



TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC

KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

Hà Nội, 12 - 11 - 2020

ERSD 2020



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI



EARTH SCIENCES AND
NATURAL RESOURCES FOR
SUSTAINABLE DEVELOPMENT

TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC
KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN
VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

TIỂU BAN
TRẮC ĐỊA

ĐƠN VỊ TỔ CHỨC

Trường Đại học Mở - Địa chất (HUMG)

CÁC ĐƠN VỊ PHỐI HỢP TỔ CHỨC

Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam

Tập đoàn Dầu khí Việt Nam

Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam

Tổng hội Địa chất Việt Nam

Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam

Hội Khoa học Công nghệ Mỏ Việt Nam

Hội Công trình ngầm Việt Nam

Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam

Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam

Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam

Hội Khoa học Kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam

Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam

Viện Địa chất và Địa vật lý biển

Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản

Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai

Trường Đại học Đông Á

Trường Đại học Thủ Dầu Một

BAN TỔ CHỨC

Trưởng ban

GS.TS Trần Thanh Hải, *Trường Đại học Mở Địa - chất*

Phó Trưởng ban

GS.TS Bùi Xuân Nam, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Triệu Hùng Trường, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Ủy viên

GS.TS Võ Chí Mỹ, *Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam*

GS.TS Nguyễn Quang Phích, *Hội Công trình ngầm Việt Nam*

PGS.TS Trần Tuấn Anh, *Viện Địa chất, Viện HLKH&CN Việt Nam*

PGS.TS Đoàn Văn Cảnh, *Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam*

PGS.TS Tạ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*

PGS.TS Nguyễn Như Trung, *Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Hội Khoa học kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam*

TS Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*

TS Trần Xuân Hòa, *Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam*

TS Hoàng Văn Khoa, *Tổng hội Địa chất Việt Nam*

TS Đỗ Hồng Nguyên, *Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam*

TS Nguyễn Văn Nguyên, *Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam*

TS Lê Văn Quyền, *Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam*

TS Trịnh Hải Sơn, *Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Bộ Tài nguyên và Môi trường*

TS Nguyễn Quốc Thập, *Tập đoàn Dầu khí quốc gia Việt Nam*

TS Đặng Kim Triết, *Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai*

TS Trần Văn Trung, *Trường Đại học Thủ Dầu Một*

TS Đỗ Trọng Tuấn, *Trường Đại học Đông Á*

TS Nguyễn Thanh Tùng, *Viện Dầu khí Việt Nam*

BAN KHOA HỌC

Trưởng ban

GS.TS Bùi Xuân Nam, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Phó trưởng ban

PGS.TS. Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Ủy viên

GS.TSKH Hoàng Ngọc Hà, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

GS.TS Võ Trọng Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

GS.TS Trương Xuân Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

GS.TS Đỗ Như Tráng, *Trường Đại học Công nghệ GTVT*

PGS.TS Bùi Hoàng Bắc, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Đỗ Văn Bình, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Phùng Mạnh Đắc, *Hội KHCN Mô Việt Nam*

PGS.TSKH Hà Minh Hòa, *Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ*

PGS.TS Phạm Văn Hòa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Lê Văn Hưng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Hoàng Văn Long, *Viện Dầu khí Việt Nam*

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Quang Minh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Phạm Xuân Núi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Khổng Cao Phong, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Văn Sáng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Ngô Xuân Thành, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Đặng Trung Thành, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
PGS.TS Tạ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*

PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Lê Hồng Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Trần Quốc Cường, *Viện Địa chất, Viện HLKH&CN Việt Nam*

TS Công Tiến Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Trần Tuấn Dũng, *Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Viện HL KH&CN Việt Nam*

TS Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*

TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Bùi Thị Thu Thủy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Thế Truyền, *Viện NC Điện tử, Tin học, Tự động hóa*

TS Nguyễn Văn Xô, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

BAN BIÊN TẬP

Trưởng ban

TS Nguyễn Việt Nghĩa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Phó Trưởng ban

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Ủy viên

PGS.TS Bùi Hoàng Bắc, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Trần Tuấn Minh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Bùi Ngọc Quý, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Đỗ Như Ý, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Thị Mai Dung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Phạm Trung Kiên, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

BAN THƯ KÝ

Trưởng ban

PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Phó Trưởng ban

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Ủy viên

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Văn Sáng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Tô Xuân Bản, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Trọng Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Lê Quang Duyên, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Duy Huy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Ngô Thanh Tuấn, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

ThS Nguyễn Ngọc Dung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

ThS Hoàng Thu Hằng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

ThS Nguyễn Thanh Hải, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

ThS Phạm Đức Nghiệp, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

LỜI NÓI ĐẦU

Hội nghị Toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững - ERSD được Trường Đại học Mở - Địa chất (HUMG) và các đối tác tổ chức 2 năm một lần để các nhà chuyên môn trong và ngoài nước tụ hội, giới thiệu những kết quả và hướng nghiên cứu khoa học mới, thảo luận về các xu thế phát triển, thách thức và cơ hội mới đối với nhiều lĩnh vực khác nhau của Khoa học Trái đất, Tài nguyên và các ngành khác có liên quan.

Tiếp nối thành công của Hội nghị lần thứ nhất năm 2018 (ERSD 2018) và được sự cho phép của Bộ Giáo dục và Đào tạo, Hội nghị Toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững lần thứ hai (ERSD 2020) được Trường Đại học Mở - Địa chất (HUMG) đăng cai tổ chức với sự phối hợp đồng tổ chức của nhiều đơn vị quản lý, nghiên cứu khoa học, đào tạo và sản xuất có uy tín trong nước gồm Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam, Tập đoàn Dầu khí Quốc gia Việt Nam, Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam, Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai, Trường Đại học Đông Á, Trường Đại học Thủ Dầu Một, Tổng hội Địa chất Việt Nam, Hội Khoa học Công nghệ Mỏ Việt Nam, Hội Công trình ngầm Việt Nam, Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam, Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam, Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam, Hội Khoa học Kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam, Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam, và với sự tham gia của nhiều tổ chức và cá nhân khác.

Các chủ đề chính của Hội nghị lần này tập trung vào thảo luận các kết quả khoa học công nghệ và hướng nghiên cứu mới của Khoa học Trái đất và Tài nguyên thiên nhiên, Khai thác và sử dụng tài nguyên địa chất, Môi trường và các lĩnh vực khoa học khác có liên quan như Cơ - Điện, Công nghệ Thông tin, Xây dựng, ... cũng như việc ứng dụng chúng vào phát triển bền vững đối với nhiều lĩnh vực khác nhau của khoa học công nghệ, kinh tế và xã hội.

Trong quá trình tổ chức Hội nghị, Ban Tổ chức đã nhận được sự quan tâm của đông đảo các nhà khoa học, chuyên môn và quản lý trong và ngoài nước, trong đó có hơn 300 báo cáo khoa học liên quan tới các chủ đề của Hội nghị đã được gửi tới Ban biên tập. Trên cơ sở đó, 255 báo cáo có chất lượng đã được lựa chọn và xuất bản trong Tuyển tập tóm tắt các báo cáo và Tuyển tập các báo cáo toàn văn của Hội nghị. Báo cáo toàn văn được tập hợp thành 16 tập, mỗi tập ứng với một chủ đề khoa học sau:

1. *Địa chất khu vực*
2. *Địa chất công trình - Địa chất thủy văn*
3. *Tài nguyên địa chất và phát triển bền vững*
4. *Môi trường trong khai thác tài nguyên và phát triển bền vững*
5. *An toàn mỏ*
6. *Công nghệ và thiết bị khai thác*
7. *Thu hồi và chế biến khoáng sản*
8. *Công trình ngầm và Địa kỹ thuật*
9. *Vật liệu và kết cấu*
10. *Kỹ thuật dầu khí tích hợp*
11. *Trắc địa*
12. *Bản đồ, Viễn thám và Hệ thống thông tin địa lý*
13. *Khoa học Cơ bản trong lĩnh vực Khoa học Trái đất và Môi trường*
14. *Cơ khí, điện và Tự động hóa*
15. *Công nghệ thông tin*
16. *Phân tích dữ liệu và học máy*

Toàn bộ thông tin khoa học về hội nghị, trong đó có Tuyển tập các báo cáo toàn văn, được đưa lên trang Website chính thức của Hội nghị tại địa chỉ: <http://ersd2020.humg.edu.vn/>.

Ban tổ chức xin trân trọng cảm ơn Trường Đại học Mở - Địa chất, với tư cách là đơn vị đăng cai tổ chức Hội nghị, cùng các đơn vị đồng tổ chức đã hợp tác và góp phần quan trọng vào sự thành công của Hội nghị này. Cảm ơn các nhà khoa học đã đóng góp các công bố khoa học có giá trị cho Hội nghị. Ban tổ chức cũng đánh giá cao sự nỗ lực của Ban biên tập và các chuyên gia biên tập để nâng cao chất lượng của các báo cáo khoa học cũng như sự cố gắng lớn của Ban thư ký trong việc chuẩn bị và tổ chức hội nghị này.

Ban tổ chức mong muốn tiếp tục nhận được sự hợp tác chặt chẽ và góp ý chân thành của các đơn vị và cá nhân đối với việc chuẩn bị, tổ chức, biên tập, và xuất bản các báo cáo khoa học, nhằm nâng cao chất lượng của các hội nghị tiếp theo, góp phần thúc đẩy sự phát triển bền vững của các hoạt động nghiên cứu khoa học, chuyển giao công nghệ thuộc các lĩnh vực Khoa học Trái đất và Tài nguyên và các lĩnh vực khoa học khác có liên quan.

TRƯỞNG BAN TỔ CHỨC

GS.TS Trần Thanh Hải

MỤC LỤC

TIỂU BAN TRẮC ĐỊA

Đánh giá độ chính xác và điều kiện ứng dụng các phương pháp đo định hướng mặt bằng qua giếng đứng có độ sâu lớn ở Việt Nam <i>Võ Ngọc Dũng, Nguyễn Tiến Dũng</i>	1
Non-linear Filtering Algorithms for Kinematic Positioning on the Application of Maritime Navigation <i>Trung Dung Pham</i>	7
Xử lý số liệu đo trong hệ thống tự động quan trắc biến dạng công trình <i>Nguyễn Hà, Trần Thùy Linh</i>	14
Xử lý số liệu đo xa LASER vệ tinh nhằm xác thực lịch vệ tinh chính xác GNSS <i>Vy Quốc Hải, Dương Chí Công, Vy Thị Hồng Liên</i>	21
Ứng dụng phương pháp lọc Kalman dự báo độ lún tuyến đập công trình thủy điện <i>Trần Khánh, Lê Đức Tình, Nguyễn Thị Kim Thanh</i>	28
Ứng dụng ma trận hiệp trọng số đảo số hiệu chỉnh trị đo trong xử lý số liệu trắc địa <i>Phạm Quốc Khánh, Nguyễn Thị Kim Thanh</i>	35
Những thành tựu nghiên cứu trường trọng lực toàn cầu và khả năng ứng dụng ở Việt Nam <i>Nguyễn Văn Sáng, , Phạm Văn Tuyên, Nguyễn Thành Lê, Đinh Xuân Mạnh</i>	43

Đánh giá độ chính xác và điều kiện ứng dụng các phương pháp đo định hướng mặt bằng qua giếng đứng có độ sâu lớn ở Việt Nam

Võ Ngọc Dũng^{1,*}, Nguyễn Tiến Dũng²

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

² Công ty cổ phần than Núi Béo, Việt Nam

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, ở Việt Nam, do điều kiện địa chất ngày càng khó khăn, vỉa ngày càng xuống sâu, trên bề than Quảng Ninh, các phương pháp khai thác hầm lò mở vỉa bằng giếng đứng có độ sâu lớn ngày càng được phát triển. Định hướng mặt bằng (x,y) là nội dung công tác trắc địa mỏ quan trọng, để bảo đảm sự thống nhất hệ tọa độ lưới khống chế trên mặt đất và dưới hầm lò. Phụ thuộc vào điều kiện cấu tạo và kích thước của giếng đứng cũng như phương pháp thành lập lưới khống chế trên mặt đất và điều kiện thiết bị công nghệ, mà lựa chọn phương pháp định hướng cho phù hợp hiện nay, trên thế giới đang có nhiều phương pháp định hướng mặt bằng khác nhau. Bài báo trình bày các kết quả khảo sát đồ hình, đánh giá độ chính xác các phương pháp định hướng mặt bằng và khả năng ứng dụng trong điều kiện cụ thể, làm tiền đề cho mục đích lựa chọn các phương pháp phù hợp tại các mỏ giếng đứng có độ sâu lớn ở Việt Nam.

Từ khóa: Đánh giá độ chính xác; giếng đứng độ sâu lớn; định hướng mặt bằng.

1. Mở đầu

Theo Quyết định số 1265/QĐ-TTg số 403/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ về việc phê duyệt điều chỉnh Quy hoạch phát triển ngành than Việt Nam đến năm 2020, có xét triển vọng đến năm 2030, do điều kiện địa chất ngày càng khó khăn, vỉa ngày càng xuống sâu, các mỏ khai thác than Việt Nam sẽ chuyển dần sang khai thác hầm lò. Các vỉa khoáng sản ngày càng khai thác xuống sâu, phương pháp mở vỉa cũng được chuyển từ phương pháp lò bằng, giếng nghiêng sang phương pháp mở vỉa bằng giếng đứng. Các mỏ Hà Lâm, Núi Béo, Khe Chàm II-IV và một số mỏ khác cũng đang trong quá trình thi công mở vỉa bằng giếng đứng với độ sâu lớn (Hà Lâm: 450 m, Núi Béo: 400 m, Khe Chàm II-IV: 700 m v.v...). Trải qua một thời gian dài, ở Việt Nam, hầu hết các mỏ hầm lò được mở vỉa bằng lò bằng và giếng nghiêng. Công tác đo định hướng mặt bằng được tiến hành đơn giản, thông qua việc đo nối trực tiếp đường chuyển kinh vĩ hầm lò với lưới khống chế trên mặt đất từ điểm tiệm cận ở cửa lò bằng. Để có cơ sở lựa chọn phương pháp phù hợp trong điều kiện các mỏ hầm lò Việt Nam, đặc biệt đối với các giếng đứng có độ sâu lớn, cần có các đánh giá về độ chính xác và điều kiện ứng dụng của các phương pháp định hướng, làm cơ sở lựa chọn phương pháp và thiết bị phù hợp trong điều kiện thực tế của Việt Nam.

2. Độ chính xác các phương pháp định hướng mặt bằng qua giếng đứng

Hiện nay, trên thế giới, có nhiều phương pháp định hướng mặt bằng qua giếng đứng khác nhau. Mỗi phương pháp đều có ưu nhược điểm và điều kiện ứng dụng riêng phụ thuộc vào yêu cầu độ chính xác, các thông số kỹ thuật của giếng, điều kiện ngoại cảnh như: cường độ gió, nước và sự phân bố nhiệt độ các lớp không khí trong lòng giếng, điều kiện trang thiết bị, mạng lưới khống chế trên mặt đất v.v... Ở Việt Nam cho đến nay, các phương pháp định hướng mặt bằng đã và đang được sử dụng là tam giác liên hệ, qua hai giếng và ứng dụng kinh vĩ con quay. Mặc dù chưa được ứng dụng trong thực tế, cũng đã có những đề xuất ứng dụng phương pháp định hướng sử dụng thiết bị laser.

* Tác giả liên hệ

Email: vongocdung@humg.edu.vn

2.1. Phương pháp tam giác liên hệ

Nội dung của phương pháp tam giác liên hệ là xác định tọa độ điểm đầu tiên và góc phương vị cạnh đầu tiên của mạng lưới khống chế dưới hầm lò thông qua việc giải hai tam giác trên mặt đất và dưới hầm lò sau khi đã hoàn thành công tác chiếu điểm và xác định hai vị trí ổn định của dây quả nặng P1 và P2 (Nguyễn Đình Bé, Võ Chí Mỹ, Nguyễn Xuân Thủy, 1999; Võ Chí Mỹ, 2016).

Từ quá trình đo đạc tính toán có thể thấy rằng: có ba yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác xác định góc phương vị hầm lò AI-II:

$$m_{AI-II} = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2} \quad (1)$$

Trong đó: m_1 - sai số trung phương đo nổi trên mặt đất; m_2 - sai số trung phương chuyên phương vị; m_3 - sai số trung phương đo nổi dưới hầm lò.

Để xác định góc phương vị, phải tiến hành đo các góc bằng trong hai tam giác liên hệ trên mặt đất và dưới hầm lò. ta có:

$$m_1^2 + m_2^2 = m_{ABA}^2 + m_\phi^2 + m_{\phi'}^2 + m_\beta^2 + m_\gamma^2 \quad (2)$$

Trong đó: m_{ABA} - sai số trung phương xác định phương vị cạnh BA trên mặt đất; $m_\phi, m_{\phi'}$ - sai số trung phương đo góc ϕ và ϕ' ; m_β, m_γ - sai số trung phương m_β, m_γ các góc nổi β và γ .

Sai số trung phương m_β, m_γ phụ thuộc vào phương pháp tính các góc nổi β và γ .

Sai số trung phương góc β được tính như sau:

$$\cos\beta \cdot d\beta = -\frac{b}{a^2} \sin\alpha \cdot da + \frac{\sin\alpha}{a} db + \frac{b}{a} \cos\alpha \cdot d\alpha$$

$$\cos\beta \cdot d\beta = -\frac{b}{a^2} \sin\alpha \cdot da + \frac{\sin\alpha}{a} db + \frac{b}{a} \cos\alpha \cdot d\alpha \quad (3)$$

$$d\beta = -\frac{b}{a^2} \cdot \frac{\sin\alpha}{\cos\beta} \cdot da + \frac{db}{a} \cdot \frac{\sin\alpha}{\cos\beta} + \frac{b}{a} \cdot \frac{\cos\alpha}{\cos\beta} \cdot d\alpha \quad (4)$$

$$\text{Thay } \sin\alpha = \frac{a}{b} \sin\beta \quad , \rightarrow \frac{b}{a} = \frac{\sin\beta}{\sin\alpha}$$

ta có:

$$d\beta = -\frac{da}{a} \cdot tg\beta + \frac{db}{b} \cdot tg\beta + \frac{tg\beta}{tg\alpha} \cdot d\alpha$$

Chuyển sang sai số trung phương:

$$m_\beta = \sqrt{\rho^2 \cdot \frac{tg^2\beta}{a^2} m_a^2 + \rho^2 \cdot \frac{tg^2\beta}{b^2} m_b^2 + \frac{tg^2\beta}{tg^2\alpha} m_\alpha^2} \quad (5)$$

Đo định hướng qua một giếng đứng bằng tam giác liên hệ là phương pháp đơn giản, có thể sử dụng các thiết bị chiếu điểm và đo đạc truyền thông. Từ kết quả phân tích độ chính xác cho thấy rằng: độ chính xác tọa độ và phương vị phụ thuộc vào đồ hình của tam giác liên hệ, theo đó, cần bố trí tam giác sao cho các góc nhọn liên hệ α và β càng nhỏ càng tốt (2-30). Độ chính xác định hướng cũng phụ thuộc vào chiều dài cạnh tam giác, theo đó, phải bố trí tam giác sao cho khoảng cách giữa hai dây dọi là lớn nhất và giữa trạm máy và các dây dọi là nhỏ nhất.

Trong phương pháp định hướng tam giác liên hệ, quá trình chiếu điểm cơ học, dây dọi được treo trong giếng đứng. Xét về nguyên lý hình học, dây dọi phải nằm trong phương thẳng đứng, tuy vậy, do nhiều nguyên nhân khác nhau, dây dọi thường vẫn bị lệch khỏi phương thẳng đứng mà gió là tác nhân quan trọng nhất. Với vận tốc chuyển động khá lớn, gió trong giếng đứng thường chuyển động theo dòng xoáy (Pielok J. ,2011). Gió tác động trên toàn chiều dài dây dọi từ các hướng khác nhau tạo ra lực đẩy tác động mạnh làm dây dọi dao động mạnh và lệch khỏi phương thẳng đứng. Giếng càng sâu, lực gió thổi càng mạnh làm giảm độ chính xác của các yếu tố định hướng mặt bằng.

2.2. Định hướng qua hai giếng đứng

Hiện nay, trong các mỏ Mông Dương, Hà Lâm, Núi Béo, Khe Chàm II-IV đều đã mở vỉa bằng hai giếng đứng. Công tác định hướng mặt bằng có thể tiến hành qua hai giếng. Độ chính xác chuyên phương vị sẽ bao gồm các nguồn sai số đo nổi trên mặt đất, sai số chiếu điểm và đo nổi giữa hai giếng dưới hầm lò:

$$M = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2} \quad (6)$$

Trong đó: m_1 - sai số đo nổi trên mặt đất; m_2 - sai số chuyên phương vị; m_3 - sai số đo nổi dưới hầm lò.

Trong phương pháp định hướng qua hai giếng, mạng lưới khống chế trong hầm lò thường được thành lập theo dạng đường chuyên, độ chính xác đo nổi trong hầm lò sẽ bằng:

$$m_3 = \sqrt{(m\sigma_i)_\alpha^2 + (m\sigma_i)_\beta^2} \quad (7)$$

Trong đó: $(m\sigma_i)_\alpha$ - thành phần ảnh hưởng của sai số đo góc; $(m\sigma)_s$ - thành phần ảnh hưởng của sai số đo cạnh.

Từ nguyên lý định hướng qua hai giếng, ta có:

$$\sigma_i = \sigma'_i + \omega$$

ω - là góc xoay của phương vị trong hệ tọa độ giả định trong hầm lò so với hệ tọa độ trên mặt đất:

$$\omega = \sigma_{P_1P_2} - \sigma'_{P_1P_2}$$

Công thức tổng hợp tính sai số định hướng qua hai giếng:

$$M = \pm \sqrt{(m_1^2) + (m_2^2) + (m_{\sigma_i}^2)_\alpha + (m_{\sigma_j}^2)} \quad (8)$$

Trong đó: m_j là sai số đo nối trên mặt đất, tức là sai số xác định tọa độ dây dọi trên miệng giếng đứng, được tính theo công thức:

$$m_1 = \pm \frac{\rho''}{S} \cdot \sqrt{\frac{m_{P_1}^2 + m_{P_2}^2}{2}} \quad (9)$$

Trong đó: m_{P_1}, m_{P_2} - sai số xác định tọa độ dây dọi trên miệng giếng đứng; S - khoảng cách giữa hai dây dọi; m_2 là sai số chuyển phương vị từ mặt đất xuống hầm lò được tính theo công thức:

$$m_2 = \pm \frac{\rho''}{S} \cdot \sqrt{\frac{e_{P_1}^2 + e_{P_2}^2}{2}} \quad (10)$$

Trong đó: e_{P_1} và e_{P_2} - sai số chiều dìm.

Có thể thấy rằng: khi bố trí đường chuyển trong hầm lò cần lưu ý sao cho số cạnh của đường chuyển càng ít, độ chính xác càng cao.

Từ công thức đánh giá độ chính xác qua hai giếng cho thấy rằng: độ chính xác định hướng mặt bằng qua hai giếng phụ thuộc vào khoảng cách giữa hai giếng, chiều dài đường chuyển đa giác nối hai giếng dưới mặt đất, độ chính xác đo góc và đo chiều dài lưới đa giác hầm lò. Cũng cần lưu ý, số hiệu chỉnh độ hội tụ dây dọi phụ thuộc vào độ sâu của giếng đứng và khoảng cách giữa hai giếng. Trong trường hợp hai giếng đứng có độ sâu lớn và khoảng cách xa, cần lưu ý tính số hiệu chỉnh độ hội tụ của dây dọi.

2.3. Định hướng bằng thiết bị laser

Trong thời gian gần đây, thiết bị laser ngày càng được cải tiến và áp dụng trong định hướng mặt bằng. Máy laser dùng trong định hướng có cấu tạo từ laser He-Ne hoặc laser bán dẫn có công suất, cường độ chiếu sáng mạnh và có độ hội tụ lớn. Nhờ vào tia sáng nhìn thấy được, việc điều chỉnh phương của chúng cũng dễ dàng hơn. Phương của trục ngắm được điều chỉnh trên miệng giếng tại vị trí đặt máy, nhờ thế, tạo khả năng tự động hóa quá trình chiếu điểm thông qua việc nối máy laser với máy tính, tự động hóa quá trình tính toán, xử lý và hiệu chỉnh nhờ các phần mềm chuyên dụng. Đa số các máy chiếu điểm laser hiện nay được chế tạo theo nguyên tắc cân bằng tự động, theo đó, việc xác định phương thẳng đứng của tia laser là làm trùng tia laser với tia phản xạ từ gương đo. Hiện nay, trên thị trường đã có nhiều máy định hướng laser với các tính năng kỹ thuật ngày một cải tiến và hoàn thiện. Mặc dù có nhiều ưu điểm, phương pháp định hướng laser không được sử dụng nhiều đặc biệt trong các giếng đứng có độ sâu lớn.

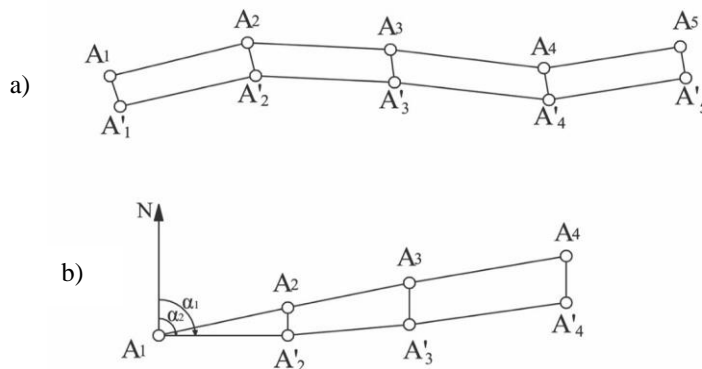
Tuy vậy, các điều kiện trong giếng đứng như bụi mờ, hơi nước, sự phân lập nhiệt độ trong các lớp không khí trên suốt chiều dài của giếng có ảnh hưởng tới các chùm tia laser. Giếng càng sâu, sự tán sắc chùm tia laser càng lớn, làm giảm đáng kể độ hội tụ của chùm tia trên sân ga dưới giếng hoặc trên tầng định hướng. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh rằng: với độ sâu 400m chùm tia laser bị lệch 25 cm và độ sâu 700 m (như mỏ Khe Chàm II-IV), ảnh hưởng của chiết quang có thể làm chùm tia laser lệch đến 0,5 m (Võ Chí Mỹ, 2016; Pielok J. ,2011). Với kỹ thuật laser hiện nay, độ sâu lớn của các giếng đứng trên bề than Quảng Ninh với các điều kiện bất lợi trong giếng, việc sử dụng phương pháp định hướng laser sẽ không bảo đảm độ chính xác và có thể nói là bất khả thi.

2.4. Định hướng bằng kính vĩ con quay

Nhược điểm cơ bản của phương pháp định hướng qua một giếng và hai giếng đứng là: cần phải ngừng mọi hoạt động sản xuất của giếng trong quá trình chiếu điểm và đo nối, điều đó ảnh hưởng đến sản xuất của mỏ. Gần đây, một số mỏ Việt Nam đã bắt đầu ứng dụng định hướng mặt bằng bằng kính vĩ con quay. Thực ra, kính vĩ con quay ra đời từ lâu và cũng đã được ứng dụng trong công tác định hướng mặt bằng hầm lò ở một số nước trên thế giới. Tuy vậy, nhược điểm cơ bản của các máy kính vĩ con quay thế hệ cũ là kích thước và trọng lượng lớn, gây khó khăn trong việc di chuyển và đo đạc trong hầm lò, đặc biệt là trong các đường lò chật hẹp.

Trong những năm gần đây, các máy kinh vĩ con quay ngày càng được cải tiến và hoàn thiện với độ chính xác cao, kích thước gọn nhẹ, phù hợp với quá trình di chuyển và đo đạc trong mỏ hầm lò. Các máy kinh vĩ con quay thế hệ mới như GAK-1 (Wild), các thế hệ GIROMAT (DMT), đặc biệt, các máy kinh vĩ con quay GIROMAT-2000, GIROMAT-3000, GIROMAT-5000 là các thiết bị hiện đại, đa chức năng cho phép xác định góc phương vị có độ chính xác cao, thời gian đo nhanh, phù hợp với công tác đo định hướng trong giếng đứng có độ sâu lớn ở Việt Nam. Việc ứng dụng kinh vĩ con quay đo trực tiếp phương vị khi định hướng mặt bằng có ý nghĩa lớn [3]. Bởi lẽ, trong hai yếu tố định hướng mặt bằng qua giếng đứng thì góc phương vị đóng vai trò quan trọng hơn. Khi tọa độ được chuyển có sai số, tọa độ của điểm lưới không chế hầm lò sẽ dịch chuyển một giá trị song song không đổi. Ngược lại, khi góc phương vị có sai số, phương vị các cạnh lưới không chế sẽ sai lệch tỷ lệ thuận với khoảng cách từ cạnh xét đến cạnh đầu (Võ Chí Mỹ, 2016; Pielok J., 2011) (Hình 1).

Từ kết quả phân tích trên đây, cho thấy rằng: góc phương vị đóng vai trò quan trọng trong công tác đo định hướng mặt bằng. Trong nhiều nội dung công tác trắc địa mỏ hầm lò như cho hướng đào lò, đào lò đối hướng, cứu hộ cứu nạn v.v... số liệu định hướng là nhân tố quyết định độ chính xác. Về lý thuyết, công tác định hướng bằng kinh vĩ con quay có thể thực hiện bằng phương pháp không chiếu điểm. Tuy vậy, xét thấy, ảnh hưởng của sai số chiếu điểm không ảnh hưởng lớn lắm nên hầu hết đều sử dụng phương pháp kinh vĩ con quay với chiếu điểm một dây dọi. Với trường hợp đường kính giếng lớn, điều kiện chiếu điểm dễ dàng,



Hình 1. Ảnh hưởng của sai số chuyển tọa độ và phương vị đối với độ chính xác mạng lưới không chế hầm lò [2].

(a) ảnh hưởng của sai số chuyển tọa độ, (b) ảnh hưởng của sai số chuyển phương vị.

có thể tiến hành định hướng kinh vĩ con quay với hai dây dọi là điều kiện lý tưởng để kiểm tra.

Trong thời gian gần đây, một số mỏ hầm lò Việt Nam đã tiến hành thử nghiệm đo định hướng mặt bằng bằng kinh vĩ con quay. GYRO X II là máy kinh vĩ con quay của hãng SOKKIA (Nhật Bản). Máy GYRO II cho phép xác định hướng bắc một cách chính xác ở mọi lúc mọi nơi nhờ vào hệ thống con quay hồi chuyển. Sự kết hợp giữa phần mềm ứng dụng và hệ thống truyền động tiên tiến cho phép xác định hướng bắc thực với độ chính xác là $\pm 15''$. Thời gian xác định phương vị cho 1 cạnh trong vòng 15' với 3 vòng đo lặp của máy kinh vĩ con quay GYRO X II, cho phép tăng hiệu quả công tác định hướng, giảm thời gian và công sức, nâng cao điều kiện an toàn lao động (Phòng Trắc địa-Địa chất Công ty than Núi Béo, 2019; Gyro X II, Gyro1 X II/ Gyro3 XII, 2011).

Công tác định hướng bằng kinh vĩ con quay được tiến hành thông qua chiếu điểm một dây dọi. Quy trình nội dung định hướng có thể tóm tắt các bước như sau (Hình 2).

Thành lập hai điểm A và B trên mặt đất trong khu vực gần giếng đứng. Tọa độ hai điểm A và B có thể xác định bằng các phương pháp truyền thống hoặc công nghệ GNSS;

Đo phương vị con quay cạnh A-B;

Tính góc lệch kinh tuyến γ ;

Tiến hành các nội dung chiếu điểm P qua giếng đứng;

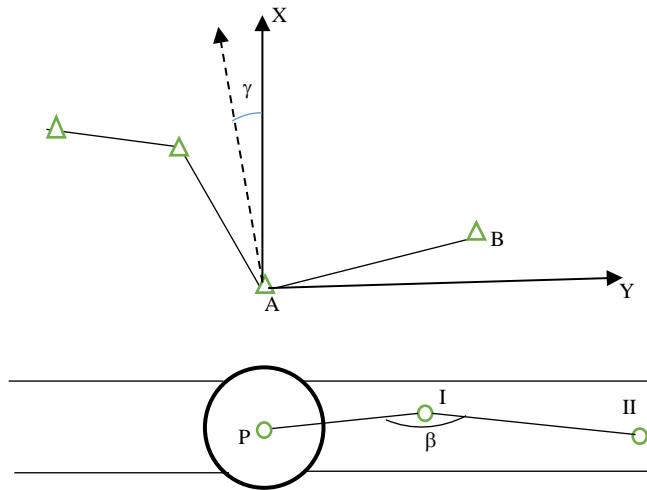
Thành lập hai điểm I và II dưới hầm lò khu vực sân ga dưới giếng đứng;

Đo phương vị con quay cạnh I-P;

Đo góc bằng β (P-I-II);

Hiệu chỉnh độ lệch kinh tuyến, tính phương vị tọa độ cạnh I-P;

Tính phương vị tọa độ cạnh I-II.



Hình 2. Sơ đồ định hướng mặt bằng qua giếng đứng bằng kinh vĩ con quay.

Từ nội dung đo định hướng bằng kinh vĩ con quay, có thể xác định công thức tính sai số định hướng mặt bằng theo công thức như sau:

$$M_{\alpha} = \sqrt{m_A^2 + m_B^2 + m_P^2 + m_{\alpha d}^2 + m_{\beta}^2 + m_{\gamma}^2} \quad (11)$$

Trong đó: m_A - sai số đo nối xác định tọa độ điểm A trên mặt đất; m_B - sai số đo nối xác định tọa độ điểm B trên mặt đất; m_P - sai số chiếu điểm P; $m_{\alpha d}$ - sai số đo góc phương vị con quay trong hầm lò; m_{β} - sai số đo góc bằng β ; m_{γ} - sai số xác định độ lệch phương vị.

Đánh giá độ chính xác và điều kiện ứng dụng của phương pháp định hướng bằng kinh vĩ con quay thể hiện các ưu điểm nổi bật sau đây:

- Độ chính xác định hướng bằng thiết bị con quay không phụ thuộc vào độ chính xác chiếu điểm và tăng tỷ lệ với căn bậc hai số lần định hướng.
- Khi định hướng bằng thiết bị con quay, không những chỉ xác định phương vị cạnh đầu mà còn xác định phương vị một số cạnh khác của đường chuyên kinh vĩ hầm lò, làm cho cấu trúc của mạng lưới trắc địa hầm lò thêm chắc chắn và nâng cao độ tin cậy.
- So với các phương pháp truyền thống khác, độ chính xác của phương pháp định hướng bằng kinh vĩ con quay không phụ thuộc vào độ sâu của giếng. Nghĩa là, độ sâu lớn của các giếng đứng trên bể than Quảng Ninh không ảnh hưởng đến độ chính xác định hướng bằng kinh vĩ con quay.

3. Kết luận

Kết quả đánh giá độ chính xác và điều kiện ứng dụng các phương pháp đo định hướng mặt bằng qua giếng đứng có độ sâu lớn ở Việt Nam đã rút ra các kết luận sau đây:

1. Độ chính xác của phương pháp tam giác liên hệ phụ thuộc vào các nội dung công tác chiếu điểm và đo nối, theo đó, đồ hình hai tam giác trên mặt đất và dưới hầm lò là yếu tố quyết định. Với độ sâu lớn, các điều kiện ngoại cảnh như gió thổi mạnh, nước chảy sẽ làm rung lắc dây dọi, tác động mạnh đến độ chính xác xác định vị trí ổn định của các dây dọi dưới đáy giếng. Hơn nữa, độ chính xác định hướng phụ thuộc vào khoảng cách giữa hai dây dọi. Hiện nay, các giếng đứng của Việt Nam có đường kính trung bình $d = 6\text{m}$, khoảng cách giữa hai dây dọi sẽ nhỏ hơn 6m . Điều đó ảnh hưởng không nhỏ đến độ chính xác định hướng mặt bằng.
2. Định hướng mặt bằng qua hai giếng cho độ chính xác cao hơn. Tuy vậy, các điều kiện như phải có hai giếng đã thông với nhau, hệ thống đường lò nối hai giếng và đặc biệt, việc ngừng hoạt động sản xuất ở cả hai giếng phục vụ cho quá trình định hướng là điểm hạn chế của phương pháp này.
3. Các điều kiện ngoại cảnh trong giếng đứng như bụi mủ, sự phân tầng nhiệt độ, hơi nước gây ra các hiện tượng ảnh hưởng lớn đến chiết quang và tán sắc chùm tia. Có thể khẳng định rằng: phương pháp định hướng mặt bằng bằng công nghệ laser không thể áp dụng được trong điều kiện giếng đứng có độ sâu lớn ở Việt Nam.
4. Trong hai yếu tố định hướng từ mặt đất xuống hầm lò thì phương vị đóng vai trò quan trọng hơn. Mặt khác, với độ sâu lớn, các phương pháp định hướng khác đều bộc lộ các nhược điểm, thậm chí không

thực hiện được. Định hướng mặt bằng bằng kinh vĩ con quay cho phép nâng cao độ chính xác, độ tin cậy của hệ thống lưới khống chế trong hầm lò, giảm thời gian, công sức và nâng cao mức độ an toàn lao động trong giếng mỏ. Ngoài ra, có thể kết hợp công tác định hướng với việc đo kiểm tra phương vị một số cạnh của lưới khống chế hầm lò sau khi đã ước tính số lượng phương vị và vị trí cạnh đo.

Lời cảm ơn

Bài báo này là sản phẩm khoa học của đề tài mã số T20-07, nhóm tác giả chân thành cảm ơn Trường đại học Mỏ - Địa chất đã hỗ trợ kinh phí, cảm ơn Công ty CP than Núi Béo đã hỗ trợ trong quá trình đo đạc thực nghiệm tại mỏ.

Tài liệu tham khảo

- Gyro X II, Gyro1 X II/ Gyro3 XII, 2011. Automated Gyro Stations, Determine azimuth any where, any time Sokkia, *Catalogue*, 03 trang.
- Nguyễn Đình Bé, Võ Chí Mỹ, Nguyễn Xuân Thụy, 1999. Trắc địa mỏ, *NXB Giao thông vận tải Hà Nội*, trang 76 - 101
- Phòng Trắc địa-Địa chất Công ty than Núi Béo, 2019. Báo cáo kỹ thuật đo định hướng qua giếng đứng.
- Pielok J. ,2011, Geodezja Górnicza, *Wydawnictwo AGH, Kraków*, trang 150-157.
- Võ Chí Mỹ, 2014. Nghiên cứu ứng dụng máy kinh vĩ con quay nâng cao độ chính xác mạng lưới khống chế trong công trình đường hầm, Tuyển tập báo cáo HNKH ngành địa hình quân sự, *Cục bản đồ Bộ tổng tham mưu*, trang 74-79.
- Võ Chí Mỹ, 2016. Trắc địa mỏ, *NXB Khoa học và Công nghệ Hà Nội*, trang 204 -214.

ABSTRACT

Evaluating the accuracy and applicable conditions of orientation methods for deep mine shafts in Vietnam

Dung Ngoc Vo ¹, Dung Tien Nguyen ²
¹ *Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam*
² *Nui Beo coal joint stock Company - Vinacomin, Vietnam*

Recently, at Quang Ninh coal basin, in Vietnam, because of more complex geological conditions, deeper coal seams, underground mining technologies that use deep mine shafts have been increasingly common. Horizontal orientation (x,y) is an important task of mine surveyors, and to ensure the geometric relations between surveys of underground excavation and the earth's surface. The selection of suitable orientation methods depends on the structures and component conditions of the shaft. These days, there is a variety of horizontal orientation methods used in the world. This paper presents the results of investigating configurations of orientation measurement and evaluating the accuracy of horizontal orientation methods and their application in specific conditions which are criteria for selecting suitable methods for deep mine shafts in Vietnam.

Keywords: mine shaft, horizontal orientation, accuracy assessment.

Non-linear filtering algorithms for kinematic positioning on the application of maritime navigation

Dung Trung Pham,[†]
Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

ABSTRACT

In the field of kinematic positioning applied for maritime navigation, a vessel is often tracked by low-cost sensors, which are lightweight, small size, and low in price, but instability and low accuracy. The non-linearity is one of the most difficult characteristics in the estimation, and it is contributed by highly non-linear functions of both the kinematic model and the observation model as well as the measurement error. To overcome this problem, a suitable non-linear filtering algorithm needs to be selected. In this paper, a scenario of maritime navigation is given, in which the sensor's measurement used for tracking the vessel is simulated by the Monte Carlo method. Two non-linear filtering algorithms consisting of extended Kalman filter (EKF) and particle filter (PF) is applied since these algorithms are appropriated to different levels of non-linearity. The position accuracy of these algorithms is determined in cases of varying measurement accuracy and observation geometry. The main result of this work is that the improvement in accuracy between PF and EKF is investigated on the wide range of non-linearity. Based on this information about the improvement, the users can choose a suitable algorithm to deal with the mentioned non-linearity problem for their applications.

Keywords: Non-linear filtering algorithms; Kinematic positioning; Maritime navigation.

Introduction

Non-linear estimation problem has long constituted an attractive topic for researchers. The non-linearity is one of the most difficulties in estimation by filtering algorithms. In the kinematic positioning, the non-linearity is often conducted by both the system and the observation models, which are non-linear equations. In addition, the high measurement errors from measurements and bad observation geometry are also the main reasons of high non-linearity. Several filtering algorithms had proposed to deal with this issue. EKF, one of the most widely used algorithms, can deal with this problem. EKF is extended straightforwardly from the Kalman filter (KF) (Kalman 1960), in which the linear approximation technique is used by the Taylor series expansion (Gelb 1979). Fast computational time is the main advantage of this filter. However, the linear approximation is not satisfactory for highly non-linear models, which leads to the divergent phenomenon of EKF (Niu, Varshney et al. 2008). Hence this algorithm is only suitable for weak non-linearity. To overcome this problem, PF (Gordon, Salmond et al. 1993) is the most suitable algorithm to apply in these cases. In this filter, mean and covariance quantities are approximated directly from a large number of random sample points. This algorithm can also cope with non-Gaussian noise distribution, but the burden in computational time is expensive (Karlsson, Schön et al. 2005). From these analyses, both the above algorithms have advantages and disadvantages in terms of accuracy and computational time. The selection of an appropriate algorithm between the above-mentioned algorithms will focus on the accuracy taken the computational time into account. In this study, the improvement in accuracy is considered as the main parameter for choosing algorithms. In theory, the PF is better than EKF due to high non-linearity, but the quantity in the improvement of PF compared to EKF depends also on parameters of scenarios. Hence, in this paper, this improvement will be investigated for a certain application of maritime navigation. The paper is organized in four following sections. A brief theory about filtering algorithms including EKF and PF is described in section 2. Section 3 presents a vessel positioning in the maritime application. The results of determination on the improvement in the accuracy according to varying both the measurement accuracy and the observation geometry are discussed

[†] Tác giả liên hệ

Email: phamtrungdung@humg.edu.vn

in section 3. The main findings, limitations are given in section 4. Finally, conclusions and future works are presented in section 5.

2. Filtering algorithms

2.1. Extended Kalman filter

EKF is the most widely used in the non-linear estimation. The main concept of this algorithm was proposed by Schmidt (1966). The method was also well-known as the Kalman-Schmidt filter.

If the state vector \mathbf{y} is passed through the prediction model $\boldsymbol{\phi}$ and the observation model $\boldsymbol{\theta}$:

$$\bar{\mathbf{y}}_{k+1} = \boldsymbol{\phi}(\hat{\mathbf{y}}_k, \boldsymbol{\xi}_k), \quad (1)$$

$$\bar{\mathbf{l}}_{k+1} = \boldsymbol{\theta}(\bar{\mathbf{y}}_{k+1}, \boldsymbol{\eta}_k), \quad (2)$$

then the procedure of the EKF can be presented in Fig. 1.

2.2. Particle filter

The particle filter (PF) is widely employed for non-linear and non-Gaussian models. The central idea of the PF is to approximate the posterior PDF of the state vector as a set of random samples. The mean and covariance can be obtained from a precise posterior PDF, which is generated by a great number of samples. This method is known under the names of the bootstrap method, condensation algorithm (Isard and Blake 1998), and sequential Monte Carlo. The first paper on the sequential MC method was presented by Hammersley and Morton (1954). However, the PF began to be commonly used with the seminal paper of Gordon, Salmond et al. (1993). Here, resampling, an important step, is introduced, which created a novel method, known as sampling importance resampling (SIR) or particle filter. In the scope of this study, PF theory based on the SIR algorithm will be described below.

A posterior PDF of the predicted state vector \mathbf{y}_{k+1} , $p(\mathbf{y}_{k+1}|\mathbf{L}_k)$, can be determined by using a probability model of state evolution $p(\mathbf{y}_{k+1}|\mathbf{y}_k)$, as follows:

$$p(\mathbf{y}_{k+1}|\mathbf{L}_k) = \int p(\mathbf{y}_{k+1}|\mathbf{y}_k)p(\mathbf{y}_k|\mathbf{L}_k)d\mathbf{y}_k, \quad (3)$$

where \mathbf{L}_k denotes the set of all observations received up to and including \mathbf{l}_k : $\mathbf{L}_k = \{\mathbf{l}_i, i = 1, 2, \dots, k\}$; and a filtering probability density $p(\mathbf{y}_k|\mathbf{L}_k)$ for the Bayesian inference is given by:

$$p(\mathbf{y}_k|\mathbf{L}_k) = \frac{p(\mathbf{l}_k|\mathbf{y}_k)p(\mathbf{y}_k|\mathbf{L}_{k-1})}{p(\mathbf{l}_k|\mathbf{L}_{k-1})}. \quad (4)$$

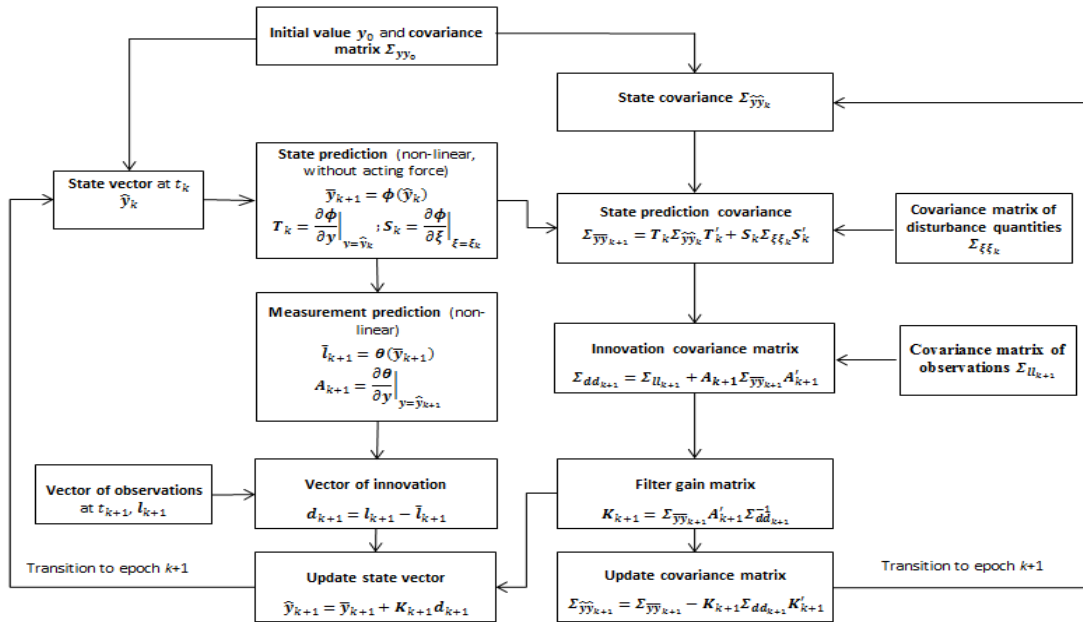


Fig. 1 Scheme of EKF for non-linear estimation, in which the subscript k indicates a value at time t_k ; \mathbf{T}_k is transition matrix; \mathbf{S}_k is matrix of disturbance quantities; and $\boldsymbol{\xi}_k$ is the vector of Gaussian process noise ($E[\boldsymbol{\xi}_k] = 0$); \mathbf{A}_{k+1} is design matrix; and $\boldsymbol{\eta}_k$ is the vector of Gaussian observation noise ($E[\boldsymbol{\eta}_k] = 0$).

The PF approximates the probability density function $p(\mathbf{y}_k|\mathbf{L}_k)$ by a significant number of N_{PF} independent particles $\mathbf{y}_{k,i}$, $i=1,2,\dots,N_{PF}$, and their associated weights $W_{k,i}$, $i=1,2,\dots,N_{PF}$, where the sum of all weights is proportional to unity. The PF updates the state vector and the corresponding weights recursively with each new measurement. In (4), the normalization factor $p(\mathbf{L}_k|\mathbf{L}_{k-1})$ is usually unknown. However, this factor is not essential for this method, since the probability density function $p(\mathbf{y}_k|\mathbf{L}_k)$, can be sufficiently evaluated by:

$$p(\mathbf{y}_{k+1}|\mathbf{L}_k) \propto p(\mathbf{L}_k|\mathbf{y}_k)p(\mathbf{y}_k|\mathbf{L}_{k-1}), \quad (5)$$

In theory, a Monte Carlo method can be used to approximate the uncertainty of arbitrary probability density functions. However, in this study, only the Gaussian distribution is used. The likelihood function $p(\mathbf{L}_k|\mathbf{y}_k)$ is computed by considering the measurement standard deviation (STD) σ under the assumption of a Gaussian distribution:

$$p(\mathbf{L}_k|\mathbf{y}_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(l_k - y_k)^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

and $p(\mathbf{y}_k|\mathbf{L}_{k-1})$ is approximated with particles which are known to constitute the main idea of the PF method, according to:

$$p(\mathbf{y}_k|\mathbf{L}_{k-1}) \approx \frac{1}{N_{PF}} \sum_{i=1}^{N_{PF}} \delta(\mathbf{y}_k - \mathbf{y}_{k,i}), \quad (7)$$

where $\delta(\cdot)$ is the delta-Dirac function.

However, this approach suffers from divergence phenomena, in which almost all of the particles' weights have a value of 0, except one non-zero weight, after a few steps. This problem can be handled by a resampling step. Several resampling algorithms were analyzed and compared by Hol, Schön et al. (2006). The SIR algorithm is briefly described by the following procedure:

Step 1: N_{PF} particles $\mathbf{y}_{0,i}$, $i=1,2,\dots,N_{PF}$ are drawn depending on the Gaussian distribution $p(\mathbf{y}_0)$ at time $t_k = 0$.

Step 2: The weights $W_{k,i} = p(\mathbf{L}_k|\mathbf{y}_{k,i})$ are calculated by (6), and normalised weights can be defined as:

$$\tilde{W}_{k,i} = \frac{W_{k,i}}{\sum_{j=1}^{N_{PF}} W_{k,j}}, \quad i = 1, 2, \dots, N_{PF}. \quad (8)$$

Step 3: A new set of particles $\mathbf{y}_{k,i}^*$, $i=1,2,\dots,N_{PF}$ are rearranged from the current set $\mathbf{y}_{k,i}$, $i=1,2,\dots,N_{PF}$ by the resampling method (Karlsson and Gustafsson 2001).

Step 4: At time t_{k+1} , new particles $\mathbf{y}_{k+1,i}$, $i=1,2,\dots,N_{PF}$ are drawn, which are based on the function (1) as:

$$\mathbf{y}_{k+1,i} = \boldsymbol{\phi}(\mathbf{y}_{k,i}^*, \boldsymbol{\xi}_{k,i}), \quad i = 1, 2, \dots, N_{PF}. \quad (9)$$

where the process noise $\boldsymbol{\xi}_{k,i}$ is simulated by a Gaussian distribution.

Step 5: Increase time $t_k := t_{k+1}$ and repeat from step 2.

3. Application to maritime navigation

3.1. Scenario

The case study is investigated on the maritime application. Whereby, a vessel is tracked by two coastal radars located at the reference points (X_1, Y_1) and (X_2, Y_2) , respectively in Fig. 2. These radars are to provide simultaneously two distances s_1 and s_2 each Δt second, and the vessel is tracked during τ second. In this scenario, suppose that the vessel moves from the west to the east in the x - y plane with a constant velocity v , and the position of the vessel is determined in a good weather condition, such that external influences such as wind, current, and wave are trivial, and they can be ignored in the computation.

3.2 Modeling for the prediction and observation steps

This state vector is propagated through two processes of the time update and measurement update, which corresponds to the system model and the observation model of an estimation algorithm. The goal of the system model is to propagate the state vector forward in time and to determine how this vector varies with time. The straight linear model is a simplification of the movement of the vessel in its trajectory in reality.

In the plane, it is assumed that the vessel moves on the straight line between two points with a constant velocity, and the measuring epochs are realized at these points.

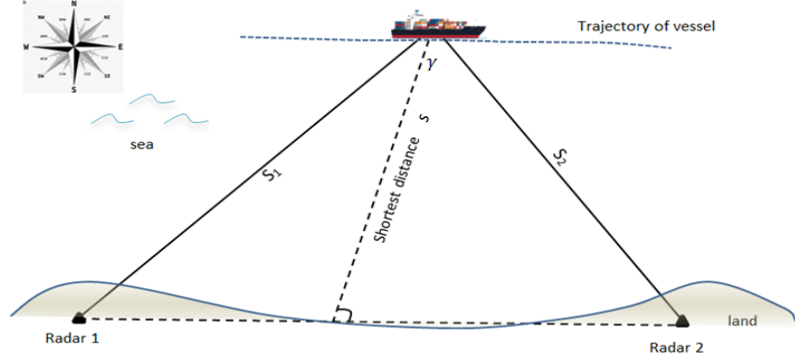


Fig. 2. A vessel is tracked by two distance measurements provided by coastal radars.

The geometric model between two consecutive epochs from k to $k+1$ is illustrated as (Aussems 1999):

$$\begin{aligned}\bar{x}_{k+1} &= \hat{x}_k + \hat{v}_{k+1} \cdot \Delta t \cdot \cos(\hat{\varphi}_k + \Delta\bar{\varphi}_{k+1}) \\ \bar{y}_{k+1} &= \hat{y}_k + \hat{v}_{k+1} \cdot \Delta t \cdot \sin(\hat{\varphi}_k + \Delta\bar{\varphi}_{k+1}) \\ \bar{\varphi}_{k+1} &= \hat{\varphi}_k + \Delta\bar{\varphi}_{k+1} \\ \bar{v}_{k+1} &= \hat{v}_k \\ \Delta\bar{\varphi}_{k+1} &= \Delta\hat{\varphi}_k\end{aligned}\quad (10)$$

Where x and y are coordinates in the horizontal plane, φ is the orientation, v is the velocity, and $\Delta\varphi$ is orientation change of the vessel.

The observation model is to update the state vector with a set of measurements and to identify how measurements vary with the state vector. The distance, a highly non-linear model with respect to the state vector, is used for modeling radars' measurements. The observation vector of two distances in the mentioned scenario at epoch k can then be expressed by:

$$\mathbf{l}_k = (s_{1,k} \quad s_{2,k})', \quad (11)$$

Where $s_{1,k}$ and $s_{2,k}$ are used by the equations:

$$s_k = \sqrt{(x_k - X_0)^2 + (y_k - Y_0)^2}, \quad (12)$$

With (X_0, Y_0) and (x_k, y_k) are known and unknown coordinates of the radar and the vessel, respectively at epoch k .

4. Results

To evaluate the ability of these above algorithms, the position accuracy is used and it is computed by the root mean square error RMSE as:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^N ((\tilde{x}_{k+1} - \hat{x}_{k+1})^2 + (\tilde{y}_{k+1} - \hat{y}_{k+1})^2)}{N}}, \quad (13)$$

Where N is the number of measuring epochs; \tilde{x} and \tilde{y} are the north and east coordinates, respectively, of the true trajectory; and \hat{x} and \hat{y} are the estimations of corresponding coordinates by the filtering algorithm.

The improvement in accuracy of PF relative to EKF is calculated by both absolute and relative proportions as:

$$\Delta RMSE = RMSE_{EKF} - RMSE_{PF} \quad (14)$$

$$\%RMSE = \frac{(RMSE_{EKF} - RMSE_{PF})}{RMSE_{PF}} \cdot 100\%, \quad (15)$$

Where $RMSE_{EKF}$ and $RMSE_{PF}$ are the position accuracy estimated by EKF and PF, respectively.

In this study, the measurement accuracy and observation geometry are the main factors influencing straightforwardly on the position accuracy. However, the quantity of position accuracy depends also on the parameters of scenarios. Hence, the rest of the paper will investigate the influence of the position

accuracy with changing measurement accuracy and the observation geometry, in which the scenario in section 3.1 is used by the given parameters in table 1.

Table 1. Parameters of scenario for tracking the vessel.

Parameters	Denotations	Quantities
Velocity, sampling time, and total time	$v, \Delta t, \tau$	5 m/s ² , 1 s, and 100 s
STD of acceleration and rotational rate	$\sigma_{a_\xi}, \sigma_{\varphi_\xi}$	0.01 m/s ² , 0.01 rad/s ²
STD of distance measurement	σ_s	4 m ÷ 40 m
Horizontal position of radar 1	(X_1, Y_1)	(100 m, 100 m)
Horizontal position of radar 2	(X_2, Y_2)	(100 m, 600 m)

Both process noise and measurement noise corresponding given quantities in table 1 are assumed to be Gaussian. The initial state vector is based on one-point initialization. The initial state vector is the first observed position, orientation, velocity, and orientation change $y_0 = (1100 \text{ m}, 100 \text{ m}, 90^\circ, 1 \text{ m/s}, 0.01^\circ)$. The covariance matrix of the initial state vector is $\Sigma_{yy_0} = \text{diag}((10 \text{ m})^2, (10 \text{ m})^2, (1^\circ)^2, (1 \text{ m/s})^2, (0.1^\circ)^2)$. To obtain reliable results in accuracy, the number of particles using PF, $N_{PF} = 3 \times 10^4$.

In the first evaluation, measurement accuracy is one of the main factors affecting the position accuracy. The position accuracy will investigate according to varying the measurement accuracy in the range [4 m, 40 m] in ten equal intervals while the observation geometry remains unchanged by $s = 1 \text{ km}$. The estimated accuracy of EKF and PF determined by the averaged value of position RMSE over 100 epochs is shown in Fig. 3 (a).

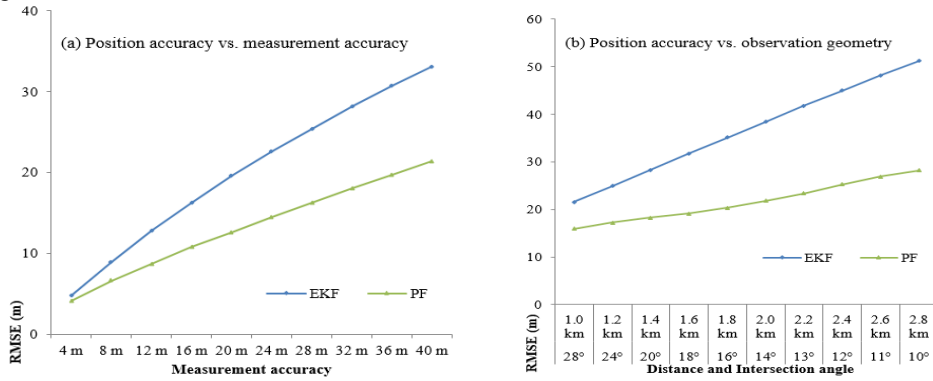


Fig. 3. Position RMSEs obtained by EKF and PF versus measurement accuracy (a) and observation geometry (b).

According to accuracy, the RMSE values of these two algorithms increase with increasing measurement accuracy. The RMSE of PF is the smallest than that of EKF for the whole interval of surveyed measurement accuracy. Similar results are discussed in Konatowski, Kaniewski et al. (2016) and Doucet, Freitas et al. (2001). Besides, the important aspect of this evaluation is the improvement in the accuracy of PF compared to EKF. Both absolute and relative proportions of the improvement are computed by equation (14) and (15), respectively, and listed in Table 2. PF achieves approximately from 6% to 48% or from 0.3 m to 20 m higher in position RMES than that of EKF when STD of measurement increases from 4 m to 40 m. These results indicate that the improvement in PF becomes larger in the case of low measurement accuracy, but these improvement values are only slightly different in the case of high measurement accuracy. These results are consistent with the analysis of bearing-only tracking for the maneuvering case (Ristic, Arulampalam et al. 2004).

Table 2. Comparison in the accuracy performance between EKF and PF due to varying measurement accuracy.

σ_s (m)	ΔRMSE (m)	%RMSE	σ_s (m)	ΔRMSE (m)	%RMSE
4	0.308	6 %	24	7.159	40 %
8	1.908	24 %	28	8.469	42 %
12	3.511	34 %	32	9.894	45 %
16	4.650	35 %	36	11.015	46 %
20	5.750	37 %	40	12.334	48 %

In the second evaluation, the observation geometry is considered as another factor affecting the position accuracy of the vessel. In this evaluation, the observation geometry is changed by the shortest distance s between two stationary radars and the vessel or the intersection angle γ (see Fig. 2) while the measurement accuracy is unchanged by $\sigma_s = 1^\circ$. To avoid divergence phenomenon of filtering algorithms due to high non-linearity, the shortest distance s is varied from 1.0 km to 2.8 km in 10 equal intervals or the intersection angle decreases from 28° to 10° . The position RMSEs of these algorithms averaged over 100 epochs are shown in Fig 3(b). The position RMSE of these algorithms increases with increasing value of the shortest distance s or decreasing value of intersection angle γ . Similar to analyses according to a variation on the measurement accuracy, the PF obtains higher RMSE than that of EKF. The improvement in accuracy of PF compared to EKF also increases with increasing value of the shortest distance, as summarized in Table 3. The relative improvements in PF rise from 28% to 64%. Similarly, the absolute improvements increase between approximately 5.5 m and 23 m. These results are in agreement with the theory about geometrical configuration. The change in RMSE of these algorithms is due to geometrical reasons. Since the intersection angle γ decreases in the above-mentioned range that leads to bad geometry (Atkinson 1989). Similar results in the context of unmanned aerial vehicle navigation (UAV) can be found in Veth (2013). Note that although certain observation geometry will optimize tracking performance in terms of position accuracy, this subject of the optimization of geometry is not in the scope of this research.

Table 3. Comparison in the accuracy performance between EKF and PF due to varying observation geometry.

s (km)	γ	Δ RMSE (m)	%RMSE	s (km)	γ	Δ RMSE (m)	%RMSE
1.0	28°	5,583	28 %	2.0	14°	16,257	58 %
1.2	24°	7,722	36 %	2.2	13°	17,950	59 %
1.4	20°	10,079	45 %	2.4	12°	19,674	61 %
1.6	18°	12,612	53 %	2.6	11°	21,351	62 %
1.8	16°	14,572	57 %	2.8	10°	22,983	64 %

Other non-linear filtering algorithms, such as the ensemble KF, unscented KF, and Gauss filter should be also investigated to deal with this problem. Furthermore, other parameters such as velocity, sampling time, which can influence the position accuracy, do not investigate in this study. Due to the limitation in the length of this paper, the comparison of the computational time of EKF and PF did not present here, but it can be seen in Pham and Schwieger (2016) and Hol (2004).

5. Conclusions

There has little doubt that the assessment of the ability of a filtering algorithm suffering from non-linearity is an important issue. The main finding of this study is that the improvement in the position accuracy of PF compared to EKF is computed according to various levels of non-linearities. The difference in non-linearity is due to the varying parameters of the measurement accuracy and the observation geometry in their wide ranges. Regarding weak non-linearity, when the measurement accuracy is high or the observation geometry is good, the improvement in accuracy of PF compared to EKF is not important. It means that EKF is the optimal choice in this case. In contrast, for high non-linearity when the measurement accuracy is low or the observation geometry is bad, this improvement is considerable. It means that PF is the best choice. So, the improvement can be used as an important parameter in the selection of filtering algorithms. A chosen suitable filtering algorithm can be solved well with the mentioned non-linearity problem.

In future work, other non-linear filtering algorithms should be investigated to cope with different levels of non-linearity. A potential solution for this problem is that an algorithm mixed between EKF and PF, which can meet the requirement in estimated accuracy but reduce computational time, should be applied (Schön, Gustafsson et al. 2005). Moreover, the non-linearity can be considered as an alternative parameter to select an appropriate algorithm.

References

Atkinson, K. (1989). An Introduction to Numerical Analysis. Québec, Canada, *John Wiley & Sons*, Inc.

- Aussems, T. (1999). "Positionsschätzung von Landfahrzeugen mittels Kalman-Filterung aus Satelliten- und Koppelnavigationsbeobachtungen." Veröffentlichung des Geodätischen Instituts der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen Nr. 55.
- Doucet, A., N. d. Freitas and N. Gordon (2001). *Sequential Monte Carlo Methods in Practice*, New York: Springer-Verlag.
- Gelb, A. (1979). *Applied optimal estimation*. Massachusetts, USA., *The M.I.T press*.
- Gordon, N. J., D. J. Salmond and A. F. M. Smith (1993). Novel approach to nonlinear/non-Gaussian Bayesian state estimation. *IEEE Proceedings-F*.
- Hammersley, J. M. and K. W. Morton (1954). "Poor man's Monte Carlo." *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Statistical Methodology)* 16: 23-38.
- Hol, J. D. (2004). Resampling in Particle filters. SE-581 83 Linköping, Sweden, *Department of Electrical Engineering*.
- Hol, J. D., T. B. Schön and F. Gustafsson (2006). On Resampling Algorithms for Particle Filters. *2006 IEEE Nonlinear Statistical Signal Processing Workshop*. Cambridge: 79-82.
- Isard, M. and A. Blake (1998). "Condensation-conditional Density Propagation for Visual Tracking." *International Journal of Computer Vision* 29(1): 5-28.
- Kalman, R. E. (1960). "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems." *Basic Engineering* 82(1): 35-45.
- Karlsson, R. and R. Gustafsson (2001). Range estimation using angle-only target tracking with particle filters. *Proceedings of the 2001 American Control Conference*, Arlington, VA, USA, USA.
- Karlsson, R., T. Schön and F. Gustafsson (2005). "Complexity Analysis of the Marginalized Particle Filter." *IEEE Transactions on Signal Processing* 53(11): 4408-4411.
- Konatowski, S., P. Kaniewski and J. Matuszewski (2016). "Comparison of Estimation Accuracy of EKF, UKF and PF filters." *Annual of navigation* 23(1): 69-87.
- Niu, R., P. K. Varshney, M. Alford, A. Bubalo, E. Jones and M. Scalzo (2008). "Curvature nonlinearity measure and filter divergence detector for nonlinear tracking problems." in *Proc. Int. Conf. Inf. Fusion, Cologne, Germany, Jun.-Jul.*
- Pham, D. and V. Schwieger (2016). Comparison of Filtering Algorithms in Vehicle Positioning by Using Low-Cost Sensors. *International Conference on Machine Control & Guidance*. Vichy, France.
- Ristic, B., S. Arulampalam and N. Gordon (2004). *Beyond the Kalman Filter*. Boston, London, *Artech House*.
- Schön, T., F. Gustafsson and P. Nordlund (2005). "Marginalized particle filter for nonlinear state-space model." *IEEE Transactions on Signal Processing* 53: 2279-2289.
- Veth, M. J. (2013). "Nonlinear Estimation Techniques for Navigation." *Navigation Sensors and Systems in GNSS Degraded and Denied Environments, NATO STO lecture series SET-197*.

TÓM TẮT

Phép lọc phi tuyến cho định vị động ứng dụng trong định vị hàng hải

Phạm Trung Dũng

Trường Đại học Mở- Địa chất Hà Nội, Việt Nam

Trong lĩnh vực định vị động ứng dụng trong định vị hàng hải, vị trí của tàu thường được theo dõi bởi các cảm biến giá rẻ với đặc điểm như trọng lượng nhẹ, kích thước nhỏ, và giá thấp nhưng kém ổn định và độ chính xác thấp. Mức độ phi tuyến là một trong những đặc tính phức tạp nhất trong bài toán ước lượng và nó phụ thuộc vào hàm phi tuyến của mô hình hệ thống và mô hình trị đo cùng với sai số đo. Để giải quyết vấn đề này, thuật toán lọc phù hợp cần phải được lựa chọn. Trong bài báo này, một kịch bản trong định vị hàng hải được giả định, trong đó trị đo bằng cảm biến sử dụng cho định vị tàu được mô phỏng bởi phương pháp Monte Carlo. Hai thuật toán lọc phi tuyến bao gồm phép lọc Kalman mở rộng (Extended Kalman filter) và lọc hạt (Particle filter) được áp dụng bởi vì các thuật toán này phù hợp với các mức độ phi tuyến tính khác nhau. Độ chính xác vị trí của những thuật toán này được xác định trong trường hợp thay đổi về sai số đo và đồ hình hình học. Kết quả chính của bài báo là mức độ cải thiện về độ chính xác giữa hai thuật toán trên được điều tra với thay đổi lớn về mức độ phi tuyến tính. Dựa vào thông tin về mức độ cải thiện độ chính xác có thể lựa chọn được thuật toán phù hợp để giải quyết vấn đề phi tuyến tính trong định vị động.

Từ khóa: lọc phi tuyến tính; định vị động; định vị hàng hải.

Xử lý số liệu đo trong hệ thống tự động quan trắc biến dạng công trình

Nguyễn Hà[‡], Trần Thùy Linh
Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam

TÓM TẮT

Trong hệ thống quan trắc biến dạng công trình bằng máy toàn đạc điện tử, kết quả đo thu được từ các trạm quan trắc thể hiện dưới dạng tọa độ điểm kiểm tra và được truyền trực tuyến đến trạm xử lý trung tâm. Như vậy, đặt ra bài toán xử lý kết hợp số liệu đo từ nhiều trạm nhằm xác định tọa độ xác suất nhất của điểm kiểm tra. Bài báo đề xuất thuật toán xử lý kết hợp số liệu thu được từ các trạm quan trắc. Quy trình xử lý số liệu nêu ra trong bài báo cho phép triển khai trong thực tế một cách thuận tiện bằng biện pháp lập trình tính toán. Các nội dung và kết quả nghiên cứu của bài báo cho phép nâng cao độ chính xác và hiệu quả của công nghệ tự động quan trắc trong công tác quan trắc biến dạng công trình ở Việt Nam.

Từ khóa: Hệ thống quan trắc tự động; Quan trắc biến dạng công trình; Bình sai; Ma trận hiệp phương sai.

1. Đặt vấn đề

Công nghệ quan trắc tự động cho phép quan trắc công trình liên tục 24/24 giờ bằng máy toàn đạc điện tử. Phần mềm trên máy tính sẽ tính toán, xuất kết quả quan trắc trong thời gian thực và đưa ra những cảnh báo cho người quản lý theo các giao thức như: báo động, thư điện tử, tin nhắn. Hiện nay, các hệ thống tự động quan trắc biến dạng công trình bằng máy toàn đạc điện tử chỉ xác định và hiển thị tọa độ các điểm đo theo từng trạm máy, vì vậy cần phải xác định biện pháp xử lý số liệu thích hợp khi quan trắc đồng thời hai hay nhiều trạm máy để nâng cao độ chính xác và hiệu quả của công nghệ này. Bài báo này có nội dung đề xuất phương pháp và xây dựng thuật toán, quy trình xử lý số liệu quan trắc tự động khi thực hiện quan trắc từ nhiều trạm máy khác nhau để đáp ứng yêu cầu của thực tế quan trắc biến dạng công trình ở nước ta.

2. Cơ sở lý thuyết bình sai số liệu quan trắc từ các trạm đo tự động

2.1. Giới thiệu về nguyên lý quan trắc tự động bằng máy toàn đạc điện tử

Hệ thống quan trắc bằng máy toàn đạc điện tử được cấu thành từ 3 bộ phận chính, bao gồm: hệ thống trạm máy chủ đặt tại các điểm khống chế cơ sở (Hình 1), hệ thống các điểm mốc quan trắc có gắn với gương phản xạ cố định (Hình 2) và trạm xử lý trung tâm với bộ thu dữ liệu đo, máy tính, bộ truyền phát tín hiệu (Hình 3).



Hình 1. Trạm máy chủ (Base).



Hình 2. Điểm quan trắc.



Hình 3. Trạm xử lý trung tâm.

[‡] Tác giả liên hệ:

Email: nguyenha@humg.edu.vn

- Lập hệ phương trình chuẩn:

$$B^T P_Z B X + B^T P_Z L = 0 \quad (8)$$

- Giải phương trình chuẩn, tính véc tơ nghiệm:

$$X = -(B^T P_Z B)^{-1} B^T P_Z L = 0 \quad (9)$$

Đánh giá độ chính xác các yếu tố trong mạng lưới:

$$m_F = \mu \sqrt{Q_F} \quad (10)$$

Trong đó:

$$\mu = \sqrt{\frac{v_Z^T P_Z v_Z}{n-k}} \text{ và } Q_F = f^T Q f \quad (11)$$

2.3. Bình sai kết quả quan trắc từ các trạm đo tự động

Trong hệ thống quan trắc tự động các máy toàn đạc điện tử đặt cố định tại các điểm khống chế cơ sở và tại thời điểm quan trắc sẽ thực hiện đo góc và chiều dài cạnh ngang đến các điểm quan trắc, phần mềm xử lý trong máy sẽ tự động tính ra tọa độ (x,y) các điểm đo và truyền trực tuyến kết quả này về máy tính của trạm xử lý trung tâm. Nếu một điểm quan trắc được đo đến từ nhiều trạm máy thì sẽ thu được nhiều cặp tọa độ (x,y) khác nhau, bài toán đặt ra là làm thế nào để xác định được giá trị xác suất nhất của tọa độ điểm quan trắc từ tập số liệu thu được ?, vấn đề này có thể được giải quyết trên cơ sở phương pháp bình sai hàm các trị đo.

Trước hết, cần xác lập mối quan hệ giữa ma trận hiệp phương sai của cặp tọa độ (x, y) và ma trận hiệp phương sai của cặp trị đo trực tiếp (S, β). Ví dụ trên sơ đồ ở hình 4, từ điểm trạm máy B đo góc ngang (β) và chiều dài cạnh (S) đến điểm M1, tọa độ điểm M1 được tính theo công thức:

$$\begin{aligned} x &= x_B + S \cos(\alpha_{AB} + \beta) \\ y &= y_B + S \sin(\alpha_{AB} + \beta) \end{aligned} \quad (12)$$

Triển khai tuyến tính biểu thức (7) theo các biến S và β, thu được:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin(\alpha) & S \cos(\alpha) \\ \cos(\alpha) & S \sin(\alpha) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} dS \\ d\beta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_B + S' \cos(\alpha_{AB} + \beta') \\ y_B + S' \sin(\alpha_{AB} + \beta') \end{bmatrix} \quad (13)$$

Ma trận hiệp phương sai $K_{S,\beta}$ của cặp trị đo độc lập (S, β) được tính theo công thức:

$$K_{S,\beta} = \begin{bmatrix} m_S^2 & 0 \\ 0 & m_\beta^2 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Trên cơ sở các công thức (8,9) xác định được ma trận hiệp phương sai của tọa độ điểm đo:

$$K_{xy} = \begin{bmatrix} (\cos(\alpha) m_S)^2 + \left(\frac{S \sin(\alpha) m_\beta}{\rho}\right)^2 & \sin(\alpha) \cos(\alpha) \left(m_S^2 - \left(\frac{S m_\beta}{\rho}\right)^2\right) \\ \sin(\alpha) \cos(\alpha) \left(m_S^2 - \left(\frac{S m_\beta}{\rho}\right)^2\right) & (\sin(\alpha) m_S)^2 + \left(\frac{S \cos(\alpha) m_\beta}{\rho}\right)^2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Từ đó, nếu trong bài toán bình sai chọn sai số trung phương đơn vị trọng số $\mu=1$ sẽ tính được trọng số trị đo tọa độ theo công thức:

$$P_{xy} = K_{xy}^{-1} \quad (16)$$

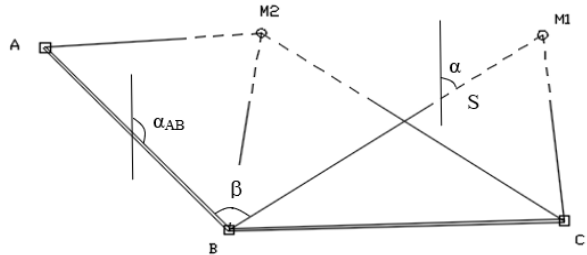
Bình sai kết quả quan trắc tự động được thực hiện theo phương pháp gián tiếp (là phương pháp phù hợp nhất cho việc lập trình trên máy tính) với trị đo là các cặp tọa độ (x', y') thu được tại các trạm máy, ẩn số là số hiệu chỉnh tọa độ các điểm quan trắc. Phương trình số hiệu chỉnh đối với mỗi cặp trị đo có dạng:

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x^0 - x' \\ y^0 - y' \end{bmatrix} \quad (17)$$

Hệ phương trình số hiệu chỉnh đối với các cặp trị đo tọa độ tính theo công thức (17) và ma trận trọng số tính theo công thức (16) là cơ sở để thực hiện các bước tính toán trong quá trình bình sai. Tập hợp các cặp trị đo tọa độ để thành lập hệ phương trình số hiệu chỉnh dạng (7) và triển khai các bước xử lý như đưa ra trong các công thức từ 8 đến 11.

2.4. Ví dụ tính toán

Để làm rõ hơn quy trình xử lý số liệu nêu trong mục này, chúng tôi thực hiện các bước tính đối với mạng lưới trong hình 4. Giả định có 3 điểm trạm máy quan trắc tự động (A, B, C), tiến hành sử dụng máy toàn đạc điện tử (độ chính xác đo góc $m_\beta = \pm 2''$, độ chính xác đo cạnh $m_S = \pm(2\text{mm} + 1\text{ppm})$) đo tọa độ đến 2 điểm quan trắc (M1, M2). Giá trị tọa độ các điểm trạm máy và số liệu đo lần lượt đưa ra trong các bảng 1 và 2. Kết quả tính toán gồm các yếu tố: ma trận hiệp phương sai của cạnh và góc đo (đưa ra trong bảng 4), ma trận hiệp phương sai của véc tơ tọa độ đo (đưa ra trong bảng 5), ma trận trọng số trị đo tọa độ (đưa ra trong bảng 6), ma trận hệ số của hệ phương trình số hiệu chỉnh tọa độ (đưa ra trong bảng 7), véc tơ ẩn số và kết quả bình sai tọa độ (đưa ra trong bảng 8).



Hình 4. Ví dụ về sơ đồ lưới quan trắc tự động từ 3 trạm máy.

Bảng 1. Tọa độ các điểm trạm máy.

TT	Tên điểm	Tọa độ		TT	Tên điểm	Tọa độ	
		x(m)	y(m)			x(m)	y(m)
1	A	6404.0546	2217.2472	3	C	6260.1461	2609.7628
2	B	6252.5154	2356.1235				

Bảng 2. Số liệu đo tọa độ các điểm quan trắc.

TT	Trạm máy	Điểm đo	Tọa độ		TT	Trạm máy	Điểm đo	Tọa độ	
			x(m)	y(m)				x(m)	y(m)
1	A	M2	6416.2399	2380.7092	4	C	M1	6414.5056	2593.2335
2	B	M1	6414.5042	2593.2406	5	C	M2	6416.2460	2380.7106
3	B	M2	6416.2456	2380.7104					

Bảng 3. Ma trận hiệp phương sai của các trị đo cạnh và góc ngang (Hệ số m_S^2 được nhân với 10^4).

TT	Trạm máy	Điểm đo	m_S^2	m_β^2	m_S^2	m_β^2	m_S^2	m_β^2	m_S^2	m_β^2	m_S^2	m_β^2
1	A	M2	0.047	4.000								
2	B	M1			0.052	4.000						
3	B	M2					0.047	4.000				
4	C	M1							0.046	4.000		
5	C	M2									0.052	4.000

Bảng 4. Ma trận hiệp phương sai của véc tơ tọa độ đo (Hệ số k_x^2, k_y^2 , được nhân với 10^4).

Trạm máy	Điểm đo	k_x^2	k_y^2	k_x^2	k_y^2	k_x^2	k_y^2	k_x^2	k_y^2	k_x^2	k_y^2
A	M2	0.026	0.002								
		0.002	0.047								
B	M1			0.071	-0.012						
				-0.012	0.061						
B	M2					0.046	0.003				

						0.003	0.027				
C	M1							0.046	-0.002		
								-0.002	0.023		
C	M2									0.067	0.010
										0.010	0.059

Bảng 5. Ma trận trọng số trị đo tọa độ (Hệ số p_x, p_y được nhân với 10^{-4}).

Trạm máy	Điểm đo	p_x	p_y	p_x	p_y	p_x	p_y	p_x	p_y	p_x	p_y
A	M2	38.73	-1.29								
		-1.29	21.45								
B	M1			14.71	3.01						
				3.01	17.06						
B	M2					21.69	-2.46				
						-2.46	37.69				
C	M1							21.77	2.30		
								2.30	43.04		
C	M2									15.39	-2.66
										-2.66	17.47

Bảng 6. Ma trận hệ số của hệ phương trình số hiệu chỉnh tọa độ.

TT	Hệ số phương trình số hiệu chỉnh					TT	Hệ số phương trình số hiệu chỉnh				
	a (x_{M1})	a (y_{M1})	a (x_{M2})	a (y_{M1})	l (cm)		a (x_{M1})	a (y_{M1})	a (x_{M2})	a (y_{M1})	l (cm)
1	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	4	1.00	0.00	0.00	0.00	-0.14
	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00		0.00	1.00	0.00	0.00	0.71
2	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5	0.00	0.00	1.00	0.00	-0.61
	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	-0.14
3	0.00	0.00	1.00	0.00	-0.57						
	0.00	0.00	0.00	1.00	-0.12						

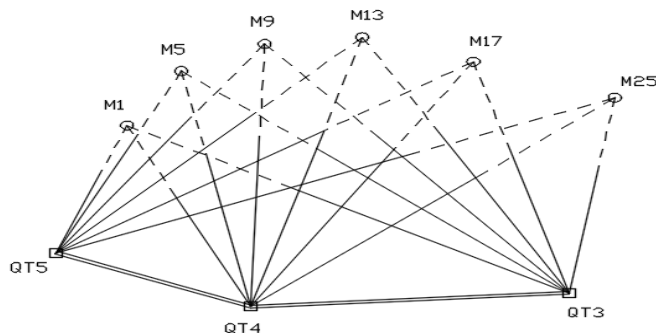
Bảng 7. Véc tơ ẩn số và kết quả bình sai tọa độ.

TT	Tên điểm	Tọa độ bình sai		Sai số vị trí điểm			Sai số trọng số đơn vị (μ)
		x(m)	y(m)	m_x (m)	m_y (m)	m_P (m)	
Véc tơ nghiệm: -Điểm M1: $dx_{M1} = 0,11\text{cm}$, $dy_{M1} = -0,51\text{cm}$; -Điểm M2: $dx_{M2} = 0,28\text{cm}$, $dy_{M2} = 0,08\text{cm}$							
1	M1	6414.5053	2593.2355	0.0029	0.0022	0.0037	1.73
2	M2	6416.2427	2380.7100	0.0015	0.0015	0.0021	1.28

3. Thực nghiệm

3.1. Giới thiệu về khu vực thực nghiệm

Thực nghiệm được triển khai với số liệu quan trắc biến dạng tuyến đập nhà máy thủy điện Yaly. Do khuôn khổ có hạn của bài báo, chúng tôi chỉ lấy số liệu quan trắc đối với 6 điểm kiểm tra ở đỉnh đập được đo từ 3 điểm không chế cơ sở (giả định là các điểm trạm máy của hệ thống quan trắc tự động). Sơ đồ lưới



Hình 5. Mô hình sơ đồ lưới quan trắc tự động thủy điện Yaly.

thực nghiệm được đưa ra trên hình 5, trong đó QT3, QT4, QT5 là các điểm cơ sở, còn M1, M5, M9, M13, M17, M25 là các điểm kiểm tra.

Trên cơ sở số liệu đo góc- cạnh (độ chính xác đo góc $m_{\beta} = \pm 1''$, độ chính xác đo cạnh $m_s = \pm(1\text{mm} + 1\text{ppm})$, từ từng điểm cơ sở đã tính được tập tọa độ các điểm kiểm tra, số liệu này được sử dụng để bình sai lưới theo quy trình đã nêu ở mục 2, còn số liệu đo góc- cạnh được xử lý theo cách thông thường nhằm đối chứng, so sánh kết quả xử lý theo thuật toán đề xuất.

3.2. Kết quả đo và xử lý số liệu

Tọa độ các điểm trạm máy được đưa ra trong Bảng 8, thông tin về các trị đo tọa độ từ điểm trạm máy đến các điểm quan trắc được đưa ra trong các cột 2, 3, 4, 5 của bảng 10.

Trong bảng 9 đưa ra kết quả bình sai tọa độ và đánh giá sai số vị trí điểm, Tại bảng 10 đưa ra số liệu đo tọa độ và số hiệu chỉnh tọa độ sau bình sai.

Bảng 8. Tọa độ các điểm trạm máy.

TT	Tên điểm	Tọa độ		TT	Tên điểm	Tọa độ	
		x(m)	y(m)			x(m)	y(m)
1	QT3	74814.6079	5458.7468	3	QT5	75472.3920	5858.8318
2	QT4	75256.5005	5633.1310				

Bảng 9. Kết quả bình sai tọa độ.

TT	Tên điểm	Tọa độ bình sai		Sai số vị trí điểm		
		x(m)	y(m)	m_x (m)	m_y (m)	m_p (m)
1	M1	75262.0809	6058.8310	0.0018	0.0016	0.0024
2	M5	75140.0626	6129.4155	0.0017	0.0014	0.0022
3	M9	75002.8292	6129.1426	0.0029	0.0025	0.0038
4	M13	74865.0632	6080.3170	0.0019	0.0018	0.0026
5	M17	74736.8722	5962.9332	0.0018	0.0019	0.0027
6	M25	74577.5327	5804.7176	0.0022	0.0028	0.0036

Bảng 10. Trị đo và số hiệu chỉnh trị đo tọa độ.

TT	Điểm Trạm máy	Điểm đo	Trị đo tọa độ		Số hiệu chỉnh tọa độ	
			x(m)	y(m)	v_x (m)	v_y (m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	QT3	M1	75262.0840	6058.8339	-0.0031	-0.0029
2	QT4	M1	75262.0833	6058.8294	-0.0024	0.0016
3	QT5	M1	75262.0782	6058.8301	0.0027	0.0009
4	QT3	M5	75140.0649	6129.4149	-0.0023	0.0006
5	QT4	M5	75140.0593	6129.4173	0.0033	-0.0018
6	QT5	M5	75140.0627	6129.4124	-0.0001	0.0031
7	QT3	M9	75002.8344	6129.1390	-0.0052	0.0036
8	QT4	M9	75002.8248	6129.1462	0.0044	-0.0036
9	QT5	M9	75002.8307	6129.1391	-0.0015	0.0035
10	QT3	M13	74865.0630	6080.3145	0.0002	0.0025
11	QT4	M13	74865.0608	6080.3184	0.0024	-0.0014
12	QT5	M13	74865.0667	6080.3211	-0.0035	-0.0041
13	QT3	M17	74736.8721	5962.9335	0.0001	-0.0003
14	QT4	M17	74736.8737	5962.9300	-0.0015	0.0032
15	QT5	M17	74736.8704	5962.9402	0.0018	-0.0070
16	QT3	M25	74577.5352	5804.7196	-0.0025	-0.0020
17	QT4	M25	74577.5360	5804.7179	-0.0033	-0.0003
18	QT5	M25	74577.5270	5804.7126	0.0057	0.0050

Kết quả bình sai hàm trị đo với quy trình xử lý số liệu như trên sẽ cho chúng ta tọa độ tin cậy nhất của điểm quan trắc và từ đó cho phép nâng cao độ chính xác của hệ thống quan trắc tự động. Kết quả bình sai này đã được so sánh đối chứng với phương pháp xử lý thông thường có các trị đo là góc- cạnh và cho kết quả trùng khớp.

4. Kết luận

1. Quy trình xử lý kết hợp số liệu đo từ nhiều trạm nhằm xác định tọa độ xác suất nhất của điểm kiểm tra khi thực hiện quan trắc từ nhiều trạm máy khác nhau như đề xuất ở trên cho phép nâng cao độ tin cậy của hệ thống quan trắc tự động trong công tác quan trắc chuyển dịch công trình.

2. Các công thức đưa ra trong bài báo có tính chặt chẽ và thuận tiện cho việc triển khai lập trình tính toán trên máy tính điện tử.

Tài liệu tham khảo

- Golubev VV, 2005. Theory of mathematical processing of geodetic measurements. Book 1. publishing house "Nedra". MIIGAiK. Moscow.
- John Olusegun Ogundare, 2019. Understanding Least Squares Estimation and Geomatics Data Analysis, Published 2019 by John Wiley & Sons, Inc.
- Markuze Yu. I, 2005. Theory of Mathematical Processing of Geodetic Measurements, Book 2 Publishing House "Nedra". MIIGAiK. Moscow.
- Nhà máy thủy điện Hòa Bình, 2019. Đề cương kỹ thuật thiết kế hệ thống tự động quan trắc biến dạng đập thủy điện Hòa Bình.

ABSTRACT

Data processing in the automatic monitoring system for deformation monitoring

Ha Nguyen, Linh Thuy Tran
Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

When using electronic tacheometer to monitor the deformation of construction, the observed values are coordinates of monitoring points and they are transferred directly to the center processing station. Therefore, a perfect idea was suggested that observed results from many stations can be integratedly processed to find the most probable value. The article proposed algorithm of integrated processing for data of many stations. Procedure of data processing that was mentioned in the article can be applied in reality easily through programming. This study helps to improve accuracy and effectiveness of automatic monitoring technology in deformation measurement in Vietnam.

Keywords: automatic monitoring system; structural deformation monitoring; adjustment; covariance matrix.

Xử lý số liệu đo xa LASER vệ tinh nhằm xác thực lịch vệ tinh chính xác GNSS

Vy Quốc Hải[§], Dương Chí Công, Vy Thị Hồng Liên
Viện Địa chất, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

TÓM TẮT

Công nghệ GNSS đã được triển khai có hiệu quả ở nước ta từ những năm 1990 do có nhiều ưu thế vượt trội. Ngược lại, các phương pháp trắc địa không gian khác (VLBI, DORIS, SLR) hầu như chưa được quan tâm ứng dụng. Trong công trình này, kỹ thuật đo xa laser vệ tinh SLR đã được tiếp cận, tìm hiểu và xử lý số liệu SLR nhằm xác thực lịch vệ tinh chính xác GNSS. Để đạt được mục đích trên, trên cơ sở tìm hiểu toàn diện về phương pháp, đã khai thác số liệu SLR đo tới vệ tinh GNSS và lịch vệ tinh chính xác. Sử dụng ứng dụng SLRVAL.PCF (thuộc phần mềm Bernese 5.2) xử lý, phân tích số liệu mẫu (4 ngày) và số liệu liên quan tới đợt đo NT12 (2 ngày). Kết quả xử lý số liệu (phần dư giữa khoảng cách đo SLR và khoảng cách tính từ lịch vệ tinh) cho thấy một cách rõ ràng, lịch vệ tinh chính xác không hẳn đã hoàn hảo có độ chính xác và tin cậy cao. Với quy mô quốc tế các phân tích này hoàn toàn hữu ích và cần thiết cho các trung tâm xử lý, thiết lập và công bố lịch vệ tinh. Đối với chúng ta, với kết quả xác thực lịch vệ tinh có thể lựa chọn (loại bỏ) vệ tinh khi xử lý số liệu.

Từ khóa: Đo xa laser; Vệ tinh SLR; Lịch vệ tinh chính xác GNSS; SLRVAL.PCF.

1. Đặt vấn đề

Trắc địa không gian (Kỹ thuật giao thoa đường đáy dài - Very Long Baseline Interferometry- VLBI; Kỹ thuật đo tích hợp định vị vô tuyến quỹ đạo Doppler bằng vệ tinh - Doppler Orbitography and Radio-positioning Integrated by Satellite - DORIS); Kỹ thuật đo xa laser vệ tinh - Satellite Laser Ranging - SLR; Kỹ thuật vệ tinh dẫn đường toàn cầu - Global Navigation Satellite System - GNSS) là các công nghệ nguồn quyết định xu thế phát triển của chuyên ngành trắc địa.

Công nghệ GNSS đã được triển khai và ứng dụng có hiệu quả ở nước ta từ những năm 1990 do có nhiều ưu thế vượt trội. Ngược lại, các phương pháp còn lại (VLBI, DORIS, SLR) hầu như chưa được tiếp cận ứng dụng (do yêu cầu kinh phí, hạ tầng cơ sở ...), ngoài việc hợp tác với Liên Xô cũ (nay là Cộng hòa Liên bang Nga) thiết lập lưới Doppler vào những năm 1990 (Tổng cục Địa chính, 1998). Hiện nay, với sự phát triển, hợp tác của các dự án, tổ chức quốc tế, việc khai thác và trao đổi số liệu đã rất thuận lợi (qua internet), tạo điều kiện cho các cố gắng tiếp cận và ứng dụng các công nghệ này. Trong công trình này, kỹ thuật SLR đã được tiếp cận, tìm hiểu và xử lý số liệu SLR nhằm xác thực lịch vệ tinh chính xác GNSS. Để đạt được mục đích trên, trên cơ sở tìm hiểu tham khảo về phương pháp (Sośnica et al, 2015; Montenbruck et al, 2013), hệ thống lưới các điểm quan trắc, các dạng tệp số liệu, đã khai thác số liệu SLR đo tới vệ tinh GNSS và lịch vệ tinh chính xác. Sử dụng ứng dụng SLRVAL.PCF (thuộc phần mềm Bernese 5.2, Dach et al, 2015) xử lý, phân tích số liệu mẫu (4 ngày) và số liệu liên quan tới đợt đo NT12 (2 ngày) nhằm xác thực lịch vệ tinh chính xác GNSS. Các kết quả (phần dư giữa khoảng cách đo SLR và khoảng cách tính từ lịch vệ tinh) đã được thảo luận. Việc thực hiện nhiệm vụ góp phần: i. Tiếp cận, ứng dụng kỹ thuật nguồn (SLR); ii. Chính xác hóa lịch vệ tinh chính xác GNSS; Có thể lựa chọn (loại bỏ) vệ tinh khi xử lý số liệu GNSS với hy vọng có thể đạt độ chính xác cao hơn.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

Nguyên lý cơ bản bài toán là so sánh khoảng cách đo từ điểm quan trắc tới vệ tinh bằng SLR và khoảng cách tính từ trạm đo tới vệ tinh thông qua lịch vệ tinh chính xác. Trong hệ thống vệ tinh GNSS, lựa chọn

[§] Tác giả liên hệ:

Email: vqhai75@yahoo.com

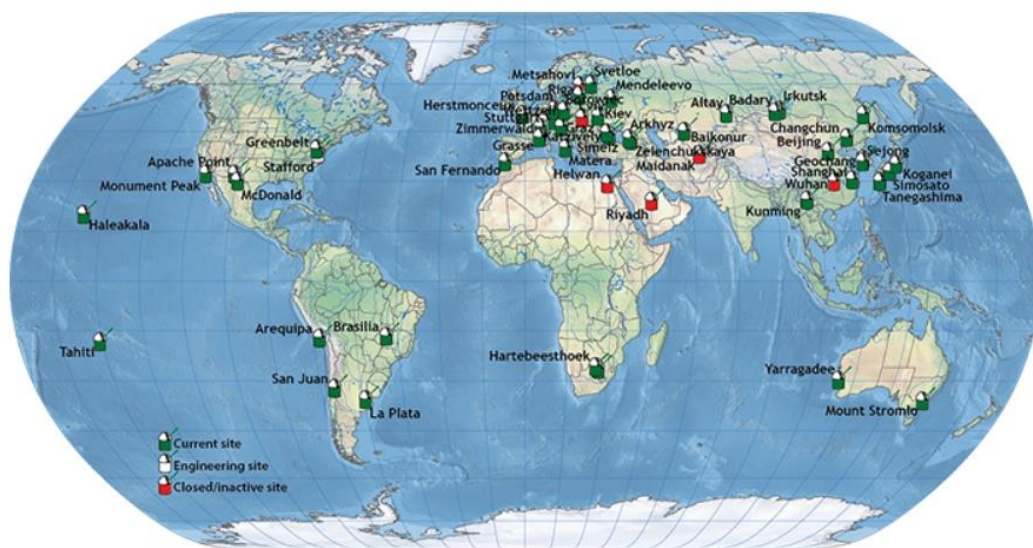
một số vệ tinh được gắn gương phản xạ tín hiệu SLR, từ các trạm SLR sẽ thực hiện các phép đo xa tới các vệ tinh này. Đây được gọi khoảng cách đo (trực tiếp) SLR. Từ tọa độ trạm đo và tọa độ vệ tinh tính được khoảng cách (tính) giữa trạm đo và vệ tinh. Với ưu thế kết quả đo trực tiếp (SLR) có độ chính xác cao hơn nhiều so với khoảng cách tính, từ đó qua phép so sánh, phân tích có thể xác thực lịch vệ tinh. Để giải quyết được bài toán trên, ba nhiệm vụ cốt lõi cần được tiến hành: thu thập số liệu SLR; thu thập lịch vệ tinh chính xác; xử lý số liệu.

2.1. Kỹ thuật SLR

Kỹ thuật đo xa laser được áp dụng cho Mặt Trăng (LLR-Luna Laser Ranging) và cho các vệ tinh nhân tạo (SLR) có cùng một nguyên lý: sử dụng laser xung ngắn cùng máy thu quang hiện đại và đồng hồ điện tử để đo thời gian truyền sóng hai chiều (và do đó là khoảng cách) từ các trạm mặt đất đến các vệ tinh và Mặt Trăng. Các hoạt động của kỹ thuật đo xa laser được tổ chức Dịch vụ Đo xa Laser Quốc tế (ILRS - International Laser Ranging Service) điều hành, cung cấp dữ liệu, số liệu đo xa laser trên phạm vi toàn cầu. Các sản phẩm của ILRS hỗ trợ các hoạt động nghiên cứu trắc địa, địa vật lý cơ bản cũng như các thông số IERS (International Earth Rotation and Reference System Service - Tổ chức Dịch vụ Hệ quy chiếu và Chuyển động xoay Trái Đất Quốc tế) quan trọng để duy trì Khung Tham chiếu Mặt đất Quốc tế chính xác (ITRF). ILRS là một trong những dịch vụ trắc địa không gian của Hiệp hội Trắc địa Quốc tế (IAG - International Association of Geodesy) và là một thực thể trong Hệ thống Quan sát Trắc địa Toàn cầu (GGOS - Global Geodetic Observing System). Do mục đích của công trình này, dưới đây chỉ SLR được đề cập. SLR được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, bài toán mang tính toàn cầu như:

- Hiện thực hóa và bảo trì ITRF.
- Xác định tâm vật chất Trái Đất liên quan đến mạng toàn cầu và thay đổi của nó theo thời gian.
- Theo dõi biến dạng ba chiều của Trái Đất rắn.
- Giám sát vòng quay Trái Đất và chuyển động cực.
- Xác định các hệ số khai triển điều hòa của địa thế năng của Trái Đất của các mô hình trọng trường Trái Đất tĩnh và động của bước sóng dài của trọng trường Trái Đất.
- Hiệu chuẩn và xác thực kỹ thuật quan trắc sử dụng sóng cực ngắn (ví dụ: GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou và DORIS)... Và nhiều lĩnh vực khác, có thể tham khảo trang Web của ILRS: <https://ilrs.cddis.eosdis.nasa.gov/index.html>

Tổ chức Dịch vụ Đo xa Laser Quốc tế điều hành, thực hiện các nhiệm vụ liên quan tới SLR gồm: Các trạm quan trắc và mạng con; các trung tâm điều hành; các trung tâm dữ liệu toàn cầu và khu vực; các trung tâm phân tích dữ liệu (dữ liệu Mặt Trăng), các trung tâm phân tích dữ liệu liên kết; văn phòng trung tâm; ban lãnh đạo và các ban chuyên ngành (phân tích, đo đạc, mạng lưới và kỹ thuật, định dạng số liệu và các giải pháp, các thiết bị phát đáp vô tuyến). Đối với chúng ta với mục đích khai thác được số liệu cần đặc biệt lưu ý tới mạng lưới các điểm quan trắc (tên, số hiệu trạm đo) và số liệu đo.



Hình 1. Hệ thống trạm SLR (<https://ilrs.cddis.eosdis.nasa.gov/network/stations/index.html>).

Tên và ký hiệu điểm đo quan trọng trong việc lựa chọn điểm đo, khai báo khi xử lý số liệu. Liên quan tới mạng lưới (Hình 1), thông số các trạm đo được liệt kê tạo điều kiện thuận lợi cho người khai thác. Ngoài trạm đo, người khai thác số liệu cần có thông tin về vệ tinh được quan trắc. Gương phản xạ tín hiệu SLR có thể trang bị trên một số vệ tinh của nhiều hệ thống như: GPS, GLONASS, TOPEX /Poseidon, CHAMP, Jason, Grace A, Grace B, LAGEOS-1, LAGEOS-2. Liên quan tới hệ GNSS, có các vệ tinh GPS-35 (số seri SVN: 35, số mã đo khoảng cách PRN: 05), GPS-36 (số seri SVN: 36, số mã đo khoảng cách PRN: 06) (https://en.wikipedia.org/wiki/GPS_signals, https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_GPS_satellites) và khác với hệ GPS các vệ tinh GLONASS, Galileo và BeiDou đều có gương phản xạ tín hiệu SLR (Sośnica et al, 2015). Đã có kế hoạch, vệ tinh GPS-III sẽ được trang bị gương phản xạ tín hiệu SLR (Thomas and Merkovitz, 2014).

2.2. Số liệu SLR

Dữ liệu đo xa laser bao gồm khoảng cách từ trạm đến vệ tinh và thời gian. Các trị đo laser thô được hiệu chỉnh và định dạng tại trạm đo. Những dữ liệu hiệu chỉnh này bao gồm các thông số khí quyển, giá trị hiệu chuẩn mực tiêu mặt đất... Số liệu đo xa vệ tinh có hai loại: i. full rate - tần suất đầy đủ (quan sát ban đầu với hiệu chỉnh) và ii. normal point - điểm chuẩn (quan sát phạm vi chụm được tạo ra từ các quan sát ban đầu được thu thập trong vài giây đến phút). Tập số liệu SLR có hai dạng (format): Consolidated Data Format (CRD); tên tập số liệu có cấu trúc: sssnn_yyyymmdd.npt.z, ví dụ như GPS36_20120515.npt và dạng On-site Normal Point Data Format (CSTG); tên tập số liệu có dạng: sssnn.yymmdd ví dụ như GPS36.120515 trong đó sss: tên hệ vệ tinh (ví dụ: GPS); nn: số vệ tinh trong hệ; yyyymmdd: ngày tháng năm; npt: phần mở rộng; z: tệp nén. Tập số liệu toàn phần có dạng tương tự dạng điểm chuẩn sssnn_yyyymmdd.frd.z, chỉ khác phần mở rộng: (frd) so với số liệu điểm chuẩn.

Bảng 1. Một phần số liệu tệp gps36.20120515.

```

99999
9401601121357825900153200016760300000000239404100470322
239088537989140271722735000003309315282706000610000000
245325704656140460001174000004509315282206200360000000
247287204656140588792823000004509315282206201250000000
250515037989140872106511000005109315282006300760000000
253358871323141194144415000004809315281806400860000000
255825537989141527293008000005409315281506300400000000
99999
.....
.....

```

Về cấu trúc tệp số liệu *.npt có thể tìm hiểu chi tiết hơn ở https://ilrs.cddis.eosdis.nasa.gov/data_and_products/data/npt/index.html

Bảng 2. Tệp số liệu đo 78251350.12o.

```

2 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE
QLRINEXO BSW V5.0 AIUB 07-MAR-19 11:20 PGM / RUN BY / DATE
CHUYEN RINEX COMMENT
STATION ID: 7825 COMMENT
CDP SYSNUM: 90 CDP OCCNUM: 01 SYS CONFIG: 1 COMMENT
W-LENGTH 1: 532 W-LENGTH 2: 0 COMMENT
EPOCH TIME SCALE REFERENCE : UTC (GPS) COMMENT
EPOCHS: TIME OF SIGNAL RECEPTION IN GPS TIME FRAME COMMENT
RANGES: 0.5 * C * FLIGHT TIME (M) COMMENT
7825 MARKER NAME
50119S003 MARKER NUMBER
OBSERVER / AGENCY
90 SLR 01 REC # / TYPE / VERS
SLR ANT # / TYPE
0.0000 0.0000 0.0000 APPROX POSITION XYZ
0.0000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
5320 0 WAVELENGTH FACT L1/2
1 R1 # / TYPES OF OBSERV

```



```

2012 5 14 6 38 43.994070 GPS TIME OF FIRST OBS
2012 5 14 7 6 37.695326 GPS TIME OF LAST OBS
                END OF HEADER
12 5 14 6 38 43.9999990 0 1G06      -0.005929377
21026202.27316
12 5 14 6 49 8.0000000 0 1G06      -0.289074399
21054424.501 5
12 5 14 6 52 24.0000000 0 1G06     -0.138945607
21073729.884 7
12 5 14 6 57 47.0000000 0 1G06     -0.355328993
21116197.537 6
12 5 14 7 2 31.0000000 0 1G06      0.028326444
21164469.805 6

```

Số liệu dạng Rinex: Để có thể xử lý số liệu SLR cần được chuyển đổi sang dạng Rinex bằng phần mềm. Từ tệp số liệu SLR *.npt (Bảng 1.) sau chuyển đổi sẽ nhận được tệp số liệu đo có dạng *.yyo (Bảng 2) và tệp số liệu khí tượng có dạng *yym (Bảng 3).

Bảng 3. Tệp số liệu khí tượng 78251350.12m.

```

2 METEOROLOGICAL DATA RINEX VERSION / TYPE
QLRINEXO BSW V5.0 AIUB 07-MAR-19 11:20 PGM / RUN BY / DATE
CHYUEN RINEX COMMENT
STATION ID: 7825 COMMENT
CDP SYSNUM: 90 CDP OCCNUM: 01 SYS CONFIG: 1 COMMENT
W-LENGTH 1: 532 W-LENGTH 2: 0 COMMENT
EPOCH TIME SCALE REFERENCE : UTC (GPS) COMMENT
EPOCHS: TIME OF SIGNAL RECEPTION IN GPS TIME FRAME COMMENT
RANGES: 0.5 * C * FLIGHT TIME (M) COMMENT
7825 MARKER NAME
3 PR TD HR # / TYPES OF OBSERV
                END OF HEADER
12 5 14 6 38 44 931.5 9.5 60.0
12 5 14 6 49 8 931.5 9.0 62.0
12 5 14 6 52 24 931.5 9.0 62.0
12 5 14 6 57 47 931.5 8.8 63.0
12 5 14 7 2 31 931.5 8.6 64.0

```

2.3. Lịch vệ tinh chính xác

Như trên đã viết, với mục đích so sánh trị đo xa SLR với khoảng cách tính giữa trạm đo và vị trí vệ tinh, nên trong số liệu đầu vào cần khai thác lịch vệ tinh chính xác từ IGS (International GNSS Service).

3. Kết quả và thảo luận

Số liệu SLR được xử lý bằng phần mềm Bernese 5.2 do ưu thế vượt trội, đây là phần mềm khoa học được thừa nhận trên trường quốc tế và đã được khai thác thành công ở nước ta.

Quá trình xử lý bằng Bernese 5.2 được tiến hành qua các bước sau:

- Chuẩn bị số liệu đầu vào: Khai thác và cập nhật các số liệu chung (general) hỗ trợ phần mềm hoạt động. Các tệp số liệu này được khai thác từ internet theo hướng dẫn của thuyết minh phần mềm; khai thác lịch vệ tinh chính xác, khai thác số liệu SLR từ internet.

- Xử lý:

1. Chuyển đổi số liệu SLR NP sang Rinex.
2. Chuyển đổi số liệu dạng Rinex (số liệu đo và lịch vệ tinh chính xác) sang dạng phù hợp với Bernese.
3. Xử lý và xác định tệp phần dư (độ lệch giữa khoảng cách đo SLR và khoảng cách tính từ tệp lịch vệ tinh chính xác), sử dụng mô đun GPSEST.
4. Lọc và phát hiện bất thường (outlier), sử dụng mô đun QLRSUM.
5. Tổng hợp, sử dụng mô đun RESRMS.

Có thể xử lý theo phương thức trực tiếp người - máy theo các bước trên. Song do Bernese 5.2 cho phép xử lý tự động (PE - Processing Engine) thông qua ứng dụng SLRVAL.PCF. SLRVAL.PCF là tệp quản

lý, điều khiển xử lý số liệu SLR nhằm xác thực lịch vệ tinh chính xác thông qua hàng loạt chương trình con (Dach et al. 2015). Sau khi cài đặt phần mềm, số liệu mẫu đi kèm phần mềm đã được xử lý cho tất cả 4 ngày (ngày 207, 208 năm 2010 và 205, 206 năm 2011).

Bảng 4. Tổng hợp kết quả xử lý ngày SLRVAL10207.PRC.

Residual Statistics										
SAT STATION	#OBS	MEAN(mm)	RMS(mm)	SIGMA(mm)						
-----					R08 7090 50107M001	6	-22.5	27.0		
16.3										
R15 7090 50107M001	21	-11.9	22.0	18.9						
R08 7406 41508S003	7	23.7	24.9	8.1						
R15 7406 41508S003	8	7714.5	7714.5	12.5						
R08 7810 14001S007	3	-97.3	97.3	1.2						
R08 7825 50119S003	5	21.0	21.7	5.8						
R15 7825 50119S003	12	18.7	20.1	7.6						
R23 7825 50119S003	3	25.3	30.5	20.9						
G06 7845 10002S002	6	-78.1	78.2	2.9						
R08 7941 12734S008	7	-70.7	70.9	6.1						
Total	70	-15.3	42.9	40.4						

Có thể thấy, trung bình phần dư (trung bình độ lệch giữa khoảng cách đo SLR và khoảng cách tính từ tệp lịch vệ tinh chính xác) của phần lớn các vệ tinh dưới 10 cm, sai số xấp xỉ 2 cm, duy nhất tại vệ tinh GLONASS 15 có giá trị bất thường 7714,5 mm trong ngày 207 năm 2010.

Kết quả này hoàn toàn trùng khớp với kết quả của tài liệu hướng dẫn (Dach et al. 2015). Đây là minh chứng việc cài đặt, vận hành hệ thống cũng như phần mềm hoàn hảo, là cơ sở vững chắc cho việc xử lý số liệu thực tế tiếp theo.

Số liệu SLR đo tới vệ tinh GPS-36 ngày 135 (Bảng 1, Bảng 2 và Bảng 3), 136 năm 2012 (liên quan tới đợt đo NT12, Vy Quốc Hải và nnk., 2019) cùng số liệu hỗ trợ đã được khai thác và cập nhật vào các thư mục thích hợp. Từ đây quá trình xử lý được thực hiện bởi mô đun SLRVAL.PCF. Kết quả quá trình xử lý được thông báo ở tệp *.run, tệp *.out và *.PRC.

Bảng 5. Một phần tệp *.out.

Time	Sess	PID	Script	Option	Status

07-Mar-2019 11:21:47	1350	YR:2012	SLRVAL		: Server started at 49408
07-Mar-2019 11:21:47	1350	001_000	SLR_COP	NO_OPT	: Client started on: localhost
07-Mar-2019 11:21:47	1350	001_000	SLR_COP	NO_OPT	: Script started
07-Mar-2019 11:21:48	1350	001_000	SLR_COP	NO_OPT	: Script finished OK
.....					
07-Mar-2019 11:22:02	1350	999_000	DUMMY	NO_OPT	: Script finished OK -----

Tệp *.out thực chất là biên bản ghi lại toàn bộ hiện trạng quá trình xử lý qua từng ứng dụng và toàn bộ mô đun. Từ đây có thể tìm lỗi (khi dừng ở ứng dụng nào) để tìm cách khắc phục. Ca đo được xử lý thành công khi dòng cuối cùng thông báo: Session finished OK. Kết quả cuối cùng được thông báo ở *.out hoặc được tập hợp ở *.PRC

Bảng 6. SLRVAL12135.PRC.

Residual Statistics					
SAT STATION	#OBS	MEAN(mm)	RMS(mm)	SIGMA(mm)	

G06 7825 50119S003	6	194.2	194.3	7.1	
G06 8834 14201S018	5	0.9	15.0	16.7	

Total	11	106.3	143.9	101.6	

Bảng 7. SLRVAL12136.PRC.

Residual Statistics					
SAT STATION	#OBS	MEAN(mm)	RMS(mm)	SIGMA(mm)	
G06 7840 13212S001	2	-102.3	102.3	2.1	
G06 8834 14201S018	4	-99.4	99.5	5.2	
Total	6	-100.4	100.5	4.4	

Chú giải: Thống kê phần dư từ kết quả của vệ tinh GPS-36 đo ngày 135 và 136 năm 2012. Lần lượt theo từng hàng: số hiệu vệ tinh, số hiệu trạm đo (SLR), số trị đo, giá trị trung bình phần dư, bình phương trung bình phần dư (căn bậc hai của trung bình bình phương phần dư: root-mean-square), sai số. 7825 50119S003: là trạm STL3, Mt Stromlo, Australia; 7840 13212S001: là trạm HERL, Herstmonceux, United Kingdom; 8834 14201S018: là trạm WETL Wettzell, Germany (WLRS).

Với kết quả trên, có thể cho rằng lịch vệ tinh chính xác GPS-36 ngày 135, 136 năm 2012 có độ chính xác phù hợp, không có bất thường.

4. Kết luận

Không chỉ dừng lại ở nguyên lý phương pháp, công trình đã tìm hiểu và tập hợp có hệ thống các hiểu biết về hệ thống lưới, các trạm đo, các dạng số liệu. Trên cơ sở đó đã khai thác được số liệu đo xa laser từ trạm đo tới các vệ tinh.

Trong hàng loạt ứng dụng của SLR, đã lựa chọn phương án khả thi (số liệu, phần mềm) khai thác và xử lý đến kết quả cuối cùng số liệu đo SLR (mẫu) và số liệu liên quan tới đợt đo thực tế, nhằm xác thực lịch vệ tinh chính xác GNSS. Cho dù đây là kết quả ban đầu, song là tiền đề cho việc xử lý số liệu với các hệ định vị, với các ca đo và quy mô khác nhau.

Kết quả xử lý số liệu cho thấy một cách rõ ràng, lịch vệ tinh chính xác không hẳn đã hoàn hảo có độ chính xác và tin cậy cao (vệ tinh R15 có phần dư quá bất thường ngày 207, năm 2010). Với quy mô quốc tế các phân tích này hoàn toàn hữu ích và cần thiết cho các trung tâm xử lý, thiết lập và công bố lịch vệ tinh. Đối với chúng ta, với kết quả xác thực lịch vệ tinh có thể giúp ích một cách thiết thực khi xử lý số liệu (ví dụ: loại bỏ vệ tinh khi xử lý số liệu liên quan).

Với việc toàn cầu hóa các nghiên cứu mang tính quốc tế và sự phát triển công nghệ thông tin (internet) việc ứng dụng các phương pháp trắc địa không gian hiện đại đã trở nên hiện hữu. Trong dịp này, kỹ thuật đo xa laser vệ tinh đã được tiếp cận một cách tương đối tổng quan và chi tiết. Kết quả trên là nguồn khích lệ cho các nghiên cứu hội nhập và đóng góp phần nào cho cộng đồng nghiên cứu quốc tế.

Lời cảm ơn

Bài báo được hoàn thành với sự tài trợ của chương trình hỗ trợ nghiên cứu viên cao cấp, mã số NVCC11.03/20-20, (Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam).

Tài liệu tham khảo

- K. Sośnica, D. Thaller, R. Dach, P. Steigenberger, G. Beutler, D. Arnold & A. Jäggi, 2015. *Satellite laser ranging to GPS and GLONASS*. J Geod (2015) 89: 725-743. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00190-015-0810-8>.
- L.Thomas, and S. Merkovitz, 2014. Update on the GPS III laser retroreflector array, 19th International Workshop on Laser Ranging. Annapolis MD, Oct. 27-31, 2014.
- O. Montenbruck, P. Steigenberger, G. Kirchner, 2013. *GNSS Satellite Orbit Validation Using Satellite Laser Ranging*. 18th International Workshop on Laser Ranging, Fujiyoshida, Japan, 11-15th November 2013. <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1369130/567363.pdf>
- R. Dach, S. Lutz, P. Walser, P. Fridez, 2015. *Bernese GNSS Software Version 5.2*. Astronomical Institute, University of Bern, 851p.
- Tổng cục Địa chính, 1998. Báo cáo xây dựng hệ quy chiếu và hệ tọa độ quốc gia. Hà Nội, 12/1998.
- Vy Quốc Hải, Dương Chí Công, Bùi Thị Hồng Thắm, Trần Văn Phong, Vy Thị Hồng Liên, 2019. *Xử lý số liệu định vị vệ tinh GNSS theo phương pháp định vị điểm chính xác*. Tuyển tập báo cáo khoa học Hội nghị Khoa học Địa chất biển toàn quốc lần 3. Hà Nội, 22-23/10/2019. Trang 269-278.

ABSTRACT

Processing SLR data for validation of GNSS satellite precise ephemeris

Vy Quoc Hai, Duong Chi Cong, Vy Thi Hong Lien
Institute of Geological Sciences, Vietnam Academy of Science and Technology

GNSS technology has been effectively implemented in our country since the 1990s due to many outstanding advantages. In contrast, other geodetic methods (VLBI, DORIS, SLR) have hardly been applied. In this work, SLR techniques have been approached, explored and processed SLR data to validate GNSS satellite precise ephemeris. To achieve this goal, based on a comprehensive understanding of the method, the SLR data and precise ephemeris have been collected. Using SLRVAL.PCF application (from Bernese 5.2 software) to process, analyze example data (4 days) and data related to NT12 campaign (2 days). The results of data processing (residual between the SLR distance and the one calculated from the precise ephemeris) clearly show that the precise ephemeris is not necessarily perfect and has high accuracy and reliability. At an international scale, these analyses are absolutely useful and necessary for centers to process, set up and disseminate satellite precise ephemeris. For us, with satellite precise ephemeris validation results we can select (or remove) satellites when processing data.

Keywords: SLR; GNSS precise ephemeris; SLRVAL.PCF.

Ứng dụng phương pháp lọc Kalman dự báo độ lún tuyến đập công trình thủy điện

Trần Khánh, Lê Đức Tình, Nguyễn Thị Kim Thanh**
Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

TÓM TẮT

Dự báo là một trong những nhiệm vụ quan trọng của công tác phân tích kết quả quan trắc, giúp các nhà quản lý dự án dễ dàng theo dõi, đánh giá được tình trạng của công trình, từ đó có biện pháp đề phòng và ngăn ngừa các tai nạn bất ngờ có thể xảy ra, giảm thiểu thiệt hại cho người và tài sản. Một số phương pháp được ứng dụng trong dự báo biến dạng công trình như phương pháp tự hồi quy, phép lọc Kalman, mạng thần kinh nhân tạo... Bài báo ứng dụng mô hình lọc dạng động của Kalman để dự báo độ lún công trình thủy điện. Trên cơ sở nghiên cứu thuật toán và ứng dụng quy trình tính lặp nhích dần, tiến hành thực nghiệm dự báo độ lún của điểm M26 trên tuyến đập Yaly. Kết quả tính toán cho thấy giá trị dự báo khá sát so với trị đo và có độ tin cậy cao, từ đó càng khẳng định cho khả năng ứng dụng của phương pháp lọc Kalman trong dự báo độ lún công trình.

Từ khóa: Phép lọc Kalman; dự báo độ lún; công trình thủy điện.

1. Đặt vấn đề

Phân tích kết quả quan trắc là giải pháp nâng cao hiệu quả xử lý số liệu, giúp công tác theo dõi, giám sát tình trạng công trình thuận lợi hơn, kịp thời phát hiện các biến cố có thể xảy ra. Phân tích sẽ giúp đánh giá mức độ ảnh hưởng của các tác nhân gây ra chuyển dịch và dự báo xu hướng chuyển dịch của công trình trong tương lai. Trong đó, dự báo luôn là hướng nghiên cứu nhận được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học trong và ngoài nước như (Nguyễn Quang Phúc, 2000; Phạm Quốc Khánh, Nguyễn Việt Hà, 2015; Aleksandra Bak, 2016; Kondolf GM, Rubin Z, Schmitt R.j.P, 2016). Trong số các phương pháp dự báo chuyển dịch công trình thì phép lọc Kalman là phương pháp khá phổ biến và hiệu quả, được đề cập trong nhiều bài báo (Phạm Quốc Khánh, Phạm Trung Dũng, 2016; Đinh Xuân Vinh, Lê Thị Nhung, Nguyễn Văn Quang, 2018; Engin Gulal, 2013; Fumin Lu, Huaian Zeng, 2020). Tuy nhiên các nghiên cứu chủ yếu là về ứng dụng lọc Kalman trong dự báo chuyển dịch ngang công trình chứ chưa đi sâu khảo sát ứng dụng trong dự báo lún. Hiện tại vấn đề này vẫn chưa được quan tâm đúng mức chính vì vậy bài báo đề xuất nghiên cứu khả năng ứng dụng phép lọc Kalman trong dự báo lún tuyến đập thủy điện. Trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết, đã xác định được quy trình tính của bài toán lọc Kalman. Căn cứ vào quy trình tính đó có thể thấy rằng trước tiên cần phải giả định một hàm số lún theo thời gian cho công trình. Mô hình lún này là cơ sở để đưa ra ước lượng và ước đoán (giá trị dự báo) về trạng thái của đối tượng. Như vậy nhiệm vụ của lọc Kalman chính là tìm giá trị dự báo gần đúng với giá trị thực nhất thông qua mô hình của hệ thống.

2. Mô hình lún theo thời gian

Trên cơ sở số liệu đo lún công trình trong n chu kỳ quan trắc gồm: dãy thời gian t_1, t_2, \dots, t_n và giá trị lún tương ứng thu được là S_1, S_2, \dots, S_n . Cần xác định hàm số biểu thị sự phụ thuộc giữa độ lún S so với thời gian t bằng hàm toán học có dạng:

$$S = f(t) \quad (1)$$

với vector tham số:

$$Z = (z_1, z_2, \dots, z_k)^T \quad (2)$$

Triển khai tuyến tính biểu thức 2 theo các biến z_i , xác định được:

$$S_i = a_{i1}dz_1 + a_{i2}dz_2 + \dots + a_{ik}dz_k + S_i^0; (i = 1, n) \quad (3)$$

** Tác giả liên hệ

Email: namthuy811@gmail.com

với:

$$S_i^0 = a_1 z_1^0 + a_2 z_2^0 + \dots + a_k z_k^0 \quad (4)$$

Khi số chu kỳ quan trắc lớn hơn số lượng tham số ($n > k$), bài toán được giải theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất theo trình tự sau:

Lập hệ phương trình số hiệu chỉnh có dạng

$$V = AdZ + L \quad (5)$$

Trong đó: vector số hạng tự do $L = S - S^0$

Lập hệ phương trình chuẩn:

$$A^T A \cdot dZ + A^T L = 0 \quad (6)$$

xác định được vector ẩn số và từ đó tính vector tham số của mô hình:

$$dZ = -(A^T A)^{-1} \cdot A^T \cdot L \quad (7)$$

Sai số mô hình được tính theo công thức:

$$m_{MH} = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-k}} \quad (8)$$

Hàm (1) với các tham số tính được là biểu thức thể hiện mô hình lún theo thời gian, Mô hình này cho phép thực hiện tính toán, dự báo lún công trình trong tương lai.

Dạng của hàm số mô hình được chọn dựa trên cơ sở phân tích trực quan trên đồ thị chuyển dịch. Nếu hàm số mô hình được lựa chọn đúng thì sai số mô hình sẽ có giá trị tương đương với sai số đo chuyển dịch.

Trong bài báo này mô hình được sử dụng để dự báo lún là hàm đa thức có dạng tổng quát như sau:

$$S_t = a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_k t^k \quad (9)$$

Hệ số của hàm trên được xác định theo các bước từ công thức 3-7

3. Ứng dụng phép lọc Kalman trong dự báo lún công trình thủy điện

3.1. Tổng quan về phép lọc Kalman

Lọc là một thuật toán xử lý số liệu đệ quy tối ưu dùng để ước lượng vector trạng thái (các biến số trạng thái) của một hệ thống động được tạo bởi dãy số liệu chứa sai số ngẫu nhiên. Có nhiều kỹ thuật lọc, trong đó phép lọc điển hình được đề cập tới nhiều nhất là lọc Kalman.

Trong phần này chúng tôi xem xét ứng dụng mô hình lọc dạng động để dự báo lún công trình. Hệ thống động là một hệ thống phản hồi nguyên nhân. Nó có bộ nhớ lưu trữ trạng thái của hệ thống gọi là hàm theo thời gian, hàm này được sử dụng để dự báo trạng thái tiếp theo của hệ thống trong tương lai. Coi hệ thống động lực như một chiếc xe đang chạy, những biến chưa biết (tọa độ và vận tốc) sẽ cấu thành các yếu tố của vector trạng thái phụ thuộc vào thời gian. Những vector phụ thuộc vào thời gian này dự báo cho bất kỳ thời điểm nào thông qua các mô hình động hoặc các phương trình dự báo. Giá trị dự báo từ mô hình động được cập nhật bằng các trị đo chứa thông tin về những thành phần của vector trạng thái. Lọc kalman có thể được xem như là một dạng của số bình phương nhỏ nhất cho phép các tham số biến đổi theo thời gian.

Dự báo và lọc liên quan mật thiết với nhau. Dạng toán học của phép lọc bao gồm 2 mô hình độc lập: mô hình động (dành cho dự báo) và mô hình trị đo (dùng cho cập nhật những dự báo). Hai mô hình này được thiết lập thông qua các bước tính như sau:

Mô hình dự đoán

Thực hiện dự báo ở chu kỳ sau bằng cách sử dụng vector trạng thái đã được hiệu chỉnh ở chu kỳ trước (vector trạng thái lọc)

- Giá trị dự đoán trạng thái tại thời điểm i được xác định theo công thức:

$$\bar{X}_i = H_i \hat{X}_{i-1} + B_i u_i \quad (10)$$

Trong đó:

\bar{X}_i - Vector trạng thái dự báo ở thời điểm t_i ; \hat{X}_{i-1} - Vector trạng thái lọc ở thời điểm t_{i-1} ; H_i - Ma trận mô hình chuyển đổi trạng thái; B_i - Ma trận mô hình điều khiển đầu vào; u_i - Vector điều khiển đầu vào (có thể hiểu là các yếu tố tác nhân (nhiều) gây ra chuyển dịch)

- Ma trận hiệp phương sai của vector trạng thái dự báo được hình thành theo luật lan truyền của hàm hiệp phương sai có dạng sau:

$$Q_{\bar{X}_i} = H_i Q_{\hat{X}_{i-1}} H_i^T + B_i Q_{u_i} B_i^T \quad (11)$$

Mô hình lọc

Hiệu chỉnh vào giá trị dự báo theo 4 bước sau:

- Thành lập mô hình trị đo (phương trình lọc) được thể hiện như sau:

$$l_i = A_i \hat{X}_i + v_i \quad (12)$$

Trong đó: l_i : vector trị đo ở chu kỳ thứ i ; A_i : ma trận hệ số của mô hình trị đo; V_i : vector nhiễu trị đo (có thể coi bằng 0)

- Tính hệ số Kalman gain

$$K_i = Q_{\bar{X}_i} A_i^T (A_i Q_{\bar{X}_i} A_i^T + Q_{l_i})^{-1} \quad (13)$$

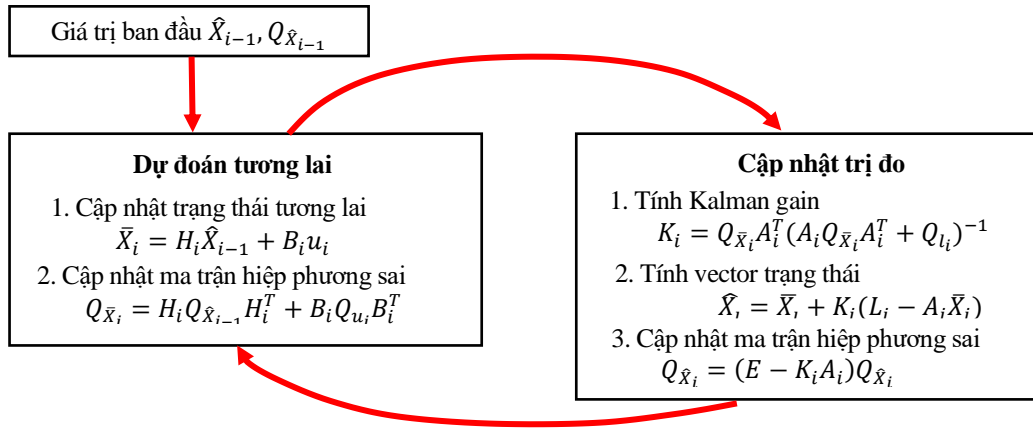
- Cập nhật vector trạng thái dự báo sẽ thu được vector lọc

$$\hat{X}_i = \bar{X}_i + K_i (l_i - A_i \bar{X}_i) \quad (14)$$

- Cập nhật ma trận hiệp phương sai của vector trạng thái dự báo và thu được ma trận hiệp phương sai của vector trạng thái lọc

$$Q_{\bar{X}_i} = (E - K_i A_i) Q_{\hat{X}_i} \quad (15)$$

Quá trình lọc Kalman được minh họa trong sơ đồ sau:



Hình 1: Sơ đồ quy trình lọc Kalman.

3.2. Ứng dụng lọc Kalman trong dự báo lún công trình thủy điện

Như đã đề cập trong mục 2 về mô hình lún, độ lún của tuyến đập công trình thủy điện được xác định dựa vào hàm đa thức biến thiên theo thời gian.

Ở thời điểm t_i , xác định được độ lún

$$S_i = a_1^i t_i + a_2^i t_i^2 + \dots + a_k^i t_i^k \quad (16)$$

Ở thời điểm t_{i-1} , độ lún là

$$S_{i-1} = a_1^{i-1} t_{i-1} + a_2^{i-1} t_{i-1}^2 + \dots + a_k^{i-1} t_{i-1}^k \quad (17)$$

Do lấy chu kỳ đang xét để dự báo lún cho các chu kỳ trong tương lai nên coi các tham số a_1, a_2, \dots, a_k ở các chu kỳ là như nhau

Vậy giá trị biến đổi độ lún từ thời điểm t_{i-1} sang thời điểm t_i là

$$\Delta S = a_1 (t_i - t_{i-1}) + a_2 (t_i^2 - t_{i-1}^2) + \dots + a_k (t_i^k - t_{i-1}^k) \quad (18)$$

Độ lún công trình ở thời điểm t_i được viết lại như sau:

$$S_i = S_{i-1} + a_1 (t_i - t_{i-1}) + a_2 (t_i^2 - t_{i-1}^2) + \dots + a_k (t_i^k - t_{i-1}^k) \quad (19)$$

Các tham số a từ thời điểm t_{i-1} sang thời điểm t_i sẽ không đổi như đã đề cập ở trên và được viết như sau:

$$\begin{aligned} a_1^i &= a_1^{i-1} \\ a_2^i &= a_2^{i-1} \\ &\dots \dots \dots \\ a_k^i &= a_k^{i-1} \end{aligned} \quad (20)$$

Như vậy vector trạng thái ban đầu là $\bar{X}_i = (S_{i-1} \ a_1 \ a_2 \ \dots \ a_k)^T$. Nếu coi $B_i u_i$ trong (10) là thành phần nhiễu (ảnh hưởng độ cao mực nước, nhiệt độ, độ ẩm...) có giá trị nhỏ không đáng kể thì giá trị dự báo ở thời điểm t_i sẽ là:

$$\bar{X}_i = H_i \hat{X}_{i-1} \quad (21)$$

H là ma trận chuyển đổi trạng thái từ thời điểm t_{i-1} sang thời điểm t_i :

$$H_i = \begin{bmatrix} \frac{\partial S_i}{\partial S_{i-1}} & \frac{\partial S_i}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial S_i}{\partial a_k} \\ \frac{\partial a_1}{\partial S_{i-1}} & \frac{\partial a_1}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial a_1}{\partial a_k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial a_k}{\partial S_{i-1}} & \frac{\partial a_k}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial a_k}{\partial a_k} \end{bmatrix} \quad (22)$$

Từ (10), (20) và (22) xác định được H

$$H_i = \begin{bmatrix} 1 & (t_i - t_{i-1}) & \dots & (t_i^k - t_{i-1}^k) \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (23)$$

Phương trình trị đo sẽ là:

$$l_i = S_{i-1} \quad (24)$$

Đạo hàm riêng phần (24), ma trận hệ số A được xác định như sau:

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\partial l_i}{\partial S_{i-1}} & \frac{\partial l_i}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial l_i}{\partial a_k} \end{pmatrix} = (1 \quad 0 \quad \dots \quad 0)$$

Vậy phương trình trị đo (12) được viết lại:

$$l_i = [1 \quad 0 \quad \dots \quad 0] \begin{bmatrix} S_{i-1} \\ a_1 \\ \dots \\ a_k \end{bmatrix} + v_i \quad (25)$$

Trong đó $v_i = 0$ (v_i là vector nhiễu trị đo, do không được đề cập tới trong quá trình đo nên coi bằng 0)

Thay $A = [1 \quad 0 \quad \dots \quad 0]$ vào (13), (14), (15) sẽ xác định được vector trạng thái lọc và ma trận phương sai lọc rồi tiếp tục đưa vào tính và dự báo cho chu kỳ tiếp theo (quy trình tính hình 1)

1. Thực nghiệm

Số liệu được sử dụng tính toán trong thực nghiệm dự báo lún bằng phép lọc Kalman thuộc 14 chu kỳ (bảng 1) của điểm quan trắc M26 tại tuyến đập thủy điện Yaly. Nhà máy thủy điện Yaly nằm trên dòng Krông B'Lah ở ranh giới huyện Sa Thầy tỉnh Kon Tum và huyện Chư Păh tỉnh Gia Lai, Việt Nam. Đập thủy điện là loại đập đá đổ, lõi chống thấm bằng đất sét, có cao trình đỉnh là +522,0 m, chiều dài đỉnh đập 1.142,0 m.

Bảng 1: Số liệu đo lún của điểm M26.

Chu kỳ	Ngày đo	Điểm M26	
		Độ lún(m)	Độ cao(m)
0	8/12/1999	0.0000	519.53290
1	25/4/2000	-0.00413	519.52877
2	27/9/2000	-0.00702	519.52588
3	12/5/2001	-0.01067	519.52223
4	2/12/2001	-0.01754	519.51536
5	15/6/2002	-0.02349	519.50941
6	25/12/2002	-0.02708	519.50582
7	15/8/2003	-0.0331	519.49980
8	29/2/2004	-0.0339	519.49900
9	30/8/2004	-0.03909	519.49381
10	20/11/2005	-0.04447	519.48843
11	1/04/2007	-0.04778	519.48512
12	18/12/2008	-0.0531	519.47973
13	19/01/2010	-0.0543	519.47812

Độ lún của điểm M26 ở thời điểm t_i có dạng

$$S_i = S_{i-1} + a_1(t_i - t_{i-1}) + a_2(t_i^2 - t_{i-1}^2) + \dots + a_k(t_i^k - t_{i-1}^k)$$

$$\text{Vector trạng thái ban đầu là } \hat{X}_i = (S_{i-1} \quad a_1 \quad a_2 \quad \dots \quad a_k)^T$$

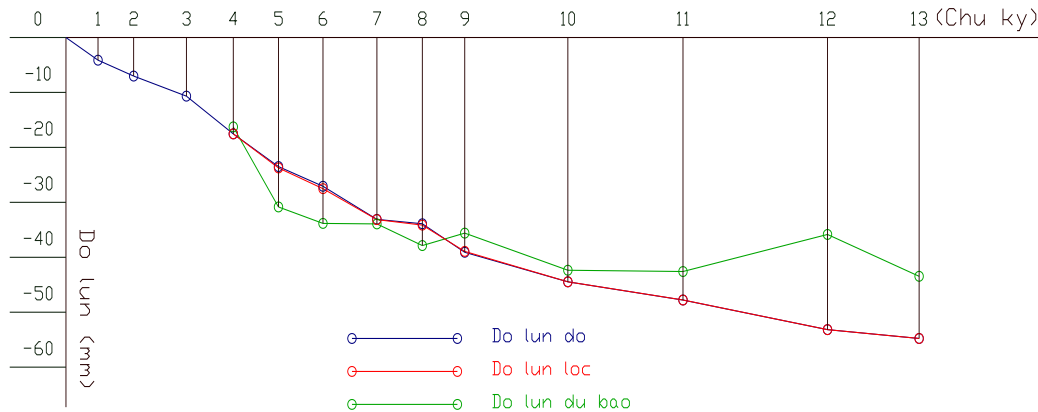
10	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-51.71	-57.91	-60.68
Độ lệch	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-3.93	-4.74	-5.90
11	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-52.49	-53.52
Độ lệch	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0.68	1.26
12	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-54.28
Độ lệch	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0.50

- Nếu chọn bậc đa thức $n = 3$ thì kết quả tính toán như sau:

Bảng 4: Kết quả dự báo độ lún điểm M26 (đa thức bậc 3).

Chu Kỳ	Thời gian	Độ lún đo (mm)	Độ lún dự báo (mm)	Độ lún lọc (mm)	Hệ số vector lọc		
					a_1	a_2	a_3
10	02/12/2001	-17.54	-16.27	-17.53	-1.19126	0.06890	-0.00209
11	15/06/2002	-23.49	-30.84	-23.74	-0.89583	0.02512	-0.00071
12	25/12/2002	-27.08	-33.84	-27.51	-0.65382	-0.00296	0.00001
13	15/08/2003	-33.10	-33.92	-33.14	-0.63243	-0.00484	0.00005
14	29/02/2004	-33.90	-37.87	-34.15	-0.55333	-0.01016	0.00016
15	30/08/2004	-39.09	-35.60	-38.93	-0.60598	-0.00744	0.00011
16	20/11/2005	-44.47	-42.36	-44.46	-0.62736	-0.00720	0.00010
17	01/04/2007	47.78	-42.59	-47.78	-0.66934	-0.00718	0.00009
18	18/12/2008	-53.17	-35.84	-53.17	-0.78645	-0.00755	0.00008
19	19/01/2010	-54.78	-43.46	-54.78	-0.85132	-0.00772	0.00008

Độ lún đo, độ lún dự báo và độ lún lọc của điểm quan trắc M26 tính theo hàm bậc 3 được thể hiện trên mô hình sau



Hình 3: Biểu đồ độ lún theo thời gian của điểm quan trắc M26 ($n=3$).

Nhận xét:

- So sánh hai bảng 2 và 4 nhận thấy hàm bậc hai cho kết quả dự báo lún sát với trị đo hơn, tốt hơn so với hàm bậc 3, trên biểu đồ cũng đã thể hiện rõ nhận định này.

- Đường biểu diễn độ lún lọc (màu đỏ) lúc nào cũng nằm giữa đường biểu diễn độ lún đo (màu xanh) và đường biểu diễn độ lún dự báo (xanh lá cây), có nghĩa là giá trị lọc bằng trung bình trọng số giữa giá trị dự báo và trị đo. Đó chính là kết quả của quá trình cập nhật phép đo cho giá trị lọc tốt hơn, xấp xỉ giá trị đo.

4. Kết luận

Từ nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm có thể rút ra một số nhận xét như sau:

- Dự báo lún đặc biệt cấp thiết đối với công trình đặc thù như tuyến đập thủy điện, giúp cho công tác giám sát thực trạng của công trình chính xác và hiệu quả hơn. Để thực hiện nhiệm vụ dự báo cần phải thành lập các mô hình lún theo thời gian.

- Phép lọc Kalman được coi như là một dạng của nguyên lý số bình phương nhỏ nhất cho phép các tham số biến đổi theo thời gian. Phương pháp này hoàn toàn có thể áp dụng tính toán cho những hàm lún bậc cao (bậc > 2) khi độ lún của các điểm trên công trình không tuyến tính.

- Việc lựa chọn hàm trạng thái ban đầu rất quan trọng. Nếu mô hình tìm được càng thể hiện đúng sự biến thiên của độ lún thì kết quả dự báo sẽ càng tốt. Kết luận này đã được chứng minh trong phần thực nghiệm, với hàm bậc hai cho kết quả dự báo tốt hơn, sát với trị thực hơn hàm bậc 3.

Tài liệu tham khảo

- Aleksandra Bak, 2016. The prediction of the displacements of the body of the solina dam as a tool to improve safety of the facility. *World Scientific News*, Cracow, Poland
- Đình Xuân Vinh, Lê Thị Nhung, Nguyễn Văn Quang, 2018. Xác định biến dạng của công trình xây dựng theo mô hình tham số ứng dụng lọc Kalman và mô hình phi tham số ứng dụng chuỗi thời gian. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường*, Tập 34, Số 3 (2018) 86-99.
- Engin Gulal, 2013. Structural deformations analysis by means of Kalman-filtering. *Boletim de Ciências Geodésicas*, vol.19 no.1 Curitiba Jan./Mar.
- Fumin Lu, Huairen Zeng, 2020. Application of Kalman Filter Model in the Landslide Deformation Forecast. *Scientific Reports volume 10*, Article number: 1028
- Kondolf GM, Rubin Z, Schmitt R.j.P, 2016. Forecasting the cumulative impacts of dams on the mekong delta: certainties and uncertainties. *American geophysical union*, Fall meeting
- Nguyễn Quang Phúc, 2000. Dự báo lún công trình sau xây dựng dựa vào các kết quả đo trắc địa. *Tạp chí KHCN Xây dựng*, Tập 3 (112).
- Nguyễn Thái Chính, 2010. Nghiên cứu một số ứng dụng của phép lọc Kalman trong xử lý số liệu trắc địa. *Luận văn thạc sỹ kỹ thuật*, Trường Đại học Mỏ - Địa Chất.
- Phạm Quốc Khánh, Nguyễn Việt Hà, 2015. Ứng dụng phương pháp tự hồi quy trong dự báo lún công trình. *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, số 1, 57-60.
- Phạm Quốc Khánh, Phạm Trung Dũng, 2016. Applied Kalman filter for prediction of horizontal movement of construction. *International symposium on geo-spatial and mobile mapping technologies and summer school for mobile mapping technology*, trang 60-64.
- Phạm Quốc Khánh, 2018. Ảnh hưởng giá trị khởi đầu của lọc Kalman tới kết quả dự báo chuyển dịch biến dạng công trình. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa Chất*.

ABSTRACT

Application of Kalman filter in forecasting subsidence of hydroelectricity dam

Khanh Tran, Tinh Duc Le, Thanh Kim Thi Nguyen
Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

Forecasting is an important mission in analyzing monitoring results, which helps administrators assess easily state of works, then give methods that prevent from sudden incident in order to reduce damage on human and properties. Some methods that have been used in predicting deformation are self-regression, Kalman filter, artificial neural network.... The article applies dynamic Kalman filter model for forecasting subsidence of hydroelectricity works. On the basis of theoretical studies, experiment of subsidence forecasting at M26 point on hydropower dam Yaly was done. Results show that prediction values are proximate to observed value, the more many circle were used to calculate, the smaller the deviation of subsidence is. This proves applicability of Kalman filter in forecasting subsidence of hydroelectricity dam.

Keywords: Kalman filter, susidence forecasting, hydroelectricity dam.

Ứng dụng ma trận hiệp trọng số đảo số hiệu chỉnh trị đo trong xử lý số liệu trắc địa

Phạm Quốc Khánh,^{††}, Nguyễn Thị Kim Thanh
Trường Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội, Việt Nam

TÓM TẮT

Ma trận hiệp trọng số đảo số hiệu chỉnh trị đo có ý nghĩa trong đánh giá mức độ tương quan của số hiệu chỉnh trị đo với các hàm số khác trong bài toán bình sai, ngoài ra nó còn có một số ứng dụng khác trong xử lý số liệu trắc địa. Bài báo nghiên cứu ứng dụng ma trận này trong thiết kế tối ưu lưới không chế trắc địa và xác định sai số thô trong tập dữ liệu đo. Lấy số liệu lưới thi công công trình thủy điện Yaly làm thực nghiệm cho thấy, sử dụng ma trận hiệp trọng số đảo số hiệu chỉnh trị đo để thiết kế tối ưu lưới có hiệu quả lên đến gần 50%. Còn ứng dụng ma trận này để xác định sai số thô cho kết quả chính xác, nhưng nhược điểm là mỗi lần chỉ tìm được một trị đo có sai số vượt giới hạn.

Từ khóa: Ma trận hiệp trọng số đảo; Thiết kế tối ưu; Xử lý số liệu trắc địa; Sai số thô.

1. Đặt vấn đề

Bài toán bình sai trắc địa sau khi xử lý xong ngoài ma trận hiệp trọng số đảo của các tham số sau bình sai còn có một số các ma trận hiệp trọng số đảo tương quan khác như ma trận hiệp trọng số đảo giữa trị đo trước và sau bình sai; ma trận hiệp trọng số đảo giữa trị đo và tham số sau bình sai; ma trận hiệp trọng số đảo giữa các trị đo sau bình sai; đặc biệt là ma trận hiệp trọng số đảo số hiệu chỉnh của trị đo sau bình sai (Tao Benzao, Qiu Weining, 2012; Shen Yunzhong, Tao Benzao, 2012), vì ma trận này có nhiều ứng dụng thực tế. Trên thế giới đã có những nghiên cứu về thiết kế tối ưu và tìm kiếm sai số thô ứng dụng ma trận này (Li Deren, 2013; Chen Xiqiang, 2010), nhưng ở Việt Nam thì có rất ít giáo trình hoặc bài báo đề cập. Gần đây có một số nghiên cứu nhưng ở dạng đơn lẻ (Phạm Quốc Khanh, 2016; Quang Phúc Nguyễn, Thi Minh Hoàng Hoàng, 2016). Chính vì thế, nội dung chủ yếu bài báo này là ứng dụng ma trận hiệp trọng số đảo số hiệu chỉnh trị đo trong xử lý số liệu trắc địa, cụ thể là trong bài toán thiết kế tối ưu và tìm kiếm loại bỏ sai số thô. Kết quả thực nghiệm từ lý thuyết nghiên cứu cho thấy, thiết kế tối ưu từ mức trị đo thừa trung bình tính từ ma trận hiệp trọng số đảo số hiệu chỉnh trị đo có hiệu quả lên đến gần 50% mà vẫn đạt yêu cầu về độ chính xác; còn dựa vào lượng thống kê thành lập từ số hiệu chỉnh và ma trận này để tìm kiếm và loại trừ sai số thô cho kết quả chính xác và tin cậy.

2. Ma trận hiệp trọng số đảo số hiệu chỉnh trị đo

Theo lý thuyết của bài toán bình sai gián tiếp hoặc tự do, vector số hiệu chỉnh của trị đo V được tính (Tao Benzao, Qiu Weining, 2012).

$$V = A\hat{X} - L \quad (1)$$

Trong đó, A là ma trận hệ số của phương trình số hiệu chỉnh; \hat{X} là vector tham số chưa biết sau bình sai, L là vector trị đo.

Tham số chưa biết giải theo phương pháp số bình phương nhỏ nhất là:

$$\hat{X} = (A^T P A)^{-1} A^T P L = Q_{XX} A^T P L, \quad (2)$$

Trong đó, P là ma trận trọng số của trị đo, Q_{XX} là ma trận hiệp trọng số đảo của vector tham số.

Thay vào công thức (1), được

$$V = (A Q_{XX} A^T P - E) L \quad (3)$$

với E là ma trận đơn vị.

^{††} Tác giả liên hệ

Email: phamquockhanh@hmg.edu.vn

Theo luật truyền sai số tính được ma trận hiệp trọng số đảo số hiệu chỉnh trị đo là:

$$Q_{VV} = P^{-1} - A Q_{XX} A^T \quad (4)$$

3. Ứng dụng của ma trận hiệp trọng số đảo số hiệu chỉnh trị đo

3.1. Ứng dụng trong thiết kế tối ưu lưới

Bài toán thiết kế tối ưu lưới không chế trắc địa tổng quát được Grafarend, E. W đề xuất (Grafarend, E. W., 1974).

$$\begin{cases} \min f(X) \\ X \in E^n \\ g_i(X) \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \\ h_j(X) = 0, j = 1, 2, \dots, l \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó, biểu thức thứ nhất trong công thức (5) gọi là hàm mục tiêu, biểu thức thứ hai và thứ ba gọi là điều kiện ràng buộc. Thực chất của bài toán tối ưu là tìm cực trị (min hoặc max) của hàm mục tiêu thông qua một số điều kiện ràng buộc nào đó để tìm lời giải tối ưu. Thiết kế tối ưu lưới trắc địa là bài toán vẫn liên tục được nghiên cứu và phát triển. Trước đây, thường giải bài toán tối ưu theo phương pháp giải tích và phương pháp mô phỏng. Phương pháp giải tích cho kết quả tối ưu trên lý thuyết nhưng có khối lượng tính toán lớn và rất khó tự động hóa trên máy tính; phương pháp mô phỏng là thiết kế tối ưu dựa trên kinh nghiệm của người thiết kế thông qua máy tính điện tử. Nhược điểm của phương pháp mô phỏng là người thiết kế phải có kiến thức chuyên môn sâu và kinh nghiệm thiết kế. Với những người thiết kế khác nhau, phương án thiết kế có thể khác nhau với khác biệt tương đối lớn. Gần đây, giáo sư Zhang Zhenglu của đại học Vũ Hán đề xuất phương pháp tối ưu lưới trắc địa dựa vào mức đo thừa trung bình của trị đo thông qua ma trận hiệp trọng số đảo số hiệu chỉnh trị đo. Phương pháp này rất có hiệu quả khi thiết kế tối ưu với lưới trắc địa thông thường, lưới khống chế thị công và lưới quan trắc biến dạng không xét đến hướng cần tối ưu, vì lấy hàm mục tiêu là sai số vị trí điểm. Dùng mức đo thừa trung bình của trị đo không những tính được ngay số trị đo có thể lược bớt của lưới khống chế ban đầu, mà còn đảm bảo độ chính xác theo yêu cầu đề ra. Hơn nữa, phương án thiết kế với mỗi mức đo thừa trung bình là duy nhất đối với một đồ hình lưới và lưới thiết kế không phụ thuộc vào kinh nghiệm của người thiết kế. Tư tưởng cơ bản của phương pháp tối ưu này như sau (Zhang Zhenglu và nnk., 2008):

Khi ước tính, bình sai theo mô hình chặt chẽ gián tiếp hoặc bình sai lưới tự do một mạng lưới trắc địa, sẽ tính được mức đo thừa r_i của mỗi trị đo l_i , giá trị này còn gọi là độ tin cậy nội bộ của trị đo (Li Deren, 2013), có:

$$R = Q_{VV} P \quad (6)$$

$$r_i = (Q_{VV} P)_{ii} \quad (7)$$

$$\text{Đồng thời thỏa mãn: } \sum_{i=1}^n r_i = r = n - t \quad (8)$$

trong đó, R gọi là ma trận độ tin cậy của lưới khống chế, r_i là giá trị trên đường chéo chính tương ứng với trị đo l_i , Q_{VV} là ma trận hiệp trọng số đảo số hiệu chỉnh của trị đo, P là ma trận trọng số của trị đo, r là số trị đo thừa trong lưới, n là tổng số trị đo, t là số trị đo cần thiết.

Độ tin cậy r_i của trị đo l_i có tính chất sau:

1) $0 \leq r_i \leq 1$: r_i càng nhỏ thì mức độ quan trọng của trị đo trong lưới càng cao. Nếu $r_i = 0$ thì trị đo này không thể lược bớt khi tối ưu lưới. r_i càng lớn thì mức độ quan trọng của trị đo càng thấp, nếu $r_i = 1$ thì trị đo không cần phải đo.

2) Trị đo có độ chính xác càng cao, mức đo thừa của trị đo r_i càng nhỏ; ngược lại, trị đo có độ chính xác càng thấp, mức đo thừa của trị đo r_i càng lớn

3) Khi độ chính xác trị đo đã được xác định thì trị đo trong lưới càng nhiều, mức đo thừa của trị đo r_i càng lớn.

Đối với một mạng lưới độc lập, mức đo thừa của trị đo r_i không liên quan đến vị trí của mốc gốc hay mốc cơ sở. Giả thiết tổng số trị đo trong lưới là n, số trị đo cần thiết là t thì số trị đo thừa được tính theo công thức (8), mức đo thừa trung bình của trị đo trong lưới được tính:

$$\bar{r} = \frac{r}{n} \quad (9)$$

Trong thiết kế tối ưu, tùy thuộc loại hình lưới, để trị đo có tác dụng không chế tốt, mức đo thừa của từng trị đo phải nằm trong khoảng (0,3,0,6) (Zhang Zhenglu và nnk., 2008). Nếu ký hiệu mức đo thừa trung bình của trị đo nằm trong khoảng tin cậy ở trên là \bar{r}^0 , kết hợp công thức (9) và công thức (8) sẽ tính được số trị đo của lưới sau khi tối ưu n^0 tương ứng với mức đo thừa trung bình \bar{r}^0 là:

$$n^0 = \frac{t}{1 - \bar{r}^0} \quad (10)$$

Như vậy, không cần tính lặp nhiều lần để loại bỏ các trị đo không quan trọng trong lưới, các trị đo bị lược bớt là các trị đo có mức đo thừa từ cao xuống thấp, cho đến khi còn lại số trị đo tính theo công thức (10).

3.2. Ứng dụng trong phát hiện sai số thô

Trị đo có sai số thô được định nghĩa là trị đo có số hiệu chỉnh sau bình sai lớn hơn 3 lần sai số đo trở lên. Trong tập trị đo của một mạng lưới trắc địa chỉ được phép có không quá 10% trị đo có sai số thô thì tập trị đo đó mới có giá trị tin cậy (Shen Yunzhong, Tao Benzao, 2012). Có nhiều phương pháp phát hiện trị đo có sai số thô, trong đó có phương pháp kiểm nghiệm sai số thô dựa vào ma trận hiệp trọng số đảo số hiệu chỉnh của trị đo được giáo sư Baarda người Hà Lan đề xuất, cho đến nay vẫn được ứng dụng rộng rãi. Tư tưởng cơ bản của phương pháp là dùng giả thiết thống kê đưa sai số thô vào mô hình hàm số bình sai, sau đó dựa vào mức đo thừa của trị đo hoặc ma trận hiệp trọng số đảo số hiệu chỉnh của trị đo từng bước phát hiện và loại trừ sai số thô.

Để kiểm nghiệm sai số thô của trị đo theo phương pháp Baarda cần tiến hành theo 2 bước là kiểm nghiệm tổng thể và kiểm nghiệm cục bộ (Tao Benzao, Qiu Weining, 2012).

3.2.1. Kiểm nghiệm tổng thể

Theo phương pháp bình sai gián tiếp hoặc bình sai lưới tự do, nếu số liệu đo không có sai số thô thì phương sai sau bình sai được tính:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{n - k + d} \quad (11)$$

trong đó, n là số lượng tổng số trị đo; k là số trị đo cần thiết và d là số bậc tự do của lưới. Giả sử phương sai trọng số đơn vị trước bình sai là σ_0^2 thì tỷ số giữa $\hat{\sigma}_0^2$ và σ_0^2 tạo thành lượng thống kê:

$$F = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \quad (12)$$

Nếu giả thiết gốc $E(\hat{\sigma}_0^2) = \sigma_0^2$ được chấp nhận, tức trong dãy số liệu đo không có sai số thô, thì F tuân theo phân phối Fisher với bậc tự do $r = n - k + d$, ký hiệu là $F(r, \infty)$. Ngược lại, giả thiết gốc bị bác bỏ thì nghi ngờ trong dãy số liệu đo có sai số thô.

3.2.2. Kiểm nghiệm cục bộ

Để xác định trong dãy trị đo có sai số thô hay không cần dùng giả thiết kiểm nghiệm thống kê tiến hành kiểm nghiệm, từ đó mới có thể loại trừ sai số thô. Giả thiết gốc và giả thiết đối của phương pháp kiểm nghiệm số liệu là:

$$H_0 : E(V_i) = 0; H_1 : E(V_i) \neq 0; \quad (13)$$

Khi đó lượng thống kê được xác định:

$$\omega_i = \frac{|V_i|}{\sigma_{V_i}} = \frac{|V_i|}{\sqrt{r_i} \sigma_i} = \frac{|V_i|}{\sigma_0 \sqrt{(Q_{VV})_{ii}}} \quad (14)$$

Khi lấy giá trị đầu vào σ_0 dương thì ω_i trong công thức (13) cũng có thể tính:

$$\omega_i = \frac{|V_i|}{\sqrt{(Q_{VV})_{ii}}} \quad (15)$$

Trong đó: V_i là số hiệu chỉnh của trị đo thứ i ; $(Q_{VV})_{ii}$ là hiệp trọng số đảo số hiệu chỉnh của trị đo thứ i .

Nếu giá trị quan trắc không có sai số thô, thì $\omega_i \sim N(0,1)$, tức tuân theo luật phân phối chuẩn. Khi đó, có thể sử dụng công thức xác suất:

$$P\left\{u_i > u_{1-\frac{\alpha}{2}} \mid H_0\right\} = \alpha \quad (16)$$

Để tiến hành kiểm nghiệm thống kê đối với giả thiết gốc, từ đó xác định trị đo l_i có sai số thô hay không.

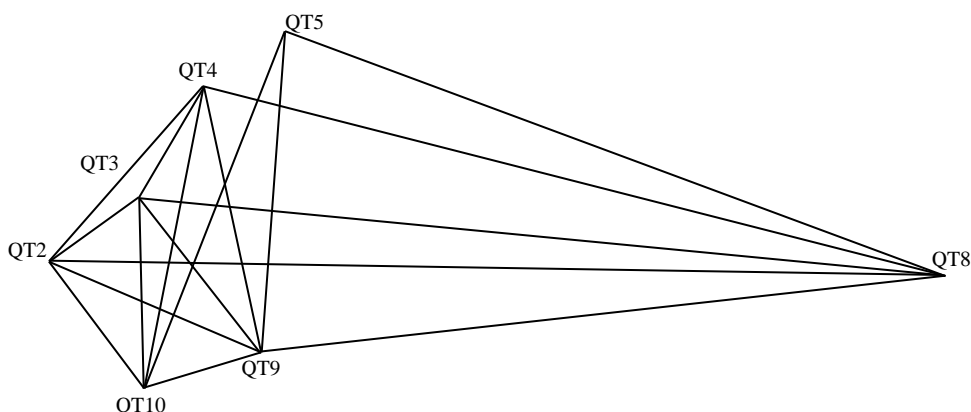
Với phương pháp kiểm nghiệm số liệu theo đề xuất của Baarda thì trong mỗi lần bình sai chỉ có thể phát hiện một sai số thô. Khi muốn phát hiện thêm sai số thô, cần phải loại bỏ sai số thô đã phát hiện trước đó, sau đó bình sai lại, tính toán lượng thống kê rồi tiến hành kiểm nghiệm cho tới khi tập trị đo không còn sai số thô thì dừng lại.

4. Thực nghiệm

4.1. Khu vực nghiên cứu

Bài báo sử dụng lưới quan cơ sở quan trắc chuyển dịch ngang thủy điện Yaly để làm thực nghiệm. Nhà máy thủy điện Yaly được xây dựng trên sông SêSan với diện tích 20 km², nằm giáp ranh giữa hai huyện Chupăh (tỉnh Gia Lai) và huyện Sa Thầy (tỉnh Kon Tum), với công suất 720 MW và điện lượng bình quân nhiều năm khoảng 3,68 tỉ KWh/năm. Đây là công trình thủy điện lớn thứ ba nước ta, sau nhà máy thủy điện Hoà Bình và nhà máy thủy điện Sơn La trên sông Đà. Thủy điện Yaly có 4 tổ máy đã và đang hoạt động từ cuối năm 2001. Tuyến áp lực của thủy điện Yaly là hạng mục quan trọng của nhà máy gồm đập dâng, đập tràn. Đập dâng của thủy điện Yaly là loại đập đá đổ với lõi giữa là lớp đất nện dày, đây là loại đập vòm trọng lực với bán kính cong R=400m. Theo mặt cắt ngang, đập được chia thành 4 tuyến cơ trong đó có 1 tuyến cơ ở phía thượng lưu và 3 tuyến ở hạ lưu, mỗi tuyến cơ có hành lang rộng khoảng 8-10m. Đập tràn xả lũ có kết cấu bê tông cốt thép trên nền đá gồm hai phần chính là phần tràn và phần dốc nước với chiều dài 191m và chiều rộng 105m (Công ty tư vấn điện 1, 2006).

Lưới cơ sở quan trắc chuyển dịch ngang công trình Yaly bao gồm 7 điểm ký hiệu là QT2, QT3, QT4, QT5, QT8, QT9, QT10 được bố trí bên ngoài công trình, ở những nơi có địa chất ổn định và thuận tiện cho công tác đo đạc như hình vẽ.



Hình 1: Sơ đồ lưới cơ sở quan trắc chuyển dịch ngang thủy điện Yaly.

Theo thiết kế, lưới cơ sở quan trắc chuyển dịch ngang được đo tất cả 28 góc, 17 cạnh bằng máy toàn đạc điện tử TC-1700 có độ chính xác đo góc là 1", sai số đo cạnh là 1+1ppm (theo lý lịch máy).

4.2. Thiết kế tối ưu lưới theo Q_{vv}

Đập thủy điện Yaly có kết cấu là đập đất đá nên yêu cầu độ chính xác đối với điểm quan trắc là $\pm 5mm$. Theo (Công ty tư vấn điện 1, 2006) tính được sai số vị trí điểm yếu nhất của lưới khi lấy hệ số duy giảm độ chính xác K=2 là $m_l = 2.3mm$. Với đồ hình lưới như hình 2, chọn điểm QT9 làm góc, phương vị giả định là QT9-QT8, kết quả ước tính theo thuật toán bình sai gián tiếp thu được $m_{ym} = m_{Q_{s_2}} = 1.6mm < m_l$ và mức đo thừa trung bình của lưới $\bar{r} = 0.74$. Như vậy, dựa vào lý thuyết phần 3.1, có thể thiết kế tối ưu lưới này.

Tọa độ gần đúng của các điểm lưới được ghi trong bảng 1. Trong phương án ban đầu, lưới được thiết kế với 46 trị đo, trong đó có 28 trị đo góc, 17 trị đo cạnh và 01 phương vị giả định. Tiến hành thiết kế tối ưu lưới với mức đo thừa khác nhau trong khoảng độ tin cậy (0.3, 0.6), kết quả tính toán được thống kê trong Bảng 2

Bảng 1: Tọa độ gần đúng của các điểm lưới.

TT	Tên điểm	Tọa độ X(m)	Tọa độ Y(m)	TT	Tên điểm	Tọa độ X(m)	Tọa độ Y(m)
1	QT10	1574036.4	805473.4	5	QT5	1575472.3	805858.8
2	QT2	1574554.4	805200.0	6	QT8	1574507.8	807688.7
3	QT3	1574814.6	805458.7	7	QT9	1574191.3	805794.8
4	QT4	1575256.5	805633.1				

Bảng 2: So sánh số lượng trị đo và hiệu quả trước và sau tối ưu.

Phương án	Mức đo thừa trung bình \bar{r}	Số góc đo	Số cạnh đo	Số phương vị đo	Tổng trị đo	Sai số ước tính điểm yếu nhất (mm)	Hiệu quả	Ghi chú
Ban đầu	0.74	28	17	1	46	1.6		
Tối ưu	0.6	12	17	1	30	1.6	35%	
	0.5	6	17	1	24	2.1	48%	
	0.4	4	15	1	20	4.4		Không đạt

Nhận xét:

- So sánh các phương án tối ưu lưới khống chế cơ sở quan trắc chuyên dịch ngang thủy điện Yaly thấy phương án lấy $\bar{r} = 0.5$ là phù hợp cả về độ chính xác và tính hiệu quả. Hiệu quả sau tối ưu xấp xỉ 50%, tức lược bớt được một nửa số trị đo trong lưới.

- Các trị đo lược bớt trong phương án tối ưu được lựa chọn đều là các trị đo góc, các trị đo này ngoài thực tế đo đạc rất mất thời gian và chịu nhiều ảnh hưởng của môi trường.

4.3. Xác định sai số thô theo Q_{VV}

Trước khi bình sai lưới cơ sở quan trắc chuyên dịch ngang thủy điện Yaly cần phải kiểm tra xem lưới đo đạc có đạt yêu cầu hay không. Công việc này còn gọi là tìm và loại bỏ sai số thô trong tập trị đo. Ứng dụng ma trận Q_{VV} xác định vị trí sai số thô theo phương pháp đo Baarda đề xuất như phần 3.2 trình bày được thực hiện như sau:

4.3.1. Kiểm nghiệm tổng thể

Lưới cơ sở quan trắc chuyên dịch ngang thủy điện Yaly được đo theo phương pháp đo góc-cạnh bằng máy toàn đạc điện tử độ chính xác cao TC-1700 có sai số đo góc là 1" và sai số đo cạnh là 1+1ppm. Tổng số trị đo trong lưới là 45, trong đó có 28 góc và 17 cạnh như bảng 2 và bảng 3.

Bảng 3: Trị đo góc

TT	Điểm Trái	Điểm Giữa	Điểm Phải	Góc			TT	Điểm Trái	Điểm Giữa	Điểm Phải	Góc		
				Độ	Phút	giây					Độ	Phút	giây
1	QT2	QT10	QT3	26	44	15.78	15	QT9	QT4	QT10	16	05	19.31
2	QT3	QT10	QT4	8	32	25.30	16	QT10	QT4	QT3	14	04	51.75
3	QT4	QT10	QT5	7	34	00.67	17	QT3	QT4	QT2	10	08	00.88
4	QT5	QT10	QT9	49	14	55.10	18	QT8	QT5	QT9	65	03	55.58
5	QT4	QT2	QT3	13	10	13.70	19	QT9	QT5	QT10	12	09	48.82
6	QT3	QT2	QT8	46	13	58.60	20	QT9	QT8	QT2	10	33	45.49
7	QT8	QT2	QT9	30	20	05.75	21	QT2	QT8	QT3	6	45	30.27
8	QT9	QT2	QT10	30	46	05.83	22	QT3	QT8	QT4	12	10	45.05
9	QT2	QT3	QT4	156	41	42.99	23	QT4	QT8	QT5	7	46	55.38
10	QT4	QT3	QT8	76	17	44.44	24	QT10	QT9	QT2	57	08	15.67
11	QT8	QT3	QT9	53	49	52.82	25	QT2	QT9	QT3	30	15	17.25
12	QT9	QT3	QT10	27	15	06.28	26	QT3	QT9	QT4	19	42	11.18
13	QT10	QT3	QT2	45	55	33.47	27	QT4	QT9	QT5	11	29	31.77
14	QT8	QT4	QT9	61	21	18.64	28	QT5	QT9	QT8	77	39	08.13

Bảng 4: Trị đo cạnh.

TT	Điểm Đầu	Điểm Cuối	Chiều dài (m)	TT	Điểm Đầu	Điểm Cuối	Chiều dài (m)
1	QT10	QT2	585.7900	9	QT2	QT9	696.9223
2	QT10	QT3	778.3205	10	QT3	QT4	475.0725

1	0.4	12	0.4	23	0.1
2	0.5	13	0.1	24	0.5
3	0.7			25	0.3
4	0.3	15	0.1	26	0.5
5	1.6	16	0.5	27	0.5
6	0.9	17	0.2		
...		

1	0.1	8	2.5
2	0.5	9	0.1
3	0.3	10	0.5
4	0.5	11	1.5
5	0.5	12	0.7
6	0.1	13	0.4
7	0.5

Từ Bảng 7 và Bảng 8 có thể thấy giá trị $\max\left(\frac{|v_i|}{\sqrt{Q_{v_i v_i}}}\right) = \frac{|v_{35}|}{\sqrt{Q_{v_{35} v_{35}}}} = 2.5$ tại trị đo cạnh số 8 (hay trị đo số 35), để có thể kết luận trị đo này có sai số vượt thô không thì cần tiến hành kiểm nghiệm cục bộ tiếp đối với trị đo này.

Lập lượng thống kê như (14), có $\omega_{35} = \frac{2.5}{1.0} = 2.5$, với mức tin cậy $\alpha = 0,05$, giá trị của mức xác suất $\omega_{1-\frac{\alpha}{2}} = 2.04$, do $\omega_{25} > \omega_{1-\frac{\alpha}{2}}$ nên giả thiết gốc bị bác bỏ, chứng tỏ trị đo thứ 35 có chứa sai số thô.

Lại loại bỏ trị đo thứ 35, lập lại quá trình bình sai, thấy giá trị $\max\left(\frac{|v_i|}{\sqrt{Q_{v_i v_i}}}\right) = \frac{|v_5|}{\sqrt{Q_{v_5 v_5}}} = 1.6$ như Bảng 9, 10.

Bảng 9: Giá trị $\frac{|v_i|}{\sqrt{Q_{v_i v_i}}}$ của góc đo lặp lần 2

Bảng 10: Giá trị $\frac{|v_i|}{\sqrt{Q_{v_i v_i}}}$ của cạnh đo lặp lần 2

Thứ tự	$\frac{ v_i }{\sqrt{Q_{v_i v_i}}}$	Thứ tự	$\frac{ v_i }{\sqrt{Q_{v_i v_i}}}$	Thứ tự	$\frac{ v_i }{\sqrt{Q_{v_i v_i}}}$
1	0.2	12	0.4	23	0.3
2	0.5	13	0.1	24	0.6
3	0.6			25	0.2
4	0.4	15	0.4	26	0.4
5	1.6	16	0.2	27	0.7
6	0.6	17	0.3		
...		

Thứ tự	$\frac{ v_i }{\sqrt{Q_{v_i v_i}}}$	Thứ tự	$\frac{ v_i }{\sqrt{Q_{v_i v_i}}}$
1	0.2		
2	0.6	0.5	0.1
3	0.8	0.8	0.5
4	0.2	0.7	1.5
5	0.0	0.9	0.7
6	0.2	0.3	0.4
7	0.2

Lượng thống kê $\omega_5 = \frac{1.6}{1.0} = 1.6$. Với mức tin cậy $\alpha = 0,05$, giá trị của mức xác suất $\omega_{1-\frac{\alpha}{2}} = 2.04$, do $\omega_5 < \omega_{1-\frac{\alpha}{2}}$ nên giả thiết gốc được chấp nhận, tức là trị đo thứ 5 không chứa sai số thô. Điều này cũng có nghĩa là các trị đo còn lại của lưới không có chứa sai số thô.

Nhận xét:

- Phương pháp Baarda thông qua ma trận Q_{VV} xác định sai số thô cho kết quả chính xác.
- Phương pháp này chỉ xác định được từng sai số thô nên với mạng lưới lớn, nhiều trị đo và có nhiều sai số thô thì việc phát hiện và loại trừ tương đối mất thời gian.

5. Kết luận

- Ma trận trọng số đảo số hiệu chỉnh của trị đo Q_{VV} có vai trò quan trọng trong bài toán bình sai, không chỉ đơn thuần dùng đánh giá mức độ tương quan các trị đo trong lưới mà còn ứng dụng trong thiết kế tối ưu và tìm kiếm sai số thô.

- Thiết kế tối ưu sử dụng ma trận Q_{VV} để tính mức đo thừa trung bình của trị đo cho kết quả duy nhất với những người thiết kế khác nhau. Tuy nhiên nếu thiết kế cho lưới quan trắc biến dạng, cần xét đến độ nhạy của lưới.

- Phương pháp Baarda thông qua ma trận Q_{VV} tìm kiếm sai số thô của tập trị đo có kết quả chính xác, nhưng mỗi lần tính chỉ tìm được 1 trị đo có chứa sai số thô.

Tài liệu tham khảo

- Chen Xiqiang, 2010. Phân tích và so sánh một số phương pháp loại trừ sai số thô, Báo công trình Trắc địa, Số 4, tập 19, tiếng Trung Quốc.
- Công ty tư vấn xây dựng điện I, (2006). *Báo cáo kỹ thuật công tác quan trắc biến dạng tuyến đập thủy điện Yaly*, Hà Nội.
- Grafarent E. W. (1974), Optimisation of geodetic networks, *Canad. Surveyor*, 1974(5)
- Li Deren, 2013. Lý thuyết xử lý sai số và độ tin cậy. NXB Đại học Vũ Hán, tiếng Trung Quốc.
- Pham QuocKhanh, 2016. Research into method used for detecting Geodetic non-random errors based on adjustment calculus. *International symposium on geo-spatial and mobile mapping technologies and summer school for mobile mapping technology*, 55-59.
- Quang Phuc Nguyen, Thi Minh Huong Hoang, 2016. Optimal design of control network for engineering surveying according to the redundant degree of measurements. *International symposium on geo-spatial and mobile mapping technologies and summer school for mobile mapping technology*, 51-55.
- Shen Yunzhong, Tao Benzao, 2012. Phương pháp xử lý số liệu trắc địa thực dụng. NXB Trắc Hội Bắc Kinh, tiếng Trung Quốc
- Tao Benzao, Qiu Weining, 2012. Lý thuyết sai số và bình sai trắc địa. NXB Trắc hội Vũ Hán, tiếng Trung Quốc.
- Zhang Zhenglu và nnk., 2008. Tiêu chuẩn độ tin cậy thiết kế tối ưu lưới khống chế trắc địa. Khoa học kỹ thuật Trắc hội, số 33, tr 23-24, 30, tiếng Trung Quốc.

ABSTRACT

Application of covariance matrix of inverse weight of correction for measured values in processing of geodetic data

Khanh Quoc Pham, Thanh Kim Thi Nguyen
Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

Covariance matrix of inverse weight of correction for measured values has meaningful in assessing the correlation between correction for measured values and other functions in adjustment problems, in addition, it is also used in data processing. The article researches the application of this matrix in optimally designing of control network and determining the raw error in data set. Using the data of construction network at Yaly hydroelectricity works for experiment, results showed that using covariance matrix of inverse weight of correction for measured values in optimal design has an approximate 50 percent effectiveness. And if it is used for determining raw error, results will be accurate, but there is a disadvantage, which only find one value of exceed limit in each time.

Keywords: covariance matrix of inverse weight; optimal design; processing of geodetic data; raw error.

Những thành tựu nghiên cứu trường trọng lực toàn cầu và khả năng ứng dụng ở Việt Nam

Nguyễn Văn Sáng^{1,††}, Phạm Văn Tuyên², Nguyễn Thành Lê³, Đinh Xuân Mạnh⁴

¹ Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam

² Công ty Cổ phần xi măng Tân Thắng, Việt Nam

³ Học viện kỹ thuật quân sự, Việt Nam

⁴ Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ, Việt Nam

TÓM TẮT

Mục đích của bài báo là đánh giá những thành tựu nghiên cứu về trường trọng lực toàn cầu trên thế giới và chỉ ra khả năng ứng dụng của chúng ở Việt Nam. Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu xây dựng mô hình trường trọng lực toàn cầu trên thế giới từ năm 1966 đến nay; một số mô hình dị thường trọng lực toàn cầu trên biển được xây dựng từ số liệu đo cao vệ tinh; phương pháp tính toán các yếu tố của trường trọng lực từ các mô hình. Các mô hình này được so sánh với dữ liệu đo đạc trực tiếp ở Việt Nam. Từ đó, đánh giá độ chính xác của chúng. Kết quả đánh giá cho thấy: EGM2008, GECO, EIGEN-6C4, SGG-UGM-1 là các mô hình phù hợp với Việt Nam, độ chính xác của dị thường độ cao tương ứng là ± 0.292 m, ± 0.199 m, ± 0.193 m, ± 0.198 m; các mô hình dị thường trọng lực biển DTU10, DTU13, DTU15 có độ chính xác tương ứng trên biển Việt Nam là: ± 5.80 mGal, ± 5.73 mGal và ± 5.63 mGal. Từ những kết quả nghiên cứu này chỉ ra rằng có thể ứng dụng các mô hình trường trọng lực toàn cầu (GGMs) và các mô hình dị thường trọng lực biển nêu trên vào các nhiệm vụ trắc địa cao cấp (Geodesy), địa vật lý (Geophysics) và hải dương học (Oceanography) ở Việt Nam.

Từ khóa: Trường trọng lực toàn cầu; dị thường trọng lực; dị thường độ cao

1. Đặt vấn đề

Nghiên cứu trường trọng lực toàn cầu là bài toán quan trọng của Trắc địa. Trong những năm qua, các nhà khoa học trắc địa trên thế giới đã đạt được những thành tựu lớn về lĩnh vực này. Từ năm 1966 đến nay, Trung tâm quốc tế về mô hình trái đất toàn cầu đã tập hợp và xây dựng được 175 mô hình trường trọng lực toàn cầu. Các mô hình này được xây dựng trên cơ sở sử dụng các số liệu quan trắc vệ tinh, số liệu đo trọng lực trực tiếp, số liệu đo cao vệ tinh. Độ chính xác của các mô hình tăng dần theo thời gian. Những mô hình đầu tiên sai tới ± 15 m, các mô hình gần đây có độ chính xác rất cao, sai lệch trung phương chỉ ở cỡ ± 2 dm (E. Sinem Ince và nnk., 2019).

Từ số liệu đo cao vệ tinh, các nhà khoa học cũng đã xây dựng được các mô hình dị thường trọng lực trên biển, điển hình như: mô hình DNSC08GRAV được xây dựng năm 2008 (Andersen Ole Baltazar, Per Knudsen, Philippa A. M. Berry, 2010); mô hình DTU10GRAV năm 2010 (Andersen Ole Baltazar, 2010); mô hình DTU13GRAV năm 2013 (Andersen Ole Baltazar, Per Knudsen, 2014); và mô hình DTU15GRAV năm 2015 (Andersen Ole Baltazar, Per Knudsen, 2016). Các mô hình này đã được nhiều quốc gia sử dụng để nghiên cứu trên vùng biển của quốc gia mình.

Vấn đề đặt ra là các mô hình về trường trọng lực toàn cầu kể trên có phù hợp với Việt Nam không và khả năng ứng dụng ở Việt Nam là như thế nào? Bài báo tập trung đánh giá độ chính xác của các mô hình trường trọng lực toàn cầu bằng cách so sánh với số liệu đo trực tiếp ở Việt Nam từ đó đưa ra các kết luận về độ chính xác và khả năng ứng dụng.

†† Tác giả liên hệ

Email: nguyenvansang@humg.edu.vn

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1. Kết quả nghiên cứu xây dựng mô hình trường trọng lực toàn cầu trên thế giới từ năm 1966 đến nay

Trọng lực là hợp lực của lực hấp dẫn và lực li tâm. Thế của trọng lực chính là thế trọng trường. Thế trọng trường của 1 điểm có tọa độ (x,y,z) là tổng hợp của thế hấp dẫn và thế li tâm và kí hiệu là $W(x,y,z)$, được biểu diễn bằng công thức (Bernhard Hofmann-Wellenhof and Helmut Moritz, 2006):

$$W(x,y,z) = V(x,y,z) + Q(x,y,z) = G \iiint_V \frac{\delta(a,b,c)}{r} dV + \frac{\omega^2}{2}(x^2 + y^2), \quad (1)$$

Trong đó: G là hằng số hấp dẫn; $\delta(a,b,c)$ là mật độ vật chất tại điểm có tọa độ (a,b,c) ; ω là tốc độ quay của Trái đất.

Như vậy, thế trọng trường của Trái đất phụ thuộc vào mật độ phân bố vật chất trong lòng Trái đất, kích thước và hình dạng của Trái đất, và tốc độ quay ngày đêm của Trái đất. Do mật độ vật chất không xác định được nên công thức trên chỉ có ý nghĩa lý thuyết, thực tế không tính được. Để khắc phục điều này, người ta đã triển khai thế trọng trường vào chuỗi hàm điều hòa cầu (Bernhard Hofmann-Wellenhof and Helmut Moritz, 2006):

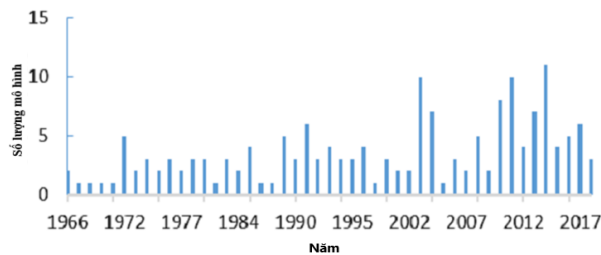
$$W(\rho, \theta, \lambda) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{\rho^{n+1}} [\sum_{m=0}^n (C_{nm} \cos m \lambda + S_{nm} \sin m \lambda) P_{nm}(\theta)] + \frac{\omega^2}{2}(x^2 + y^2), \quad (2)$$

Trong đó: C_{nm} , S_{nm} là các hệ số điều hòa cầu bậc n , hạng m ; $P_{nm}(\theta)$ là đa thức Legendre bậc n , hạng m .

Từ đây, các nhà khoa học trắc địa tìm cách xác định các hệ số C , S đến bậc và hạng n , m nào đó. Bậc, hạng càng cao thì mô hình càng gần với thế trọng trường thực. Ví dụ, mô hình EGM96 có bậc, hạng đến 360; mô hình EGM2008 có bậc, hạng đến 2190.

Năm 1997, Hiệp hội trắc địa quốc tế (International Association of Geodesy - IAG) ra nghị quyết số 1 về vấn đề nhu cầu truy cập thông tin trường trọng lực toàn cầu. Năm 2003, với sự hỗ trợ tài chính và lưu trữ của Trung tâm nghiên cứu khoa học trái đất của Đức (GFZ), Trung tâm quốc tế về mô hình trái đất toàn cầu (International Centre for Global Earth Models - ICGEM) đã được thành lập. ICGEM ban đầu được thành lập để thu thập các mô hình trường trọng lực toàn cầu tĩnh và cung cấp cho người dùng quyền truy cập dễ dàng vào các mô hình này. Hiện nay, ICGEM đã trở thành một trung tâm duy nhất có bộ sưu tập lớn nhất và đầy đủ nhất của các mô hình trường trọng lực tĩnh và động (E. Sinem Ince và nnk., 2019).

Các mô hình trường trọng lực tĩnh được phát triển bởi các tổ chức khác nhau từ năm 1966 đến nay đã lên đến 175 mô hình. Trên hình 1 biểu diễn số lượng các mô hình trường trọng lực toàn cầu được xây dựng theo năm (E. Sinem Ince và nnk., 2019). Ngoài số liệu đo trọng lực trực tiếp, số liệu đo cao vệ tinh thì các dữ liệu gradient trường trọng lực của các dự án CHAMP, GRACE, GOCE có vai trò quan trọng trong việc xây dựng các mô hình trường trọng lực toàn cầu. Các mô hình trường trọng lực toàn cầu có tính không đồng nhất về độ chính xác trên các vùng quốc gia khác nhau.



Hình 1. Các mô hình trường trọng lực toàn cầu từ năm 1966

Trên bảng 1 là thông tin về một số mô hình trường trọng lực toàn cầu (E. Sinem Ince và nnk., 2019).

Bảng 1. Thông tin một số mô hình trường trọng lực toàn cầu

Thứ tự mô hình	Tên mô hình	Năm	Nmax	Nguồn dữ liệu
175	GO_CONS_GCF_2_TIM_R6e	2019	300	G (Polar), S(Goce)
171	GO_CONS_GCF_2_TIM_R6	2019	300	S(GOCE)
167	SGG-UGM-1	2018	2159	EGM2008, S(GOCE)
165	IGGT_R1	2017	240	S(GOCE)
152	GECO	2015	2190	EGM2008, S(Goce)

148	EIGEN-6C4	2014	2190	A, G, S(Goce), S(Grace), S(Lageos)
105	EIGEN-5C	2008	360	A, G, S(Grace), S(Lageos)
104	EGM2008	2008	2190	A, G, S(Grace)
83	EIGEN-GRACE01S	2003	140	S(Grace)
80	EIGEN-1	2002	119	S(Champ)
72	EGM96	1996	360	A, EGM96S, G
1	SE1	1966	15	S

Trong Bảng 1, S là số liệu quan trắc vệ tinh (Satellite Tracking Data); G là số liệu trọng lực (Gravity Data); A là số liệu đo cao vệ tinh (Altimetry Data).

2.2. Một số mô hình dị thường trọng lực toàn cầu trên biển được xây dựng từ số liệu đo cao vệ tinh

Trên thế giới, từ số liệu đo cao vệ tinh, các mô hình dị thường trọng lực đã được xây dựng bởi các nhà khoa học Đan Mạch như: mô hình DNSC08GRAV được xây dựng năm 2008 (*Andersen Ole Baltazar và nnk., 2010*); mô hình DTU10GRAV năm 2010 (*Andersen Ole Baltazar, 2010*); mô hình DTU13GRAV năm 2013 (*Andersen Ole Baltazar, Per Knudsen, 2014*); và mô hình DTU15GRAV năm 2015 (*Andersen Ole Baltazar, Per Knudsen, 2016*):

2.2.1. Mô hình DNSC08GRAV:

Năm 2008, Ole Baltazar Andersen và nhóm nghiên cứu đã sử dụng số liệu đo cao vệ tinh của các vệ tinh Geosat, ERS, T/P, Jason, Envisat, GFO và ICESat để xác định dị thường trọng lực biển và xây dựng mô hình trường trọng lực DNSC08GRA. Các tác giả đã sử dụng mô hình trọng lực Trái đất EGM2008 mô hình MDT toàn cầu và kỹ thuật bình sai giao cắt để loại bỏ độ cao địa hình mặt biển động học. Phần dư độ cao geoid được sử dụng để xác định phần dư dị thường trọng lực theo phương pháp Collocation. Độ chính xác của mô hình đánh giá theo độ lệch chuẩn đạt $\pm 3,91$ mGal (*Andersen Ole Baltazar và nnk., 2010*).

2.2.2. Mô hình DTU10GRAV

Năm 2010, Ole Baltazar Andersen đã nâng cấp mô hình DNSC08GRAV thành DTU10GRAV bằng cách bổ sung những số liệu đo mới của ERS-2 và vệ tinh ENVISAT. Độ chính xác của mô hình đạt cao hơn, đánh giá theo độ lệch chuẩn đạt $\pm 3,82$ mGal (*Andersen Ole Baltazar, 2010*).

2.2.3. Mô hình DTU13GRAV

Năm 2013, Ole Baltazar Andersen và các đồng nghiệp đã nâng cấp mô hình DNSC08GRAV và DTU10GRAV thành mô hình DTU13GRAV bằng cách sử dụng số liệu đo cao vệ tinh mới của vệ tinh CryoSat-2 và Jason-1. Số liệu vệ tinh CryoSat-2 bao phủ hầu hết khu vực Bắc Cực do đó, mô hình DTU13 có kết quả trên cả vùng này, điều mà các mô hình trước đó không có được. Ngoài ra, số liệu dùng để xác định DTU13 cũng có độ phân giải không gian cao hơn ($1' \times 1'$) (*Andersen Ole Baltazar, Per Knudsen, 2014*).

2.2.4. Mô hình DTU15GRAV

Năm 2015, các nhà khoa học của Trung tâm Vũ trụ quốc gia Đan Mạch (Danish National Space Center - DNSC) thuộc Trường Đại học tổng hợp Kỹ thuật Đan Mạch (Technical University of Denmark - DTU) đã xác định dị thường trọng lực trên các vùng cực và nâng cấp DTU13GRAV thành mô hình DTU15GRAV (*Andersen Ole Baltazar, Per Knudsen, 2016*). Mô hình này được cải thiện rất nhiều do có nhiều số liệu của vệ tinh Jason-1, và số liệu vệ tinh Cryosat-2. Những vệ tinh mới này cung cấp số trị đo độ cao bề mặt nhiều gấp ba lần so với trước đây. Dữ liệu mới này cải thiện đáng kể chất lượng của mô hình, đặc biệt là bước sóng ngắn hơn của trường trọng lực (10-20 km).

2.3. Phương pháp tính toán độ cao geoid và dị thường trọng lực từ các mô hình trường trọng lực toàn cầu

2.3.1. Tính độ cao Geoid:

Từ các hệ số điều hòa cầu C_{mn} , S_{mn} , độ cao geoid được tính bằng công thức (*NIMA, 2000*):

$$N_{EGM} = N_0 + \frac{GM}{r \cdot r} \left[\sum_{n=2}^{N_{max}} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{n,m} \cos(m\lambda) + \bar{S}_{n,m} \sin(m\lambda)) \bar{P}_{n,m}(\sin \varphi') \right], \quad (3)$$

Trong đó: GM - hằng số trọng trường địa tâm; r - bán kính địa tâm của điểm xét; γ - gia tốc lực trọng trường chuẩn trên mặt ellipsoid; a - bán trục lớn của ellipsoid; φ', λ - vĩ độ và kinh độ địa tâm của điểm xét; $\bar{C}_{n,m}, \bar{S}_{n,m}$ - hệ số điều hòa cầu chuẩn hóa đầy đủ bậc n, hạng m; $\bar{P}_{n,m}(\sin \varphi')$ - hàm Legendre kết hợp đã chuẩn hóa; N_0 - Đại lượng mức 0 (zero-degree term).

2.3.2. Tính dị thường trọng lực:

Từ các hệ số điều hòa cầu C_{mn}, S_{mn} , dị thường trọng lực được tính bằng công thức (NIMA, 2000):

$$\Delta g_{EGM} = \frac{GM}{r^2} \left[\sum_{n=2}^{N_{max}} \left(\frac{a}{r} \right)^n (n-1) \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{n,m} \cos(m\lambda) + \bar{S}_{n,m} \sin(m\lambda)) \bar{P}_{n,m}(\sin \varphi') \right], \quad (4)$$

2.4. Phương pháp tính dị thường trọng lực từ các mô hình dị thường trọng lực toàn cầu xác định từ đo cao vệ tinh

Mô hình dị thường trọng lực xác định từ đo cao vệ tinh được biểu diễn dạng lưới ô vuông. Các điểm mắt lưới ô vuông có tọa độ B, L và giá trị dị thường trọng lực. Giá trị dị thường trọng lực của điểm i bất kỳ được biểu diễn bởi công thức (Nguyễn Văn Sáng, 2020):

$$\Delta g_i = a + b.B_i + c.L_i \quad (5)$$

Trong đó: B_i, L_i là tọa độ trắc địa của điểm i; a, b, c là các tham số cần xác định.

Để xác định các tham số a, b, c cần có ít nhất 3 điểm đã có dị thường trọng lực gọi là điểm nút (chính là các điểm mắt lưới). Nếu số điểm nút là n nhiều hơn 3 điểm, các tham số này sẽ được xác định theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất. Khi đó, hệ phương trình số hiệu chỉnh có dạng:

$$v_i = a + b.B_i + c.L_i - \Delta g_i. \quad (6)$$

Giải hệ phương trình trên ta sẽ được các tham số a, b, c. Thay các tham số a, b, c vào công thức (5) ta sẽ xác định Δg_i của điểm cần tìm.

2.5. Số liệu đo đạc trực tiếp ở Việt Nam

2.5.1. Số liệu đo trọng lực trực tiếp

Để đánh giá độ chính xác của các mô hình dị thường trọng lực toàn cầu xác định từ số liệu đo cao vệ tinh trên vùng biển Việt Nam, 58.989 điểm đo trọng lực trực tiếp bằng tàu trong phạm vi Vịnh Bắc bộ - Việt Nam đã được sử dụng. Số liệu này được đo bằng máy trọng lực biển ZLS Dynamic Meter D06 của hãng ZLS Corp Mỹ với độ chính xác của máy theo lý lịch là $\pm 1\text{mGal}$ (Phạm Văn Tuyên, Nguyễn Văn Sáng, 2018). Tọa độ của các điểm đo này được tính chuyển sang hệ tọa độ quốc tế WGS-84 để phù hợp với mô hình dị thường trọng lực toàn cầu.

2.5.2. Số liệu GNSS-Thủy chuẩn:

Nguồn dữ liệu GPS -Thủy chuẩn gồm có 818 điểm đo, được phân bố đồng đều trên lãnh thổ Việt nam. Tại mỗi điểm đo nêu trên, đều có đo GPS để xác định tọa độ trắc địa (B, L) và độ cao trắc địa H_{GPS} thuộc hệ WGS-84, và có kết quả đo thủy chuẩn trong hệ thống độ cao quốc gia để tính ra giá trị độ cao chuẩn h_{TC} với điểm gốc độ cao lấy theo mặt biển trung bình tại trạm nghiệm triều Hòn Dấu - Hải Phòng (Nguyễn Văn Sang và nkk., 2020). Trên cơ sở đó ta có 818 giá trị dị thường độ cao được tính bằng biểu thức: $\zeta_{GPS-TC} = H_{GPS} - h_{TC}$. Các giá trị dị thường độ cao này được tính trong hệ triều không phụ thuộc.

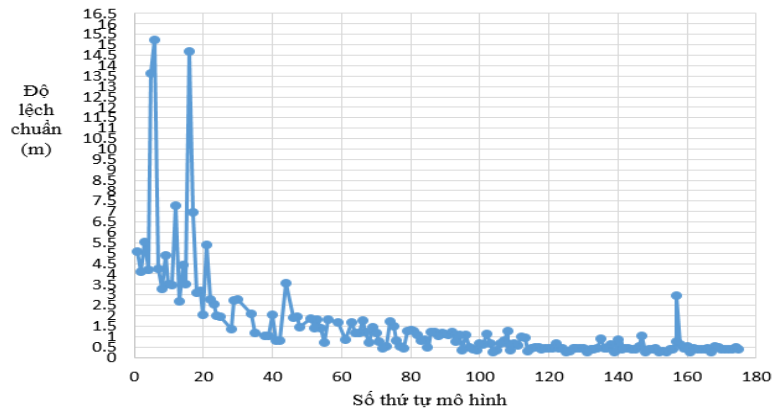
3. Kết quả đánh giá độ chính xác của các mô hình

3.1. Kết quả đánh giá độ chính xác các mô hình trường trọng lực toàn cầu

Các mô hình trường trọng lực toàn cầu được đánh giá độ chính xác bằng cách so sánh với số liệu đo GNSS-thủy chuẩn của một số nước rồi tính ra độ lệch chuẩn. Trên hình 2 mô tả độ chính xác của các mô hình theo thời gian xây dựng, khi so sánh với 12036 điểm GNSS-thủy chuẩn. Từ kết quả so sánh này chọn ra được 4 mô hình phù hợp tốt nhất với số liệu đo GNSS-thủy chuẩn (xem Bảng 2).

Bảng 2. Các mô hình trường trọng lực toàn cầu phù hợp tốt nhất với số liệu đo GNSS-thủy chuẩn (E. Sinem Ince và nnk., 2019).

TT	Mô hình	N_{max}	Australia (201 điểm)	Brazil (1112 điểm)	Canada (2691 điểm)	Europe (1047 điểm)	Japan (816 điểm)	USA (6169 điểm)	Tổng (12036 điểm)
1	SGG-UGM-1	2159	0.217	0.446	0.130	0.121	0.076	0.245	0.235
2	GECO	2190	0.216	0.451	0.131	0.123	0.080	0.246	0.237
3	EIGEN-6C4	2190	0.212	0.446	0.126	0.121	0.079	0.247	0.236
4	EGM2008	2190	0.217	0.460	0.128	0.125	0.083	0.248	0.240



Hình 2. Độ chính xác của các mô hình trường trọng lực toàn cầu

Chúng tôi tiến hành so sánh 4 mô hình với 818 điểm GNSS-thủy chuẩn trên lãnh thổ Việt Nam. Kết quả thể hiện trên Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả so sánh 4 mô hình trường trọng lực toàn cầu với 818 điểm GNSS-thủy chuẩn

TT	Độ lệch (m)	SGG-UGM-1	EIGEN-6C4	GECO	EGM2008
1	Min	-0.202	+0.032	-0.035	-0.120
2	Max	+1.453	+1.453	+1.572	+1.688
3	Mean	+0.860	+0.901	+0.888	+0.815
4	Std. dev	± 0.198	± 0.193	± 0.199	± 0.292

Từ kết quả so sánh cho thấy: các mô hình SGG-UGM-1, EIGEN-6C4 và GECO rất phù hợp với số liệu đo GNSS-thủy chuẩn trên lãnh thổ Việt Nam, độ lệch chuẩn dưới 2dm. Mô hình EGM2008 có độ phù hợp kém hơn, độ lệch chuẩn dưới 3dm. Chúng ta có thể lựa chọn các mô hình SGG-UGM-1, EIGEN-6C4 và GECO trong giải quyết các bài toán trắc địa cao cấp ở Việt Nam.

3.2. Kết quả đánh giá độ chính xác của các mô hình dị thường trọng lực toàn cầu trên biển được xây dựng từ số liệu đo cao vệ tinh

Để đánh giá độ chính xác của các mô hình này, chúng tôi sử dụng 58.989 điểm đo trực tiếp vừa có dị thường trọng lực đo trực tiếp, vừa có dị thường trọng lực tính từ mô hình toàn cầu. Độ lệch và độ lệch chuẩn dị thường trọng lực được tính. Kết quả đánh giá 3 mô hình DTU10GRAV, DTU13GRAV, DTU15GRAV được thể hiện tóm tắt trên Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả đánh giá độ chính xác dị thường trọng lực từ các mô hình

STT	Mô hình	Độ lệch lớn nhất, (mGal)	Độ lệch nhỏ nhất, (mGal)	Độ lệch trung bình, (mGal)	Độ lệch chuẩn, (mGal)
1	DTU10GRAV	40,02	-44,17	2,98	$\pm 5,80$
2	DTU13GRAV	40,16	-44,13	2,94	$\pm 5,73$
3	DTU15GRAV	40,30	-43,99	3,18	$\pm 5,63$

Kết quả so sánh cho thấy rằng: các độ lệch có giá trị lớn thì tần suất xuất hiện ít, các độ lệch có giá trị nhỏ thì tần suất xuất hiện nhiều. Đối với mô hình DTU10GRAV, số điểm có độ lệch lớn hơn 25 mGal chỉ có 8 điểm, số điểm có độ lệch nhỏ hơn -25 mGal chỉ có 4 điểm. Tương ứng đối với mô hình DTU13GRAV là 8 điểm và 6 điểm, đối với mô hình DTU15GRAV là 8 điểm và 4 điểm. Các mô hình trên có độ chính xác tương đương nhau. Độ lệch chuẩn khác nhau không nhiều, dao động từ $\pm 5,63$ đến $\pm 5,80$ mGal. Có thể sử dụng các mô hình này trong giải quyết các bài toán trắc địa cao cấp trên Biển Đông.

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày các kết quả xây dựng mô hình trường trọng lực toàn cầu từ năm 1966 đến nay; kết quả xây dựng mô hình dị thường trọng lực toàn cầu từ số liệu đo cao vệ tinh và trình bày cách tính dị thường trọng lực, độ cao geoid của các điểm bất kỳ từ các mô hình trên.

Kết quả đánh giá các mô hình trường trọng lực toàn cầu cho thấy: các mô hình SGG-UGM-1, EIGEN-6C4 và GECO rất phù hợp với số liệu đo GNSS-thủy chuẩn trên lãnh thổ Việt Nam, độ lệch chuẩn nhỏ hơn 2dm. Mô hình EGM2008 có độ phù hợp kém hơn, độ lệch chuẩn dưới 3dm.

Kết quả đánh giá mô hình dị thường trọng lực trên Biển Đông cho thấy: các mô hình DTU10GRAV, DTU13GRAV, DTU15GRAV khá phù hợp với số liệu đo trọng lực trực tiếp. Độ lệch chuẩn tương ứng là $\pm 5,80$ mGal, $\pm 5,73$ mGal và $\pm 5,80$ mGal.

Tài liệu tham khảo

- Andersen Ole Baltazar, 2010. Marine Gravity and Geoid from Satellite Altimetry. *Geodetic Department, DTU - Space*, Juliane Maries Vej 30, DK - 2100, Denmark.
- Andersen Ole Baltazar, Per Knudsen, 2014. Global and arctic marine gravity field from recent satellite altimetry (DTU13). *76th EAGE Conference and Exhibition* <http://dx.doi.org/10.3997/2214-4609.20140897>.
- Andersen Ole Baltazar, Per Knudsen, Philippa A. M. Berry, 2010. The DNSC08GRA global marine gravity field from double retracked satellite altimetry. *Journal of Geodesy*, Volume 84, Issue 3, pp.191-199, DOI 10.1007/s00190-009-0355-9, Springer.
- Andersen Ole Baltazar, Per Knudsen, 2016. Deriving the DTU15 Global high resolution marine gravity field from satellite altimetry. *ESA Living Planet Symposium 2016* - Prague, Czech Republic.
- Bernhard Hofmann-Wellenhof and Helmut Moritz, 2006. *Physical Geodesy*, Springer, New York.
- E. Sinem Ince, Franz Barthelmes, Sven Reißland, Kirsten Elger, Christoph Förste, Frank Flechtner and Harald Schuh, 2019. ICGEM - 15 years of successful collection and distribution of global gravitational models, associated services, and future plans. *Earth Syst. Sci. Data*, 11, 647-674, 2019. <https://doi.org/10.5194/essd-11-647-2019>.
- NIMA, 2000. Department of Defense World Geodetic System 1984. National.
- Nguyễn Văn Sáng, 2020. Đánh giá độ chính xác của mô hình dị thường trọng lực toàn cầu xác định từ đo cao vệ tinh trên Biển Đông. *Tạp chí Công nghiệp mỏ* (số 01, 2/2020, tr 65-68). Hội khoa học và Công nghệ mỏ Việt Nam, Hà Nội. ISSN: 0868 - 7052.
- Nguyen Van Sang, Pham Van Tuyen, Nguyen Van Lam, Ole Baltazar Andersen, Rene Forsberg, Bui Tien Dieu, 2020. Marine Gravity Anomaly Mapping for the Gulf of Tonkin area (Vietnam) using Cryosat-2 and Saral/AltiKa satellite altimetry data. *Advances in Space Research*. ISSN: 0273-1177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.04.051>.
- Phạm Văn Tuyên, Nguyễn Văn Sáng, 2018. Kết quả xác định dị thường trọng lực bằng số liệu đo cao vệ tinh Cryosat-2 trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam. *Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa Chất* (tập 59, kỳ 2, tr 60 - 68), trường Đại học Mỏ - Địa Chất, Hà Nội. ISSN: 1859 - 1469.

ABSTRACT

Global gravity field research achievements and their applicability in Vietnam

Sang Van Nguyen¹, Tuyen Van Pham², Le Thanh Nguyen³, Manh Xuan Dinh⁴

¹ Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

² Tan Thang Cement Joint Stock Company, Vietnam

³ Military Technical Academy, Vietnam

⁴ Vietnam Institute of Geodesy and Cartography, Vietnam

The purpose of this paper is to evaluate research achievements of global gravity fields in the world and show their applicability in Vietnam. The paper presents the research results of building a global gravity field model from 1966 to present; Some models of global gravity anomalies at sea were built from satellite measurements; method of calculating elements of gravity field from models. These models are compared to live measurement data in Vietnam. From there, assess their accuracy. The evaluation results show that: EGM2008, GECO, EIGEN-6C4, SGG-UGM-1 are suitable models for Vietnam, the accuracy of the corresponding height anomalies is ± 0.292 m, ± 0.199 m, ± 0.193 m, ± 0.198 m; The models of DTU10, DTU13 and DTU15 marine gravity anomalies with the corresponding accuracy in Vietnam sea are: ± 5.80 mGal, ± 5.73 mGal and ± 5.63 mGal. These research results show that it is possible to apply the global gravitational field models (GGMs) and the marine gravitational anomalies models to Geodesy, Geophysics and Oceanography in Vietnam.

Keywords: Global gravity field; gravity anomalies; height anomalies.

KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG



ISBN 978-604762277-1



9 786047 622771