

*Л.А. Подколзина, К.М. Другов\**

**АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ  
В НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НАЗЕМНЫХ  
ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ КАНАЛА  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ**

Для определения координат и параметров движения подвижных наземных объектов в последнее время стали использовать навигационные системы, включающие в свой состав: датчик скорости движения; гироскопическую систему определения пространственного поло-

---

\* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора ФГБОУ ВПО «ТГТУ» А.В. Иванова.

жения продольной оси объекта или инерциальную навигационную систему, которая помимо пространственного положения позволяет определять вектор ускорения объекта; аппаратуру приема сигналов спутниковой радионавигационной системы (СРНС); цифровой вычислитель; систему отображения информации. Состав навигационной системы определяют, исходя из необходимости решения задач вычисления местоположения объекта, коррекции результатов счисления и отображения информации о местоположении объекта с использованием цифровой карты местности.

Максимального эффекта при работе навигационных систем удастся достичь на основе применения методов оптимального оценивания случайных процессов. Разработанные этими методами комплексные алгоритмы обеспечивают высокую точность определения текущих координат местоположения и параметров движения объекта [1, 2].

Пусть на наземном подвижном объекте установлено четыре модуля, а именно: инерциальный модуль, модуль на основе спутниковых радионавигационных систем, модуль на основе геомагнитных систем и модуль на основе наземных сетевых систем.

В состав инерциального модуля входят: курсовертикаль, датчики линейных ускорений (ДЛУ), датчики угловых скоростей (ДУС). При этом считаем, что предварительная обработка сигналов, заключающаяся в пересчете выходных сигналов датчиков в нормальную земную систему координат  $OX_g Y_g Z_g$ , произведена.

Положение подвижного объекта в нормальной земной системе координат  $OX_g Y_g Z_g$ , начало которой удалено от центра Земли  $R_0$  на величину, определяется координатами  $x, y, z$ .

При этом ось  $OX_g$  направлена на север, ось  $OY_g$  – на восток, ось  $OZ_g$  – вверх по местной вертикали.

В состав модуля на основе спутниковых радионавигационных систем входит  $M$ -канальная аппаратура приема сигналов. Аппаратура приема сигналов СРНС обеспечивает прием радиосигналов СРНС ГЛОНАСС. При этом полагаем, что преобразование выходных данных о местоположении объекта из системы координат ПЗ-90, в которой работает СРНС ГЛОНАСС, в геоцентрическую (сферическую) систему координат выполнено. При движении объекта аппаратура приема сигналов СРНС позволяет рассчитать вектор скорости объекта и пространственное положение его поперечной и продольной осей.

В состав модуля на основе наземных сетевых систем (НСС) входит аппаратура запроса и приема данных о координатах подвижного наземного объекта от базовых станций сотовой наземной радиотехнической инфраструктуры. Полагаем, что преобразование координат объекта в геоцентрическую (сферическую) систему координат выполнено.

В состав модуля на основе геомагнитных систем входят: датчик скорости движения и цифровой магнитный компас. Цифровой магнитный компас, реализованный на основе феррозондов и акселерометров, позволяет определять с учетом знания магнитного склонения и аппаратурной поправки пространственное положение продольной и поперечной осей наземного подвижного объекта. Полагаем, что все необходимые преобразования в модуле выполнены, и на выходе модуля имеются сигналы о пространственном положении продольной и поперечной осей.

Датчик скорости движения определяет скорость объекта вдоль продольной оси. Зная пространственное положение продольной оси можно определить проекции скорости на оси нормальной земной системы координат  $Ox_g Y_g Z_g$ . Полагаем, что все необходимые преобразования в модуле выполнены.

Рассмотрим канал оценивания координат местоположения наземного подвижного объекта. Для получения комплексных оптимальных алгоритмов обработки информации в этом канале воспользуемся методами оптимального оценивания.

Положение объекта в геоцентрической (сферической) системе координат зададим координатами  $(\varphi, \lambda, H)$ . Для получения алгоритмов необходимо задание математической модели движения объекта в пространстве и времени. Данная задача является довольно сложной, так как зависит от типа объекта, вида совершаемого им движения (медленный разворот, быстрый разворот и так далее). Поэтому она может быть решена только для отдельных случаев движения объекта. Чтобы избежать задание математической модели движения объекта, воспользуемся принципом распределения информации между векторами наблюдения и управления. Так как под векторами наблюдения и управления понимаются совокупности переменных, известных в результате измерения, то от воли исследователя зависит, сигналы каких измерителей отнести к вектору управления, а каких к вектору наблюдения.

Согласно этому принципу истинные значения составляющих вектора ускорения объекта в математической модели заменяются на изме-

ренные значения ДЛУ, т.е. выходные сигналы ДЛУ используются в качестве компонент вектора управления.

Подлежащий оцениванию вектор состояния имеет вид

$$\mathbf{X}_M(t_k) = [\varphi(t_k), \lambda(t_k), H(t_k), V_X(t_k), V_Y(t_k), V_Z(t_k), \Delta_{aX}(t_k), \Delta_{aY}(t_k), \Delta_{aZ}(t_k)]^T$$

и включает девять компонент:  $\varphi$  – широта;  $\lambda$  – долгота;  $H$  – высота;  $V_x(t_k), V_y(t_k), V_z(t_k)$  – составляющие вектора скорости объекта;  $\Delta_{aX}(t_k), \Delta_{aY}(t_k), \Delta_{aZ}(t_k)$  – постоянные составляющие погрешностей измерений ускорения ДЛУ.

В результате синтеза было получено следующее выражение для комплексной оптимальной оценки:

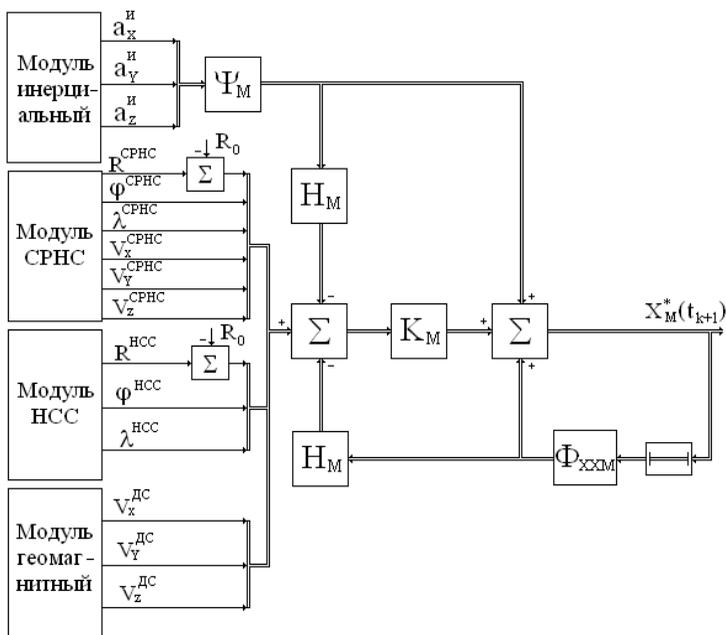
$$\begin{aligned} \mathbf{X}_M^*(t_{k+1}) = & \Phi_{xxM}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{X}_M^*(t_k) + \Psi_M(t_{k+1}, t_k) \mathbf{W}_M(t_k) + \mathbf{K}_M(t_{k+1}) \times \\ & \times \left[ \Xi_M(t_{k+1}) - \mathbf{H}_M(t_{k+1}) \Phi_{xxM}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{X}_M^*(t_k) - \mathbf{H}_M(t_{k+1}) \Psi_M(t_{k+1}, t_k) \mathbf{W}_M(t_k) \right], \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\mathbf{K}_M(t_{k+1})$  – матрица оптимальных коэффициентов передачи размером  $(9 \times 9)$  определяемая соотношениями:

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_M(t_{k+1}) = & \mathbf{P}_M(t_{k+1} | t_k) \mathbf{H}_M^T(t_{k+1}) \times \\ & \times \left[ \mathbf{H}_M(t_{k+1}) \mathbf{P}_M(t_{k+1} | t_k) \mathbf{H}_M^T(t_{k+1}) + \Gamma_{\Xi M}(t_{k+1}) \Gamma_{\Xi M}^T(t_{k+1}) \right]^{-1}; \\ \mathbf{P}_M(t_{k+1} | t_k) = & \Phi_{xxM}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{P}_M(t_k) \Phi_{xxM}^T(t_{k+1}, t_k) + \\ & + \Gamma_{xM}(t_{k+1}, t_k) \Gamma_{xM}^T(t_{k+1}, t_k); \\ \mathbf{P}_M(t_{k+1}) = & \left[ \mathbf{I} - \mathbf{K}_M(t_{k+1}) \mathbf{H}_M(t_{k+1}) \right] \mathbf{P}_M(t_{k+1} | t_k), \end{aligned}$$

в которых  $\mathbf{P}_M(t_{k+1} | t_k)$  – матрица вторых центральных моментов (ковариаций) ошибок прогнозирования размером  $(9 \times 9)$ ;  $\mathbf{P}_M(t_{k+1})$  – матрица вторых центральных моментов (ковариаций) ошибок оценивания размером  $(9 \times 9)$ ;  $\mathbf{I}$  – единичная матрица размером  $(9 \times 9)$ ;  $\Phi_{xxM}(t_{k+1}, t_k)$  и  $\Psi_M(t_{k+1}, t_k)$  – матрицы перехода и управления;  $\Xi_M(t_{k+1})$  и  $\mathbf{W}_M(t_k)$  – вектора наблюдения и управления;  $\Gamma_{xM}(t_{k+1})$  и  $\Gamma_{xM}(t_{k+1})$  – матрицы шумов.

Структурная схема обработки информации в канале оценивания координат местоположения наземных подвижных объектов, синтезированная в соответствии с алгоритмом (1), представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Структурная схема обработки информации в канале оценивания координат местоположения наземных подвижных объектов**

В состав схемы входят сумматоры, усилители и линия задержки. На вход схемы поступают сигналы с выходов инерциального модуля, модуля на основе спутниковых радионавигационных систем, модуля на основе геомагнитных систем и модуля на основе наземных сетевых систем. Выходные сигналы инерциального модуля (сигналы с выходов ДЛУ) используются в качестве компонент вектора управления.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов, А.В. Комплексные оптимальные алгоритмы обработки информации в навигационных системах подвижных наземных объектов / А.В. Иванов // Радиотехника. – 2010. – № 5. – С. 12 – 17.
2. Иванов, А.В. Комплексные оптимальные алгоритмы обработки информации в навигационных системах подвижных наземных объектов с контролем целостности навигационного обеспечения / А.В. Иванов // Радиотехника. – 2010. – № 12. – С. 15 – 20.