# 3.2.3. Thiết kế khối WLS

## 3.2.3.1 WLS cho từng epoch

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Hình 1. Sơ đồ tổng quan khối chức năng bình phương tối thiểu có trọng số (WLS)

Đầu vào của khối WLS là một bảng dữ liệu bao gồm 14 trường dữ liệu (sắp xếp theo từng cột) trong một đơn vị thời gian thu được, cụ thể như Bảng 0.1

|  |  |
| --- | --- |
| Tên trường dữ liệu | Ký hiệu |
| RawPseudorangeMeters | pr |
| SvClockBiasMeters | Sv\_clock |
| IonosphericDelayMeters | Iono\_delay |
| TroposphericDelayMeters | Tropo\_delay |
| IsrbMeters | Isrb |
| SvPositionXEcefMeters | x |
| SvPositionYEcefMeters | y |
| SvPositionZEcefMeters | z |
|  | |
| PseudorangeRateMetersPerSecond | prr |
| SvClockDriftMetersPerSecond | Sv\_clock\_rate |
| SvVelocityXEcefMetersPerSecond | v\_x |
| SvVelocityYEcefMetersPerSecond | v\_y |
| SvVelocityZEcefMetersPerSecond | v\_z |
|  | |
| RawPseudorangeUncertaintyMeters | pr\_uncer |
| PseudorangeRateUncertaintyMetersPerSecond | prr\_uncer |

Bảng 0.1: .....

Đầu ra của khối WLS lần lượt là:

* UserPositionX/Y/ZecefMeters: mảng 1 chiều với 3 phần tử để lưu (x,y,z) của vị trí

Kí hiệu: **x\_wls**

* SvVelocityX/Y/ZecefMetersPerSecond: mảng 1 chiều với 3 phần tử để lưu (x,y,z) của vận tốc

Kí hiệu: **v\_wls**

* PositionCovariance: mảng 2 chiều 3x3 để lưu ma trận hiệp phương sai vị trí

Kí hiệu: **cov\_x**

* VelocityCovariance: mảng 2 chiều 3x3 để lưu ma trận hiệp phương sai vận tốc

Kí hiệu: **cov\_v**

Trong khối chức năng WLS bao gồm các khối nhỏ hơn:

A screenshot of a cell phone

Description automatically generated

Hình 2. Các khối chính trong module WLS

Mô tả ngắn gọn các khối tại hình 2 như sau:

* **Khởi tạo hằng số và ma trận lưu trữ**:

Khởi tạo các biến số cần thiết như tốc độ ánh sáng (m/s), tốc độ quay trái đất(rad/s), và các ma trận lưu trữ để giữ giá trị vị trí, vận tốc và ma trận hiệp phương sai.

* **Tính chỉnh "giả khoảng cách"**:

Tính toán lại “giả khoảng cách” bằng cách điều chỉnh theo các yếu tố bao gồm độ trễ tín hiệu do xung đồng hồ vệ tinh, trễ do tầng điện ly, tầng phân ly.

* **Ma trận trọng số**:

Xây dựng ma trận trọng số cho các phép đo “giả khoảng cách” và “tốc độ thay đổi giả khoảng cách”, dựa trên độ tin cậy của từng phép đo thu được.

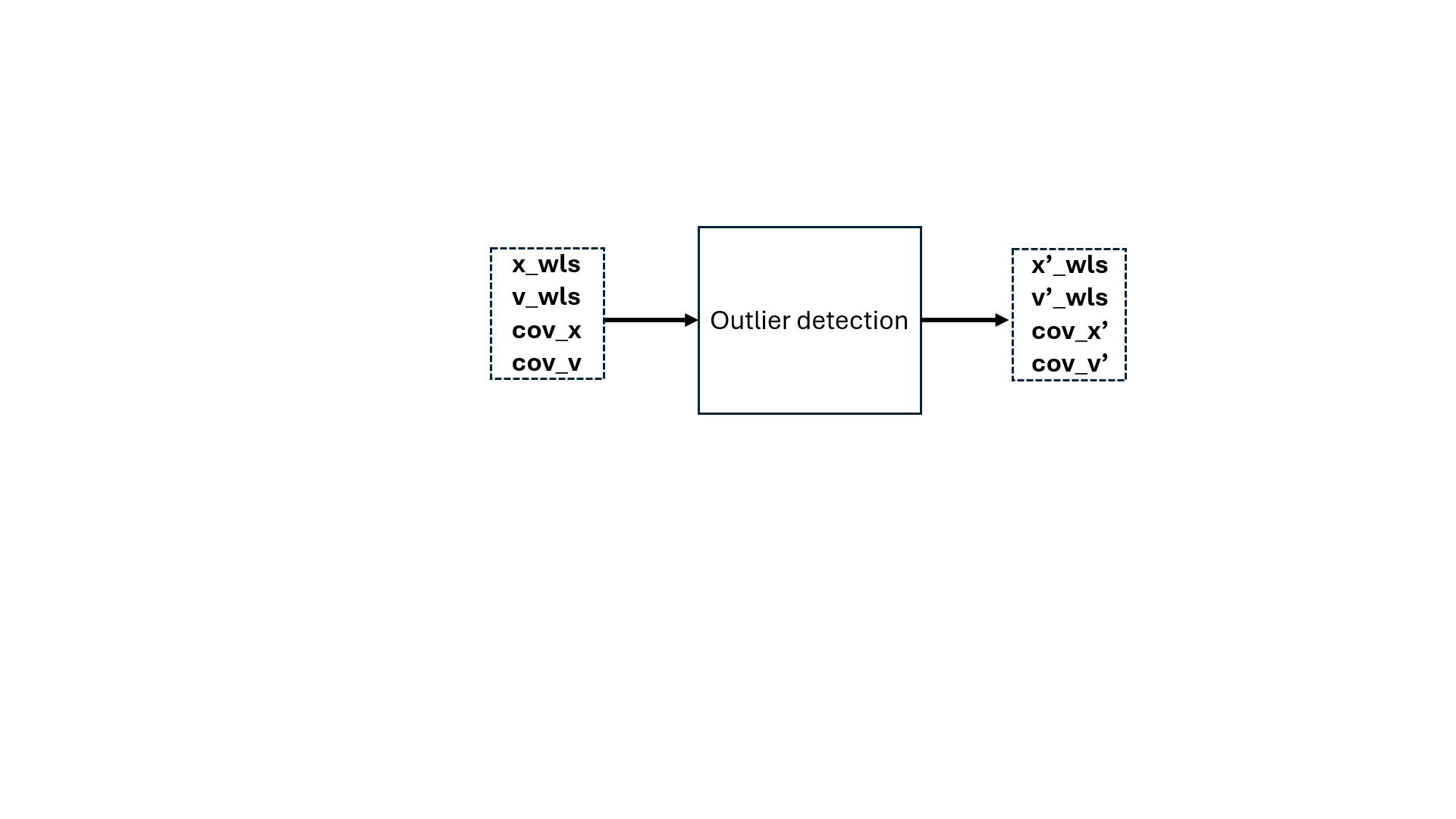
* **WLS cho vị trí**:

Thực hiện phương pháp bình phương tối thiểu có trọng số (WLS) để ước tính vị trí người dùng dựa trên các phép đo khoảng cách vệ tinh.

* **WLS cho vận tốc:**

Thực hiện phương pháp bình phương tối thiểu có trọng số (WLS) để ước tính vận tốc người dùng dựa trên vị trí người dùng và các phép đo tốc độ vệ tinh.

## 3.2.3.2 Phát hiện điểm ngoại lai cho toàn bộ epoch



Hình 3. Sơ đồ tổng quan khối chức năng phát hiện điểm ngoại lai

Đầu vào của khối Outlier Detection chính là đầu ra của khối WLS sau khi cho chạy qua tất cả các khung thời gian thu được, giả sử có tất cả **n** khung thời gian thu được:

* **x\_wls**: n mảng 1 chiều với 3 phần tử để lưu (x,y,z) của vị trí
* **v\_wls**: n mảng 1 chiều với 3 phần tử để lưu (x,y,z) của vận tốc
* **cov\_x**: n mảng 2 chiều 3x3 để lưu ma trận hiệp phương sai vị trí
* **cov\_v**: n mảng 2 chiều 3x3 để lưu ma trận hiệp phương sai vận tốc

Sau khi qua khối Outlier Detection ta được đầu ra gồm các vector đã được cập nhật sau phép nội suy:

**x’\_wls, v’\_wls, cov\_x’, cov\_v’**

A diagram of a flowchart

Description automatically generated

Hình 4. Các khối chính trong module Outlier Detection

Mô tả ngắn gọn các khối tại hình 4 như sau:

* **Tính toán độ lệch chuẩn:**

Tính toán độ lệch chuẩn của các dữ liệu vị trí và vận tốc, bỏ qua các giá trị NaN. Kết quả này sẽ được sử dụng để xác định ngưỡng cho các giá trị ngoại lai.

* **Chuyển đổi hệ tọa độ:**

Chuyển đổi các tọa độ ECEF (Earth-Centered, Earth-Fixed) thành tọa độ địa lý (LLH - Latitude, Longitude, Height) và ENU (East-North-Up).

* **Phát hiện và cập nhật điểm ngoại lai:**
  + Xác định các điểm ngoại lai của vận tốc và vị trí theo chiều cao trục Z, thay thế chúng bằng NaN(dữ liệu không xác định).
  + Cập nhật ma trận hiệp phương sai của các điểm vận tốc ngoại lai và vị trí ngoại lai.
  + Sử dụng phép nội suy Akima để điền vào các giá trị NaN trong dữ liệu vị trí và vận tốc.

# 3.2.3. Triển khai khối WLS

## 3.2.3.1 Xây dựng phương pháp bình phương tối thiểu trọng số WLS

A diagram of a company

Description automatically generated

Hình 3. Sơ đồ luồng dữ liệu khối WLS

Chi tiết cụ thể các bước xây dựng khối WLS:

1. **Khởi tạo**

* Đầu vào: không có
* Cụ thể: khởi tạo các hằng số cần thiết cho tính toán bao gồm
  + tốc độ ánh sáng = 299792458 (m/s)
  + tốc độ quay của trái đất = 7.29221151467(rad/s)
  + ma trận lưu kết quả cho vector vị trí **x\_wls**, vector vận tốc **v\_wls**

1. **Khối điều chỉnh giả khoảng cách**

**A blue square with white text

Description automatically generated**

* Cụ thể: cập nhật lại thông số “RawPseudorangeMeters” bằng phép tính toán đơn giản

1. **Khối điều chỉnh vận tốc thay đổi giả khoảng cách**

A diagram of a blue square with black text

Description automatically generated

* Cụ thể: cập nhật lại thông số “PseudorangeRateMetersPerSecond” bằng phép tính toán đơn giản

1. **Khối thiết lập ma trận trọng số**

A diagram of a diagram

Description automatically generated

* Cụ thể:

Thiết lập một ma trận đường chéo trong đó mỗi phần tử là “nghịch đảo” các giá trị “Uncertainty” của vệ tinh theo công thức

1. **Khối thực hiện WLS cho vị trí**

**A diagram of a flowchart

Description automatically generated**

* Cụ thể:

**Ma trận Jacobian** được thiết kế bởi công thức:

trong đó

* + là vị trí tọa độ giả định ban đầu thường lựa chọn (0,0,0)
  + lần lượt là vector tọa độ của vệ tinh quan sát tương ứng các cột dữ liệu “SvPositionXEcefMeters”,“ SvPositionXEcefMeters”, “SvPositionXEcefMeters”
  + ,…,

**Hàm tính độ dư** được thiết kế bởi công thức:

trong đó là cột dữ liệu “RawPseudorangeMeters”

1. **Khối thực hiện WLS cho vận tốc**

**A diagram of a mathematical process

Description automatically generated with medium confidence**

* Cụ thể:

**Ma trận Jacobian** được thiết kế bởi công thức tương tự như trên:

trong đó

* + là vector vận tốc giả định ban đầu thường lựa chọn (0,0,0)
  + là vị trí tọa độ điểm ước tính
  + lần lượt là vector tọa độ của vệ tinh quan sát tương ứng các cột dữ liệu “SvPositionXEcefMeters”, “ SvPositionXEcefMeters”, “SvPositionXEcefMeters”
  + ,…,

**Hàm tính độ dư** được thiết kế bởi công thức:

trong đó

* là cột dữ liệu “PseudorangeRateMetersPerSecond”
* lần lượt là vector vận tốc của vệ tinh quan sát tương ứng các cột dữ liệu “SvVelocityXEcefMetersPerSecond”,“SvVelocityYEcefMetersPerSecond”, “SvVelocityYEcefMetersPerSecond”

## 3.2.3.2 Xây dựng phương pháp điểm ngoại lai OutlierDetection

Chi tiết cụ thể các bước xây dựng khối OutlierDetaction :

1. **Tính toán độ lệch chuẩn:**

**A blue square with white text

Description automatically generated**

* Cụ thể: áp dụng công thức tính độ lệch chuẩn

với N là tổng số khung thời gian thu được

1. **Chuyển đổi hệ tọa độ:**

**A blue square with white text

Description automatically generated**

* Trong đó:

x\_llh: vector vị trí ở hệ tọa độ địa lý (Latitude, Longitude, Height).

v\_enu: vector vận tốc ở hệ tọa độ ENU(East-North-Up).

1. **Phát hiện và cập nhật điểm ngoại lai:**

**A blue square with white text

Description automatically generated**

**Bước 1:**

* + Tìm h\_median là trung vị của x\_llh\_z (tọa độ x\_llh xét theo hệ trục Oz)
  + Tìm v\_median là trung vị của v\_enu\_z (tọa độ v\_enu xét theo hệ trục Oz)

**Bước 2:**

* + Tìm indx\_x\_out tại đó x\_llh\_z – h\_median >
  + Tìm indx\_v\_out tại đó v\_enu\_z – v\_median >

**Bước 3:**

* + Thay thế x\_wls[indx\_x\_out] = NaN (dữ liệu không xác định) và cập nhật cov\_x[indx\_x\_out]
  + Thay thế v\_wls[indx\_v\_out] = NaN (dữ liệu không xác định) và cập nhật cov\_v[indx\_v\_out]

**Bước 4:**

* + Nội suy Akima cho cho x\_wls
  + Nội suy Akima cho cho v\_wls

|  |
| --- |
| B. Chen, C. Gao, Y. Liu, and P. Sun. (2019). "Real-time precise point positioning with a Xiaomi MI 8 android smartphone." Sensors, 19(12), 2835. |
| J. Liu, Z. Xu, Y. Wang, L. Zhao, and R. Zhang. "Toward Achieving Robust Sub-meter Kinematic Positioning on Android with Multi-constellation GNSS." In Proceedings of the 32nd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2019), pp. 89-108 |
| [ESA\_GNSS-Book\_TM-23\_Vol\_I.pdf](file:///D:\ESA_GNSS-Book_TM-23_Vol_I.pdf) |
| [GPS.gov: Space Segment](https://www.gps.gov/systems/gps/space/) |
| [GPS.gov: Control Segment](https://www.gps.gov/systems/gps/control/) |
| [GPS.gov: Applications](https://www.gps.gov/applications/) |
| Stombaugh, Timothy S.; McLaren, Doug; and Koostra, Benjamin K., "The Global Positioning System" (2005). Agricultural Engineering Extension Publications. |
| Fu, Guoyu (Michael), Khider, Mohammed, van Diggelen, Frank, "Android Raw GNSS Measurement Datasets for Precise Positioning," Proceedings of the 33rd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2020), September 2020, pp. 1925-1937 |
| [Google Smartphone Decimeter Challenge 2023-2024 | Kaggle](https://www.kaggle.com/competitions/smartphone-decimeter-2023/data) |
| IS-GPS-200L |
| Generation of Klobuchar Ionospheric Error Model Coefficients Using Fourier Series and Accuracy Analysis Chang-Moon Lee† and Kwan-Dong Park Department of Geoinformatic Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea |
| Assessment of UNB3M neutral atmosphere model and EGNOS model for near-equatorial-tropospheric delay correction Ashraf Farah College of Engineering, King Saud University, Kingdom of Saudi Arabia (Received: December 25, 2010; in final form July 8, 2011) |
| A. Becker, "Kalman FIlter," [Online]. Available: https://www.kalmanfilter.net/VI/background\_vi.html. |
| T. Đ. Quỳ, "Chương 2 Biến ngẫu nhiên và luật phân phối xác suất 3.1.Kỳ vọng," in *Xác suất thống kê*. |
| T. Đ. Quỳ, "Chương 2 Biến ngẫu nhiên và luật phân phối xác suất 3.2.Phương sai," in *Xác suất thống kê*. |
| L. D. B. v. c. t. g. khác, Giáo trình Vật lý đại cương – 3 tập Lý thuyết và Bài tập, NXB Giáo dục.. |
| X. Zhai, "Localization and Change Point Detection using GPS Data". |
| T. B. K. •. J. G. Aboelmagd Noureldin, Fundamentals of Inertial Navigation, Satellite-based Positioning and their Integration. |