

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ГНСС ПО НЕСКОЛЬКИМ ИНФОРМАЦИОННЫМ ИСТОЧНИКАМ

Цыганкова И.С., Масленников А.Л.

Ключевые слова: глобальные навигационные спутниковые системы, комплексирование, селективное комплексирование, фильтр Калмана, федеративный фильтр Калмана.

Аннотация. Рассматривается применение селективного метода комплексирования навигационной информации от глобальной навигационной спутниковой системы на основе федеративного фильтра Калмана. Комплексирование осуществляется по фактической, получаемой непосредственно от приемника, и прогнозируемой (отдельно по данным альманаха и эфемерид) навигационной информации. Показаны результаты применения метода комплексирования к навигационной информации, полученной при движении автомобиля.

FUSION OF GNSS DATA FROM DIFFERENT INFORMATION SOURCES

Tsygankova I.S., Maslennikov A.L.

Keywords: global navigation satellite system, selective fusion, Kalman filter, federated Kalman filter.

Abstract. The application of the selective fusion method of the GNSS navigational data is discussed. Fusion method utilizes the federated Kalman filter technique and is based on the actual and predicted (from almanac and ephemeris data) navigational data. The results of the practical experiment are presented and discussed also.

Введение

Современным навигационным комплексам уже недостаточно измерений только от одного физического источника информации, например, инерциальной системы, спутниковых систем, астронавигации, радионавигации и др., каждая из которых обладает своим набором ошибок, которые могут сильно исказить навигационную информацию. Использование одного физического источника навигационной информации – ненадежно, а как следствие разрабатываются различные методы комплексирования, т.е. объединения или выбора наилучших навигационных данных от нескольких источников информации.

Существующие методы комплексирования принципиально могут строиться разными способами [1]. Один из них заключается в коррекции навигационной информации БИНС (бесплатформенная инерциальная навигационная система) навигационной информацией, как правило, от ГНСС (глобальная спутниковая навигационная система) [2]. Недостатком этого способа является то, что навигационная информация от ГНСС считается абсолютно верной, что на практике неосуществимо. Второй способ заключается в использовании селективных методов комплексирования, которые предполагают выбор наиболее достоверной навигационной информации, получаемой от нескольких источников информации, которая и выдается конечному потребителю, либо участвует в описанном ранее способе коррекции БИНС [3]. Как правило, для решения этой задачи применяется комбинация фильтров Калмана – федеративного и локального [4-5].

В подавляющем большинстве работ комплексирование осуществляется по выходным данным каждого физического (БИНС, ГНСС, и др.) источника навигационной информации. Однако для ГНСС возможно получение дополнительной навигационной информации за счет вычисления прогноза координат объекта по прогнозируемым значениями псевдодальностей и прогнозу координат спутников на основании как данным альманаха, так и данным эфемерид [6]. В данной статье рассматривается применение этого метода на практике.

Комплексирование ГНСС по нескольким информационным каналам

В качестве информационных источников навигационной информации для комплексирования можно выбрать следующие: координаты объекта, выдаваемые непосредственно приемником ГНСС, координаты объекта, вычисляемые с учетом прогноза координат спутников по данным альманаха, координаты объекта, вычисляемые с учетом прогноза координат спутников по данным эфемерид. Выход каждого информационного источника проходит через локальный фильтр Калмана (ЛФК), а затем поступает на блок выбора навигационной информации (БВНИ), где и осуществляется выбор наиболее достоверных навигационных данных и выдача их конечному потребителю. Структурная схема описанного метода комплексирования представлена на рис. 1.

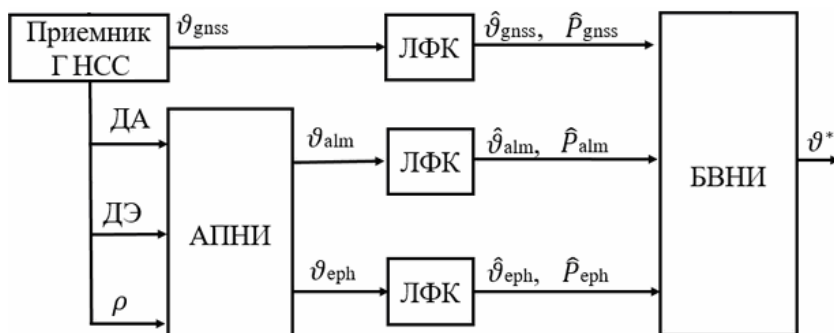


Рис. 1. Схема селективного метода комплексирования фактической и прогнозируемой навигационной информации

На структурной схеме АПНИ – алгоритмы прогноза навигационной информации, ϑ – вектор с навигационными данными (координаты и скорости) от каждого информационного источника, $\hat{\vartheta}$ – оценка координат и скоростей объекта, полученная локальным фильтром Калмана, а \hat{P} – оценка ковариационной матрицы, также полученная локальным фильтром Калмана, ДА – данные альманаха, ДЭ – данные эфемерид, ρ – значения псевдодальностей.

Локальный фильтр Калмана имеет стандартную конфигурацию линейного дискретного фильтра Калмана следующего вида:

$$\begin{aligned}\hat{\vartheta}_{k|k-1} &= A_k \hat{\vartheta}_{k-1|k-1} + B_k u_k \\ \hat{P}_{k|k-1} &= A_k \hat{P}_{k-1|k-1} A_k^T + Q_k\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
z_k &= y_k - C_k \hat{\vartheta}_{k|k-1} \\
S_k &= C_k \hat{P}_{k|k-1} C_k^T + R_k \\
K_k &= \hat{P}_{k|k-1} C_k^T S_k^{-1} \\
\hat{\vartheta}_{k|k} &= \hat{\vartheta}_{k|k-1} + K_k z_k \\
\hat{P}_{k|k} &= (I - K_k C_k) \hat{P}_{k|k-1} (I - K_k C_k)^T + K_k R_k K_k^T
\end{aligned}$$

для модели измерений ГНСС с матрицами, следующего вида [7]:

$$A_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & dt_k & 0 \\ 0 & 1 & 0 & dt_k \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, C_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Величины $\hat{\vartheta}_{k|k}$ и $\hat{P}_{k|k}$ являются выходной информацией каждого локального фильтра Калмана, которые поступают на БВНИ. Выбор наиболее достоверной навигационной информации может осуществляться по различным критериям [6]. В данном случае используется критерий минимальной нормы ковариационной матрицы:

$$E = \min(\|\hat{P}_{gss}\|, \|\hat{P}_{alm}\|, \|\hat{P}_{eph}\|).$$

Чем меньше эта норма, тем меньше разброс оценки координат и скоростей, полученных от данного информационного источника, тем в большей степени навигационная информация может считаться надежной.

Постановка и результаты эксперимента

Для подтверждения теоретических положений, изложенных выше, был проведен практический эксперимент. В рамках эксперимента приемник ГНСС был установлен на автомобиле, который в течении 40-60 минут двигался по г. Москве, по третьему транспортному кольцу. На рис. 2 слева показана траектория движения автомобиля, полученная непосредственно с приемника ГНСС, а справа – результат комплексирования. Данные от каждого источника навигационной информации представлены разным цветом, при этом GPS – непосредственно полученные данные от приемника, PsR – навигационная информация вычисленная с учетом значений псевдодальностей, ALM – навигационная информация вычисленная с учетом прогноза координат спутников по данным альманаха, EPH – навигационная информация вычисленная с учетом прогноза координат спутников по данным эфемерид.

Как видно из представленных рисунков, существуют выбросы навигационной информации, обусловленные потерей сигнала от спутников ГНСС в процессе движения автомобиля. В траектории, полученной с использованием описанного метода комплексирования отчетливо видны переходы между навигационной информацией, полученной от разных информационных источников.

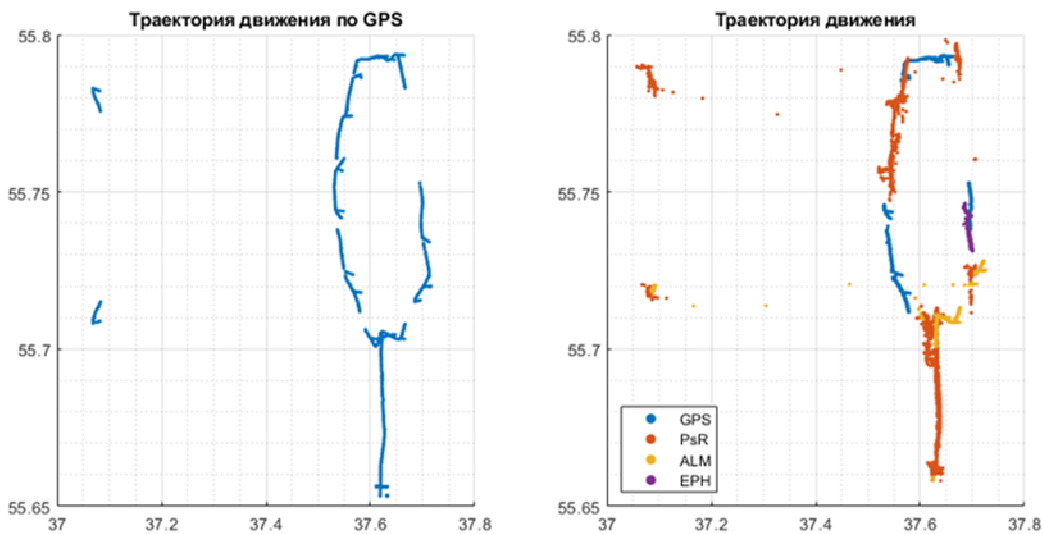


Рис. 2. Рассчитанная траектория движения автомобиля

Эксперимент показал принципиальную применимость рассмотренного метода комплексирования, однако, очевидно, что алгоритмы прогноза навигационной информации, а также критерии выбора наиболее достоверной информации требуют дополнительной проработки для повышения точности и гладкости получаемой траектории.

Заключение

В работе описан метод селективного комплексирования навигационной информации от нескольких источников ГНСС, приведены результаты практического применения данного метода к задаче определения местоположения автомобиля, которые показали принципиальную применимость данного метода, однако и необходимость дальнейшей проработки алгоритмов прогноза и критериев выбора наиболее достоверной навигационной информации.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта «УМНИК» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (договор №13183ГУ/2018 от 31.05.2018).

Список литературы

1. Неусыпин К.А., Пролетарская В.А., Алексеева Е.Ю. Алгоритмические методы коррекции навигационных систем летательных аппаратов // Инженерный вестник. 2013. Вып. 3. URL: <http://engsi.ru/doc/547962.html>
2. Salychev O.S. Inertial systems in navigation and geophysics. Moscow, Bauman MSTU Press, 1998. 352 p.
3. Шэнь К., Пролетарский А.В., Неусыпин К.А. Исследование алгоритмов коррекции навигационных систем летательных аппаратов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 2016. №2. С. 28-39. DOI: 10.18698/0236-3933-2016-2-28-39.

4. Carlson, N.A. Federated square root filter for decentralized parallel processors // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1990. Vol. 26, no.3. P. 517-525.
5. Carlson N.A., Berarducci M.P. Federated Kalman filter simulation results // Navigation. 1994. Vol. 41, no. 3. P. 297-322.
6. Kalman R.E. A new approach to linear filtering and prediction problems // Transactions of the ASME - Journal of Basic Engineering. 1960. Vol. 82. P. 35-45.
7. Масленников А.Л., Цыганкова И.С. Комлексирование фактической и прогнозируемой навигационной информации ГНСС // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2019. №14. С. 130-135. DOI: 10.26160/2474-5901-2019-14-130-135.

References

1. Neusypin K.A., Proletarskaya V.A., Alekseeva E.Yu. Algorithmic methods for the correction of aircraft navigation systems // Engineering Bulletin. 2013. No. 3. URL: <http://engsi.ru/doc/547962.html>
2. Salychev O.S. Inertial systems in navigation and geophysics. Moscow, Bauman MSTU Press, 1998. 352 p.
3. Shen K., Proletarsky A.V., Neusypin K.A. The study of correction algorithms for navigation systems of aircraft // Bulletin of MSTU n.a. N.E. Bauman. Ser. "Instrument making". 2016. Vol. 2. P. 28-39. DOI: 10.18698/0236-3933-2016-2-28-39.
4. Carlson, N.A. Federated square root filter for decentralized parallel processors // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1990. Vol. 26, no.3. P. 517-525.
5. Carlson N.A., Berarducci M.P. Federated Kalman filter simulation results // Navigation. 1994. Vol. 41, no. 3. P. 297-322.
6. Kalman R.E. A new approach to linear filtering and prediction problems // Transactions of the ASME - Journal of Basic Engineering. 1960. Vol. 82. P. 35-45.
7. Maslennikov A.L., Tsygankova I.S. Combining Actual and Predicted GNSS Navigation Information // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2019. №14. P. 130-135. DOI: 10.26160/2474-5901-2019-14-130-135.

Цыганкова Ирина Сергеевна – ассистент кафедры «Системы автоматического управления»	Tsygankova Irina Sergeevna – teaching assistant of Department of Automatic Control Systems
Масленников Андрей Леонидович – старший преподаватель кафедры «Системы автоматического управления», amas@bmstu.ru	Maslennikov Andrey Leonidovich – senior lecturer of Department of Automatic Control Systems, amas@bmstu.ru
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г.Москва, Россия	Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Received 08.04.2020