

Геоинформатика транспорта

Geoinformatik of transport

Ключевые слова: глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) – global navigation spase system (GNSS); навигация в режиме реального времени – navigation in real time; известная траектория движения – known trace movemrnt; навигационная функция – navigation function; математическая процедура – matematical operation; интеграция навигационных функций и спутниковых измерений – integration of navigation functions and spatial meargements; фильтр Калмана – Kalmans filter; взвешенная обобщенно-обратная матрица – weighted general inverted matrix.

Статья посвящена новой области знаний – геоинформатике транспорта, формируемой на стыке геоинформатики и навигации. Показано, что технологии глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) позволяют решать задачи навигации в режиме реального времени. Наилучшим математическим аппаратом для интеграции известных траекторий движения (навигационных функций) и спутниковых измерений является аппарат калмановской фильтрации. Изложена теория обработки навигационных функций и спутниковых измерений на основе модернизированного фильтра Калмана. Модернизация выполнена на основе процедур взвешенных обобщенно-обратных матриц.

This article deducated new region of knowlledge – geoinformatik of transport, shaped on edges of geoinformatik and navigation. Showed that technologies of Global navigation spase system (GNSS) allowe to deside tasks of navigation in real time. Best matematical apparat for integration of know trace movements and spatial meargements is filter of Kalmans. Stated the theory of together desiding navigation funktions and spatial meargements based on the modernizing Kalmans filter. Modernization executed by weighted general inverted matrix.

МАТВЕЕВ / MATVEEV A.

Александр Станиславович

кандидат технических наук, доцент,
докторант кафедры «Геодезия,
геоинформатика и навигация»
Московского государственного
университета путей сообщения (МИИТ),
Москва

Интенсивное внедрение геоинформационных и спутниковых систем и технологий в сфере железнодорожного транспорта показало, что для успешной реализации инновационных технологий при управлении движением поездов и повышения безопасности процесса необходима интеграция знаний геоинформатики, спутниковой навигации и автономных систем инерциальной навигации. Высокоскоростные виды транспорта требуют решения задач навигации и управления в режиме реального времени. Собственно, для этого и были созданы спутниковые радионавигационные системы, фиксирующие единый пространственно-временной континуум, в котором точность определения времени даже выше точности определения пространственных координат. Да и развитие компьютерных технологий позволяет осуществить решение задач навигации, связанных с алгоритмами сфероидической геодезии в режиме реального времени.

Для достижения высокой точности навигации и управления, обеспечения безопасности движения высокоскоростных видов транспорта сегодня используют комплексирование инерциальных, спутниковых, гироскопических и других видов измерений, дублирующих и дополняющих друг друга. Совместная математическая обработка комплексированных измерений с использованием рекуррентных процедур стохастической фильтрации позволяет использовать достоинства всех составляющих комплекса и получить оптимальное решение задач навигации в режиме реального времени.

Автоматизированное решение задач навигации, безусловно, попадает в сферу действия геоинформатики. Более того, на стыке геоинформатики и навигации естественным образом формируется

новая область знаний — геоинформатика транспорта, или геоинформатика реального времени.

Отличительными особенностями геоинформатики транспорта являются:

- наличие высокоточной временной составляющей;

- необходимость прямой или косвенной синхронизации потоков измерительной информации;

- наличие *геоинформационного* пространства вдоль трасс и цифровых моделей траекторий движения мобильных объектов.

Под *геоинформационным* пространством железной дороги, например, будем понимать компьютерные модели реального пространства полосы отвода железной дороги со всеми объектами инфраструктуры и, конечно, с координатными моделями пути, которым в настоящее время уделяется особое внимание.

Продолжая разговор о формах представления геоинформационного пространства, обратим внимание на то, что в кибернетических и интеллектуальных системах управления типа автопилота визуальная форма представления не является определяющей. В таких системах на первый план выходят навигация и управление в режиме реального времени, а также аналитические формы представления геопространства, включающие в себя навигационные функции (известные траектории движения). Такие системы нацелены на использование комплексных синхронизированных потоков информации, поступающих со специализированных аппаратно-программных комплексов, мощные фильтрационные процедуры и методы рекуррентного оценивания параметров используемых математических моделей, позволяющие вести обработку потоков информации в режиме реального времени. Они могут использовать интеграционные возможности геоинформационных систем и единое координатное пространство, позволяющие вести управление транспортными объектами в пределах всего земного шара и околоземного пространства. Их появление оказалось возможным благодаря разработке и применению глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС, GPS и т.д.

Интеграция геоинформационного пространства и измерений ГНСС может быть выполнена на базе пассивных моделей геопространства, как это делается в широко используемых GPS-навигаторах [2], когда данные спутниковых определений накладываются на растровую подложку электронной карты. Такая интегрированная система служит достаточно эффективным средством поддержки принятия решения в системе «человек — автомобиль». Что же касается кибернетических систем

управления, в них модели геопространства должны быть представлены активной формой — навигационными функциями (координатными моделями траектории движения) подобными [3]. Наилучшим математическим аппаратом для интеграции навигационных функций и спутниковых определений является аппарат стохастической фильтрации Калмана, позволяющий, образно говоря, понять прошлое, истолковать настоящее и предсказать будущее в вероятностном смысле.

Действительно, каждому моменту времени t_k соответствует новый вектор параметров (координат) x_k подвижного объекта (ПО). Часть его изменения описывается дифференциальным уравнением, приведенным к линейной форме, так называемому *уравнению состояния*:

$$x_k = S_{k-1} x_{k-1} + \delta_k, \quad (1)$$

в котором S_{k-1} — переходная матрица состояния предыдущей эпохи, определяемая навигационной функцией; x_k — искомый вектор состояния текущей эпохи, δ_k — вектор погрешностей уравнения состояния.

Кроме того, известен вектор спутниковых измерений текущей эпохи параметрической модели уравнивания:

$$l_k = A_k x_k + v_k. \quad (2)$$

Оба уравнения могут быть решены совместно по правилам взвешенного рекуррентного метода наименьших квадратов. Полагая известными оценку параметров $x_{k-1|k-1}$ предыдущей эпохи и соответствующую ему ковариационную матрицу $K_{k-1|k-1}$, найдем прогноз параметров

$$x_{k|k-1} = S_{k-1} x_{k-1|k-1}$$

и ковариацию предсказания $K_{k|k-1}$

$$K_{k|k-1} = S_{k-1} K_{k-1|k-1} S_{k-1}^T.$$

Если представить вектор x_k в виде суммы вектора прогноза и корректирующего вектора d_k , уравнение (2) можно переписать в следующем виде:

$$A_k dx = l_k - A_k x_{k|k-1} \quad (3)$$

с ковариацией вновь образованного свободного члена, определяемой в соответствии с теоремой о ковариации векторных функций, такой формулой:

$$K(l_k - A_k x_{k|k-1}) = A_k K_{k|k-1} A_k^T + K(l_k).$$

В соответствии с этим введем в пространстве решений эллиптическую норму

$\|dx\| = (dx^T K_{k \setminus k-1} dx)^{1/2}$, а в пространстве измерений – эллиптическую норму

$\|v\| = (v^T K(l)^{-1} v)^{1/2}$, в результате чего получим решение системы (3) с помощью взвешенной обобщенно-обратной к A_k [4], определяющей матрицу фильтрации Калмана C_k :

$$\begin{aligned} dx &= K_{k \setminus k-1}^{-1} A^T (A K_{k \setminus k-1}^{-1} A^T + K^{-1}(l_k))^{-1} (l_k - A_k x_{k \setminus k-1}) = \\ &= C_k (l_k - A_k x_{k \setminus k-1}). \end{aligned} \quad (4)$$

Следовательно, оценка отфильтрованного вектора состояний определяется выражением

$$x_{k \setminus k} = x_{k \setminus k-1} + C_k (l_k - A_k x_{k \setminus k-1}),$$

которое нетрудно привести к виду

$$x_{k \setminus k} = (I - C_k A_k) x_{k \setminus k-1} + C_k l_k, \quad (5)$$

показывающему, что фильтрация сводится к сумме новой оценки параметров модели (1) и проекции прогноза параметров на ядро матрицы A_k . Ковариация отфильтрованных параметров $x_{k \setminus k}$ находится аналогично:

$$K_{k \setminus k} = (I - C_k A_k) K_{k \setminus k-1} (I - C_k A_k)^T + C_k K(l_k) C_k^T. \quad (6)$$

Совместная обработка навигационных функций и спутниковых определений значительно повышает точность определения координат ПО и позволяет решать задачи навигации даже в условиях недостаточного количества наблюдаемых спутников.

При неизвестной траектории движения ПО задачи навигации могут быть решены за счет комплексирования инерциальных и спутниковых измерений. В этом случае вектор состояния может формироваться координатами спутникового приемника ровера, а вектор наблюдений – по результатам инерциальных измерений. Эффективный модернизированный вариант калмановской фильтрации для такого варианта навигации приведен в работе [4].

Литература

1. Карлик А.П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территории. – Новосибирск: СГГА, 2004.
2. Найман В.С., Самойлов А.Е. Все о GPS-навигаторах. – М.: NT Press, 2005.
3. Матвеев С.И., Круглов В.М. и др. Способ определения эталонной координатной модели железнодорожного пути и устройство для его осуществления. Патент на изобретение № 2287187. Приоритет изобретения от 6 апреля 2005 г.
4. Матвеев С.И., Коугия В.А. Высокоточные координатные модели пути и спутниковая навигация железных дорог. – М.: Маршрут, 2005.