**УДК 004.021**

**Применение фильтра Калмана для обработки последовательности GPS-координат.**

*Листеренко Р.Р., бакалавр*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,*

*кафедра «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»*

*Научный руководитель: Бекасов Д.Е., ассистент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,*

*кафедра «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»*

*irudakov@bmstu.ru*

*Ключевые слова: GPS, фильтр Калмана, погрешность определения местоположения, коррекция маршрута объекта.*

*Keywords: GPS, Kalman Filter, spotting error, object track correction.*

*Аннотация: в статье рассматривается способ фильтрации GPS-координат с использованием фильтра Калмана. Данный способ позволяет учитывать как погрешности датчиков местоположения объекта, так и случайную природу процесса передвижения объекта, позволяя повысить точность результатов. Возможна как обработка полного маршрута, так и коррекция получаемых от датчика координат в реальном времени.*

**Задача фильтрации GPS-координат**

В настоящее время широко используются сервисы GPS-трекинга, задачей которых является отслеживание маршрутов наблюдаемых объектов с целью их сохранения и дальнейшего воспроизведения и анализа. Однако из-за погрешности GPS-датчика, обусловленной рядом причин [1], таких как потеря сигнала от спутника, изменение геометрии расположения спутников, отражение сигналов, вычислительные ошибки и ошибки округления, итоговый результат не соответствует в точности маршруту объекта. Наблюдаются как незначительные отклонения (в пределах 100 м), не затрудняющие восприятие визуальной информации о маршруте и его анализ, так и весьма значительные (до 1 км, в случае потери сигнала спутников и использования базовых станций — до нескольких десятков км). Для демонстрации результата приведенного в статье алгоритма используется маршрут, содержащий отклонения от действительного местоположения, превышающие несколько километров. С целью коррекции таких погрешностей разрабатывается алгоритм, выполняющий преобразование последовательности координат. Входными данными для алгоритма служит последовательность GPS-координат. В каждой координате содержится следующая информация, полученная от датчика:

— Широта

— Долгота

— Азимут в градусах

— Мгновенная скорость объекта в данной точке в м/с

— Возможное отклонение координат объекта от истинного значения в метрах

— Время получения координаты датчиком

Результатом работы алгоритма является последовательность координат с скорректированной широтой и долготой. В качестве основы для построения алгоритма решено использовать фильтр Калмана, так как он позволяет отдельно учитывать погрешности измерений и погрешности случайного процесса, а также использовать получаемую от датчика скорость движения объекта [2].

**Построение математической модели с использованием фильтра Калмана**

Для использования фильтра Калмана необходимо, чтобы исследуемый процесс описывался следующим образом [3]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |
|  | (2) |

В формуле (1) - вектор состояния процесса, *A* - матрица размерностью *n* × *n*, описывающая переход наблюдаемого процесса из состояния в состояние. Вектор описывает управляющие воздействия на процесс. Матрица *B* размерностью *n* × *l* отображает вектор управляющих воздействий *u* в изменение состояния *s*. является случайной величиной, описывающей погрешности исследуемого процесса, причем , где *Q* - ковариационная матрица погрешностей процесса. Формула (2) описывает измерения случайного процесса. - вектор измеряемого состояния процесса, матрица *H* размерностью *m* × *n* отображает состояние процесса в измерение процесса . - случайная величина, характеризующая погрешности измерений, причем , где *P* - ковариационная матрица погрешностей измерений.

Так как исследуется процесс движения объекта, уравнение состояния составляется исходя из уравнения движения тела . Кроме того, отсутствует дополнительная информация о процессе движения, поэтому считается, что управляющее воздействие равно 0. За состояние процесса принят вектор , где *x*, *y* - координаты объекта,  *,* - проекции скорости объекта. Таким образом, для рассматриваемого процесса уравнение (1) принимает следующий вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

где

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |
|  | (5) |
|  | (6) |

В данной модели ускорение объекта рассматривается как случайная погрешность процесса.

Принимаются следующие допущения:

а) Ускорения по разным осям являются независимыми случайными величинами.

б) , то есть ускорения распределены нормально с нулевым математическим ожиданием и некоторым среднеквадратичным отклонением *σa*, которое считается известным.

Данные допущения приняты из следующих соображений:

а) Нет оснований полагать, что по значению одной компоненты вектора ускорения можно сделать вывод о значении другой компоненты.

б) Большую часть времени объект движется равномерно. В качестве возможных источников координат рассматриваются пешеходы и автомобили. Ненулевое ускорение обычно связано либо с изменением направления движения, что происходит за небольшой промежуток времени (от 5 до 15 секунд), либо с остановкой или началом движения, причем разгон или торможение до требуемой скорости также происходят сравнительно быстро (в случае пешеходов практически моментально, автомобилей - в пределах 10-15 секунд). Ускорение, возникающее в других ситуациях (например, обгон или замедление для оценки окружающей обстановки), также отличается от нуля в течение небольших промежутков времени.

Таким образом, в формуле (3) член выполняет роль члена *wk* из формулы (1). Для дальнейших вычислений необходимо получить значение матрицы *Q*.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

Так как компоненты вектора *ak* (5) являются независимыми случайными величинами, то . Следовательно, формула (7) принимает следующий вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

Вектор измерения *zk* для данной задачи представляется следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |

где - координаты объекта, полученные от датчика, - скорость объекта, полученная от датчика. Матрица *H* в формуле (2) принимается равной единичной матрице размерностью 4×4, так как в рамках данной задачи считается, что измерение есть линейная комбинация вектора состояния и некоторых случайных погрешностей. Ковариационная матрица погрешности измерений *R* считается заданной. Один из возможных вариантов ее вычисления - использование данных о предполагаемой точности измерения, получаемых от датчика.

**Применение фильтра Калмана к построенной модели**

Для применения фильтра необходимо ввести следующие понятия:

—- апостериорная оценка состояния объекта в момент k, полученная по результатам наблюдений вплоть до момента k включительно.

— - нескорректированная апостериорная оценка состояния объекта в момент времени k.

— - апостериорная ковариационная матрица ошибок, задающая оценку точности полученной оценки вектора состояния и включающая в себя оценку дисперсий погрешности вычисленного состояния и ковариации, показывающие выявленные взаимосвязи между параметрами состояния системы.

— - нескорректированная апостериорная ковариационная матрица ошибок.

Матрица *P*0 задается как нулевая, так как считается, что известно начальное положение объекта.

Одна итерация фильтра Калмана состоит из двух этапов: экстраполяция и коррекция.

а) На этапе экстраполяции вычисляется оценка по оценке вектора состояния  и ковариационная матрица ошибок по следующим формулам:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10) |
|  | (11) |

где матрица *Ak* известна из формулы (4), матрица *Qk* вычисляется по формуле (8).

б) На этапе коррекции вычисляется матрица коэффициентов усиления *Kk* по следующей формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (12) |

где *R, H* считаются известными. *Kk* используется для коррекции оценки состояния объекта и ковариационной матрицы ошибок следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (13) |
|  | (14) |

где *I* - единичная матрица.

Следует заметить, что для использования указанных выше соотношений, необходимо, чтобы для параметров объекта, участвующих в вычислениях, единицы измерений были согласованы. Однако в исходных данных широта и долгота приводятся в угловых координатах, а скорость — в метрических. Кроме того, ускорение для расчета ошибки процесса также удобнее задавать в метрических единицах. Для перевода скорости и ускорения в угловые единицы используются формулы Винченти [4].

**Результат работы фильтра**

На рис. 1 приведен пример маршрута до обработки.

Можно заметить, что в данном примере присутствуют несколько координат с высокой степенью погрешности, что выражается в наличии «пиков» — координат, значительно удаленных от основного маршрута. На рис. 2 приведен результат работы фильтра с данным маршрутом.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 1. Маршрут объекта |

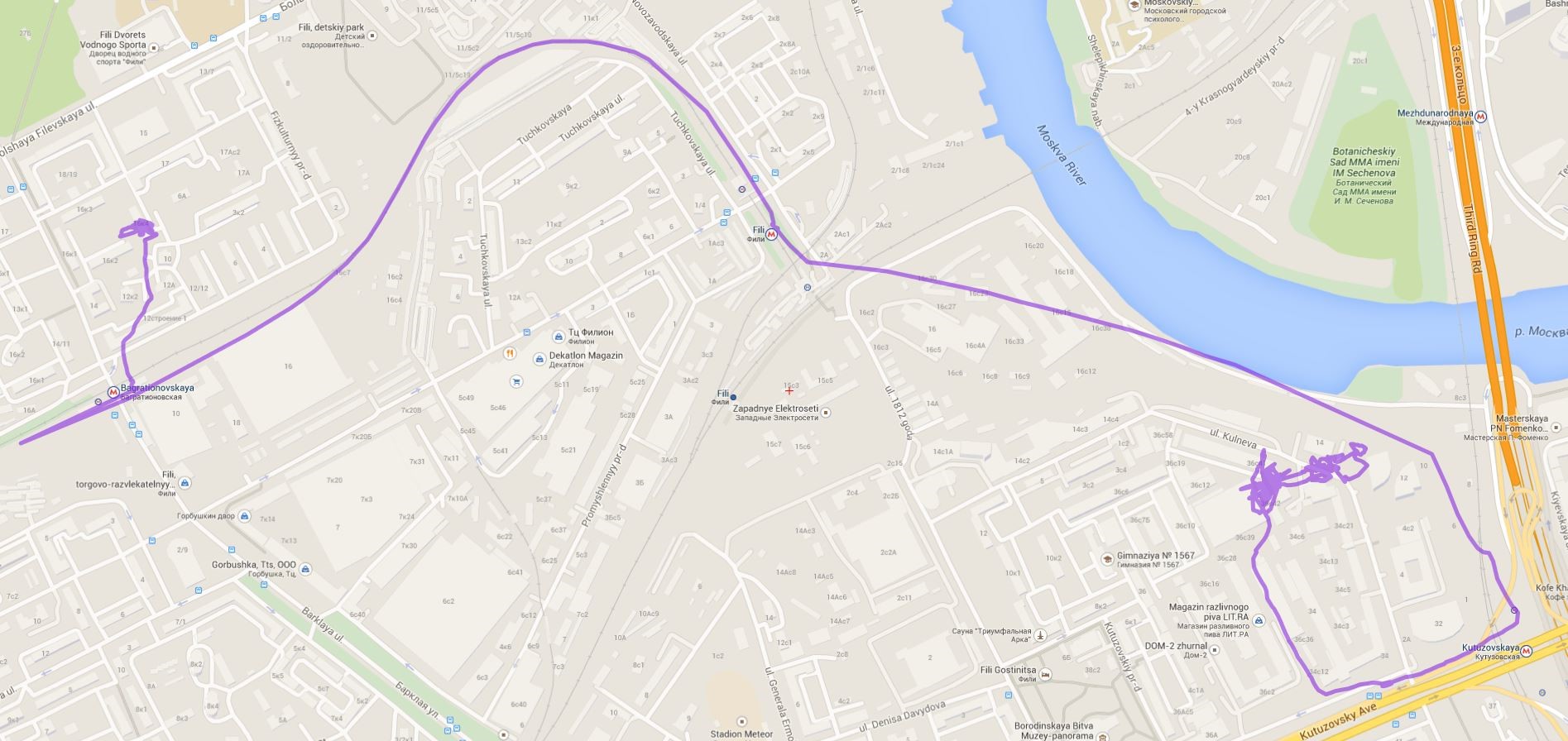


Рис. 2. Маршрут объекта после применения фильтра

В результате отсутствуют практически отсутствуют «пики», за исключением самого крупного, который был заметно уменьшен, и сглажена остальная часть маршрута. Таким образом, с помощью приведенного алгоритма удалось снизить степень искажений маршрута и повысить его визуальное качество.

**Заключение**

В данной работе был рассмотрен подход к коррекции GPS-координат с помощью фильтра Калмана. С помощью приведенного алгоритма удалось устранить наиболее заметные искажения маршрута, что демонстрирует применимость данного метода к задаче сглаживания маршрута и устранения пиков. Однако для дальнейшего повышения качества алгоритма необходима дополнительная обработка последовательности координат с целью устранения избыточных точек, возникающих при отсутствии движения наблюдаемого объекта.

**Список литературы**

1. Yadav J., Giri R., Meena L.Error handling in GPS data processing // *Mausam*. 2011. Vol. 62. No. 1. PP. 97–102.
2. Kalman R. E*.* A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems // *Transactions of the ASME – Journal of Basic Engineering*. 1960. Vol.82. No. Series D. PP.35–45.
3. Welch G*.*, Bishop G.An Introduction to the Kalman Filter: Tech. Rep. TR-95-041. Available at: <https://www.cs.unc.edu/~welch/media/pdf/kalman_intro.pdf>, accessed 19.05.2015.
4. Vincenty T*.* Direct and Inverse Solutions of Geodesics on the Ellipsoid with application of nested equations // *Survey Review*. 1975. apr. Vol. 23. No. 176. PP. 88–93.