

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ПУТЕМ КОРРЕКЦИИ GPS СИГНАЛА ФИЛЬТРОМ КАЛМАНА

Д. Д. Малинин, А. Е. Шаралапов

В современных мобильных робототехнических системах приоритетной задачей является перемещение робота в недетерминированной среде. В связи с этим используют спутниковые системы навигации, такие как «GPS», «ГЛОНАСС», «Галилео». Данные системы решают задачу глобального позиционирования в мобильных роботах, но дают неудовлетворительную точность, так как на них действуют ошибки распространения навигационного сигнала. Для улучшения качества позиционирования необходимо провести фильтрацию исходного сигнала. Оптимальным методом является фильтр Калмана, так как он работает с априорной информацией о конечной системе и не требует накопления данных сигнала.

Фильтр Калмана использует динамическую модель системы (например, физический закон движения), известные управляющие воздействия и множество последовательных измерений для формирования оптимальной оценки состояния. Алгоритм состоит из двух повторяющихся фаз: предсказание и корректировка. На первом рассчитывается предсказание состояния в следующий момент времени (с учетом неточности их измерения). На втором новая информация с датчика корректирует предсказанное значение (также с учетом неточности и зашумленности этой информации).

На рис. 1 представлена модель движения мобильной платформы. Обозначим за x_k измеряемую величину. В случае рассматриваемой системы x_k – координата.

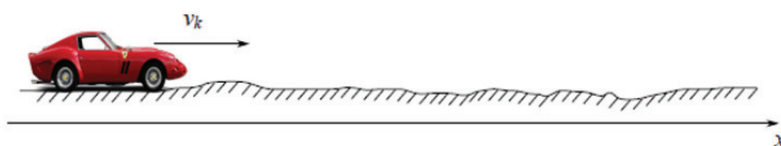


Рис. 1. Модель движения мобильной платформы

Координата мобильной платформы изменяется по закону:

$$x_{k+1} = x_k + u_k dt. \quad (1)$$

В реальной системе необходимо учитывать возмущения, действующие на платформу, поэтому к правой части уравнения (1) добавится случайная величина ξ_k :

$$x_{k+1} = x_k + u_k dt + \xi_k. \quad (2)$$

На мобильной платформе установлен сенсор, который получает геодезические координаты x_k , к этим координатам добавляется ошибка распространения навигационного сигнала η_k , которая является случайной величиной, в итоге с сенсора получаются ошибочные данные:

$$z_k = x_k + \eta_k. \quad (3)$$

Задача фильтрации состоит в том, чтобы, зная неверные показания сенсора z_k , найти достаточное приближение для истинной координаты мобильной платформы x_k . Обозначим достаточное приближение как x_{opt} . Учитывая вышесказанное, конечное уравнение системы для мобильной платформы с установленным сенсором глобального позиционирования будет иметь вид

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + u_k dt + \xi_k \\ z_k = x_k + \eta_k \end{cases}, \quad (4)$$

где u_k – известная величина, которая контролирует эволюцию системы, известна из построенной физической модели; ξ_k, η_k – ошибка модели и ошибка сенсора соответственно. Случайные величины, их законы распределения не зависят от времени.

Необходимо отметить, что для рассматриваемой системы закон распределения случайных величин неизвестен, но известны дисперсии σ_{ξ}^2 и σ_{η}^2 .

Предположим, что на k -м шаге известно отфильтрованное значение с сенсора x_k^{opt} , которое достаточно приближает истинную координату x_k , поэтому на шаге $k + 1$ система эволюционирует согласно закону (2) и показания с сенсора будут близки к $x_k^{opt} + u_k$. Также на шаге $k + 1$ становится известно неточное показание сенсора $z_k + 1$.

Исходя из вышесказанного, задача адаптации фильтра Калмана для использования с глобальной системой координат состоит в том, чтобы получить наилучшее приближение к истинной координате x_{k+1} , из ошибочных показаний сенсора $z_k + 1$ и $x_k^{opt} + u_k$ – предсказанием истинного значения. Показанию сенсора присваивается вес K , а к предсказанному значению $(1 - K)$:

$$x_{k+1}^{opt} = K * z_{k+1} + (1 - K) * (x_k^{opt} + u_k), \quad (5)$$

где K – коэффициент Калмана, зависящий от шага итерации.

Коэффициент Калмана выбирается таким образом, чтобы получившееся оптимальное значение координаты x_{k+1}^{opt} было наиболее близко к истинной координате $x_k + 1$. Например, если известно, что сенсор глобального позиционирования обладает высокой точностью, то, доверяя его точности, значению $z_k + 1$ устанавливается больший вес ($K \approx 1$). Если же сенсор не обладает удовлетворительной точностью, тогда в дальнейшем необходимо ориентироваться на теоретическое предсказание $x_k^{opt} + u_k$. В общем случае для того, чтобы найти точное значение коэффициента Калмана K , необходимо минимизировать ошибку:

$$e_{k+1} = x_{k+1} - x_{k+1}^{opt}. \quad (6)$$

Используя уравнение (4), получим

$$e_{k+1} = (1 - K)(e_k + \xi_k) - K\eta_{k+1}. \quad (7)$$

Для рассматриваемой системы критерий минимизации является средним значением от квадрата ошибки:

$$E(e_{k+1}^2) \rightarrow \min. \quad (8)$$

Используя уравнение (7) и критерий минимизации (8), получим

$$E(e_{k+1}^2) = (1 - K)^2 (Ee_k^2 + \sigma_{\xi}^2) + K^2 \sigma_{\eta}^2. \quad (9)$$

Выражение (9) принимает минимальное значение, когда

$$K_{k+1} = \frac{Ee_k^2 + \sigma_{\xi}^2}{Ee_k^2 + \sigma_{\xi}^2 + \sigma_{\eta}^2}. \quad (10)$$

Подставляя в выражение для среднеквадратичной ошибки $E(e_{k+1}^2)$, минимизирующие ее значение коэффициента Калмана K_{k+1} , получим

$$E(e_{k+1}^2) = \frac{\sigma_{\eta}^2 (Ee_k^2 + \sigma_{\xi}^2)}{Ee_k^2 + \sigma_{\xi}^2 + \sigma_{\eta}^2}. \quad (11)$$

Формула (11) является итерационной для нахождения коэффициента Калмана.

Формулы (5) и (11) позволяют найти качественно приближенное значение текущей координаты, путем подсчета коэффициента Калмана. Это в свою очередь приводит к повышению качества перемещения и позиционирования.

На рис. 2 представлены экспериментальные данные, полученные с сенсора GPS и отфильтрованные адаптивным фильтром Калмана.

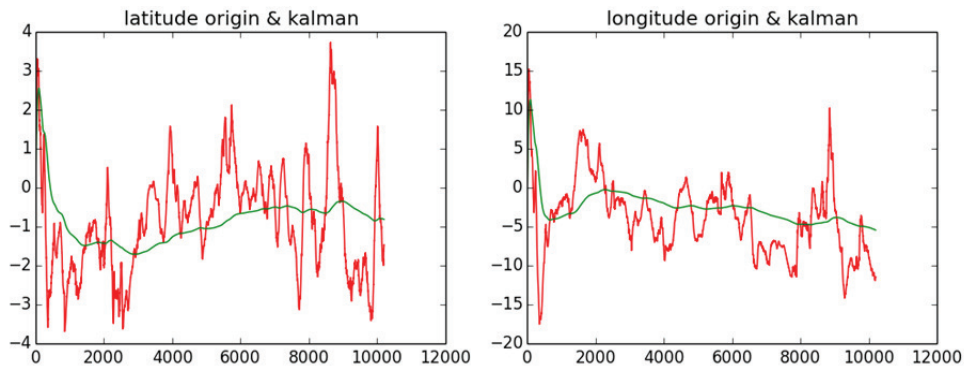


Рис. 2. Фильтрация GPS данных адаптивным фильтром Калмана

Как видно из рис. 2, фильтру необходимо время, когда коэффициент Калмана стабилизируется.

Рассматриваемая реализация фильтра Калмана апробирована на мобильной робототехнической платформе. Мобильная платформа представляет собой несущую конструкцию с двигателями постоянного тока, управляемыми через драйверы «L298N», с установленными одноплатным компьютером «Raspberry Pi» и GPS сенсором «u-blox». На платформе реализованы каналы wi-fi и глобального доступа. На рис. 3 изображен общий вид.

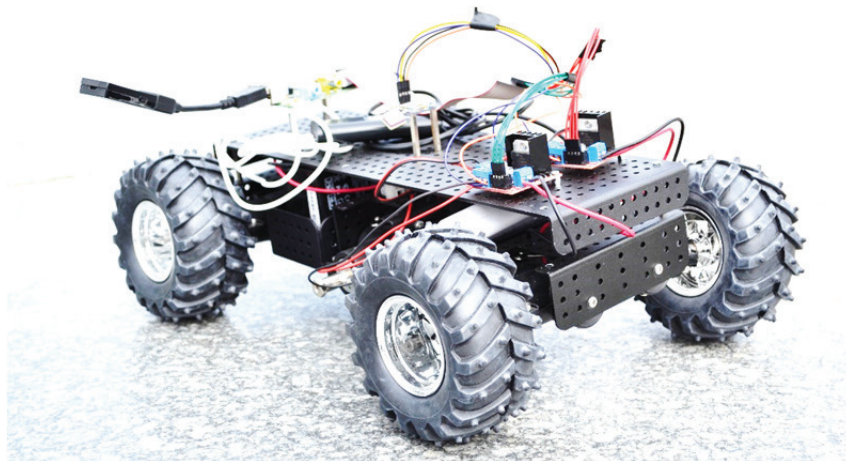


Рис. 3. Общий вид мобильной платформы

Мобильная платформа описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \cos(\phi)u \\ \frac{dy}{dt} = \sin(\phi)u \\ \frac{du}{dt} = \frac{1}{m}(F_1 + F_2 - M_c) \\ \frac{d\phi}{dt} = \frac{b}{2}J(F_1 - F_2 - k\omega) \end{cases},$$

где φ – угол, определяющий текущее положение, относительно начала координат; F_1, F_2 – усилия приводов; M_c – момент сопротивления; u – скорость движения; m – масса платформы; b – геометрический размер платформы.

Учитывая данные уравнения, спроектирована имитационная модель мобильной платформы, изображенной на рис. 4.

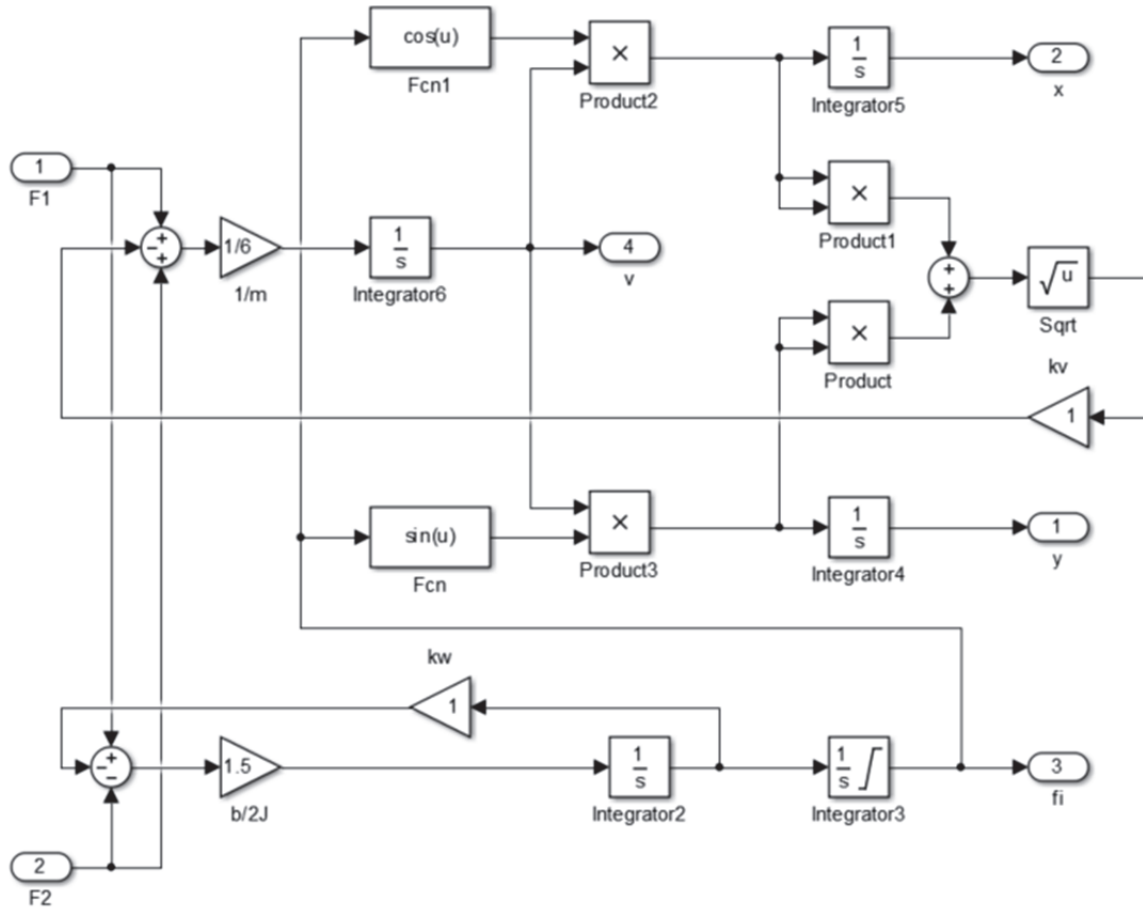


Рис. 4. Имитационная модель мобильной платформы.

График траектории движения в заданную точку (3;3) изображен на рис. 5.

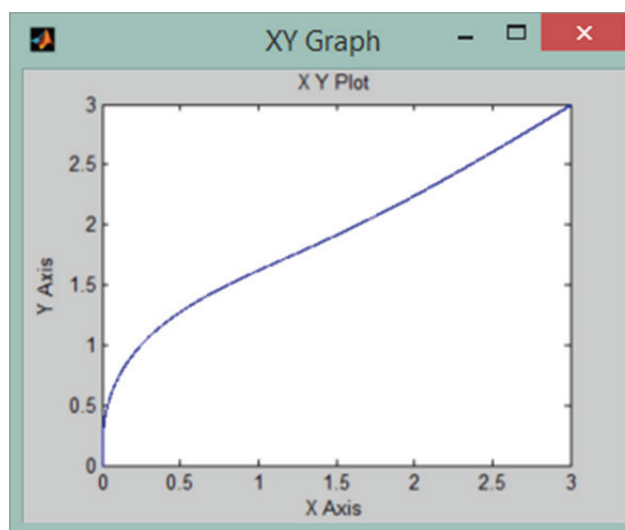


Рис. 5. Имитационная траектория движения

Учитывая данные модели и рассматриваемой адаптации фильтра Калмана, разработано программное обеспечение, реализующее движение мобильной платформы в заданную точку по геодезическим координатам.

На рис. 6 изображена экспериментальная траектория движения мобильной платформы.



Рис. 6. Экспериментальная траектория движения мобильной платформы

Экспериментальные данные показали, что при движении по геодезическим координатам погрешность позиционирования с учетом Калмановской фильтрации не превышает 0,2–0,5 м, когда заявленная точность спутникового сигнала составляет 1–2 м.

Разработанная адаптация фильтра Калмана существенно повышает качество определения положения мобильной платформы в движении.

Список литературы

1. Згуровский, М. З. Аналитические методы калмановской фильтрации для систем с априорной неопределенностью / М. З. Згуровский, В. Н. Подладчиков. – Киев : Наукова думка, 1995. – 298 с.
2. Оценивание состояния динамической системы в условиях неопределенности / В. И. Ширяев, В. И. Долбенков, Е. Д. Ильин, Е. О. Подвилова // Экстремальная робототехника : сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – СПб., 2011. – С. 234–243.
3. Кац, И. Я. Минимаксная многошаговая фильтрация в статистически неопределенных ситуациях / И. Я. Кац, А. Б. Куржанский // Автоматика и телематика. – 1978. – № 11. – С. 79–87.
4. Климченко, В. В. Планирование измерений параметров контролируемых технических объектов / В. В. Климченко // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2011. – Т. 1. – С. 46–48.
5. Еременко, В. В. Динамика информационных потоков в системе управления сложным техническим комплексом / В. В. Еременко // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2012. – Т. 1. – С. 293–294.
6. Петрунин, В. В. Система управления роботом / В. В. Петрунин, Ю. В. Анохина // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2013. – Т. 2. – С. 219–220.

УДК 51-74

Малинин, Д. Д.

Повышение точности позиционирования мобильной платформы путем коррекции GPS сигнала фильтром Калмана / Д. Д. Малинин, А. Е. Шаралапов // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 44–49.

Шаралапов Александр Евгеньевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра автоматики и телемеханики,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: robot@pnzgu.ru

Малинин Дмитрий Денисович

магистрант,
кафедра автоматики и телемеханики,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: robot@pnzgu.ru

Аннотация. Рассмотрено повышение точности позиционирования мобильной платформы путем коррекции GPS сигнала фильтром Калмана. Мобильная платформа представляет собой транспортное средство с установленным на нем GPS-сенсором, который принимает геодезические координаты. Координаты, полученные с GPS-сенсора, имеют погрешность, которая состоит из ошибки навигационного и «многолучевого» распространения. В движении на платформу оказывают влияние внешние возмущения, что добавляет ошибку в позиционирование мобильной платформы. Исходя из вышеизложенного, для корректной навигации мобильной платформы в недетерминированной среде необходимо решить задачу фильтрации для координат, полученных с GPS-сенсора, который установлен на объекте, находящемся в движении. Задача фильтрации решается путем адаптации фильтра Калмана под заданные условия. При адаптации учтены возмущения, действующие на платформу, и ошибки распространения навигационного сигнала. Проведено экспериментальное исследование, доказывающее эффективность адаптивного фильтра.

Ключевые слова: мобильная платформа, фильтр Калмана, GPS.

Sharalapov Alexander Evgenevich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of automation and remote control,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Malinin Dmitry Denisovich

master degree student,
sub-department of automation and remote control,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Abstract. The article considers the increase in accuracy positioning mobile platform by correcting GPS signal Kalman filter. The mobile platform is a vehicle mounted with a GPS sensor that receives geodetic coordinates. The coordinates obtained from the GPS sensor has an error which is composed of a navigation error and «multipath» distribution. In a move to the platform affect the external disturbances, which adds error in positioning the mobile platform. Proceeding from the above, for the correct navigation of mobile platforms in non-deterministic environment, you must solve the problem of filtering for the coordinates received from the GPS sensor, which is mounted on an object in motion. Filtering problem is solved by adapting the Kalman filter under specified conditions. In adapting considered perturbations acting on the platform, and the error propagation of the navigation signal. An experimental study showing the effectiveness of the adaptive filter.

Key words: mobile platform, Kalman filter, GPS.