-Tân Hưng-Mộc Hóa sâu hơn, kéo dài hơn so với các trận lũ trước đây. Khi thoát lũ ra biển Tây bị hạn chế bởi các công trình, lũ đã uy hiếp rất lớn vùng này.

Độ sâu ngập lụt ở đồng bằng đã khác nhiều giữa các vùng. Lụt ở ĐTM sâu nhất trong những trận lụt lớn gần đây (sâu hơn 20-60 cm) và phổ biến dạng diễn biến theo ô, vùng giới hạn bởi các đường giao thông, bờ kênh, bờ bao với xu hướng chuyển dần từ ô, vùng thượng lưu xuống ô, vùng hạ du và khi lũ lên nhanh, chênh lệch mực nước giữa các ô, vùng là khá lớn, có nơi tới 50-100 cm. Lụt vùng giữa huyện đầu nguồn thuộc An Giang hầu như ít thay đổi tuy cũng bị chi phối bởi các tuyến đường và bờ bao cao trình thấp. Ngập lụt khá nặng và sâu hơn trước, diễn biến nhanh hơn trước xảy ra vùng thượng du đường Xuân Tô, Giang Thành và tam giác Hà Tiên. Trong khi ngập lụt trên tất cả các khu khác của TGLX, miền TSH đều thấp hơn với các trận lũ lớn trước đây khoảng 10-20 cm, mặc dù lũ ngoài sông tương đương hoặc lớn hơn. Hiệu quả dẫn, thoát lũ của các công trình khá rõ ở vùng này.

Thời gian ngập lụt vùng ĐTM kéo dài nhất từ trước đến nay. tại trung tâm ĐTM, mực nước cao hơn 3,0 m, duy trì trên 30 ngày. Tại TGLX, mặc dù đã có một số công trình kiểm soát lũ nhưng thời gian duy trì lũ mức lũ cao hiếm thấy.

Cơ chế thoát lũ ra biển Tây, trở lại sông Tiền, sông Hậu ra sông Vàm Cỏ nhìn chung không thay đổi nhiều.

Khả năng dẫn lũ, thoát lũ của hệ thống kênh ngang, dọc thuộc ĐBSCL:

Nhìn chung đã có những thay đổi cơ bản về các công trình kiểm soát lũ trên các tuyến chính đổ nước về TGLX, nên vai trò của các kênh dọc dẫn nước trong, ít phù sa từ biên giới thoát ra biển Tây tăng lên nhiều. Cùng với quá trình đó là sự gia tăng lượng nước sông Hậu nhiều phù sa trên các kênh đoạn Châu Đốc - Long Xuyên vào trong đồng. Ngược lại, là hiện tượng các kênh ngang ĐTM khi lũ lên lại chủ yếu thoát nước ra sông Tiền. Các kênh ngang cũng có những tác dụng khá rõ trong dẫn nước lũ sang phía sông Vàm Cỏ. Tất cả các kênh dọc đã phát huy tác dụng dẫn lũ về ĐTM.

Lưu lượng lớn nhất vào ĐBSCL khoảng $55.280\text{m}^3/\text{s}$. Lượng nước theo sông Tiền, sông Hậu giảm mạnh và vào ĐTM gia tăng nhanh và vào TGLX không tăng. Trong lũ năm 2000, các công trình kiểm soát lũ đã phân phối lại dòng chảy vào TGLX.

Một số kết luận về lũ năm 2000:

1. Quá trình diễn biến xảy ra nhanh hơn những năm trước, nhất là vùng Campuchia, do mưa sớm, nước lũ về nhanh hơn;

2. Diễn biến lũ và ngập lụt tại ĐBSCL phụ thuộc rất chặt chẽ vào cơ sở hạ tầng, nhất là các tuyến đường giao thông, tuyến đê, bờ bao;
3. Thoát lũ ra biển chậm, nhất là từ phía ĐTM và phía nam TGLX, TSH;
4. Công trình kiểm soát lũ đã có những hiệu quả khá rõ trong giảm mức nước đầu mùa, nhất là tại TGLX, tuy nhiên chưa thỏa mãn được tốt nhất mục tiêu thoát lũ ra biển Tây;
5. Công trình kiểm soát lũ giúp vùng TGLX ngập lụt ít hơn trong khi những vùng khác ngập lụt lớn hơn so với những năm trước;
6. Hệ thống công trình kiểm soát lũ, phòng lũ đã tạo nên sự thay đổi lớn về thời gian tuyến lũ, hướng truyền lũ vào, ra khỏi ĐBSCL cũng như diễn biến ngập lụt ở đây.

Bảng P1.1: Tần suất xuất hiện mực nước lớn nhất năm 2000 ở một số trạm chính thuộc ĐBSCL

Stt	Tên trạm	Chuỗi số liệu	H max 2000 (cm)	H lớn nhất (cm) trong chuỗi và năm xuất hiện	Tần suất xuất hiện P%	Độ lặp lại (năm)
1	Xuân Tô	1985-2000	468	468 (2000)	6%	17
2	Kiến Bình	1983-2000	266	266 (2000)	5,3%	19
3	Hưng Thạnh	1980-2000	358	358 (2000)	4,5%	22
4	Rạch Giá	1978-2000	87	144 (1984)	40%	-
5	Tân Hiệp	1981-2000	178	190 (1996)	9%	11
6	Long Xuyên	1960-2000	263	264 (1978)	5%	20
7	Tuyên Nhơn	1981-2000	241	322 (1996)	8%	12
8	Tri Tôn	1985-2000	298	308 (1996)	10%	10
9	Bến Lức	1977-2000	137	137 (1996,2000)	6%	17
10	Vàm Mao	1981-2000	373	373 (2000)	4,7%	21
11	Mỹ Thuận	1978-2000	180	180 (2000)	4%	25
12	Cần Thơ	1960-2000	179	184 (1997)	5%	20
13	Tân An	1977-2000	167	167 (2000)	4%	25
14	Châu Đốc	1960-2000	490	490 (2000)	4%	25
15	Cao Lãnh	1979-2000	261	261 (2000)	2,3%	43
16	Mộc Hóa	1977-2000	327	327 (2000)	2,7%	37
17	Tân Châu	1960-2000	506	512 (1961)	5,5%	18

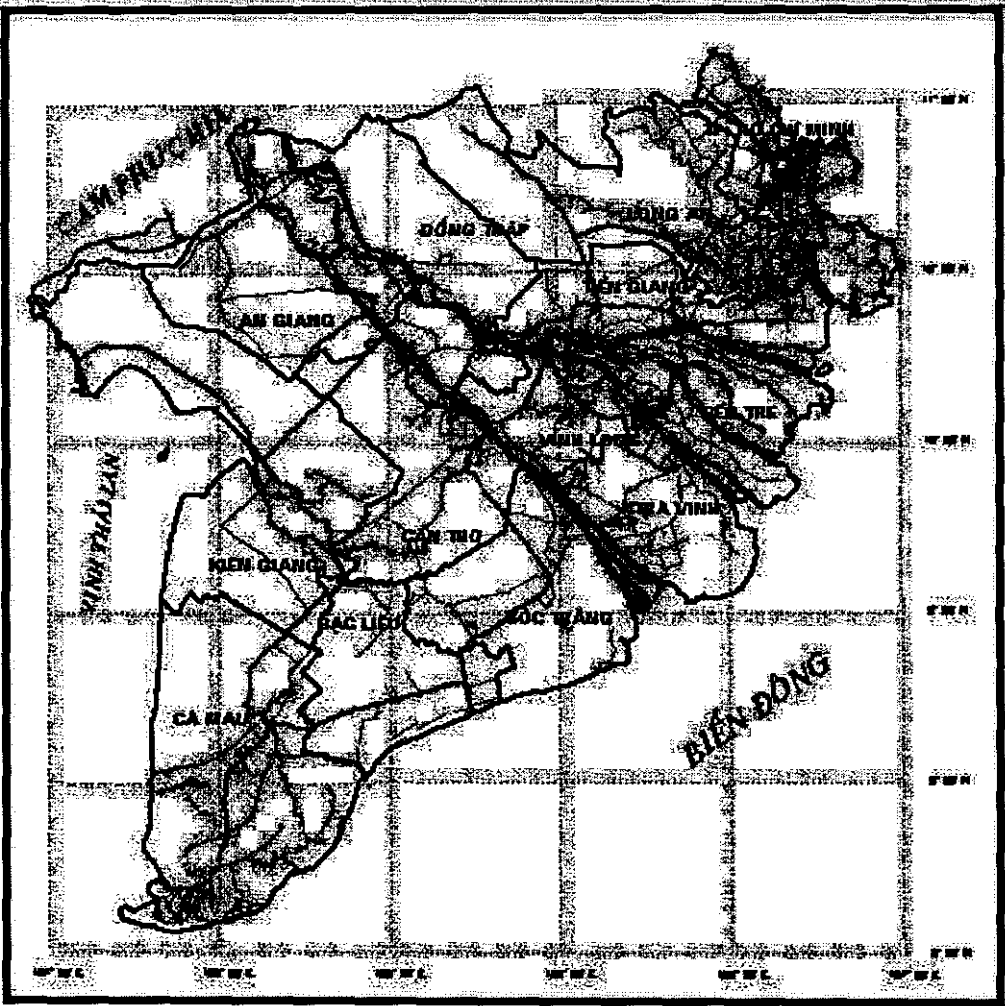
Bảng P1.2: Phân bố Q_{max} (lưu lượng lớn nhất) từ các hướng vào địa phận việt nam (m³/s) trong trận lũ lớn 1961, 1996 và 2000

Năm	Theo sông Tiền	Theo sông Hậu	Vào TGLX	Vào ĐTM	Tổng
1961	28.800	8.150	2.194	2.950	42.094
Tỷ lệ (%)	64,42	19,36	5,21	7,01	100
1996	23.876	8.524	3.500	8.270	44.172
Tỷ lệ (%)	54,05	19,30	7,92	19,72	100
2000	29.452	7.660	4.234	13.938	55.284
Tỷ lệ (%)	53,3	13,90	7,66	25,14	100

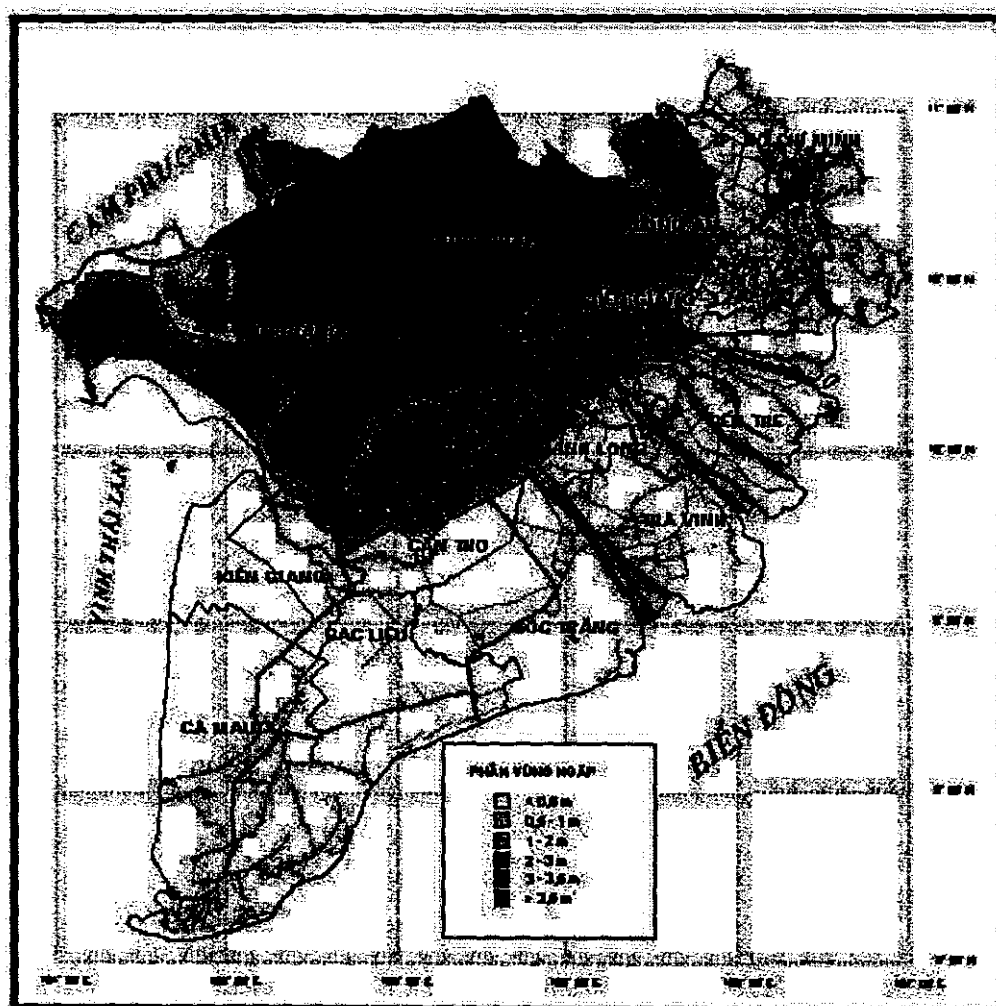
Bảng P1.3: Thời gian duy trì ngập tại một số vị trí thuộc ĐBSCL trong một số trận lũ lớn

Vị trí	Cấp H (m)	Thời gian duy trì lũ theo cấp mực nước (ngày)						
		1961	1966	1978	1984	1991	1996	2000
Tân Châu	> 3,0				105	91	89	135
	> 3,5	95	80	90	85	76	69	125
	> 4,0	75	59	70	67	60	39	100
	> 4,5	47	35	55	27	18	18	33
Châu Đốc	> 2,8						100	130
	> 3,3						64	100
	> 3,8						37	72
	> 4,3						13	34
Hưng Thạnh	> 1,0				130	150	145	170
	> 1,5				94	95	106	125
	> 2,0				60	70	67	110
	> 2,5				10	41	35	60
	> 3,0						12	30
Mộc Hóa	> 1,5				100	94	76	100
	> 2,0				75	70	41	65
	> 2,5				38	53	20	47
	> 3,0						0	16
Tri Tôn	> 1,5						129	120
	> 2,0						91	77
	> 2,5						59	65

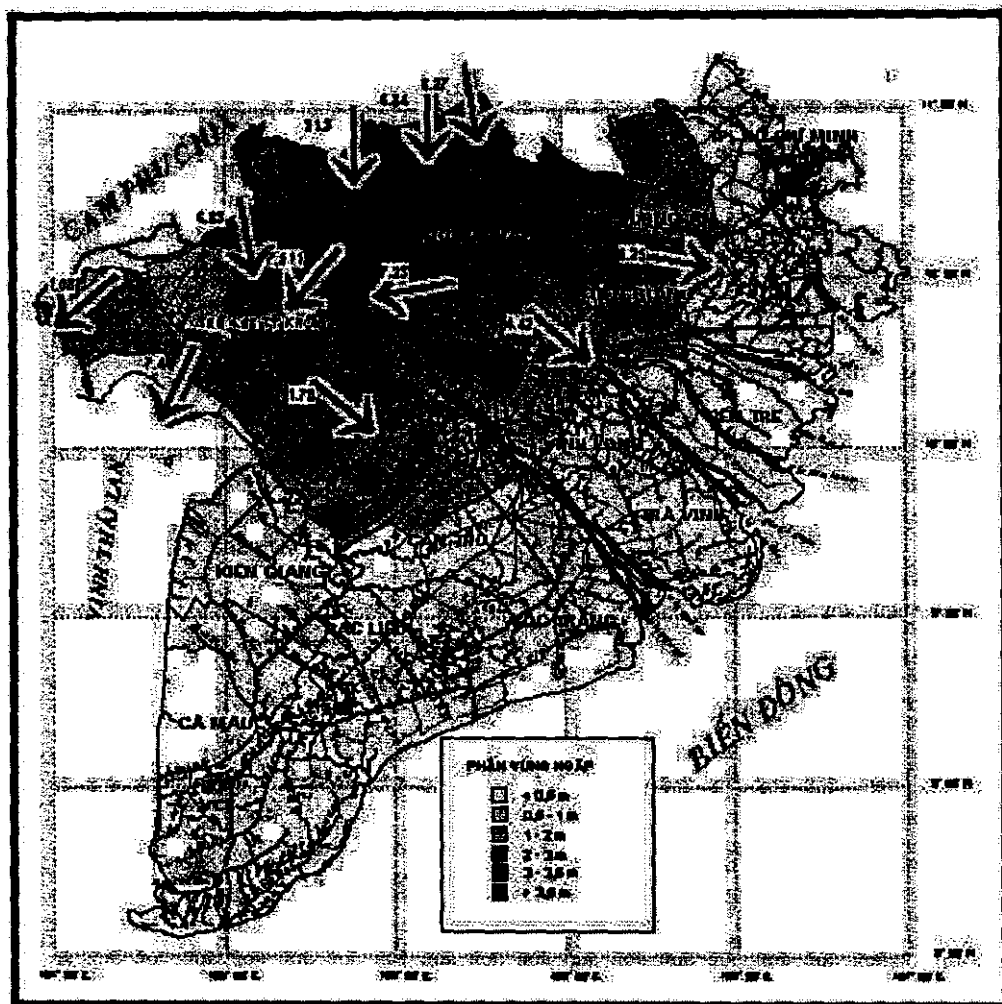
HÌNH P1.1: BẢN ĐỒ HÀNH CHÍNH VÙNG ĐÔNG BANG SÔNG CÚI LONG



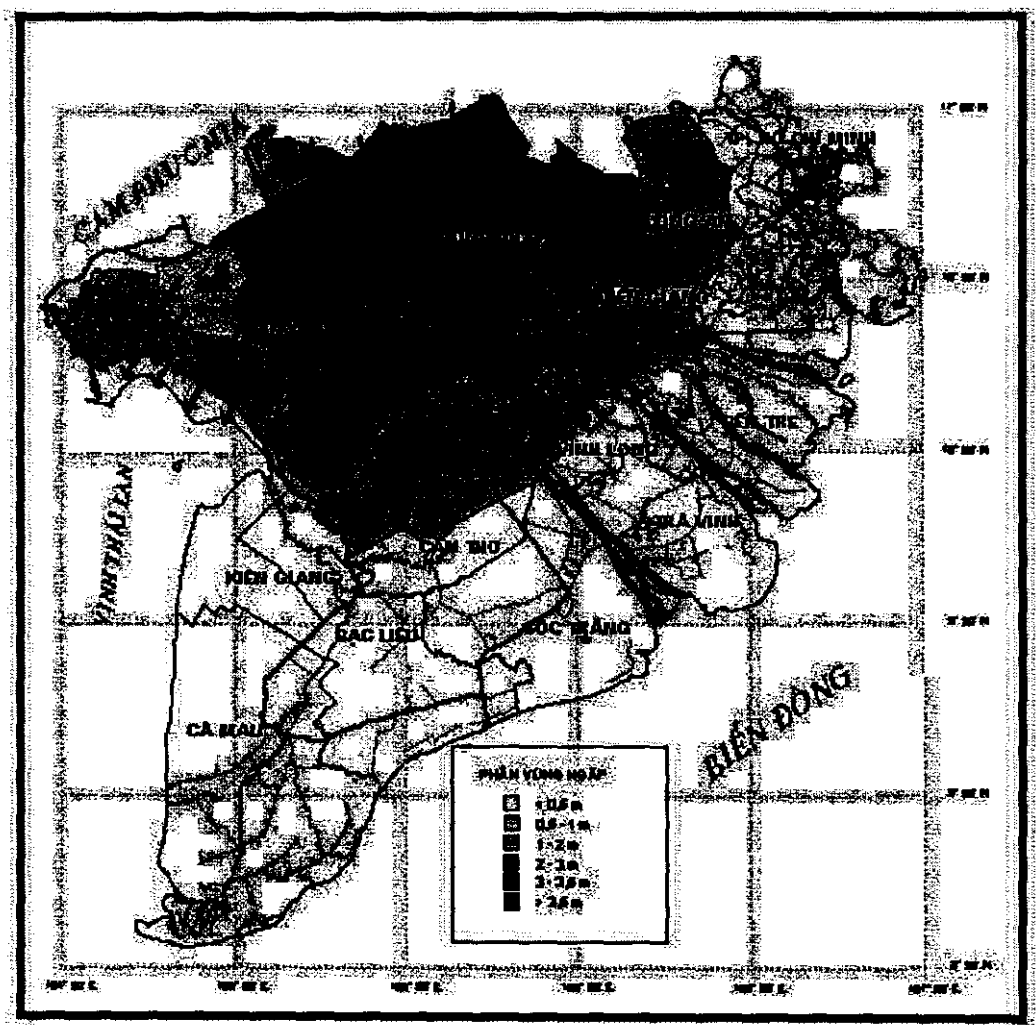
HÌNH P1.2: BẢN ĐỒ NGẬP LỤT NĂM 2000 VÙNG ĐỒNG BANG SÔNG CÚU LONG



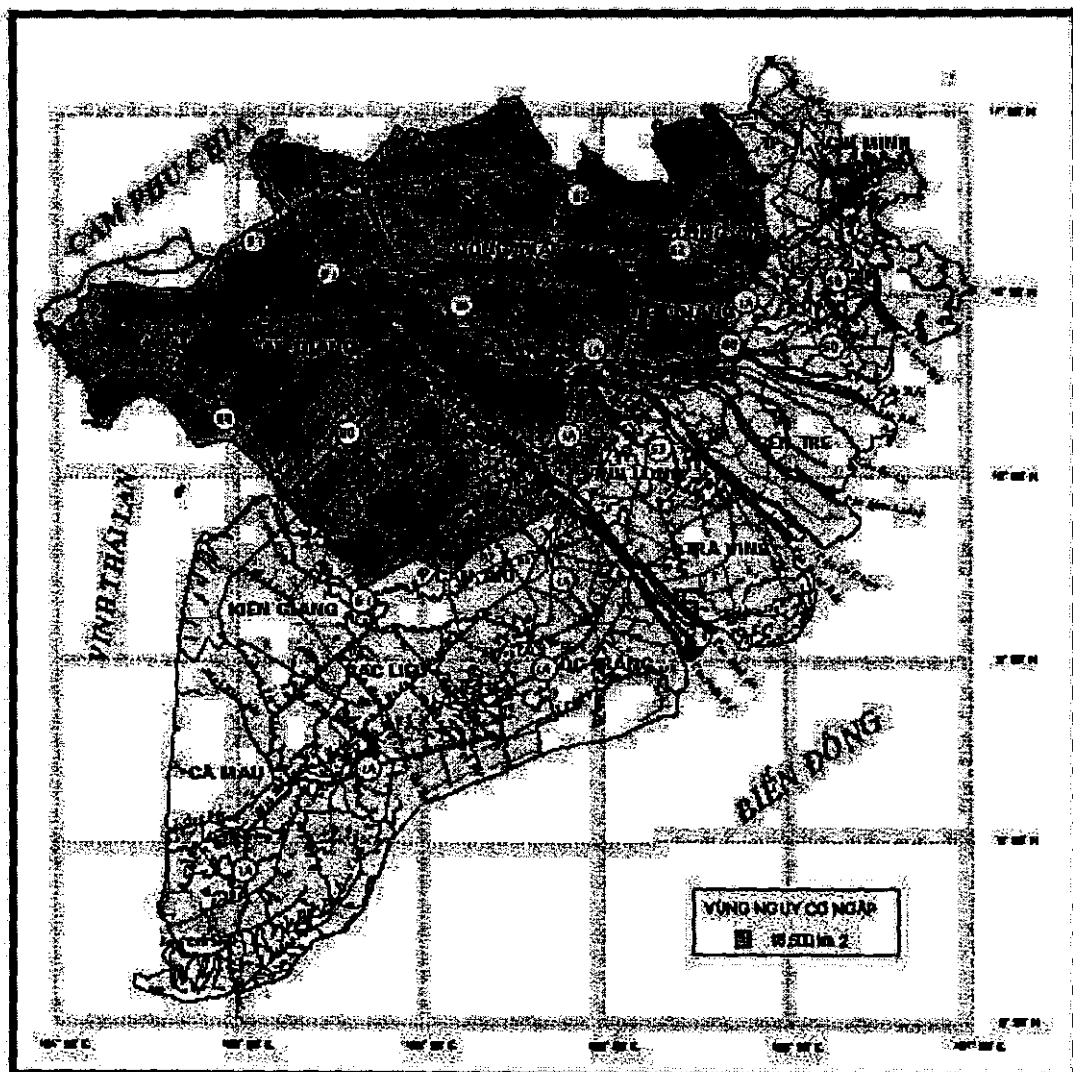
HÌNH P1.3: LƯU LƯỢNG LŨ NĂM 2000 VÙNG ĐỒNG BANG SÔNG CÚU LONG



HÌNH P1.4: HƯỚNG DẪN CHÁY ĐỢT LŨ NĂM 2000 VÙNG ĐỒNG BANG SÔNG CÚI LONG



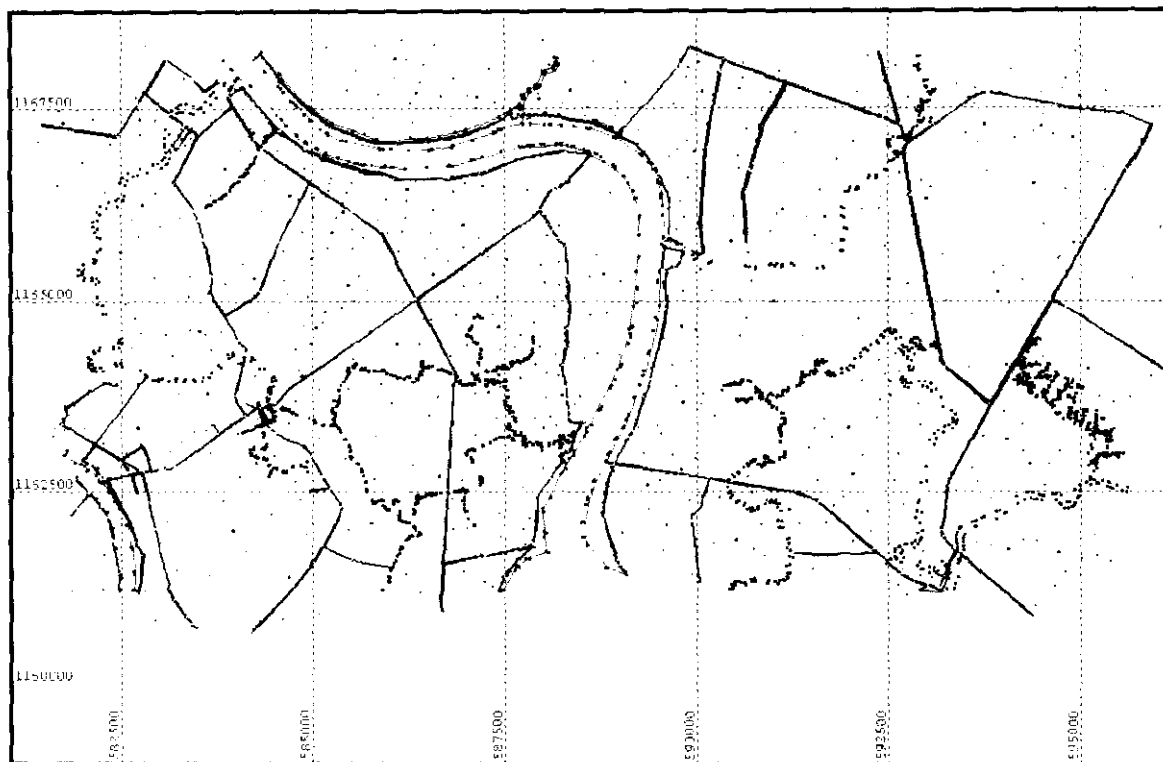
HÌNH PÍ 5: KHU VỰC CÓ NGUY CƠ NGẬP LỤT
VÙNG ĐỒNG BANG SÔNG CÚU LONG



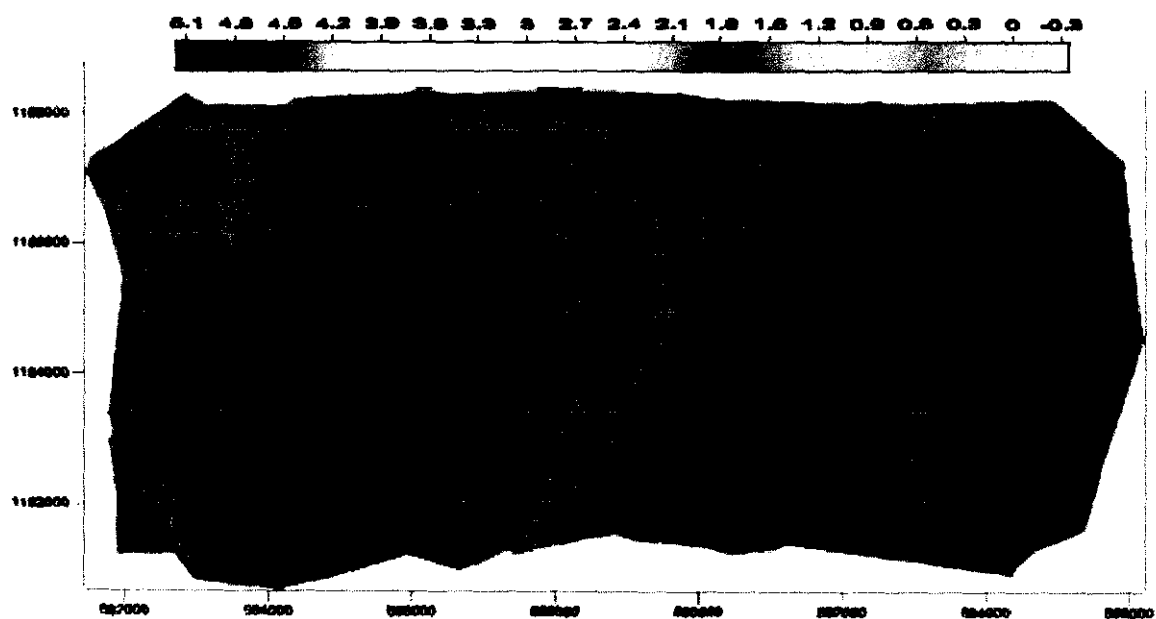
PHỤ LỤC 2: KẾT QUẢ THÀNH LẬP DEM

Phụ lục 2: Kết quả thành lập DEM

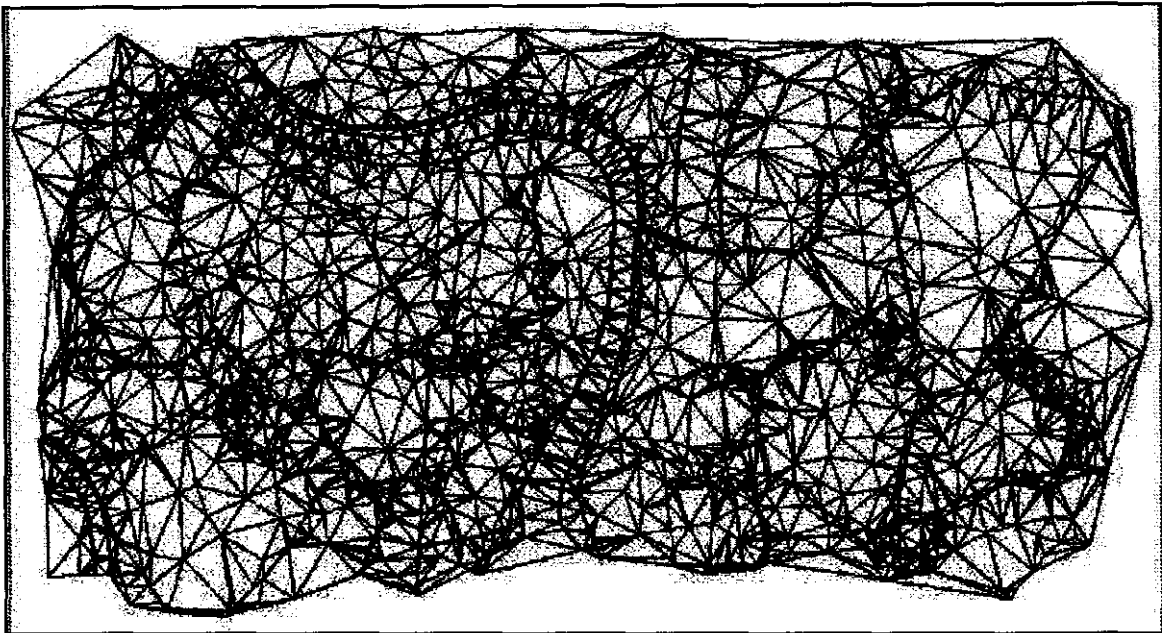
Hình P2.1: Sơ đồ điểm đo



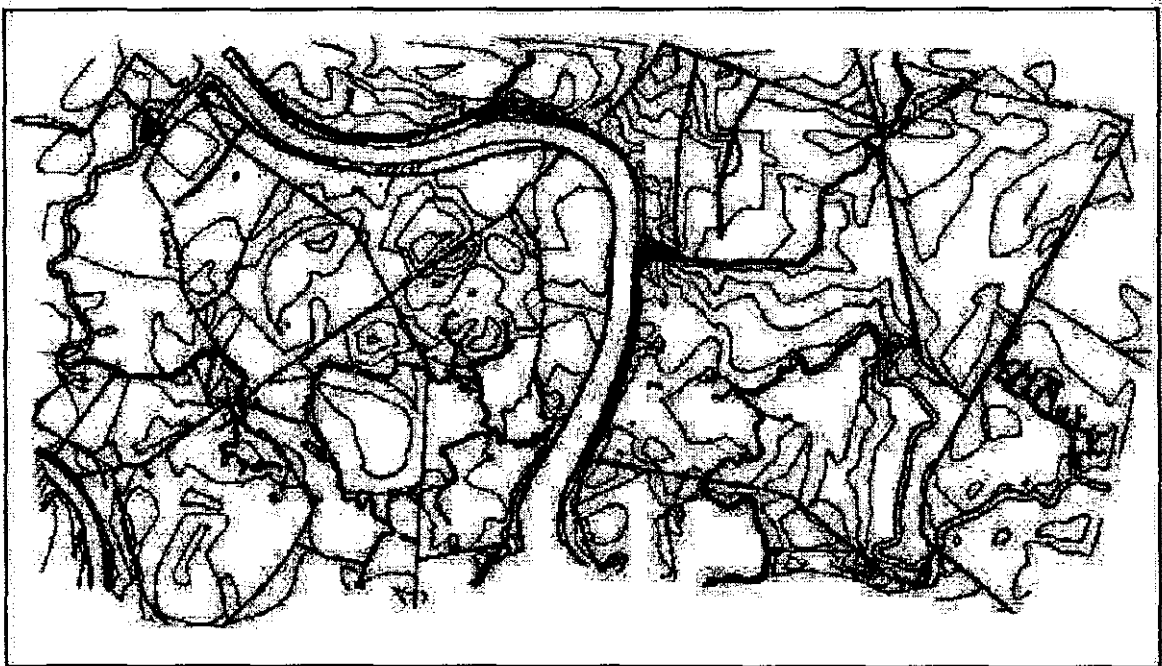
Hình P2.2: DEM thể hiện theo thang màu



Hình P2.3: Mạng TIN



Hình P2.4: Bình đồ với khoảng cao đều 0.1 mét nội suy từ DEM



Phụ lục 3: Hướng dẫn thiết lập độ cao thủy chuẩn với độ chính xác ± 30 mm từ kết quả đo GPS (áp dụng tại Mỹ) – Nguồn [33]

1. Thời gian đo tối thiểu cho mỗi cạnh đáy:

Khoảng cách	Thời gian đo	Tần suất cập nhật dữ liệu
< 10 km	30'	5 giây
10 - 20 km	60'	10 giây
20 - 40 km	120'	15 giây
40 - 60 km	180'	15 giây
60 - 80 km	240'	15 giây
80 - 100 km	300'	15 giây
> 100 km	> 5 giờ	15 giây

2. Yêu cầu đo bằng máy hai tần số: có
3. Yêu cầu sử dụng ăngten chất lượng loại Geodetic: có
4. Yêu cầu số điểm mốc thủy chuẩn tối thiểu: 3
5. Số ca đo tối thiểu cho mỗi cạnh đáy: 2
6. Đo độ cao ăngten: từ 2 đến 3 lần
7. Góc cao ngưỡng của vệ tinh: 15 độ
8. VDOP: ≤ 5
9. Số ngày đo tại điểm: 2 ngày
 > 40 km: 3 ngày
10. Khoảng cách trung bình từ khu đo tới các điểm mốc thủy chuẩn hạng cao (fixed): trong vòng bán kính 20 km.
11. Khoảng cách tối đa giữa các mốc thủy chuẩn cùng hạng hoặc hạng cao hơn: 50 km
12. Yêu cầu sử dụng lịch vệ tinh chính xác để tính toán cạnh đáy: có
13. Yêu cầu fix số đa trị nguyên N cho tất cả các cạnh đáy: có
14. Sử dụng mô hình geoid: Geoid 99 (hoặc mới nhất Geoid 03)
15. Sai số trung phương chiều dài cạnh đáy nhỏ hơn: 2,5 cm

**Phụ lục 4: Chỉ dẫn đo GPS-RTK cho loại máy thu Trimble dòng 4000 –
Nguồn [33]**

1. **Bật máy thu**
2. **Trong khi máy thu khởi động hệ thống, chọn phím CLEAR**
3. **Ấn phím CONTROL**
 - 3a - **Chọn Rover control**
chọn L_1/L_2 và nhấn ENTER
 - 3b - **Chọn Power control**
chọn Power output ENABLED và nhấn ENTER
4. **Ấn phím STATUS để xem số vệ tinh**
 - 4a - **Chọn POSITION để kiểm tra (RTK- moving/Fix/ L_1)**
 - 4b - **Di chuyển tới điểm cần đo đầu tiên**
5. **Ấn phím LOG DATA**
6. **Chọn START FAST STATIC OR KINEMATIC SURVEY bằng các phím bên cạnh**
7. **Chọn START KINEMATIC SURVEY bằng các phím bên cạnh**
8. **Khi ăngten được cố định và cân bằng tại điểm đo**
 - 8a - **Nhập tên điểm POINT ID bằng bảng phím nhỏ và các phím bên cạnh theo bảng Code ngoại nghiệp**
 - 8b - **Chọn INPUT/CHNGS bằng các phím bên cạnh để nhập hay thay đổi H1 (độ cao ăngten) và FILENAME (tên điểm)**
 - 8b₁ - **Chọn CHANGES bằng các phím bên cạnh**
đối với độ cao ăngten, chọn ANTENNA HEIGHT bằng các phím bên cạnh kiểm tra/ vào độ cao ăngten và kiểu đo MEASTYPE tiếp đó ấn phím ACCEPT và sau đó phím CLEAR
 - 8b₂ - **Đối với tên file, chọn FILENAME bằng các phím bên cạnh nhập tên file (chỉ cần thay tên file một lần trong toàn bộ ca đo) và ấn phím ACCEPT, sau đó CLEAR**
 - 8c - **Chọn STATIC bằng các phím bên cạnh**
 - 8d - **Theo dõi STATIC WAIT cho đến khi xuất hiện ROVE ở góc cao bên phải**

PHỤ LỤC 4: CHỈ DẪN ĐO GPS-RTK CHO LOẠI MÁY THU TRIMBLE DÒNG 4000

8e - Đợi cho đến khi EPOCHS đạt đến 10 và sau đó ấn **ROVE**

8f - Chuyển đến điểm đo tiếp theo

9. Lập lại bước 8 tại điểm đo tiếp theo

10. Khi kết thúc ấn **LOG DATA**

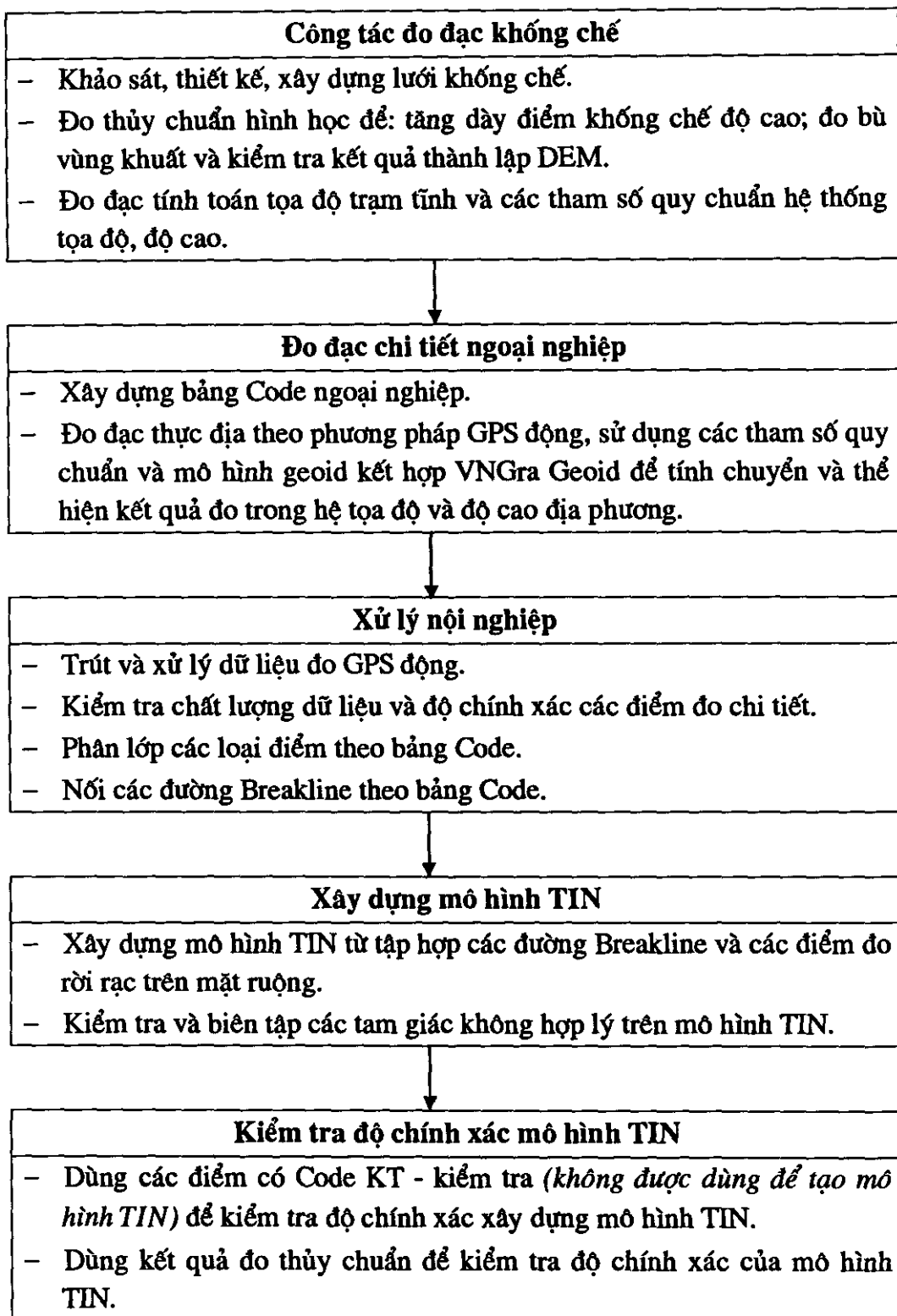
Chọn **END SURVEY** bằng các phím bên cạnh, chọn **YES** và kiểm tra lại độ cao ăngten sau đó ấn **ACCEPT**

11. Ấn giữ phím **POWER** cho đến khi tắt màn hình để tắt máy thu.

Phụ lục 5: Dự thảo quy trình công nghệ và một số quy định kỹ thuật, tiêu chuẩn thành lập DEM độ chính xác cao vùng đồng bằng phục vụ phòng chống lũ lụt.

Từ các phân tích về: sự cần thiết, yêu cầu về độ chính xác của DEM phục vụ dự báo, quy hoạch phòng chống lũ lụt; các vấn đề kỹ thuật trong công tác xây dựng DEM độ chính xác cao vùng đồng bằng; phương pháp kết hợp công nghệ GPS-RTK và đo thủy chuẩn hình học cũng như các kết quả thử nghiệm và một số nhận xét, kết luận và kinh nghiệm rút ra được có thể đưa ra dự thảo quy trình công nghệ thành lập DEM bằng phương pháp kết hợp và một số quy định kỹ thuật, tiêu chuẩn thành lập DEM độ chính xác cao vùng đồng bằng phục vụ phòng chống lũ lụt như sau:

Sơ đồ quy trình thành lập DEM bằng phương pháp kết hợp



Dự thảo một số quy định kỹ thuật, tiêu chuẩn thành lập DEM độ chính xác cao bằng phương pháp kết hợp.

1. Nghiên cứu, khảo sát khu đo để:

1.1 Có các phương án đo nối, đo dẫn thủy chuẩn cụ thể (do mật độ thưa của các điểm thủy chuẩn hạng cao và nhiều điểm thủy chuẩn bị che khuất, không cho phép đo GPS trùng trực tiếp).

1.2 Có các phương án đo chêm dày, đo bù thích hợp ở ngoại nghiệp.

1.3 Có hình thức chuyển quân từ điểm đo này đến điểm đo khác hiệu quả nhất.

2. Đo lưới khống chế:

2.1 Chiều dài cạnh baseline của lưới khống chế nhỏ hơn 20 km.

2.2 Thời gian đo tối thiểu cho mỗi cạnh đáy có chiều dài b là 30 phút (với $b < 10$ km); 60 phút (với $10 \text{ km} < b < 20 \text{ km}$).

2.3 Với thời gian đo tối thiểu như trên tần suất thu tín hiệu vệ tinh là 5 giây/1 trị đo ($b < 10 \text{ km}$); 10 giây/1 trị đo ($10 \text{ km} < b < 20 \text{ km}$).

2.4 Cần có ít nhất 3 điểm mốc thủy chuẩn từ hạng III trở lên bao quanh khu đo.

2.5 Góc cao ngưỡng của vệ tinh 15° .

2.6 $VDOP \leq 6$.

2.7 Khoảng cách trung bình từ khu đo tới các điểm mốc thủy chuẩn hạng I, II không vượt quá 20 km.

2.8 Khoảng cách tối đa giữa các mốc thủy chuẩn hạng I, II là 50 km.

2.9 Yêu cầu sử dụng lịch vệ tinh chính xác để tính toán cạnh đáy và fix số đa trị nguyên N cho tất cả các cạnh đáy.

2.10 Sai số trung phương chiều dài cạnh đáy nhỏ hơn 2.5 cm, sai số chênh cao trắc địa nhỏ hơn 5.0 cm.

2.11 Sử dụng mô hình geoid có độ chính xác cao nhất để bình sai và truyền độ cao thủy chuẩn. Đối với khu vực ĐBSCL phải sử dụng mô hình VNGra Geoid.

3. Quy chuẩn hệ thống tọa độ, độ cao:

3.1 Đối với khu vực nhỏ có thể cho phép thực hiện phép quy chuẩn chỉ với một điểm tọa độ, độ cao hạng cao (I, II).

3.2 Nên đo trùng vào ít nhất 3 điểm tọa độ, độ cao để tăng độ tin cậy của kết quả quy chuẩn.

PHỤ LỤC 5: DỰ THẢO QUY TRÌNH CÔNG NGHỆ, QUY ĐỊNH KỸ THUẬT

3.3 Phải xem xét kỹ các tham số sau đây của kết quả quy chuẩn: hệ số tỷ lệ (horizontal scale); các giá trị độ nghiêng (slope north và slope east) giữa mô hình geoid và hệ độ cao địa phương; các sai số tính chuyển lớn nhất về mặt bằng và độ cao.

4. Đo đạc chi tiết ngoại nghiệp:

4.1 Ăng ten radio cần bố trí càng cao so với mặt đất càng tốt.

4.2 Khoảng cách giữa trạm tĩnh và trạm động không vượt quá 5 km, tần suất thu tín hiệu vệ tinh tại trạm tĩnh và trạm động là 1 giây/1trị đo.

4.3 Có thể thiết lập trạm thu phát trung gian để nâng tầm hoạt động của máy đo tới 10 km.

4.4 Các điểm đo được trải đều khoảng 300 mét một điểm, bỏ qua các bờ thửa nhỏ, chỉ đo Breakline chi tiết cho đường, mương, đê bao, bờ kênh và các yếu tố địa hình địa vật quan trọng khác có độ rộng lớn hơn 4 m; đo trải đều các điểm cách nhau khoảng 200 đến 500 m tại các khu vực còn lại.

4.5 Sử dụng bản đồ địa hình tỷ lệ 1:5000 để:

a) Xác định các đặc trưng địa hình cần đo đường breakline chi tiết và khoanh vùng các khu dân cư, khu mặt ruộng

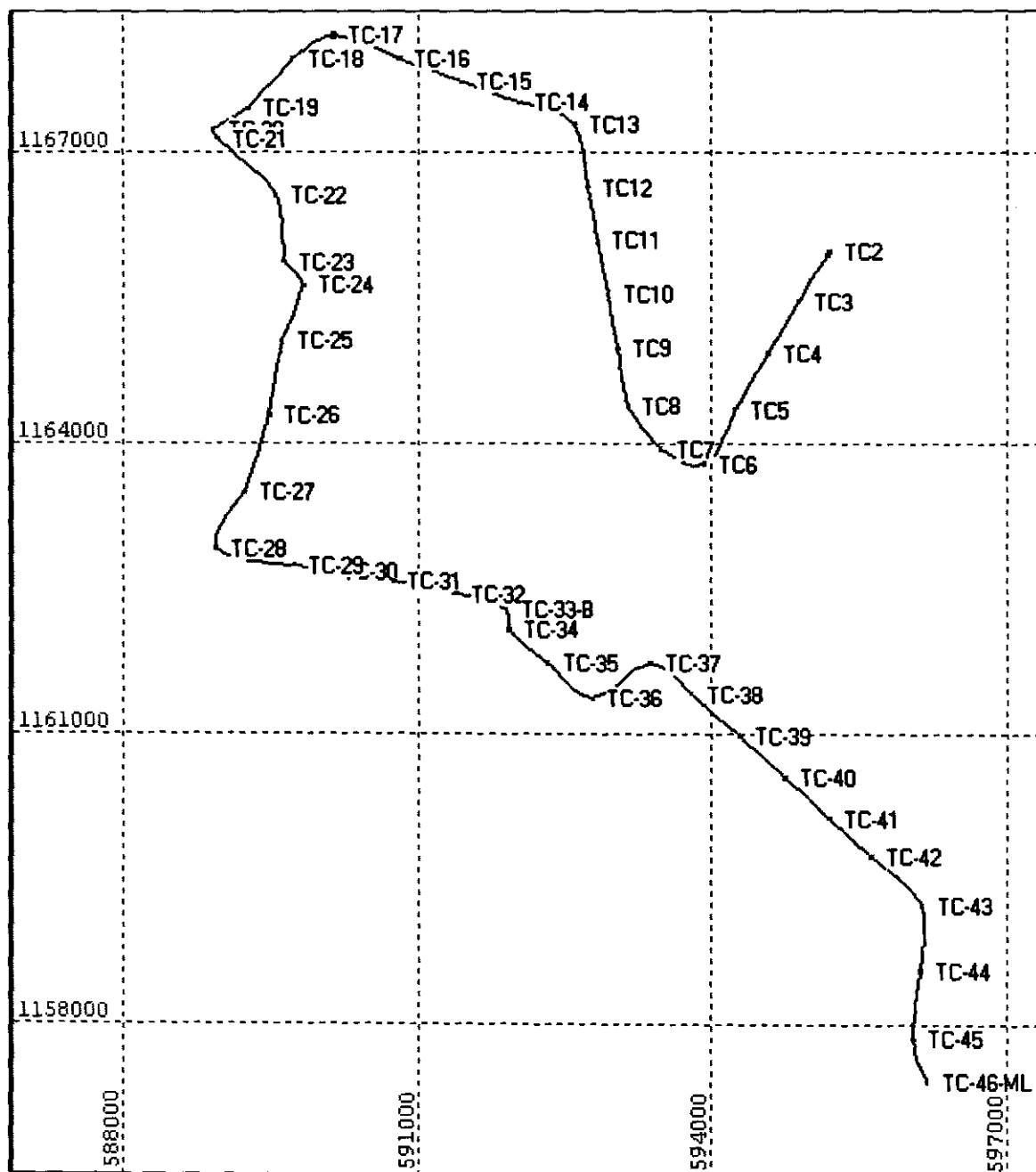
b) Số hóa các kênh rạch nhỏ có nhiều cây bụi không đo GPS vào được, sau đó gán độ cao mép nước đo được ngoài thực địa vào các điểm số hóa dọc theo bờ của mỗi kênh rạch.

4.6 Đối với các điểm chỉ có tín hiệu vệ tinh tốt còn tín hiệu radio kém chọn chế độ đo xử lý sau.

4.7 Tại các vùng che khuất, vùng có tín hiệu vệ tinh và tín hiệu radio kém phải tiến hành đo bù độ cao bằng thủy chuẩn hình học kết hợp với các phương tiện đo đặc truyền thống khác.

Phụ lục 6: Đo kiểm tra bằng thủy chuẩn hình học

Hình P6.1: Sơ đồ tuyến thủy chuẩn



KET QUA BINH SAI LUOI DO CAO

Luoi thuy chuan Long An
 Lập Boi: Nguyen_Tuan_Anh
 Ngày 14/3/2004

=====***oOo***=====

I: SO LIEU KHOI TINH

Sô Diêm Góc : 2
 Sô Diêm Cân Xác Định: 45
 Sô Tri Do Chênh Cao : 46

II: DO CAO CUA DIEM GOC

S T T	TEN	DO CAO	
	DIEM	H m (MÉT)	Ghi Chu
1	II12	1.675000	
2	II10	1.148000	

III: KET QUA TRI DO SAU BINH SAI

S T T	TEN - DIEM		CHENH CAO DO (h)	SHC	C\CAO SAU BS (h~)
	THAP	CAO	m (MÉT)	(mm)	m (MÉT)
1	II10	TC1	0.309000	-0.010	0.308990
2	TC2	TC1	0.081000	0.012	0.081012
3	TC3	TC2	0.032000	0.207	0.032207
4	TC3	TC4	0.032000	-0.210	0.031790
5	TC4	TC5	0.333000	-0.229	0.332771
6	TC6	TC5	0.345000	0.216	0.345216
7	TC6	TC7	0.325000	-0.159	0.324841
8	TC7	TC8	0.142000	-0.187	0.141813
9	TC8	TC9	0.036000	-0.203	0.035797
10	TC9	TC10	0.066000	-0.177	0.065823
11	TC10	TC11	0.025000	-0.192	0.024808
12	TC12	TC11	0.698000	0.193	0.698193
13	TC13	TC12	0.306000	0.228	0.306228
14	TC14	TC13	0.107000	0.206	0.107206
15	TC14	TC15	0.027000	-0.214	0.026786
16	TC15	TC16	0.012000	-0.230	0.011770
17	TC16	TC17	0.177000	-0.247	0.176753
18	TC18	TC17	0.311000	0.161	0.311161
19	TC18	TC19	0.462000	-0.235	0.461765
20	TC20	TC19	0.229000	0.142	0.229142
21	TC20	TC21	1.801000	-0.035	1.800965
22	TC22	TC21	0.661000	0.284	0.661284
23	TC22	TC23	0.300000	-0.236	0.299764
24	TC23	TC24	0.010000	-0.106	0.009894
25	TC25	TC24	0.402000	0.212	0.402212
26	TC26	TC25	0.117000	0.262	0.117262
27	TC27	TC26	0.112000	0.286	0.112286
28	TC27	TC28	1.012000	-0.217	1.011783
29	TC29	TC28	1.690000	0.277	1.690277

30	TC30	TC29	0.115000	0.196	0.115196
31	TC31	TC30	0.002000	0.229	0.002229
32	TC31	TC32	0.141000	-0.225	0.140775
33	TC33	TC32	0.082000	0.182	0.082182
34	TC33	TC34	0.009000	-0.077	0.008923
35	TC34	TC35	0.440000	-0.179	0.439821
36	TC35	TC36	0.184000	-0.201	0.183799
37	TC36	TC37	1.175000	-0.239	1.174761
38	TC38	TC37	1.319000	0.180	1.319180
39	TC39	TC38	0.029000	0.221	0.029221
40	TC40	TC39	0.142000	0.217	0.142217
41	TC40	TC41	0.155000	-0.208	0.154792
42	TC41	TC42	0.175000	-0.196	0.174804
43	TC43	TC42	0.248000	0.244	0.248244
44	TC43	TC44	0.200000	-0.231	0.199769
45	TC45	TC44	0.338000	0.240	0.338240
46	TC45	II12	0.354000	-0.160	0.353840

IV: DO CAO VA SAI SO DO CAO SAU BINH SAI

S T T	TEN	DO CAO	SAI SO DO CAO	Ghi Chu
	DIEM	H m (MÉT)	MH (Milimet)	
1	TC1	1.456990	0.303	
2	TC2	1.375978	0.443	
3	TC3	1.343771	1.416	
4	TC4	1.375562	1.937	
5	TC5	1.708332	2.359	
6	TC6	1.363117	2.678	
7	TC7	1.687958	2.880	
8	TC8	1.829770	3.091	
9	TC9	1.865567	3.293	
10	TC10	1.931390	3.449	
11	TC11	1.956198	3.601	
12	TC12	1.258005	3.738	
13	TC13	0.951777	3.881	
14	TC14	0.844571	3.995	
15	TC15	0.871357	4.099	
16	TC16	0.883126	4.196	
17	TC17	1.059879	4.283	
18	TC18	0.748718	4.332	
19	TC19	1.210483	4.391	
20	TC20	0.981341	4.421	
21	TC21	2.782306	4.427	
22	TC22	2.121023	4.470	
23	TC23	2.420787	4.491	
24	TC24	2.430680	4.496	
25	TC25	2.028468	4.500	
26	TC26	1.911206	4.490	
27	TC27	1.798920	4.462	
28	TC28	2.810702	4.429	
29	TC29	1.120425	4.370	
30	TC30	1.005229	4.317	
31	TC31	1.002999	4.242	
32	TC32	1.143774	4.156	
33	TC33	1.061592	4.075	
34	TC34	1.070515	4.038	
35	TC35	1.510336	3.945	
36	TC36	1.694135	3.828	

37	TC37	2.868896	3.670
38	TC38	1.549717	3.536
39	TC39	1.520496	3.350
40	TC40	1.378279	3.143
41	TC41	1.533071	2.914
42	TC42	1.707875	2.666
43	TC43	1.459631	2.298
44	TC44	1.659400	1.854
45	TC45	1.321160	1.187

Sai So Trung Phuong Do Cao Tren Mot Km Thuy Chuan La Mo= 1.7514MiL

iMet

KET QUUA TUONG HO DO CAO SAU BINH SAI

TEN - DIEM		CHIEU DAI CANH S	M(Th)
DAU	CUOI	m (MÉT)	Milimet
TC1	TC2	34.0000	0.323
	II10	30.0000	0.303
TC2	TC1	34.0000	0.323
	TC3	607.0000	1.349
TC3	TC2	607.0000	1.349
	TC4	615.0000	1.357
TC4	TC3	615.0000	1.357
	TC5	673.0000	1.418
TC5	TC4	673.0000	1.418
	TC6	633.0000	1.377
TC6	TC5	633.0000	1.377
	TC7	466.0000	1.185
TC7	TC6	466.0000	1.185
	TC8	550.0000	1.285
TC8	TC7	550.0000	1.285
	TC9	596.0000	1.337
TC9	TC8	596.0000	1.337
	TC10	520.0000	1.250
TC10	TC9	520.0000	1.250
	TC11	563.0000	1.300
TC11	TC10	563.0000	1.300
	TC12	565.0000	1.302
TC12	TC11	565.0000	1.302
	TC13	670.0000	1.415
TC13	TC12	670.0000	1.415
	TC14	604.0000	1.346
TC14	TC13	604.0000	1.346
	TC15	629.0000	1.372

TC15	TC14 TC16	629.0000 676.0000	1.372 1.421
TC16	TC15 TC17	676.0000 726.0000	1.421 1.472
TC17	TC16 TC18	726.0000 472.0000	1.472 1.192
TC18	TC17 TC19	472.0000 690.0000	1.192 1.436
TC19	TC18 TC20	690.0000 416.0000	1.436 1.121
TC20	TC19 TC21	416.0000 102.0000	1.121 0.558
TC21	TC20 TC22	102.0000 832.0000	0.558 1.572
TC22	TC21 TC23	832.0000 693.0000	1.572 1.439
TC23	TC22 TC24	693.0000 312.0000	1.439 0.972
TC24	TC23 TC25	312.0000 622.0000	0.972 1.365
TC25	TC24 TC26	622.0000 769.0000	1.365 1.513
TC26	TC25 TC27	769.0000 840.0000	1.513 1.579
TC27	TC26 TC28	840.0000 638.0000	1.579 1.382
TC28	TC27 TC29	638.0000 814.0000	1.382 1.556
TC29	TC28 TC30	814.0000 576.0000	1.556 1.315
TC30	TC29 TC31	576.0000 673.0000	1.315 1.418
TC31	TC30 TC32	673.0000 661.0000	1.418 1.406
TC32	TC31 TC33	661.0000 535.0000	1.406 1.268
TC33	TC32 TC34	535.0000 226.0000	1.268 0.829
TC34	TC33 TC35	226.0000 525.0000	0.829 1.256
TC35	TC34 TC36	525.0000 589.0000	1.256 1.329

TC36	TC35 TC37	589.0000 700.0000	1.329 1.446
TC37	TC36 TC38	700.0000 527.0000	1.446 1.259
TC38	TC37 TC39	527.0000 648.0000	1.259 1.392
TC39	TC38 TC40	648.0000 636.0000	1.392 1.380
TC40	TC39 TC41	636.0000 610.0000	1.380 1.352
TC41	TC40 TC42	610.0000 576.0000	1.352 1.315
TC42	TC41 TC43	576.0000 716.0000	1.315 1.462
TC43	TC42 TC44	716.0000 678.0000	1.462 1.424
TC44	TC43 TC45	678.0000 705.0000	1.424 1.451
TC45	TC44 III12	705.0000 468.0000	1.451 1.187

Ghi chu:

Theo Gio He Thong Cua May

Thoi gian bat dau tinh la: 22: 9: 6. 4

Thoi gian tinh xong la : 22: 9: 6.81

Toi Xin Chiu Trach Nhiem Ve Tinh Dung Dan Cua Ket Qua