**ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**

**Nghiên cứu phát triển một số giải pháp tăng độ chính xác cho hệ thống định vị toàn cầu**

**LÊ THÀNH LUÂN**

luan.lt203494@sis.hust.edu.vn

**Ngành Kỹ thuật điện**

**Chuyên ngành Hệ thống điện**

|  |  |
| --- | --- |
| **Giảng viên hướng dẫn:** | TS. Hoàng Phương Chi  Chữ ký của GVHD |
| **KHOA:** | Abc abc abc abc abc abc abc abc abc |
| **HÀ NỘI, 6/2023** | |

**ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP**

Biểu mẫu của Đề tài/khóa luận tốt nghiệp/thực tập theo qui định của Trường, tuy nhiên cần đảm bảo giáo viên giao đề tài ký và ghi rõ họ và tên.

Trường hợp có 2 giáo viên hướng dẫn thì sẽ cùng ký tên.

Giáo viên hướng dẫn

Ký và ghi rõ họ tên

**Lời cảm ơn**

Đây là mục tùy chọn, nên viết phần cảm ơn ngắn gọn, tránh dùng các từ sáo rỗng, giới hạn trong khoảng 100-150 từ.

**Tóm tắt nội dung đồ án**

Đồ án này tập trung vào việc cải thiện độ chính xác của định vị GNSS bằng cách sử dụng bộ lọc Kalman sau bước ước lượng bình phương tối thiểu (WLS). Vấn đề cần thực hiện là nâng cao độ chính xác của vị trí và vận tốc trong hệ tọa độ ECEF từ dữ liệu GNSS. Phương pháp thực hiện bao gồm: sử dụng WLS để ước lượng ban đầu, sau đó áp dụng bộ lọc Kalman để tinh chỉnh các giá trị này. Các công cụ sử dụng gồm ngôn ngữ lập trình Python và dữ liệu từ tệp của Google GSDC2023. Kết quả của đồ án cho thấy bộ lọc Kalman giúp giảm thiểu sai số và cung cấp vị trí ước lượng chính xác hơn so với phương pháp WLS đơn thuần. Đồ án này có tính thực tế cao, có thể ứng dụng trong các hệ thống định vị và dẫn đường. Định hướng phát triển mở rộng có thể bao gồm việc tích hợp thêm các cảm biến khác như IMU để cải thiện thêm độ chính xác. Qua đồ án, em đã nắm vững kiến thức về lý thuyết và ứng dụng của bộ lọc Kalman, lý thuyết xác suất thống kê, ma trận, kỹ năng lập trình với Python, cùng với khả năng phân tích và xử lý dữ liệu GNSS.

Sinh viên thực hiện

Ký và ghi rõ họ tên

**MỤC LỤC**

[CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU 1](#_Toc170769451)

[1.1 Lý do chọn đề tài 1](#_Toc170769452)

[1.2 Mục tiêu nghiên cứu 1](#_Toc170769453)

[1.3 Tổng quan các phần 1](#_Toc170769454)

[CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT 2](#_Toc170769455)

[2.1 Tổng quan về GPS 2](#_Toc170769456)

[2.2 Hệ tọa độ ECEF (Earth-Centered, Earth-Fixed) 2](#_Toc170769457)

[2.2.1 Các trục tọa độ của ECEF 2](#_Toc170769458)

[2.2.2 Ứng dụng của hệ tọa độ ECEF 2](#_Toc170769459)

[2.3 Tổng quan Kalman Filter 2](#_Toc170769460)

[2.3.1 Giới thiệu 2](#_Toc170769461)

[2.3.2 Kiến thức 3](#_Toc170769462)

[2.4 Các khái niệm cơ bản về xác suất 3](#_Toc170769463)

[2.4.1 Biến ngẫu nhiên 3](#_Toc170769464)

[2.4.2 Kì vọng 3](#_Toc170769465)

[2.4.3 Phương sai và độ lệch chuẩn 4](#_Toc170769466)

[2.4.4 Phân phối chuẩn 4](#_Toc170769467)

[2.4.5 Hiệp phương sai 5](#_Toc170769468)

[2.4.6 Ma trận hiệp phương sai 5](#_Toc170769469)

[2.5 Cấu trúc bộ lọc Kalman 5](#_Toc170769470)

[2.5.1 Bước dự đoán ( Prediction step): 6](#_Toc170769471)

[2.5.2 Bước cập nhật (Update step): 8](#_Toc170769472)

[2.6 Khoảng cách Mahalanobis 9](#_Toc170769473)

[CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ VÀ TRIỂN KHAI HỆ THỐNG 11](#_Toc170769474)

[3.1 Sơ đồ khối 11](#_Toc170769475)

[3.2 Sơ đồ luồng dữ liệu 11](#_Toc170769476)

[3.3 Sơ đồ thuật toán 12](#_Toc170769477)

[3.4 Triển khai hệ thống 14](#_Toc170769478)

[CHƯƠNG 4. TRIỂN KHAI THỰC NGHIỆM 15](#_Toc170769479)

[4.1 Mô tả thực nghiệm 15](#_Toc170769480)

[4.2 Phương pháp đánh giá thực nghiệm 15](#_Toc170769481)

[4.3 Kết quả thực nghiệm 16](#_Toc170769482)

[CHƯƠNG 5. KẾT QUẢ 16](#_Toc170769483)

[CHƯƠNG 6. KẾT LUẬN 16](#_Toc170769484)

[CHƯƠNG 7. KẾT LUẬN 17](#_Toc170769485)

[7.1 Kết luận 17](#_Toc170769486)

[7.2 Hướng phát triển của đồ án trong tương lai 17](#_Toc170769487)

[TÀI LIỆU THAM KHẢO 18](#_Toc170769488)

[PHỤ LỤC 19](#_Toc170769489)

**DANH MỤC HÌNH VẼ**

[Hình 2.1 Mô tả dự đoán và cập nhật điển hình của bộ lọc Kalman 6](#_Toc170769439)

[Hình 2.2 Sơ đồ hoàn chỉnh về hoạt động của Bộ lọc Kalman. 6](#_Toc170769440)

**DANH MỤC HÌNH VẼ**

**No table of figures entries found.**

# GIỚI THIỆU

## Lý do chọn đề tài

## Mục tiêu nghiên cứu

## Tổng quan các phần

Chương 1. Giới thiệu

Chương 2. Cơ sở lý thuyết

Chương 3. Phương pháp nghiên cứu và triển khai

Chương 4. Kết quả và thảo luận

Chương 5. Kết luận và hướng phát triển

Tài liệu tham khảo

Phụ lục

# CƠ SỞ LÝ THUYẾT

## Tổng quan về GPS

## Hệ tọa độ ECEF (Earth-Centered, Earth-Fixed)

Hệ tọa độ Earth-Centered, Earth-Fixed (ECEF) là một hệ tọa độ không gian ba chiều được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng liên quan đến định vị và dẫn đường. Hệ tọa độ ECEF có gốc tọa độ tại tâm Trái Đất và các trục tọa độ quay cùng với Trái Đất.

### Các trục tọa độ của ECEF

* **Trục X**: Trục X của hệ tọa độ ECEF nằm trên mặt phẳng xích đạo và hướng về phía kinh tuyến gốc (kinh độ 0 độ).
* **Trục Y**: Trục Y của hệ tọa độ ECEF nằm trên mặt phẳng xích đạo và vuông góc với trục X, hướng về phía đông (kinh độ 90 độ).
* **Trục Z**: Trục Z của hệ tọa độ ECEF vuông góc với mặt phẳng xích đạo và hướng về phía Bắc cực.

### Ứng dụng của hệ tọa độ ECEF

* **Định vị toàn cầu (GPS)**: Hệ tọa độ ECEF được sử dụng trong các hệ thống định vị toàn cầu để xác định vị trí của các đối tượng trên bề mặt Trái Đất.
* **Hàng không và hàng hải**: ECEF giúp xác định và theo dõi vị trí của máy bay và tàu thủy một cách chính xác.
* **Khảo sát địa lý và bản đồ**: Sử dụng hệ tọa độ ECEF để tạo bản đồ và khảo sát địa hình với độ chính xác cao.

## Tổng quan Kalman Filter

### Giới thiệu

Hầu hết các hệ thống hiện đại được trang bị nhiều cảm biến cung cấp ước tính các biến ẩn (chưa biết) dựa trên một loạt các phép đo. Ví dụ: máy thu GPS cung cấp ước tính vị trí và vận tốc, trong đó vị trí và vận tốc là các biến ẩn và chênh lệch thời gian của tín hiệu đến của các vệ tinh là phép đo.

Một trong những thách thức lớn nhất của hệ thống theo dõi và kiểm soát là cung cấp đúng và chính xác các dự đoán của biến ẩn khi không chắc chắn dữ liệu. Trong máy thu GPS, độ không đảm bảo của máy phụ thuộc vào nhiều yếu tố bên ngoài như nhiễu nhiệt, hiệu ứng khí quyển, sự thay đổi nhỏ của vị trí vệ tinh, độ chính xác của đồng hồ máy thu và nhiều yếu tố khác.

Kalman Filter là một trong những thuật toán ước lượng quan trọng và phổ biến nhất. Bộ lọc Kalman tạo ra các ước tính về các biến ẩn dựa trên các phép đo không chính xác và không chắc chắn. Ngoài ra, Kalman Filter còn cung cấp dự đoán về tương lai của trạng thái của hệ thống dựa trên các dự báo trong quá khứ.

Bộ lọc này được đặt tên theo Rudolf E. Kálmán (19 tháng 5, 1930 – 2 tháng 7, 2016). Năm 1960, Kálmán xuất bản bài báo nổi tiếng của mình mô tả một giải pháp đệ quy (recursive) cho vấn đề lọc dữ liệu tuyến tính rời rạc.

Ngày nay, Kalman Filter được sử dụng trong theo dõi mục tiêu (Radar), hệ thống định vị, hệ thống điều khiển, đồ họa máy tính và nhiều hơn nữa.

Bộ lọc Kalman ( Kalman Filter) có nhiều loại như: LKF (Linear Kalman Filter), Non-LKF (Non-Linear Kalman Filter), EKF (Extended Kalman Filter), ... Nhưng trong đồ án này bộ lọc Kalman tuyến tính(LKF) được lựa chọn làm giải pháp cho ứng dụng định vị vì có hiệu suất tối ưu về sai số ước tính bình phương trung bình tối thiểu (theo một số giả định).

### Kiến thức

Để có thể hiểu về Kalman Fitler trong đồ án này, chúng em sẽ trình bày:

* Các khái niệm cơ bản về xác suất
* Cấu trúc của bộ lọc Kalman mà chúng em sẽ áp dụng

## Các khái niệm cơ bản về xác suất

Trước khi đi vào lý thuyết về Kalman Filter chúng ta cần nhắc lại các kiến thức cơ bản về xác suất.

### Biến ngẫu nhiên

Một biến ngẫu nhiên mô tả trạng thái ẩn của hệ thống. Một biến ngẫu nhiên là một tập hợp các giá trị có thể có từ một thí nghiệm ngẫu nhiên. Biến ngẫu nhiên có thể liên tục hoặc rời rạc [1] [2]:

* Biến ngẫu nhiên được gọi là rời rạc, nếu tập giá trị của nó là một tập hữu hạn hoặc vô hạn đếm được các phần tử, ví dụ như số lượng sinh viên truy cập trang web của trường hoặc số lượng sinh viên trong lớp,...
* Biến ngẫu nhiên được gọi là liên tục, nếu tập giá trị của nó lấp kín một khoảng trên trục số (số phần tử của tập giá trị là vô hạn không đếm được theo lý thuyết số). Tất cả các phép đo đều là biến ngẫu nhiên liên tục. Ví dụ: đo huyết áp của một bệnh nhân, đo độ dài của chi tiết máy, đo tuổi thọ của một loại bóng đèn điện tử,...

### Kì vọng

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | PT. 2.1 |

Kì vọng là giá trị trung bình của tập biến ngẫu nhiên X [2].

Tính chất:

(c là hằng số);

;

### Phương sai và độ lệch chuẩn

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | PT. 2.2 |

Phương sai là trung bình của bình phương sai số giữa mỗi lần đo hay là trung bình bình phương độ lệch [3]. Phương sai đặc trưng cho độ phân tán của biến ngẫu nhiên quanh giá trị trung bình.

Tính chất:

(c là hằng số)

Để ý rằng phương sai luôn là một số không âm. Từ định nghĩa ta cũng thấy rằng về mặt vật lý không cùng thứ nguyên (cùng đơn vị đo) với X, vì vậy ta đưa vào khái niệm độ lệch chuẩn:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | PT. 2.3 |

Độ lệch chuẩn là căn bậc hai của phương sai , sử dụng độ lệch chuẩn vì cùng đơn vị với giá trị của biến X.

### Phân phối chuẩn

Đây là phân phối liên tục quan trọng và có ứng dụng rộng rãi nhất, còn có tên gọi là phân phối Gauss:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | PT. 2.4 |

Có thể thấy hai tham số cũng là hai số đặc trưng quan trọng , .

### Hiệp phương sai

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | PT. 2.5 |

Cho biết mức độ thay đổi ,phụ thuộc của hai biến ngẫu nhiên, nếu dương thì hai biến cùng tăng, nếu hai biến âm thì hai biến đó sẽ nghịch biến, và nếu bằng 0 thì hai biến đó không liên quan tới nhau.

Ta có công thức sau khi thực hiện các biến đổi:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | PT. 2.6 |

Đối với hiệp phương sai của biến ngẫu nhiên nhiều chiều thì giá trị của nó chính là phương sai.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | PT. 2.7 |

### Ma trận hiệp phương sai

Ma trận hiệp phương sai là ma trận vuông gồm tập hợp các hiệp phương sai của biến ngẫu nhiên X = nhiều chiều để cho thấy mức độ tương quan và phụ thuộc giữa các biến.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | PT. 2.8 |

Đường chéo chính là các phần tử phương sai và các giá trị còn lại đối xứng qua đường chéo chính.

Ma trận hiệp phương sai được biểu diễn dưới dạng sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | PT. 2.9 |

## Cấu trúc bộ lọc Kalman

*Kí hiệu được sử dụng chung:*

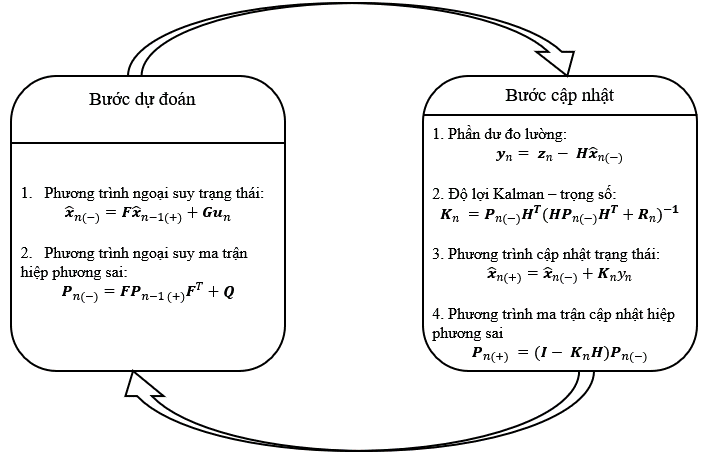
* Chữ thường, in đậm đề cập tới vector:
* Chữ in hoa, in đậm đề cập tới ma trận:
* Chữ thường, không in đậm là phần tử trong vector:
* Chữ in hoa, không in đậm là những phần tử trong ma trận:

Cấu trúc của một bộ lọc Kalman gồm có 2 phần tham khảo [1] mô tả các bước dự đoán và cập nhật.

A diagram of a graph

Description automatically generated

Hình 2.1 Mô tả dự đoán và cập nhật điển hình của bộ lọc Kalman



Hình 2.2 Sơ đồ hoàn chỉnh về hoạt động của Bộ lọc Kalman.

### Bước dự đoán ( Prediction step):

#### Phương trình ngoại suy trạng thái

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | PT. 2.10 |

|  |  |
| --- | --- |
| Trong đó: |  |
| : | Vecto trạng thái được ước tính tại thời điểm n(-) |
| : | Vecto trạng thái ước tính tại thời điểm n-1 (+) (dùng để ước tính cho thời điểm ) |
| : | Vecto đầu vào điều khiển |
| : | Ma trận chuyển trạng thái |
| : | Ma trận điều khiển |

Trong đồ án này phương trình được triển khai từ một mô hình tuyến tính chuyển động có mối quan hệ giữa vị trí(khoảng cách) và vận tốc của hệ chất điểm [4]:

Từ đó có thể rút ra các thành phần tương ứng sau theo lý thuyết ma trận [5] và phương trình PT. 2.10:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |

*Chú ý:* trong báo cáo này = 1: khoảng thời gian để đo được hay lấy mẫu có giá trị bằng 1

#### Phương trình ngoại suy hiệp phương sai

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | PT. 2.11 |

|  |  |
| --- | --- |
| Trong đó: |  |
| : | Ma trận hiệp phương sai của trạng thái ước tính tại thời điểm |
| : | Ma trận hiệp phương sai của trạng thái ước tính tại thời điểm (dùng để ước tính cho thời điểm ) |
| : | Ma trận chuyển trạng thái |
| : | Ma trận hiệp phương sai nhiễu quá trình |
| : | Chuyển vị của ma trận chuyển trạng thái |

Ma trận P có thể được xem là thước đo mức độ chính xác của các ước tính so với hệ thống thực. Ma trận Q sẽ là ma trận hiệp phương sai của vận tốc được đưa vào.

### Bước cập nhật (Update step):

#### Phương trình phần dư đo lường

Phần dư đo lường cho biết các phép đo khớp với mô hình đo lường tốt như thế nào, tức là các phép đo thực tế khác với các phép đo dự đoán như thế nào.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | PT. 2.12 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Trong đó: | |  | |
| **:** | | Veco nhiễu ngẫu nhiên(phần dư đo lường) tại thời điểm n | |
| **:** | | Vecto đo lường chứa giá trị đo lường thực tế tại thời điểm n | |
| **:** | | Ma trận đo lường, | |
| : | | Vecto trạng thái được ước tính tại thời điểm n(-) của bước dự đoán | |

Ma trận đo lường H ở đây có thể dùng để làm tỉ lệ (scaling), lựa chọn trạng thái (state selection) và kết hợp các trạng thái (combination of states). Ở đây vì sử dụng để quan sát các giá trị x,y,z nên ma trận H sẽ đóng vai trò lựa chọn trạng thái như ma trận đơn vị (xem lại ma trận đơn vị ở đây [5]).

là một dấu hiệu cho thấy mô hình đã dự đoán các trạng thái thực tốt như thế nào. Ví dụ, nếu sự khác biệt này bằng 0, điều đó có nghĩa là các phép đo bằng với các phép đo dự đoán, do đó ước tính tiên nghiệm được giả định là ước tính tốt nhất của hệ thống thực.

#### Phương trình độ lợi Kalman – trọng số (Kalman Gain):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | PT. 2.13 |

|  |  |
| --- | --- |
| Trong đó: |  |
| : | Độ lợi Kalman (Kalman Gain) |
| : | Ma trận hiệp phương sai ở phần dự đoán |
| : | Ma trận đo lường |
| : | Ma trận hiệp phương sai nhiễu đo lường |
| : | Độ lợi Kalman (Kalman Gain) |

Độ lợi Kalman chỉ đơn giản là cân nhắc tác động từ mô hình so với các phép đo. Ảnh hưởng của nó sẽ được thấy rõ trong PT. 2.14

#### Phương trình cập nhật trạng thái

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | PT. 2.14 |

|  |  |
| --- | --- |
| Trong đó: |  |
| : | Vecto trạng thái ước tính(đầu ra hệ thống) |
| : | Vecto trạng thái ước tính ở phần dự đoán |
| : | Độ lợi Kalman (Kalman Gain) |
| **:** | Vecto nhiễu ngẫu nhiên(phần dư đo lường) |

Nếu độ lợi bằng không, điều đó có nghĩa là chỉ có mô hình được tin cậy và khi độ lợi được tăng lên, nó có thể được coi là sự tin tưởng hơn vào các phép đo .

#### Phương trình ma trận cập nhật hiệp phương sai

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | PT. 2.15 |

|  |  |
| --- | --- |
| Trong đó: |  |
| : | Ma trận hiệp phương sai ước tính của trạng thái hiện tại n(+). |
| : | Ma trận hiệp phương sai ước tính ở phần dự đoán |
| **:** | Ma trận đo lường |
| **:** | Ma trận đơn vị |
| : | Độ lợi Kalman (Kalman Gain) |

## Khoảng cách Mahalanobis

Công thức được tham khảo từ [6]:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | PT. 2.16 |

Tính khoảng cách từ một điểm đến tâm (μ) được xác định bởi các thuộc tính liên quan với ma trận hiệp phương sai (C), là ma trận ứng với .

Ở báo cáo này các tọa độ x,y,z theo hệ tọa độ ECEF sẽ được sử dụng tính toán khoảng cách Mahalanobis để loại bỏ các điểm bất thường. Khoảng cách Mahalanobis được áp dụng cho công thức PT. 2.12 trong bước cập nhật và ma trận P công thức PT. 2.11 trong bước dự đoán của 2.5.2 Kalman Filter. Ta có công thức khoảng cách Mahalanobis với từng lần i như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | PT. 2.17 |

|  |  |
| --- | --- |
| Trong đó: |  |
| : | Khoảng cách Mahalanobis tại thời điểm n |
| : | Phần dư đo lường PT. 2.12 | |
| : | Chuyển vị của phần dư đo lường |
| : | Ma trận hiệp phương sai của tại mỗi thời điểm n |
|  | |

# THIẾT KẾ VÀ TRIỂN KHAI HỆ THỐNG

## Sơ đồ khối

A diagram of a flowchart

Description automatically generated

Hình 3.1 Sơ đồ khối tổng quan Kalman Filter

Đầu vào của khối Kalman Filter được lấy từ đầu ra của khối WLS trước đó gồm các giá trị tọa độ x,y,z ecef (x\_wls), các giá trị vận tốc vx, vy, vz ecef (v\_wls), các ma trận hiệp phương sai của tọa độ cov\_x và các ma trận hiệp phương sai cov\_v.

Đầu ra của khối Kalman Filter sẽ là một tập dữ liệu tọa độ x,y,z (ecef) đã được ước tính .

## Sơ đồ luồng dữ liệu

Hình 3.3 Sơ đồ luồng dữ liệu ước tính tọa độ của Kalman Filter

## Sơ đồ thuật toán

A diagram of a computer program

Description automatically generated with medium confidence

Hình 3.4 Mô tả thiết kế thuật toán class Kalman Filter

Sơ đồ thiết kế của class Kalman Filter gồm ba hàm chính: predict, update, và kalman\_filter. Các hàm này được sử dụng để thực hiện quá trình lọc Kalman, bao gồm dự đoán và cập nhật trạng thái của hệ thống dựa trên các quan sát và dữ liệu đo đạc. Phần dưới các hàm trong class Kalman Filter sẽ được trình bày rõ hơn.

Hình 3.5 Hàm predict (Bước dự đoán)

Hình 3.6 Hàm update (Bước cập nhật)

Hình 3.7 Hàm kalman\_filter

## Triển khai hệ thống

1. **Chuẩn bị dữ liệu:**
   * Đọc dữ liệu từ các tệp CSV.
   * Tiền xử lý dữ liệu: loại bỏ các tín hiệu vệ tinh không đáng tin cậy, tính toán trọng số cho các đo đạc.
   * Tính toán tọa độ cho tọa độ ECEF (Earth-Centered Earth-Fixed).
2. **Áp dụng bộ lọc Kalman:**
   * Khởi tạo các biến trạng thái và ma trận hiệp phương sai.
   * Thực hiện bước dự đoán và cập nhật liên tục dựa trên các đo đạc từ dữ liệu.
3. **Loại bỏ giá trị ngoại lai:**
   * Tính khoảng cách Mahalanobis cho các đo đạc.
   * Loại bỏ các giá trị có khoảng cách Mahalanobis lớn hơn ngưỡng đã định.

# TRIỂN KHAI THỰC NGHIỆM

## Mô tả thực nghiệm

**Mục tiêu:** Triển khai và kiểm chứng hiệu quả của bộ lọc Kalman trong việc cải thiện độ chính xác định vị GNSS so với các phương pháp khác.

**Phương pháp:**

* Áp dụng bộ lọc Kalman lên dữ liệu vị trí và vận tốc đã được xử lý từ bước WLS (Weighted Least Squares).
* Sử dụng ngưỡng Mahalanobis để loại bỏ các giá trị ngoại lai.
* So sánh kết quả định vị sau khi sử dụng bộ lọc Kalman với các giá trị đúng (ground truth). So sánh kết quả với phương pháp WLS và Baseline (giá trị đo đạc ban đầu).

## Phương pháp đánh giá thực nghiệm

**Tiêu chí đánh giá:**

* **Độ chính xác:** So sánh khoảng cách giữa vị trí ước lượng và vị trí đúng (ground truth).
* **Độ ổn định:** Đánh giá độ dao động của các ước lượng qua thời gian.

**Phương pháp đánh giá:**

1. **Khoảng cách Vincenty:**
   * Sử dụng công thức khoảng cách Vincenty để tính toán khoảng cách giữa vị trí ước lượng và vị trí thực tế.
2. **Đánh giá bằng các phân vị:**
   * Tính toán các phân vị (quantile) 50% và 95% của các khoảng cách lỗi để đánh giá độ chính xác và độ ổn định của các phương pháp.
3. **Biểu đồ khoảng cách lỗi:**
   * Vẽ biểu đồ thể hiện khoảng cách lỗi của các phương pháp theo từng mốc thời gian.
   * Sử dụng **matplotlib** để vẽ biểu đồ và hiển thị kết quả.

**Kết quả:**

* So sánh độ chính xác giữa Baseline(tọa độ chưa qua các phương pháp xử lý), phương pháp WLS và Kalman Filter.
* Đánh giá tính hiệu quả của bộ lọc Kalman trong việc cải thiện độ chính xác định vị GNSS.

## Kết quả thực nghiệm

Kết quả của Kalman Filter

A graph with different colored bars

Description automatically generated

# KẾT QUẢ

# KẾT LUẬN

# KẾT LUẬN

## Kết luận

Nội dung phần kết luận này tùy thuộc vào từng đồ án. Lưu ý trong phần kết luận không nên có bất cứ phương trình, biểu đồ hay bảng biểu nào. Cần trình bày rõ nội dung đồ án tốt nghiệp đã đáp ứng đầy đủ các yêu cầu của đề bài hay chưa. Trình bày về ý nghĩa của các kết quả thu được, các đánh giá nhận xét về tính khả thi, tính chính xác của kết quả, tính thực tế của đồ án…Cần lưu ý hạn chế sử dụng các tính từ, trạng từ mạnh trong khi miêu tả kết quả đạt được, cần đảm bảo tính trung thực của các kết luận.

Trình bày các kiến thức mà sinh viên đã đạt được sau khi thực hiện đồ án tốt nghiệp. Đồng thời trình bày về các kỹ năng đã học được (kỹ năng tự tìm kiếm tài liệu, tổng hợp thông tin, kỹ năng chế bản, kỹ năng trình bày, viết báo….).

## Hướng phát triển của đồ án trong tương lai

Nêu tóm tắt hướng mở rộng của đề tài trong tương lai nếu có. Đây là mục tùy chọn vì phụ thuộc vào loại đề tài.

# TÀI LIỆU THAM KHẢO

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | A. Becker, "Kalman FIlter," [Online]. Available: https://www.kalmanfilter.net/VI/background\_vi.html. |
| [2] | T. Đ. Quỳ, "Chương 2 Biến ngẫu nhiên và luật phân phối xác suất 3.1.Kỳ vọng," in *Xác suất thống kê*. |
| [3] | T. Đ. Quỳ, "Chương 2 Biến ngẫu nhiên và luật phân phối xác suất 3.2.Phương sai," in *Xác suất thống kê*. |
| [4] | L. D. B. v. c. t. g. khác, Giáo trình Vật lý đại cương – 3 tập Lý thuyết và Bài tập, NXB Giáo dục.. |
| [5] | S. Hust, "Algebra, MI1141," [Online]. Available: https://fami.hust.edu.vn/wp-content/uploads/MI1141-%C4%90a%CC%A3i-so%CC%82%CC%81-Nho%CC%81m-1.zip. |
| [6] | X. Zhai, "Localization and Change Point Detection using GPS Data". |
| [7] | Trần Bách, Lưới điện và hệ thống điện, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, 2004. |
| [8] | Abe Masayuki, “A Practical Approach to Accurate Fault Location on Extra High Voltage Teed Feeders,” *IEEE Transaction on Power Delivery,* pp. 159-168, 1995. |
| [9] | Microsoft, "Add citations in a Word document," 2017. |

# PHỤ LỤC

**Giải thích code libKF.py**

**Khởi tạo lớp KalmanFilter**

A screenshot of a computer code

Description automatically generated

**\_\_init\_\_ method**: Phương thức khởi tạo của **lớp KalmanFilter**, được gọi khi một đối tượng của lớp này được tạo ra.

* **self.sigma\_mahalanobis**: Ngưỡng Mahalanobis để phát hiện giá trị ngoại lai, được đặt là 30.0.
* **self.F**: Ma trận chuyển đổi trạng thái (transition matrix), được khởi tạo là ma trận đơn vị kích thước 3x3.
* **self.G**: Ma trận điều khiển (control matrix), cũng được khởi tạo là ma trận đơn vị kích thước 3x3.
* **self.H**: Ma trận đo lường (measurement matrix), được khởi tạo là ma trận đơn vị kích thước 3x3.
* **self.I**: Ma trận đơn vị (identity matrix) kích thước 3x3, dùng trong các phép tính ma trận.

**Hàm predict (Bước dự đoán)**

A screenshot of a computer code

Description automatically generated

**Mô tả**: Thực hiện bước dự đoán trong bộ lọc Kalman.

**Tham số**:

* **x**: Trạng thái ban đầu hoặc trạng thái ước lượng.
* **u**: Vận tốc hoặc điều khiển đầu vào.
* **P**: Ma trận hiệp phương sai của trạng thái.
* **Q**: Ma trận hiệp phương sai của nhiễu quá trình.

**Trả về**:

* **x\_pred**: Trạng thái dự đoán.
* **P\_pred**: Ma trận hiệp phương sai dự đoán.

**Thực hiện**:

* **x\_pred**: Trạng thái dự đoán được tính bằng cách áp dụng ma trận chuyển đổi trạng thái F và ma trận điều khiển G lên trạng thái x và vận tốc u.
* **P\_pred**: Ma trận hiệp phương sai dự đoán được tính bằng cách nhân ma trận chuyển đổi trạng thái F với ma trận hiệp phương sai trạng thái P, sau đó cộng ma trận hiệp phương sai của nhiễu quá trình Q.

**Hàm update (Bước cập nhật)**

**A computer screen shot of a computer screen

Description automatically generated with medium confidence**

**Mô tả**: Thực hiện bước cập nhật trạng thái trong bộ lọc Kalman.

**Tham số**:

* **x\_pred**: Trạng thái dự đoán từ bước dự đoán.
* **P\_pred**: Ma trận hiệp phương sai dự đoán từ bước dự đoán.
* **z**: Đo lường quan sát.
* **R**: Ma trận hiệp phương sai của nhiễu đo lường.

**Trả về**:

* **x**: Trạng thái ước lượng sau khi cập nhật.
* **P**: Ma trận hiệp phương sai sau khi cập nhật.

**Thực hiện**:

* **y**: Sự khác biệt giữa giá trị đo lường z và trạng thái dự đoán x\_pred.
* **K**: Hệ số Kalman (Kalman Gain), xác định mức độ tin tưởng vào giá trị đo lường.
* **x**: Trạng thái ước lượng sau khi cập nhật, được tính bằng cách áp dụng hệ số Kalman K lên sự khác biệt y.
* **P**: Ma trận hiệp phương sai sau khi cập nhật, được tính bằng cách điều chỉnh ma trận hiệp phương sai dự đoán P\_pred.

**Hàm kalman\_filter** (Kalman Filter)

A screenshot of a computer program

Description automatically generated

**Mô tả**: Thực hiện toàn bộ quá trình lọc Kalman, bao gồm cả dự đoán và cập nhật trạng thái.

**Tham số**:

* **x\_wls**: Trạng thái ban đầu hoặc trạng thái ước lượng từ phương pháp bình phương tối thiểu.
* **v\_wls**: Vận tốc từ phương pháp bình phương tối thiểu.
* **cov\_zs**: Ma trận hiệp phương sai của đo lường.
* **cov\_vs**: Ma trận hiệp phương sai của vận tốc.

**Trả về**:

* **x\_kf**: Các trạng thái ước lượng sau khi áp dụng lọc Kalman.
* **P\_kf**: Các ma trận hiệp phương sai tương ứng với các trạng thái ước lượng.

**Thực hiện**:

* **vs**: Tính vận tốc trung bình giữa các bước thời gian.
* **n, dim\_x**: Số lượng điểm dữ liệu và kích thước của trạng thái.
* **x**: Trạng thái ban đầu.
* **P**: Ma trận hiệp phương sai ban đầu.
* **x\_kf** và **P\_kf**: Các mảng để lưu trữ trạng thái và ma trận hiệp phương sai cho mỗi bước thời gian.
* **Vòng lặp for**: Lặp qua từng cặp (u, z) trong vs và x\_wls.
* **Bước dự đoán**: Gọi phương thức predict để tính trạng thái và ma trận hiệp phương sai dự đoán.
* **Kiểm tra ngoại lai**: Tính khoảng cách Mahalanobis d và so sánh với ngưỡng sigma\_mahalanobis.
* **Bước cập nhật**: Nếu d < sigma\_mahalanobis, gọi phương thức update để cập nhật trạng thái và ma trận hiệp phương sai. Nếu không, điều chỉnh ma trận hiệp phương sai P.
* **Lưu trữ kết quả**: Lưu trữ trạng thái và ma trận hiệp phương sai cho mỗi bước thời gian.

**Giải thích code**

****

* **zs.shape** là một đối tượng zs truy cập vào thuộc tính shape là một mảng 2 chiều.
* **n** là số lượng vecto.
* **dim\_x** là số chiều của mỗi vecto x.

**Giải thích code:**

**Việc tính giá trị trung bình của vận tốc giúp cho dữ liệu được làm mịn hơn !**

A computer code with text

Description automatically generated with medium confidence

**v\_wls[:-1]:**

* v\_wls là một mảng NumPy.
* v\_wls[:-1] lấy tất cả các phần tử v\_wlstrừ phần tử cuối cùng.

**v\_wls[1:]:**

* v\_wls[1:] lấy tất cả các phần tử v\_wls trừ phần tử đầu tiên.

**(v\_wls[:-1] + v\_wls[1:])/2:**

* Biểu thức này tính trung bình của từng cặp tử tiếp giáp trong v\_wls.
* Kết quả sẽ là một mảng mới mà mỗi phần tử là trung bình của hai phần tử liền kề từ v\_wls.

**np.zeros([1, 3]):**

* Tạo một mảng NumPy với kích thước (1, 3) và tất cả các phần tử bằng 0.

**np.vstack([...]):**

* np.vstack()là một hàm trong NumPy để xếp chồng các mảng theo chiều dọc (tức là thêm các hàng mới).
* Trong trường hợp này, nó sẽ chồng mảng [[0, 0, 0]] lên trên kết quả mảng của (v\_wls[:-1] + v\_wls[1:])/2.

**Ví dụ minh họa:**

Giả sử v\_wls là một mảng 2 chiều:

A screenshot of a computer code

Description automatically generated

Khi áp dụng đoạn code sau:



Kết quả sẽ là:

* v\_wls[:-1] có giá trị là:

A number with different numbers

Description automatically generated with medium confidence

* v\_wls[1:] có giá trị là:

A number with blue and black text

Description automatically generated with medium confidence

* (v\_wls[:-1] + v\_wls[1:])/2 có giá trị là:

A number of numbers on a white background

Description automatically generated

* np.zeros([1, 3]) có giá trị là:



* np.vstack([np.zeros([1, 3]), (v\_wls[:-1] + v\_wls[1:])/2]) có giá trị là:

A number with numbers in the middle

Description automatically generated with medium confidence

Như vậy, mảng **v** sẽ bao gồm một hàng số không ở đầu, tiếp theo là trung bình của các cặp tử liền kề từ **v\_wls**.

**Giải thích code:**

****

* **enumerate()**:
* Hàm enumerate() được sử dụng để thêm một chỉ số (index) vào mỗi phần tử của iterable (trong trường hợp này là zip(vs, x\_wls)).
* Kết quả của enumerate() là một cặp (index, value) cho mỗi phần tử trong iterable.
* **zip(vs, x\_wls)**:
* Hàm zip() kết hợp các phần tử từ hai (hoặc nhiều) iterables (trong trường hợp này là vs và x\_wls) thành các cặp.
* Kết quả của zip(vs, x\_wls) là một iterable chứa các cặp (u, z), trong đó u là một phần tử từ vs và z là một phần tử tương ứng từ x\_wls.
* **for i, (u, z) in enumerate(zip(vs, x\_wls)):**:
* Vòng lặp for sẽ lặp qua mỗi cặp (u, z) trong iterable được tạo bởi zip(vs, x\_wls).
* Biến i sẽ là chỉ số của cặp (u, z) hiện tại, u là phần tử từ vs, và z là phần tử tương ứng từ x\_wls.