

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО МНОГОГИПОТЕЗНОГО АЛГОРИТМА КОМПЛЕКСНОЙ ВТОРИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ИНЕРЦИАЛЬНО-СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Мороз А.Н.

УО «Военная академия Республики Беларусь», г. Минск

Постановка задачи

В результате первичной обработки спутниковых сигналов на вход комплексного измерителя поступают радионавигационные параметры (псевдодальность и псевдоскорость) для четырех навигационных спутников [2], а также наблюдения блока ориентации и блока акселерометров бесплатформенной инерциальной навигационной системы.

Необходимо получить оценку составляющих вектора состояния потребителя

$$\lambda_k = \left[\mathbf{X}_k^T \quad D'_k \quad \mathbf{V}_k^T \quad V'_k \quad \mathbf{A}_k^T \quad \boldsymbol{\varepsilon}_k^T \quad \mathbf{V}_{\varepsilon,k}^T \right]^T,$$

где \mathbf{X}_k – вектор координат летательного аппарата (ЛА); D'_k – ошибка измерения дальности; \mathbf{V}_k – вектор скоростей ЛА; V'_k – ошибка измерения скорости; \mathbf{A}_k – вектор ускорений ЛА; $\boldsymbol{\varepsilon}_k$ – вектор ошибок оценивания углов Эйлера; $\mathbf{V}_{\varepsilon,k}^T$ – вектор скоростей изменения ошибок углов Эйлера.

Синтез алгоритма комплексирования на основе адаптивного многогипотезного измерителя (МГИ) с перекрестными связями

Принятые гипотезы модели движения потребителя: 1) неподвижен; 2) полет с постоянной скоростью; 3) маневрирует с ускорением.

Алгоритм адаптивной МГИ фильтрации для k -го шага измерения [3]:

1. Вычисляется априорная вероятность i -й ($i, j = \overline{1, M}$) гипотезы:

$$p_{k|k-1}^{(i)} = \sum_{j=1}^M \pi_{ji} p_{k-1}^{(j)},$$

где π_{ji} – априорные вероятности перехода; $p_{k-1}^{(j)}$ – апостериорная вероятность j -й гипотезы.

2. Определяются условные вероятности перехода p_{k-1}^{ji} из j -й модели движения потребителя в i -ю:

$$p_{k-1}^{ji} = \pi_{ji} p_{k-1}^{(j)} / p_{k|k-1}^{(i)}.$$

3. Определяются взвешенные значения апостериорных условных оценок $\bar{\lambda}_{k-1|k-1}^{(i)}$:

$$\bar{\lambda}_{k-1|k-1}^{(i)} = \sum_{j=1}^M \hat{\lambda}_{k-1|k-1}^{(j)} p_{k-1}^{ji},$$

а также условные взвешенные значения матрицы ошибок фильтрации

$$\bar{D}_{\lambda_{k|k-1}^{(i)}} = \sum_j [D_{\lambda_{k|k-1}^{(j)}} + (\bar{\lambda}_{k-1|k-1}^{(i)} - \bar{\lambda}_{k-1|k-1}^{(j)}) (\bar{\lambda}_{k-1|k-1}^{(i)} - \hat{\lambda}_{k-1}^{(j)})^T] p_{k-1}^{ji}.$$

4. Определяются экстраполированные условные оценки и матрицы ошибок фильтрации:

$$\hat{\lambda}_{k|k-1}^{(i)} = \mathbf{F}_{k-1}^{(i)} \bar{\lambda}_{k-1|k-1}^{(i)} + \mathbf{G}_{k-1}^{(i)} \bar{\boldsymbol{\omega}}_{k-1}^{(i)}; \quad \mathbf{D}_{\lambda_{k|k-1}^{(i)}} = \mathbf{F}_{k-1}^{(i)} \bar{D}_{\lambda_{k-1|k-1}^{(i)}} (\mathbf{F}_{k-1}^{(i)})^T + \mathbf{G}_{k-1}^{(i)} \mathbf{D}_{\boldsymbol{\omega}, k-1}^{(i)} (\mathbf{G}_{k-1}^{(i)})^T,$$

где $\bar{\boldsymbol{\omega}}_{k-1}^{(i)} = E[\boldsymbol{\omega}_{k-1}^{(i)}]$; $\mathbf{F}_{k-1}^{(i)}$, $\mathbf{D}_{\boldsymbol{\omega}, k-1}^{(i)}$ – условные динамические матрицы пересчета и корреляционные матрицы случайного маневра.

5. По результатам новых наблюдений y_k определяется невязка измерений

$$\tilde{y}_k^{(i)} = y_k - S_k(\hat{\lambda}_{k|k-1}^{(i)}) - \bar{n}_k^{(i)},$$

где $\bar{n}_k^{(i)} = E[n_k^{(i)}]$.

6. Определяются условные результирующие оценки и ошибки фильтрации вектора состояния:

$$D_{\lambda,k|k}^{(i)} = \left[(D_{\lambda,k|k-1}^{(i)})^{-1} + \left(\frac{\partial S_k(c^{(i)} \hat{\lambda}_{k|k-1}^{(i)})}{\partial \lambda^{(i)}} \right)^T (D_n^{(i)})^{-1} \left(\frac{\partial S_k(c^{(i)} \hat{\lambda}_{k|k-1}^{(i)})}{\partial \lambda^{(i)}} \right) \right]^{-1};$$

$$\hat{\lambda}_{k|k}^{(i)} = \hat{\lambda}_{k|k-1}^{(i)} + D_{\lambda,k|k}^{(i)} (c^{(i)})^T \left(\frac{\partial S_k(c^{(i)} \hat{\lambda}_{k|k-1}^{(i)})}{\partial v^{(i)}} \right)^T (D_n^{(i)})^{-1} \tilde{y}_k^{(i)}.$$

7. Определяются коэффициенты правдоподобия для каждой гипотезы и апостериорные вероятности гипотез:

$$L_k^{(i)} = \frac{\exp \left[-(1/2) (\tilde{y}_k^{(i)})^T \left[\left(\frac{\partial S_k(c^{(i)} \hat{\lambda}_{k|k-1}^{(i)})}{\partial \lambda^{(i)}} \right) D_{\lambda,k|k-1}^{(i)} \left(\frac{\partial S_k(c^{(i)} \hat{\lambda}_{k|k-1}^{(i)})}{\partial \lambda^{(i)}} \right)^T + D_n^{(i)} \right]^{-1} \tilde{y}_k^{(i)} \right]}{\left| 2\pi \left[\left(\frac{\partial S_k(c^{(i)} \hat{\lambda}_{k|k-1}^{(i)})}{\partial \lambda^{(i)}} \right) D_{\lambda,k|k-1}^{(i)} \left(\frac{\partial S_k(c^{(i)} \hat{\lambda}_{k|k-1}^{(i)})}{\partial \lambda^{(i)}} \right)^T + D_n^{(i)} \right] \right|^{1/2}},$$

$$P_k^{(i)} = \frac{P_{k|k-1}^{(i)} L_k^{(i)}}{\sum_j P_{k|k-1}^{(j)} L_k^{(j)}}.$$

8. Вычисляются безусловные оценки вектора состояния и значения матрицы ошибок фильтрации:

$$\hat{\lambda}_{k|k} = \sum_{i=1}^M \hat{\lambda}_{k|k}^{(i)} P_k^{(i)}; \quad D_{\lambda,k|k} = \sum_{i=1}^M [D_{\lambda,k|k}^{(i)} + (\hat{\lambda}_{k|k} - \hat{\lambda}_{k|k}^{(i)})(\hat{\lambda}_{k|k} - \hat{\lambda}_{k|k}^{(i)})^T] P_k^{(i)}.$$

Результаты моделирования

Моделировалась следующая траектория движения потребителя: с 1-го по 1000-й шаг потребитель неподвижен, с 1000-го по 2000-й шаг скорость потребителя увеличивается на каждом шаге на 0,3 м/с, на 2000-м шаге ускорение скачком достигает значения 30 м/с² и далее до 3000-го шага осуществляется полет по модели Зингера [1].

Для оценки точности использовались сферические ошибки (СФО) координат и скорости $\varepsilon_{сф}$. На рис. 1,2 приведены результаты моделирования двух алгоритмов: неадаптивного и адаптивного МГИ.

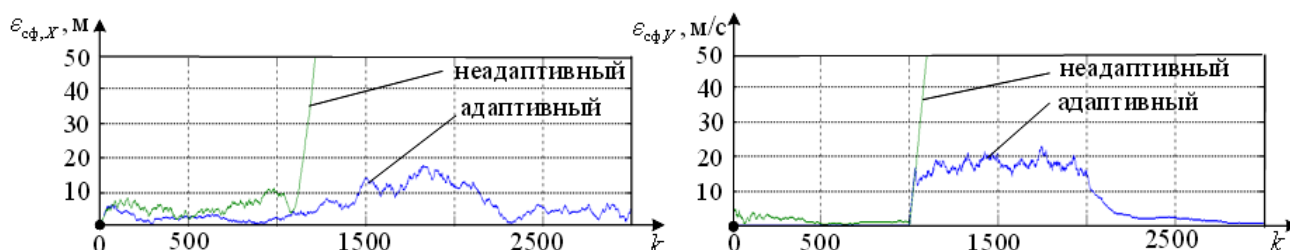


Рисунок 1 – СФО оценки координат и скорости потребителя

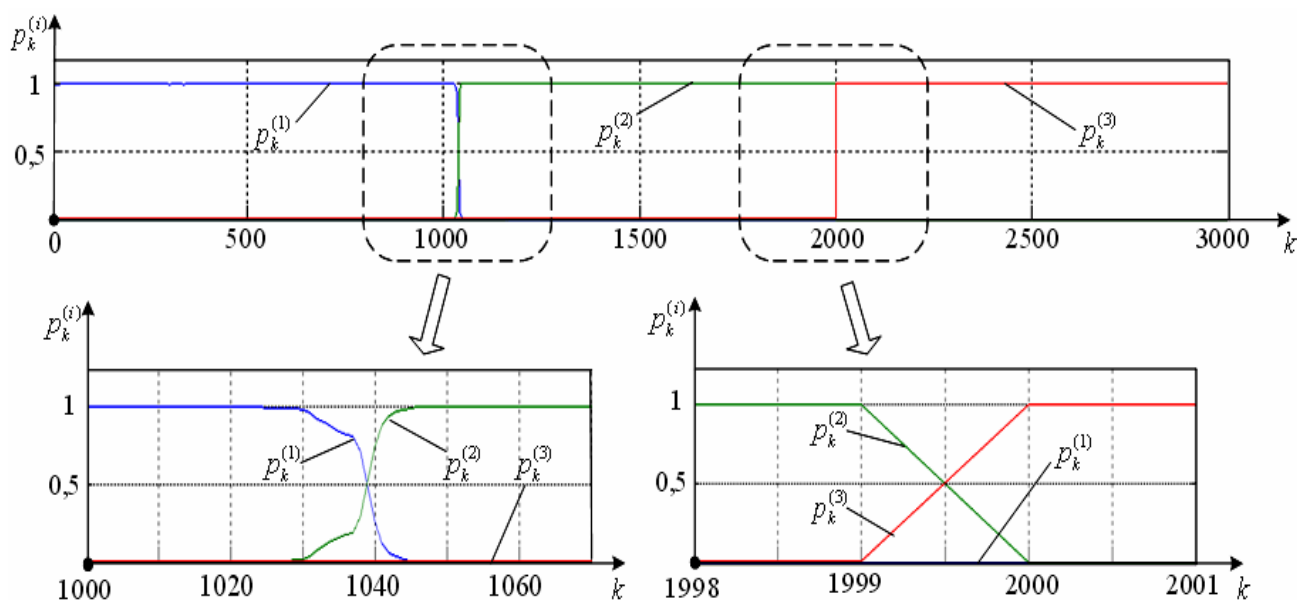


Рисунок 2 – Изменение апостериорных вероятностей гипотез

Заключение

В процессе синтеза неадаптивного измерителя априорно задавалась модель движения потребителя по Зингеру, которая закладывалась в его структуру. Для синтеза адаптивного измерителя принимались три модели возможного движения потребителя, при этом один из каналов являлся идентичным каналу неадаптивного измерителя. При соответствии априорных данных, заложенных в структуру неадаптивного измерителя, модели задающего воздействия неадаптивный измеритель давал выигрыш по СФО по сравнению с адаптивным МГИ не более чем на 10 % при оценивании координат потребителя. Это объясняется влиянием ошибок, вносимых параллельными каналами адаптивного измерителя, вес которых достаточно близок, но не равен нулю. При оценивании других составляющих вектора состояния результаты работы измерителей достаточно близки.

В процессе маневрирования структура неадаптивного измерителя становилась неоптимальной и возникали ошибки навигационно-временных определений. Большое структурное или параметрическое различие априорной информации и задающего воздействия неизбежно вызывало ошибки, которые приводили к срыву сопровождения (через 0,5...1 с после начала маневра). В рассматриваемой тактической ситуации адаптивный МГИ успешно адаптировался к маневру (время адаптации составило 0,01...0,45 с), обеспечивая устойчивое оценивание составляющих вектора состояния.

Литература

1. Singer, A.R. Estimating Optimal Tracking Filter Performance for Manned Maneuvering Targets / A.R. Singer // IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems. – July, 1970, Vol. AES-6, No. 4. – P. 473-483.
2. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. – Изд. 3-е, перераб. – М.: Радиотехника, 2005. – 688 с.: ил.
3. Li X.R., Jilkov V.P. A Survey of Maneuvering Target Tracking – Part V: Multiple-Model Methods / X.R. Li, V.P. Jilkov // IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems. – Nov 26, 2003. – 58 p.