

*М. В. Голов**

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СВЯЗЕЙ ДЛЯ СИНТЕЗА АЛГОРИТМОВ В УГЛОВЫМ КАНАЛЕ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПОДВИЖНЫХ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

Навигация – раздел науки о способах проведения объектов из одной точки пространства в другую. Эта задача решается навигационными системами, которые позволяют определить местоположение и ориентацию движущегося объекта относительно принятой системы координат, величину и направление скорости движения, направление и расстояние до места назначения и т.д.

Для определения координат и параметров движения подвижных наземных объектов используются навигационные системы [1], вклю-

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента ФГБОУ ВПО «ТГТУ» А. В. Иванова.

чающие, как правило, в свой состав: датчик скорости движения, цифровой магнитный компас, курсорвертикаль, датчики линейных ускорений; аппаратуру приема сигналов спутниковой радионавигационной системы (СРНС), цифровой вычислитель, систему отображения информации.

Применительно к такому составу навигационной системы, в работе [2] получен алгоритм для определения положения продольной и поперечных осей объекта в пространстве, имеющий вид

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_Y^*(t_{k+1}) &= \Phi_{xxY}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{X}_Y^*(t_k) + \Psi_Y(t_{k+1}, t_k) \mathbf{W}_Y(t_k) + \mathbf{K}_Y(t_{k+1}) \times \\ &\times [\Xi_Y(t_{k+1}) - \mathbf{H}_Y(t_{k+1}) \Phi_{xxY}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{X}_Y^*(t_k) - \mathbf{H}_Y(t_{k+1}) \Psi_Y(t_{k+1}, t_k) \mathbf{W}_Y(t_k)]; \\ \mathbf{K}_Y(t_{k+1}) &= \mathbf{P}_Y(t_{k+1} | t_k) \mathbf{H}_Y^T(t_{k+1}) [\mathbf{H}_Y(t_{k+1}) \mathbf{P}_Y(t_{k+1} | t_k) \mathbf{H}_Y^T(t_{k+1}) + \\ &+ \Gamma_{\Xi Y}(t_{k+1}) \Gamma_{\Xi Y}^T(t_{k+1})]^{-1}; \\ \mathbf{P}_Y(t_{k+1} | t_k) &= \Phi_{xxY}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{P}_Y(t_k) \Phi_{xxY}^T(t_{k+1}, t_k) + \Gamma_{xY}(t_{k+1}, t_k) \Gamma_{xY}^T(t_{k+1}, t_k); \\ \mathbf{P}_Y(t_{k+1}) &= [\mathbf{I} - \mathbf{K}_Y(t_{k+1}) \mathbf{H}_Y(t_{k+1})] \mathbf{P}_Y(t_{k+1} | t_k), \end{aligned} \quad (1)$$

где Φ_{xxY} – фундаментальная матрица размером (6×6) ; Ψ_Y – переходная матрица управления размером (6×6) ; Γ_{xY} – переходная матрица возмущения размером (6×6) ; $\mathbf{W}_Y = [\omega_Z^I, \omega_X^I, \omega_Y^I]^T$ – известный вектор управления; $\mathbf{H}_Y(t_k)$ – матрица наблюдения размером (6×6) ; $\Gamma_{\Xi Y}(t_k)$ – матрица шумов наблюдения размером (6×6) ; $\mathbf{K}_Y(t_{k+1})$ – матрица оптимальных коэффициентов передачи размером (6×6) ; $\mathbf{P}_Y(t_{k+1} | t_k)$ – матрица вторых центральных моментов (ковариаций) ошибок прогнозирования размером (6×6) ; $\mathbf{P}_Y(t_{k+1})$ – матрица вторых центральных моментов (ковариаций) ошибок оценивания размером (6×6) ; \mathbf{I} – единичная матрица размером (6×6) .

К числу недостатков данного алгоритма следует отнести большую размерность векторов наблюдения и состояния, что приводит к большим вычислительным затратам. Для его реализации на каждом тактовом интервале времени требуется выполнить 2037 операций умножения и 1881 операцию сложения.

В целях уменьшения вычислительных затрат применим принцип декомпозиции вектора состояния

$$\mathbf{X}_Y(t_k) = [\psi(t_k), \gamma(t_k), \vartheta(t_k), \Delta\psi(t_k), \Delta\gamma(t_k), \Delta\vartheta(t_k)]^T$$

и представим его в виде двух векторов

$$\mathbf{X}_Y(t_k) = [\mathbf{X}_{1Y}^T(t_k), \mathbf{X}_{2Y}^T(t_k)]^T,$$

где $\mathbf{X}_{1Y}(t_k) = [\psi(t_k), \gamma(t_k), \vartheta(t_k)]^T$ размерностью (3×1) , и $\mathbf{X}_{2Y}(t_k) = [\Delta\psi(t_k), \Delta\gamma(t_k), \Delta\vartheta(t_k)]^T$ размерностью (3×1) .

Для нахождения оценок векторов $\mathbf{X}_{1Y}^*(t_k)$ и $\mathbf{X}_{2Y}^*(t_k)$ применен метод, использующий уравнения связей между наблюдениями с выходов курсовертикали $\Xi_{1Y}(t_k) = [\Psi^I(t_k), \gamma^I(t_k), \vartheta^I(t_k)]^T$ и цифрового магнитного компаса $\Xi_{2Y}(t_k) = [\Psi^{\text{ЦМК}}(t_k), \gamma^{\text{ЦМК}}(t_k), \vartheta^{\text{ЦМК}}(t_k)]^T$. Применение метода предполагает наличие информационной избыточности, когда имеется несколько измерителей, работающих на различных физических принципах, измеряющих одни и те же или функционально связанные параметры.

Оценка $\mathbf{X}_{1Y\text{KB}}^*(t_{k+1})$ вектора состояния $\mathbf{X}_{1Y}(t_{k+1})$ определяется из соотношения

$$\mathbf{X}_{1Y\text{KB}}^*(t_{k+1}) = \Xi_{1Y}(t_{k+1}) - \mathbf{X}_{2Y}^*(t_{k+1}). \quad (2)$$

$$\mathbf{X}_{2Y}^*(t_{k+1}) = \mathbf{X}_{2Y}^*(t_k) + \mathbf{K}_{2Y}(t_{k+1})[\Xi_{PY}(t_{k+1}) - \mathbf{X}_{2Y}^*(t_k)], \quad (3)$$

где $\mathbf{K}_{2Y}(t_{k+1})$ – матрица оптимальных коэффициентов передачи размером (3×3) определяется соотношениями

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_{2Y}(t_{k+1}) &= \mathbf{P}_{2Y}(t_k) [\mathbf{P}_{2Y}(t_k) + \mathbf{\Gamma}_{2\Xi\Xi}(t_{k+1}) \mathbf{\Gamma}_{2\Xi Y}^T(t_{k+1})]^{-1}; \\ \mathbf{P}_{2Y}(t_{k+1}) &= [\mathbf{I} - \mathbf{K}_{2Y}(t_{k+1})] \mathbf{P}_{2Y}(t_k), \end{aligned} \quad (4)$$

в которых $\mathbf{P}_{2Y}(t_{k+1})$ – матрица вторых центральных моментов (ковариаций) ошибок оценивания размером (3×3) ; \mathbf{I} – единичная матрица размером (3×3) . Здесь для того, чтобы подчеркнуть получение оценки из наблюдения курсовертикали, введен соответствующий подстрочный индекс.

Оценка $\mathbf{X}_{1Y\text{СРНС}}^*(t_{k+1})$ вектора состояния $\mathbf{X}_{1Y}^*(t_{k+1})$ может быть найдена также на основании наблюдений СРНС. Здесь также введен подстрочный индекс, чтобы подчеркнуть, что для получения оценки используются наблюдения СРНС. Наблюдения на выходе СРНС имеют вид

$$\Xi_{3Y}(t_k) = \mathbf{X}_{1Y}(t_k) + \mathbf{\Gamma}_{3\Xi Y}(t_k) \mathbf{N}_{3\Xi Y}(t_k), \quad (5)$$

где $\mathbf{N}_{3\Xi Y}(t_k) = [n_\psi(t_k), n_\gamma(t_k), n_\vartheta(t_k)]^T$ – вектор шумов наблюдения; $\mathbf{\Gamma}_{3\Xi Y}(t_k)$ – матрица шумов наблюдения размером (3×3) с ненулевыми элементами $\Gamma_{3\Xi Y11} = \sigma_\psi$, $\Gamma_{3\Xi Y22} = \sigma_\gamma$, $\Gamma_{3\Xi Y33} = \sigma_\vartheta$.

Комплексные алгоритмы обработки информации для определения оценки $\mathbf{X}_{1YCPHC}^*(t_{k+1})$ вектора состояния $\mathbf{X}_{1Y}^*(t_{k+1})$ по наблюдениям СРНС имеют вид

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_{1YCPHC}^*(t_{k+1}) &= \mathbf{X}_{1YCPHC}^*(t_k) + \Psi_{1Y}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{W}_Y(t_k) + \\ &+ \mathbf{K}_{1Y}(t_{k+1}) [\Xi_{3Y}(t_{k+1}) - \mathbf{X}_{1YCPHC}^*(t_k) - \Psi_{1Y}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{W}_Y(t_k)], \end{aligned} \quad (6)$$

где $\mathbf{K}_{1Y}(t_{k+1})$ – матрица оптимальных коэффициентов передачи размером (3×3) определяется соотношениями

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_{1Y}(t_{k+1}) &= \mathbf{P}_{1Y}(t_{k+1} | t_k) [\mathbf{P}_{1Y}(t_{k+1} | t_k) + \Gamma_{3\Xi Y}(t_{k+1}) \Gamma_{3\Xi Y}^T(t_{k+1})]^{-1}; \\ \mathbf{P}_{1Y}(t_{k+1} | t_k) &= \mathbf{P}_{1Y}(t_k) + \Gamma_{1xY}(t_{k+1}, t_k) \Gamma_{1xY}^T(t_{k+1}, t_k); \\ \mathbf{P}_{1Y}(t_{k+1}) &= [\mathbf{I} - \mathbf{K}_{1Y}(t_{k+1})] \mathbf{P}_{1Y}(t_{k+1} | t_k), \end{aligned} \quad (7)$$

в которых $\mathbf{P}_{1Y}(t_{k+1} | t_k)$ – матрица вторых центральных моментов (ковариаций) ошибок прогнозирования размером (3×3) ; $\mathbf{P}_{1Y}(t_{k+1})$ – матрица вторых центральных моментов (ковариаций) ошибок оценивания размером (3×3) ; \mathbf{I} – единичная матрица размером (3×3) .

Таким образом, соотношения (2) и (6) позволяют определить оценки $\mathbf{X}_{1YKB}^*(t_{k+1})$ и $\mathbf{X}_{1YCPHC}^*(t_{k+1})$ одного и того же вектора состояния $\mathbf{X}_{1Y}(t_{k+1})$. Оценка $\mathbf{X}_{1Y}^*(t_{k+1})$ вектора состояния $\mathbf{X}_{1Y}(t_{k+1})$ находится как среднее значение оценок $\mathbf{X}_{1YKB}^*(t_{k+1})$ и $\mathbf{X}_{1YCPHC}^*(t_{k+1})$:

$$\mathbf{X}_{1Y}^*(t_{k+1}) = \frac{\mathbf{X}_{1YKB}^*(t_{k+1}) + \mathbf{X}_{1YCPHC}^*(t_{k+1})}{2}. \quad (8)$$

После определения оценки $\mathbf{X}_{1Y}^*(t_{k+1})$ по наблюдениям курсовертикали, ЦМК и СРНС может быть определена оценка $\mathbf{X}_{2Y}^*(t_{k+1})$:

$$\mathbf{X}_{2Y}^*(t_{k+1}) = \Xi_{1Y}(t_{k+1}) - \mathbf{X}_{1Y}^*(t_{k+1}). \quad (9)$$

Проведен расчет вычислительных затрат, необходимых для реализации предложенного алгоритма. Расчет показал, для решения алгоритма (2) – (4), (6) – (9) требуется выполнить 282 операции умножения и 285 операций сложения. Разработанный алгоритм позволяет уменьшить количество операций умножения в 7 раз и количество операций сложения в 6,5 раз.

Список литературы

1. *Иванов, А. В.* Навигационные системы подвижных наземных объектов. Алгоритмы обработки информации в угловом канале / А. В. Иванов // Радиотехника. – 2013. – № 4. – С. 23 – 29.
2. *Подколзина, Л. А.* Алгоритмы обработки информации в навигационных системах наземных подвижных объектов для канала определения координат местоположения / Л. А. Подколзина, К. М. Другов // Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития. – 2013. – № 4. – С. 221 – 225.

Кафедра «Радиотехника» ФГБОУ ВПО «ТГТУ»