

XỬ LÝ SỐ LIỆU HỆ THỐNG TÍCH HỢP INS/GPS BẰNG CÁC THUẬT TOÁN ƯỚC LƯỢNG TRON

Đỗ Văn Dương

Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt

Bài báo trình bày các nội dung nghiên cứu về cơ sở lý thuyết của các thuật toán ước lượng tron được ứng dụng trong xử lý số liệu hệ thống tích hợp INS/GPS. Thực nghiệm thuật toán ước lượng tron với số liệu thu nhận từ hệ thống INS/GPS trong trường hợp ngắt tín hiệu GPS trong khoảng 30 giây và 60 giây. Kết quả xử lý số liệu hệ thống sau đó sẽ được so sánh với kết quả gốc đo GPS - RTK, từ đó phân tích và so sánh để đưa ra lựa chọn tốt nhất trong công tác xử lý số liệu tích hợp INS/GPS.

Từ khóa: INS (Hệ thống dẫn đường quán tính); GPS (Hệ thống vệ tinh định vị của Mỹ); GPS - RTK (GPS đo động thời gian thực).

Abstract

Processing INS/GPS integrated data using Smoothing algorithm

This paper presents smoothing algorithm theory used in data processing of INS/GPS integrated system. The algorithm was used to process data derived from experimental INS/GPS system in the case of data missing for 30 - 60 second. The results were then compared to GPS - RTK data to select appropriate algorithm for processing INS/GPS integrated data.

Keywords: INS (Inertial Navigation System); GPS (Global Positioning System); GPS - RTK (Global Positioning System - Real Time Kinematic)

1. Mở đầu

Phương pháp ước lượng tron được đề xuất bởi [1] cho các ứng dụng xử lý sau số liệu INS/GPS. Kỹ thuật ước lượng tron được chia thành 3 nhóm: cố định điểm (fixed-point), cố định khoảng điểm (fixed-lag), và cố định khoảng thời gian nội bộ (fixed-interval). Trong đó, phương pháp cố định khoảng thời gian nội bộ (fixed-interval) được sử dụng phổ biến nhất trong xử lý số liệu tích hợp INS/GPS [7].

Có hai thuật toán hay được dùng trong phương pháp ước lượng tron cố định khoảng thời gian nội bộ (fixed-interval), đó là: (1) phép ước lượng tron hai chiều (TFS); và (2) phép ước lượng tron Rauch-Tung-Striebel (RTS).

2. Nội dung nghiên cứu

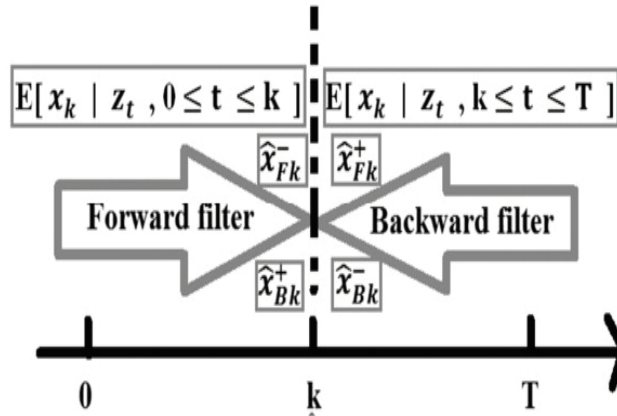
2.1. Ước lượng tron hai chiều (TFS)

Ước lượng tron hai chiều đơn giản là sự kết hợp của chiều thuận (Fk) và chiều đảo (Bk) của bài toán lọc Kalman. Như mô tả trong Hình 1, Fk cho lời giải ước lượng từ trước đến thời điểm t_k , và Bk cho lời giải ước lượng từ sau trở về thời điểm t_k . Lời giải của phép ước lượng hai chiều được tính là trị trung bình trọng số của Fk và Bk như trong các công thức (1) và (2).

$$\hat{x}_{Sk} = P_{Sk}(P_{Fk}^{-1}\hat{x}_{Fk} + P_{Bk}^{-1}\hat{x}_{Bk}) \quad (1)$$

$$P_{Sk} = (P_{Fk}^{-1} + P_{Bk}^{-1})^{-1} \quad (2)$$

Và theo sơ đồ biểu diễn dưới đây



Hình 1: Sơ đồ của phép ước lượng trơn TFS

Trong đó: $\hat{x}_{Sk}$ là giá trị ước lượng trung bình; $\hat{x}_{Fk}$ và $\hat{x}_{Bk}$ là giá trị ước lượng chiều đi và chiều về tại thời điểm t_k .

P_{Sk} là trọng số trung bình; P_{Fk} và P_{Bk} là trọng số theo chiều đi và chiều về tại thời điểm t_k của giá trị ước lượng.

2.2. Phép ước lượng trơn Rauch-Tung-Striebel (RTS)

Mô hình toán học của phép ước lượng trơn RTS được xây dựng dựa trên mô hình sai số của hệ thống INS theo [6] có dạng như sau:

$$x_k = \Phi_{k-1;k} x_{k-1} + w_k \quad (3)$$

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (4)$$

Trong đó:

$x = [\delta r \ \delta v \ \delta \psi]^T_{9 \times 1}$ là véc tơ trạng thái, nó bao gồm các thành phần: sai số vị trí, vận tốc và hướng xoay, các sai số hệ thống của cảm biến gia tốc và con quay hồi chuyển

$\Phi_{k-1;k}$ là ma trận tính chuyển trạng thái từ thời điểm $k-1$ đến k ,

w_k là nhiễu của hệ thống.

z_k là véc tơ trị đo tại thời điểm k

H_k là ma trận hệ số biểu diễn mối quan hệ giữa trị đo hỗ trợ và véc tơ trạng thái,

v_k là nhiễu của trị đo hỗ trợ tại thời điểm k .

w_k và v_k là các véc tơ độc lập, tuân theo luật phân bố Gauss, với kỳ vọng bằng không và các phương sai như sau:

$$\text{cov}(w_j, w_k) = Q_k \delta_{jk} \quad (5)$$

$$\text{cov}(v_j, v_k) = R_k \delta_{jk} \quad (6)$$

$$\text{cov}(w_j, v_k) = 0 \quad (7)$$

Theo [8] phép ước lượng trơn RTS smoother đưa ra phương pháp ước lượng tối ưu dựa trên lý thuyết tìm xác suất cực đại của véc tơ trạng thái:

$$\max L(x_k, x_{k+1} | z_k) = \max \log P(x_k, x_{k+1} | z_k) \quad (8)$$

Trong đó: $L(x_k, x_{k+1} | z_k)$ là xác suất cực đại của x_k, x_{k+1} cho bởi z_k

Để đạt được tiêu chuẩn (8), các bước để thực hiện việc tính toán bao gồm hai quá trình: ước lượng thuận và ước lượng đảo.

2.2.1. Ước lượng thuận

Ước lượng thuận thực tế là sử dụng phép lọc Kalman tiêu chuẩn (KF). Việc ước lượng được bắt đầu từ bản ghi dữ liệu đầu tiên và tuần tự cho đến bản ghi cuối cùng.

Dựa vào mô hình toán học hệ thống trong công thức (1), Véc tơ trạng thái và ma trận hiệp phương sai tương ứng ở thời điểm k được ước tính dựa trên các tham số đó ở thời điểm $(k-1)$ như sau:

$$\hat{x}_k^- = \Phi_{k-1;k} \hat{x}_{k-1} \quad (9)$$

$$P_k^- = \Phi_{k-1;k} P_{k-1} \Phi_{k-1;k}^T + Q_k \quad (10)$$

Khi có các trị đo hỗ trợ, véc tơ trạng thái và ma trận hiệp phương sai được cập nhật dựa theo công thức sau:

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H\hat{x}_k^-) \quad (12)$$

$$P_k = P_k^- - K_k H_k P_k^- \quad (13)$$

Trong đó K_k được tính như sau:

$$K_k = P_k^- H_k^T [H_k P_k^- H_k^T + R_k]^{-1} \quad (14)$$

Ở đây: $\hat{x}_{k-1}, P_{k-1}, \hat{x}_k^-, P_k^-, \hat{x}_k, P_k$ lần lượt là véc tơ trạng thái và ma trận hiệp phương sai tại thời điểm $k-1$, và được cập nhật lại tại thời điểm k

2.2.2. Ước lượng đảo

Trong ước lượng đảo, việc ước lượng được bắt đầu từ bản ghi dữ liệu cuối cùng và tuần tự cho đến bản ghi đầu tiên, trong đó sử dụng những lời giải đã được tính toán từ phép ước lượng thuận.

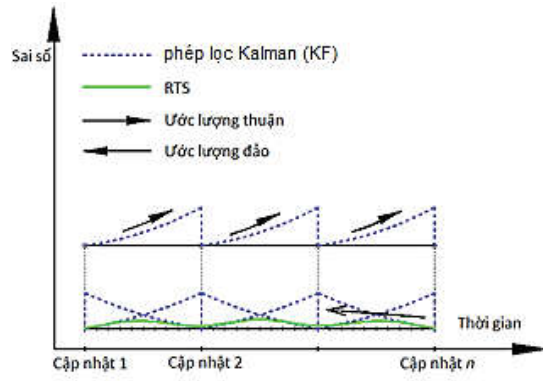
Theo [8], véc tơ trạng thái và ma trận hiệp phương sai được xác định theo các công thức sau:

$$\hat{x}_{k|N} = \hat{x}_{k/k} + C_k [\hat{x}_{k+1|N} - \Phi_{k+1;k} \hat{x}_{k/k}] \quad (15)$$

$$C_k = P_{k/k} \Phi_{k+1;k}^T P_{k+1/k}^{-1} \quad (16)$$

Trong đó: $\hat{x}_{k+1}, P_{k+1|k}$ là véc tơ trạng thái và ma trận hiệp phương sai tại thời điểm $k+1$ với các trị đo đến N ($k \leq N$); $\hat{x}_{k/k}$ và $P_{k/k}$ là véc tơ trạng thái và ma trận hiệp phương sai được ước lượng bởi KF tại k ; $\Phi_{k+1;k}$ là ma trận tính chuyển trạng thái từ thời điểm k đến $k+1$,

Sơ đồ của phép ước lượng trơn RTS có thể được mô tả bởi Hình 2



Hình 2: Sơ đồ của phép ước lượng trơn RTS

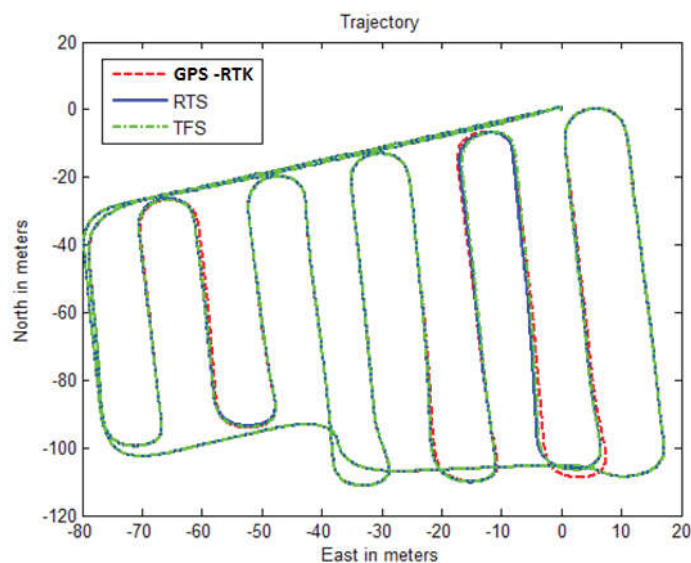
3. Thực nghiệm

Dữ liệu để thực hiện cho các thuật toán trên được tiến hành thu thập tại khu vực Khu đô thị mới Xuân Phương, Quận Nam Từ Liêm, TP. Hà Nội (Hình 3a). Thiết bị được tác giả sử dụng cho công tác thu thập dữ liệu là hệ thống tích hợp INS/GPS như Hình 3b.

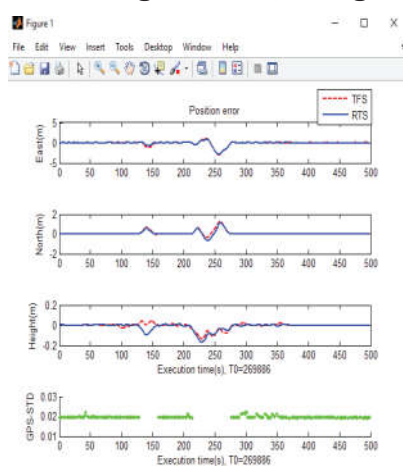


Hình 3: (a) Khu vực thử nghiệm (khoanh đỏ) và (b) hệ thống INS/GPS

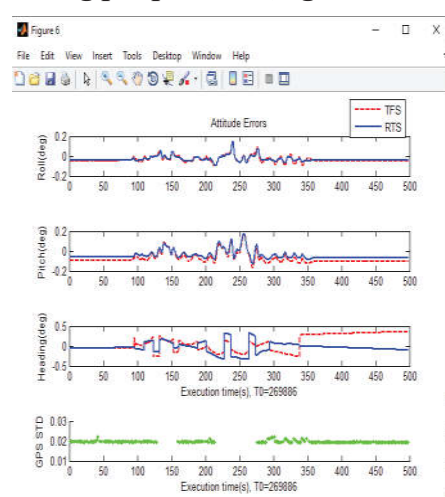
Dưới đây là kết quả xử lý số liệu tích hợp INS/GPS bằng thuật toán ước lượng trơn RTS và TFS so với dữ liệu đo GPS - RTK.



Hình 4: Đường đi của hệ thống khi sử dụng 2 phương pháp ước lượng RTS và TFS



Hình 5: Kết quả so sai số vị trí của 2 phương pháp RTS và TFS

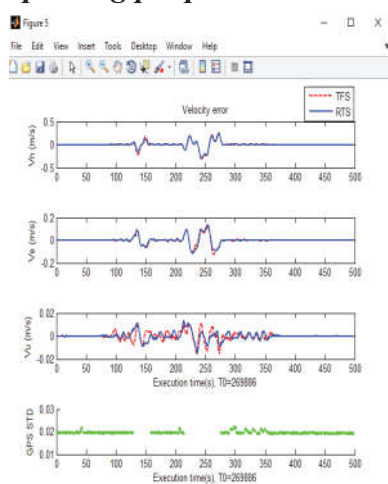


Hình 7: Kết quả so sai số hướng của 2 phương pháp RTS và TFS

Và kết quả đánh giá độ chính xác về vị trí, vận tốc và phương hướng giữa TFS và RTS thể hiện ở Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. So sánh độ chính xác giữa TFS và RTS

RMSE	TFS	RTS
East (m)	0.543	0.499
North (m)	0.230	0.215
Up (m)	0.031	0.038
3D (m)	0.590	0.545
Mức cải thiện(%)	-	8
Vx (m/s)	0.065	0.059
Vy (m/s)	0.031	0.032



Hình 6: Kết quả so sai số vận tốc của 2 phương pháp RTS và TFS

Vz (m/s)	0.003	0.003
3D (m/s)	0.072	0.067
Mức cải thiện(%)	-	7
Roll (°)	0.045	0.043
Pitch (°)	0.091	0.061
Heading (°)	0.211	0.168
3D (°)	0.234	0.184
Mức cải thiện(%)	-	21

Từ kết quả phân tích so sánh giữa phương pháp ước lượng hai chiều TFS và ước lượng tròn RTS ta thấy rằng giải pháp RTS cho độ chính xác tốt hơn, cả về vị trí, vận tốc và phương hướng so với phương pháp TFS.

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày việc thu thập dữ liệu và tính toán thực nghiệm để đánh giá và so sánh tính hiệu quả của các phương pháp ước lượng tròn đối với hệ thống định vị - định hướng tích hợp INS/GPS. Dữ liệu thu thập được đã được xử lý bằng phương pháp ước lượng hai chiều (TFS) và phương pháp ước lượng tròn RTS và được so sánh với dữ liệu chuẩn đo GPS - RTK.

Các kết quả thực nghiệm cho thấy rằng giải pháp RTS cho độ chính xác tốt hơn giải pháp TFS, cả về độ chính xác vị trí, vận tốc và phương hướng. Lý giải cho vấn đề ở trên là do thuật toán của RTS dựa trên lý thuyết tìm xác suất cực đại của véc tơ trạng thái với các thành phần sai số của hệ thống, trong một khoảng thời gian $(k, k+1)$, bài toán không tính trị trung bình trọng số chiều thuận (F_k) và chiều đảo (B_k) như giải pháp TFS áp dụng. Chính vì vậy xử lý số liệu INS/GPS bằng phương pháp RTS cho độ chính xác vị trí, vận tốc và hướng cao hơn, tối ưu hơn phương pháp TFS.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Gelb, A. (ed.) (1974). *Applied Optimal Estimation*. MIT Press, Cambridge, Mass.
- [2]. Hofmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger J. Collins (1997). *GPS - Theory and Practice*. Springer-Verlag.
- [3]. Parkinson, Bradford W. and James J. Spilker (1996). *Global Positioning System: Theory & Applications*. AIAA .
- [4]. Rogers, Robert M (2007). *Applied Mathematics in Integrated Navigation Systems*. American Institute of Aeronautics and Astronautics; Third edition.
- [5]. Seeber, G (1993). *Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications*, de Gruyter, Berlin.
- [6]. Kalman, R.E (1960). *A new research approach to Linear Filtering and Prediction Problem*. J. Basic Eng, 82, 35-45.
- [7]. Liu, H.; Nassar, S.; El-Sheimy, N (2010). *Two-Filter smoothing for accurate INS/GPS Land-Vehicle Navigation in Urban Center*. IEEE Trans. Vehicular Technol, 59, 4256-4276.
- [8]. Rauch, H.; Tung, F.; Striebel, C (1965). *Maximum likelihood estimates of linear dynamic systems*. AIAA J, 3, 1445-1450.
- [9]. Duong Thanh Trung (2013). *Integration strategies and estimation algorithms to improve the navigation accuracy of landbased mobile mapping systems*. Doctor of Philosophy. National Cheng Kung University Department of Geomatics.
- [10]. Yuan Xu, Xiyuan Chen and Qinghua Li (2013). *Autonomous Integrated Navigation for Indoor Robots Utilizing On-Line Iterated Extended Rauch-Tung-Striebel Smoothing*. Sensors 2013, 13, 15937-15953; doi:10.3390/s131215937.

BBT nhận bài: 23/5/2018; Phản biện xong: 11/6/2018