

С. В. Соколов, А. Л. Охотников, А. В. Костюков, Д. В. Маршаков

ВЫСОКОТОЧНОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛОКОМОТИВА В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Аннотация. Предложено решение проблемы, возникающей при позиционировании беспилотных транспортных объектов, в частности локомотивов, в условиях городской застройки и интенсивных помех. В настоящее время широкий класс объектов городской и железнодорожной инфраструктуры создает непредсказуемый характер помех, воздействующих на сенсоры беспилотного локомотива. В этом случае при подъезде к опорному объекту инфраструктуры становится невозможным использование как спутниковых измерений, так и различных датчиков системы технического зрения. В связи с этим в статье для решения поставленной задачи (устойчивого высокоточного решения задачи позиционирования локомотива) предлагается использовать в качестве навигационных датчиков автономные измерители параметров линейного движения локомотива, а для обработки зашумленных измерений – фильтр Калмана и метод робастной фильтрации.

Ключевые слова: спутниковые измерения, навигационные параметры, фильтр Калмана, робастный фильтр, навигационная система локомотива, система технического зрения, цифровая модель пути.

Для цитирования: Высокоточное позиционирование беспилотного локомотива в условиях нестабильных спутниковых измерений / С. В. Соколов, А. Л. Охотников, А. В. Костюков, Д. В. Маршаков // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 2. – С. 25–33. – DOI 10.46973/0201-727X_2024_2_25.

Введение

При управлении локомотивом в беспилотном режиме одной из центральных задач является его высокоточное позиционирование. Помимо навигационных аспектов решения этой задачи в этом случае обеспечивается еще и повышение безопасности движения, т. к. резко снижается вероятность столкновения с препятствиями и недопустимого проезда различных опорных объектов (платформ, стрелок и пр.) [1]. Высокоточное позиционирование также решает множество других задач, актуальных для всех видов железнодорожного транспорта: определение номера занимаемого пути, переходов по стрелкам, расстояний до любых объектов железнодорожной инфраструктуры, границ путевых секций и др.

На сегодняшний день проблема высокоточного позиционирования локомотивов решается самыми различными способами: использованием спутниковых навигационных сообщений, электронных карт местности (а также их комплексированием [2]), датчиков положения локомотива, активных и пассивных реперных элементов (ориентиров) и т. д. При использовании спутниковых навигационных сообщений основной нерешенной проблемой является отказ навигационной системы при невалидности (пропадании) спутникового сигнала, значительное время выхода на стационарный режим высокоточного позиционирования по окончании периода невалидности (что достаточно ощутимо проявляется, в частности, при приближении локомотива к различным объектам железнодорожной инфраструктуры: станции, железнодорожному знаку, семафору и др.), а также усложнение и удорожание информационно-вычислительного комплекса локомотива за счет дополнительной установки внештатной аппаратуры [3–6]. Другие вышеперечисленные способы также усложняют и удорожают информационно-вычислительный комплекс локомотива: дополнительным введением радаров или инфракрасных камер/датчиков [7], комплекса, измеряющего расстояние на основе разделения изображений [8], видеокamer, геодезической 3D-базы данных, акселератора, электронного и рулевого блоков управления [2] и пр.

Постановка задачи

Наличие подобных проблем приводит к необходимости поиска новых подходов к решению задачи позиционирования локомотива, причем высокоточного и в условиях неизбежных помех измерения используемых сенсоров информационно-вычислительного комплекса локомотива.

Ниже исследуем один из наиболее перспективных вариантов ее решения – с использованием автономных измерителей штатного информационно-управляющего комплекса локомотива и методов теории нелинейной фильтрации.

Решение задачи

На рис. 1 представлена функциональная схема реализации метода высокоточного позиционирования локомотива при приближении к реперному элементу или другому опорному объекту инфраструктуры (станции, железнодорожному знаку, семафору и др.).

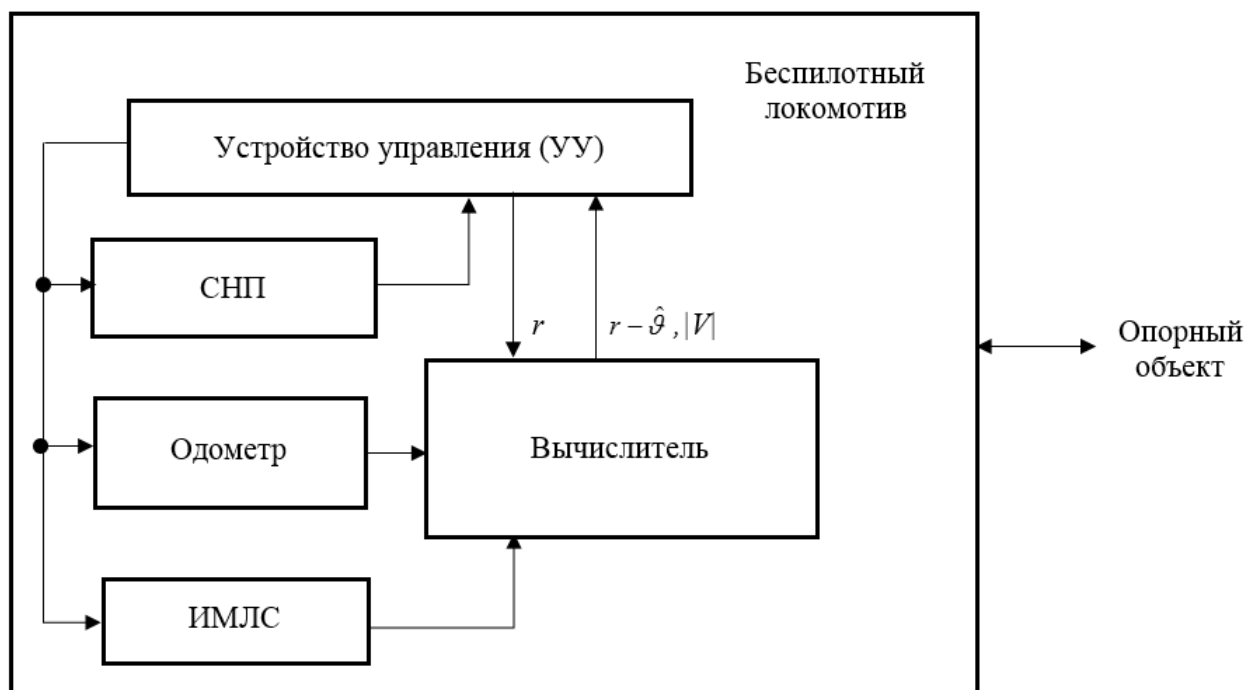


Рис. 1. Функциональная схема реализации метода высокоточного позиционирования беспилотного локомотива

Данный метод позиционирования реализуется следующим образом.

Высокоточное позиционирование локомотива в штатном режиме

При определении положения локомотива относительно какого-либо реперного элемента (ориентира), точные координаты которого заданы в цифровой модели пути (ЦМП), полагаем, что в устройство управления (УУ) в штатном режиме с выхода спутникового навигационного приемника (СНП) поступают текущие координаты локомотива, измеренные по принятым спутниковым навигационным сообщениям. Совместное использование координат локомотива и ЦМП обеспечивает в этом случае очевидную возможность текущего определения положения локомотива относительно заданного реперного элемента (ориентира). Но, как правило, при подъезде к реперному элементу спутниковые измерения или пропадают, или сильно искажаются, т. е. оказываются невалидными.

Подобное обстоятельство приводит к необходимости использования для определения текущего положения локомотива автономных средств измерения: доплеровского измерителя скорости или лидара (как измерителей модуля линейной скорости), а также одометра. Данные измерители включаются в момент возникновения невалидности спутниковых измерений. Выходные сигналы одометра (т. е. текущие приращения пути $\hat{\vartheta}$) и измерителя модуля линейной скорости (ИМЛС) поступают в бортовой вычислитель локомотива (в который также поступает с выхода УУ расстояние r локомотива до реперного элемента (ориентира) на момент включения данных измерителей). В бортовом вычислителе с использованием цифровой модели пути и измерений ИМЛС и одометра определяются как оценка текущего расстояния локомотива до реперного элемента ($r - \hat{\vartheta}$), так и оценка текущего модуля скорости локомотива $|\hat{V}|$. Данные оценки далее поступают в УУ, где используются при формировании управления скоростью локомотива и его остановкой по достижении реперного элемента.

При построении реализуемого в бортовом вычислителе алгоритма помехоустойчивого высокоточного оценивания текущего приращения пути $\hat{\vartheta} = \int_0^t |V| dt$, а также модуля скорости $|\hat{V}|$, используются следующие теоретические соображения.

Сигнал измерения одометра Z может быть представлен следующим образом:

$$Z = \int_0^t |V| dt + W_o, \quad (1)$$

где W_o – помеха одометрического измерения, аппроксимируемая далее центрированным белым гауссовским шумом (БГШ) с интенсивностью D_o .

В свою очередь, выходной сигнал измерения ИМЛС Z_s описывается как

$$Z_s = |V| + W_s, \quad (2)$$

где W_s – помеха измерения модуля скорости, аппроксимируемая далее центрированным БГШ с интенсивностью D_s .

При подобных характеристиках помех измерения для оптимального решения задачи высокоточного помехоустойчивого позиционирования локомотива используем далее фильтр Калмана, как обеспечивающий минимум среднеквадратической ошибки оценивания. С целью возможности построения фильтра Калмана в рассматриваемом случае используем новую переменную, описывающую текущее приращение пути: $\vartheta = \int_0^t |V| ds$. Или в дифференциальной форме

$$\dot{\vartheta} = |V|,$$

трансформируемой с учетом уравнения (2) к виду

$$\dot{\vartheta} = Z_s - W_s. \quad (3)$$

Уравнения (3) и (1), рассматриваемые как уравнения объекта и наблюдателя соответственно, позволяют решить поставленную задачу как задачу оптимального линейного оценивания переменной ϑ по наблюдениям

$$Z = \vartheta + W_o.$$

Уравнение оценки в данном случае принимает вид (с учетом $\vartheta_0 = 0$)

$$\dot{\hat{\vartheta}} = Z_s + w D_o^{-1} (Z - \hat{\vartheta}), \quad \hat{\vartheta}_0 = 0, \quad (4)$$

где функция w описывается дисперсионным уравнением (уравнением ошибки фильтрации);

$$\dot{w} = D_s - w^2 D_o^{-1}, \quad w_0 = M[(\hat{\vartheta}_0 - \vartheta_0)^2] = 0. \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) допускают аналитическое решение

$$\begin{aligned} w(t) &= \sqrt{D_s D_o} \frac{\exp(2\sqrt{D_s D_o^{-1}} t) - 1}{\exp(2\sqrt{D_s D_o^{-1}} t) + 1}, \\ \hat{\vartheta} &= \exp \left[-D_o^{-1} \int_0^t w(x) dx \right] \int_0^t \left[\exp(D_o^{-1} \int_0^x w(y) dy) \cdot (w(x) D_o^{-1} Z + Z_s) \right] dx = \\ &= \operatorname{sech} \left(\sqrt{\frac{D_s}{D_o}} t \right) \int_0^t \operatorname{ch} \left(\sqrt{D_s D_o^{-1}} x \right) \left(\sqrt{\frac{D_s}{D_o}} \frac{\exp \left(2 \sqrt{\frac{D_s}{D_o}} x \right) - 1}{\exp \left(2 \sqrt{\frac{D_s}{D_o}} x \right) + 1} Z(x) + Z_s(x) \right) dx. \end{aligned} \quad (6)$$

Выражение (4) является оптимальным для решения задачи позиционирования локомотива для выбранного состава измерителей, реализуемого непосредственно в информационно-вычислительном комплексе локомотива.

Высокоточное позиционирование локомотива в условиях неопределенности

В силу специфики ряда объектов железнодорожной инфраструктуры при подъезде к ним, во-первых, становится непредсказуемым характер помех, действующих на упомянутые выше измерители параметров движения локомотива, а во-вторых, оказывается невозможным использование лидаров системы технического зрения (так называемая «мертвая зона»).

В этом случае с момента времени, когда измерения СНП становятся невалидными, для дальнейшего высокоточного определения расстояния локомотива до реперного элемента (или другого опорного объекта инфраструктуры) используются одомер и три акселерометра, расположенные на локомотиве в инерциальном измерительном модуле (ИИМ) (при этом следует отметить, что одомер и ИИМ могут работать также в процессе всего движения совместно с СНП для повышения точности позиционирования).

В этом случае бортовой вычислитель локомотива обеспечивает высокоточную оценку рассмотренных выше параметров движения локомотива ($|V|$ и $\vartheta = \int_0^t |V| ds$) следующим образом.

Полагая отрезок пути перед объектом железнодорожной инфраструктуры прямолинейным, а также учитывая, что на данном участке торможения модуль скорости совпадает с продольной осью локомотива, выходной сигнал Z одометра, пропорциональный длине пройденного пути, можно представить аналогично (1) следующим образом (но с учетом уже неопределенного характера его помехи):

$$Z = \int_0^t |V| ds + W_o, \quad (7)$$

где W_o – помеха одометрического измерения с неизвестной функцией распределения вероятностей.

Для возможности последующего формирования оценки $\hat{\vartheta}$ в бортовом вычислителе далее используем показания трех ортогональных акселерометров a_x, a_y, a_z инерциального измерительного модуля.

Поскольку вектор ускорения в бортовой системе координат (СК) \dot{W} , измеряемый акселерометрами ИИМ, равен:

$$\dot{W} = A(\dot{V} + G),$$

где $[\dot{V}]$ – вектор ускорения, обусловленного движением локомотива, в топоцентрической СК;

$G = [0 \ 0 \ g]^T$ – вектор гравитационного ускорения в топоцентрической СК;

A – матрица ориентации (направляющих косинусов) бортовой СК относительно топоцентрической СК, то, учитывая, что на участке торможения ориентация бортовой СК (трехгранника акселерометров) относительно топоцентрической СК практически неизменна ($A = \text{const}$), вектор скорости локомотива в бортовой СК может быть представлен как

$$W = A(V + Gt),$$

где V – вектор скорости, обусловленной движением локомотива в топоцентрической СК.

Соответственно, модуль скорости в бортовой СК равен

$$|W| = \sqrt{W^T W},$$

$$W^T W = (V^T + G^T t) A^T A (V + Gt) = V^T V + G^T Vt + V^T Gt + G^T Gt^2,$$

где $A^T A = E$;

E – единичная матрица.

В силу того, что на участке торможения модуль скорости совпадает с продольной осью локомотива и ориентация бортовой СК (трехгранника акселерометров) относительно

топоцентрической СК практически неизменна, то вертикальной составляющей скорости V_z локомотива можно пренебречь. В этом случае

$$G^T V = V^T G = V_z g \approx 0,$$

и модуль скорости собственного движения локомотива в топоцентрической СК равен

$$|V| = \sqrt{V^T V} = \sqrt{W^T W - (gt)^2},$$

где вектор скорости в бортовой СК W может быть определен по измерениям трех акселерометров ИИБ следующим образом:

$$W = \left[W_{0x} + \int_0^t a_x ds; \quad W_{0y} + \int_0^t a_y ds \quad W_{0z} + \int_0^t a_z ds \right]^T,$$

где $a_{x,y,z}$ – показания акселерометров;

$W_{0x,y,z}$ – начальные значения проекций скорости локомотива в бортовой СК.

Таким образом, модуль скорости собственного движения локомотива в топоцентрической СК, определяемый в вычислителе по измерениям трех акселерометров ИИМ, может быть представлен как

$$|V| = \sqrt{(W_{0x} + \int_0^t a_x ds)^2 + (W_{0y} + \int_0^t a_y ds)^2 + (W_{0z} + \int_0^t a_z ds)^2 - (gt)^2}.$$

В силу того, что измерения акселерометров осуществляются с неизбежными ошибками, то сигнал измерения, пропорциональный модулю скорости $|V|$, можно записать следующим образом:

$$Z_s = |V| + W_s, \quad (8)$$

где W_s – помеха измерения с неизвестными вероятностными характеристиками.

Далее в бортовом вычислителе решается прежняя задача – по измерениям (7), (8) оценить с минимальной ошибкой текущее значение приращения пути $\hat{\vartheta}$, определяющее положение локомотива на участке торможения.

Так как для оценки текущего значения приращения пути $\hat{\vartheta}$, определяющего положение локомотива на участке торможения, используются измерения (7), (8), зашумленные помехами с неизвестными вероятностными характеристиками, то для устойчивого решения поставленной задачи используем далее методы робастной фильтрации. Для рассматриваемых измерителей вероятностные распределения помех измерений (7), (8) с высокой степенью общности можно полагать принадлежащими к классу распределений с ограниченными вторыми моментами (средними квадратами) и использовать при оценке переменной $\hat{\vartheta}$ робастный фильтр, рассмотренный в [9].

В этом случае также используем переменную $\vartheta = \int_0^t |V| dt$, измеряемую наблюдателем (1) и описываемую уравнением (3):

$$\dot{\vartheta} = Z_s - W_s.$$

Тогда, учитывая структуру робастного фильтра [9] и класс неизвестных вероятностных распределений помех, уравнения оценки могут быть записаны следующим образом (с учетом $\mathcal{Q}_0 = 0$):

$$\begin{aligned} \dot{\hat{\vartheta}} &= Z_s + \frac{1}{2}[Z - \hat{\vartheta}] = -\frac{1}{2}\hat{\vartheta} + Z_s + \frac{1}{2}Z, \\ \hat{\mathcal{Q}}_0 &= 0, \end{aligned}$$

и в силу их линейности позволяют найти решение в аналитическом виде:

$$\hat{g} = \exp(-0.5t) \left[\int_0^t (Z_s + \frac{1}{2} Z) \exp(0.5t) dt - (Z_{s0} + \frac{1}{2} Z_0) \right], \quad (9)$$

где Z_{s0} , Z_0 – значения сигналов измерения Z_s , Z в начальный момент времени, являющиеся аналитическим робастным решением поставленной задачи позиционирования локомотива.

Пример. Для оценки эффективности предложенного подхода рассмотрим его использование как для случая гауссовских помех бортовых измерителей, так и при неопределенности их вероятностных распределений. В обоих случаях изменение во времени t модуля скорости движения локомотива моделировалось на интервале $[0; 100]$ секунд с шагом 0,01 с по закону:

$$|V| = \exp(-t) \cos(0.05t). \quad (10)$$

В случае гауссовских помех шумов измерений W_s , W_o моделировались случайными центрированными последовательностями с нормальным распределением и дисперсиями $D_s = 10^{-4} \text{ (м/с)}^2$ и $D_o = 10^{-2} \text{ м}^2$ соответственно, характерными для используемых в настоящее время типовых (непрецизионных) бортовых измерителей. В соответствии с изложенным подходом для оценки приращения пути здесь использовался фильтр Калмана (6). График ошибки оценки для данного случая приведен на рис. 2.

Анализ характера изменения во времени ошибки оценки показывает хорошую сходимость процесса оценивания (несмотря на «выбросы» в течение первых 7 с) и достижение требуемой точности – 30 см, в момент остановки локомотива у реперного знака. Это позволяет сделать вывод об эффективности рассмотренного алгоритма при использовании в качестве бортовых измерителей одометра и ИМЛС. При использовании же вместо ИМЛС трехосного акселерометра, а также невозможности определения видов распределений помех бортовых измерителей (т. е. в условиях неопределенности) для оценки приращения пути необходимо использовать, как было показано выше, робастный фильтр (9).

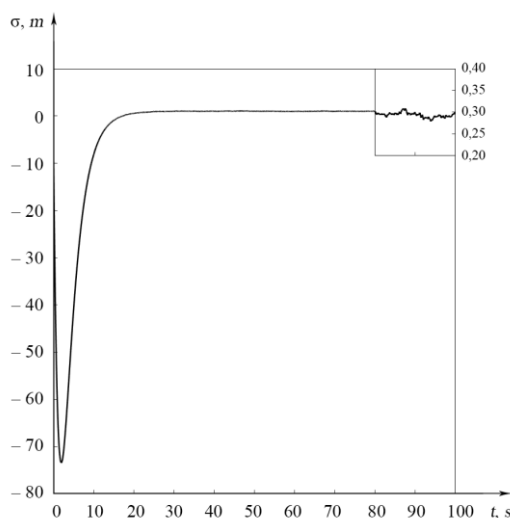


Рис. 2. График изменения ошибки оценки позиционирования локомотива в штатном режиме

С целью проверки его эффективности, а также сравнительного анализа по точности с фильтром Калмана было проведено оценивание координаты приращения пути обоими фильтрами при моделировании шумов бортовых измерителей аддитивными смесями следующих случайных последовательностей:

- для одометра $W_o + W_{p1}$;
- для акселерометров и ИМЛС $W_s + W_{p2}$,

где W_s , W_o – случайные центрированные последовательности с нормальным распределением и дисперсиями $D_s = 10^{-4} \text{ (м/с)}^2$ и $D_o = 10^{-2} \text{ м}^2$ соответственно;

W_{p1} – случайная последовательность с равномерным распределением на интервале $(-0.1; 0.1)$ м;

W_{p2} – случайная последовательность с равномерным распределением на интервале $(-0.01; 0.01)$ м/с.

График ошибки оценки фильтром Калмана для рассмотренного случая приведен на рис. 3.

Ошибка оценки претерпевает здесь значительный начальный «выброс» – до 270 м, причем на достаточно длительном интервале времени – до 45 с. При этом по сравнению со случаем гауссовских

возмущений ухудшается точность позиционирования в момент остановки – до 1 м. В то же время график ошибки оценки робастным фильтром (рис. 4) показывает существенно лучшую сходимость процесса оценивания – при значительно меньшем начальном «выбросе» (как по времени – в течение первых 4 с, так и по амплитуде – до 37 м), причем при достижении большей точности в момент остановки локомотива – 56 см.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности преимущественного применения робастного алгоритма фильтрации при использовании вместо ИМЛС трехосного акселерометра, а также при невозможности априорного определения видов распределений помех бортовых измерителей.

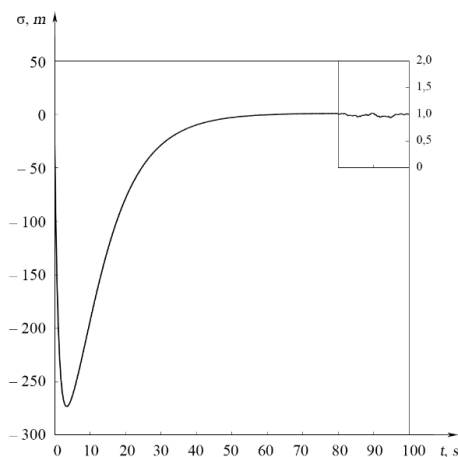


Рис. 3. График изменения ошибки оценки позиционирования локомотива в условиях неопределенности фильтром Калмана

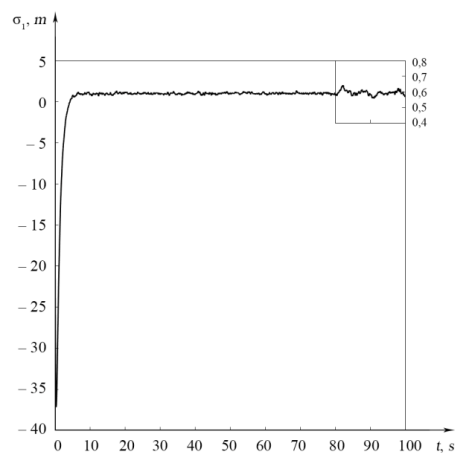


Рис. 4. График изменения ошибки оценки позиционирования локомотива в условиях неопределенности робастным фильтром

Выводы

Преимущественными особенностями предложенного подхода являются, во-первых, устойчивое высокоточное позиционирование локомотива при невалидных измерениях спутниковых навигационных систем и неопределенных вероятностных характеристиках помех измерения автономных сенсоров информационно-вычислительного комплекса локомотива, во-вторых, возможность решения задачи определения текущего положения локомотива в реальном времени, а в-третьих, отсутствие дополнительных аппаратных затрат, т. к. для решения поставленной задачи достаточно штатного информационно-вычислительного комплекса локомотива.

Подобные преимущества предложенного метода позиционирования обеспечивают возможность его использования для эффективного решения задач навигации и управления как в современных, так и перспективных локомотивах.

Список литературы

- 1 Погрешности измерения расстояния до препятствия средствами технического зрения и прогноза пути торможения в беспилотных системах управления движением поездов / Л. А. Баранов, П. Ф. Бестемьянов, Е. П. Балакина, А. Л. Охотников // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19, № 6 (97). – С. 6–12. – DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-6-1.
- 2 Патент № 2668459 С1 Российская Федерация, МПК G05D 1/02, G01C 21/30. Устройство оценки положения и способ оценки положения / И. Ямагути, Х. Уеда. – № 2017146057 ; заявл. 28.05.2015 ; опубл. 01.10.2018, Бюл. № 28. – 43 с.
- 3 О повышении точности GPS-компыаса для мало-размерных объектов / Г. И. Емельянцев, А. П. Степанов, Б. А. Блажнов, И. В. Семенов // Гироскопия и навигация. – 2015. – № 1 (88). – С. 18–28. – DOI 10.17285/0869-7035.2015.23.1.018-029.
- 4 Шахин, Э. М. Математический анализ фазовых погрешностей в схеме слежения приемника GPS при помехах разного рода / Э. М. Шахин // Гироскопия и навигация. – 2018. – № 3 (26). – С. 40–53. – DOI 10.17285/0869-7035.2018.26.3.040-053.
- 5 Митрахович, И. О. Система определения углов ориентации объектов в пространстве на основе метода RTK / И. О. Митрахович // Международный конгресс по информатике : информационные системы и технологии : материалы Международного научного конгресса, Минск, 24–27 октября 2016 г. – Минск : Белорусский государственный университет, 2016. – С. 46–51. – ISBN 978-985-566-369-1.
- 6 Тяпкин, В. Н. Методы определения навигационных параметров подвижных средств с использованием спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС / В. Н. Тяпкин, Е. Н. Гарин. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2012. – 259 с. – ISBN 978-5-7638-2639-5.
- 7 Патент № 2676518 С1 Российская Федерация, МПК G05B 15/00, G08G 1/00, G08G 9/00. Способ и устройство для управления сетью мобильных роботизированных устройств / Д. В. Яцкин. – № 2018101151 ; заявл. 12.01.2018 ; опубл. 29.12.2018, Бюл. № 1. – 26 с.
- 8 Патент № 2509021 С2 Российская Федерация, МПК B61L 25/02. Устройство и способ для создания сигнала местоположения / А. Пухерт. – № 2011100827/11 ; заявл. 03.06.2009 ; опубл. 10.03.2014, Бюл. № 7. – 19 с.
- 9 Патент № 2755677 С1 Российская Федерация, МПК H03H 19/00, G06F 17/18. Робастный стохастический фильтр / С. В. Соколов, А. А. Манин. –

References

- 1 Errors in Measuring the Distance to an Obstacle by Technical Vision Means and in Forecasting Braking Distance in Driverless Train Control Systems / L. A. Baranov, P. F. Bestemyanov, E. P. Balakina, A. L. Okhotnikov // World of Transport and Transportation. – 2021. – Vol. 19, No. 6 (97). – P. 134–140. – DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-6-1.
- 2 Patent No. 2668459 C1 Russian Federation, IPC G05D 1/02, G01C 21/30. Position assessment device and position assessment method / I. Yamaguchi, H. Ueda. – No. 2017146057 ; application. 05.28.2015 ; publ. 01.10.2018, Bul. No 28. – 43 p.
- 3 On improving the accuracy of a GPS compass for small-sized objects / G. I. Emeliantsev, A. P. Stepanov, B. A. Blazhnov, I. V. Semenov // Gyroscopy and Navigation. – 2015. – No. 1 (88). – P. 18–28. – DOI 10.17285/0869-7035.2015.23.1.018-029.
- 4 Shaheen, E. M. Mathematical Analysis for the GPS Carrier Tracking Loop Phase Jitter in Presence of Different Types of Interference Signals / E. M. Shaheen // Gyroscopy and Navigation. – 2018. – No. 3 (26). – P. 40–53. – DOI 10.17285/0869-7035.2018.26.3.040-053.
- 5 Mitrakhovich, I. O. The system for determining the angles of orientation of objects in space based on the RTK method / I. O. Mitrakhovich // International Congress on Informatics : information systems and Technologies : materials of the International Scientific Congress, Minsk, October 24–27, 2016. – Minsk : Belarusian State University, 2016. – P. 46–51. – ISBN 978-985-566-369-1.
- 6 Tyapkin, V. N. Methods for Determining the Navigation Parameters of Mobile Vehicles Using the GLONASS Satellite Radio Navigation System / V. N. Tyapkin, E. N. Garin. – Krasnoyarsk : Siberian Federal University, 2012. – 259 p. – ISBN 978-5-7638-2639-5.
- 7 Patent No. 2676518 C1 Russian Federation, IPC G05B 15/00, G08G 1/00, G08G 9/00. A method and device for managing a network of mobile robotic devices / D. V. Yatskin. – No. 2018101151 ; application 12.01.2018 ; publ. 29.12.2018, Bul. No. 1. – 26 p.
- 8 Patent No. 2509021 C2 Russian Federation, IPC B61L 25/02. Device and method for creating a location signal / A. Pukhert. – No. 2011100827/11 ; application 03.06.2009 ; publ. 10.03.2014, Bul. No. 7. – 19 p.
- 9 Patent No. 2755677 C1 Russian Federation, IPC H03H 19/00, G06F 17/18. Robust stochastic filter /

№ 2021107334 ; заявл. 19.03.2021 ; опубл. S. V. Sokolov, A. A. Manin. – No. 2021107334 ; application. 03.19.2021 ; publ. 09.20.2021, Bul. No. 26. – 11 p.

S. V. Sokolov, A. L. Okhotnikov, A. V. Kostyukov, D. V. Marshakov

HIGH-PRECISION POSITIONING OF AN AUTONOMOUS LOCOMOTIVE IN CONDITIONS OF UNSTABLE SATELLITE MEASUREMENTS

Abstract. The problem that arises when positioning autonomous transport objects when traveling in urban conditions and increased interference is touched upon. Such objects of railway infrastructure create an unpredictable nature of interference, which affects the sensors of an autonomous locomotive. In this case, when approaching a supporting infrastructure facility, it becomes impossible to use both satellite measurements and various sensors of the technical vision system. In this regard, the article proposes to use autonomous meters of linear motion parameters of a locomotive as navigation sensors, and to process noisy measurements - a Kalman filter and a robust filtering method.

Keywords: satellite measurements, navigation parameters, Kalman filter, robust filter, locomotive navigation system, vision system, digital track model.

For citation: High-precision positioning of an autonomous locomotive in conditions of unstable satellite measurements / S. V. Sokolov, A. L. Okhotnikov, A. V. Kostyukov, D. V. Marshakov // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2024. – No. 2. – P. 25–33. – DOI 10.46973/0201-727X_2024_2_25.

Сведения об авторах

Соколов Сергей Викторович

Северо-Кавказский филиал ордена
Трудового Красного Знамени
ФГБОУ ВО «Московский технический университет
связи и информатики» (СКФ МТУСИ),
кафедра «Информатика и вычислительная
техника»,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: s.v.s.888@yandex.ru

Охотников Андрей Леонидович

АО «Научно-исследовательский и
проектно-конструкторский институт
информатизации, автоматизации и связи на
железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»),
заместитель начальника департамента, начальник
отдела стратегического развития,
e-mail: a.ohotnikov@vniias.ru

Костюков Александр Владимирович

Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Теоретические основы
электротехники»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: kav@rgups.ru

Маршаков Даниил Витальевич

Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Автоматика и телемеханика на ЖДТ»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: daniil_marshakov@mail.ru

Information about the authors

Sokolov Sergey Viktorovich

North Caucasus Branch of the Order of the Red
Banner of Labor of the Moscow Technical
University of Communications and Informatics
(NCF MTUCI),
Chair «Computer Science and Computer
Engineering»,
Doctor of Engineering Sciences, Professor,
e-mail: s.v.s.888@yandex.ru

Okhotnikov Andrey Leonidovich

Research and Design Institute for Information
Technology, Signalling and Telecommunications
on Railway Transport (JSC “NIAS”),
Deputy Head of the Department,
Head of the Strategic Development Division,
e-mail: a.ohotnikov@vniias.ru

Kostyukov Alexander Vladimirovich

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Theoretical Foundations of Electrical
Engineering»,
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor,
e-mail: kav@rgups.ru

Marshakov Daniil Vitalievich

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Control and Telemechanics on RWT»,
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor,
e-mail: daniil_marshakov@mail.ru