

КОМПЛЕКСИРАНЕ НА СПЪТНИКОВА НАВИГАЦИОННА СИСТЕМА И СИСТЕМА ЗА ВЪЗДУШНА СКОРОСТ

В.И.Топчиев В.И.Иванов А.Н.Ангелов

Бордовото оборудване на летателните апарати се състои от самостоятелни измерватели на едни и същи или свързани по известен закон параметри, изменящи се по случаен закон (приемоиндикатор на спътникова навигационна система (СНС), система за въздушна скорост (СВС), инерциална навигационна система (ИНС) и др.).

Един от вариантите за повишаване точността на измерване на навигационните параметри и подобряване шумоустойчивостта на устройствата и системите е обединяването им в навигационни комплекси, използвайки марковската теория на оптималната нелинейна филтрация в гаусово приближение.

Анализирана е потенциалната точност на система, състояща се от приемоиндикатор на сигнали от глобална СНС и СВС, разположени на борда на летателния апарат. Извършено е комплексирание по входове в дискретно време в правоъгълна координатна система.

Допуска се, че в устройството, реализиращо съвместната обработка на сигналите приемани от отделните спътници и сигнала от СВС е извършена синхронизация и предварителна обработка. На входа на устройството в момент от време t_v се наблюдава реализация на векторния случаен процес

$$\xi_v = S(t_v, \lambda_v) + n_v, \quad (1)$$

където: $\xi_v = [\xi_{1v}, \xi_{2v}, \xi_{3v}, \xi_{4v}]^T$ е вектор на наблюденията от спътниците, от използваното съзвездие; $\bar{S}(t_v, \lambda_v) = [S_{1v}, S_{2v}, S_{3v}, S_{4v}]^T$ е вектор от полезните сигнали от спътниците; $\bar{n}_v = [n_{1v}, n_{2v}, n_{3v}, n_{4v}]^T$ е вектор от независими дискретни бели шумове с известни статистически характеристики; $\bar{\lambda}_v = [x_v, y_v, z_v]^T$ е вектор на параметрите подлежащи на оценка.

Полезните сигнали приемани от четирите спътника имат вида:

$$S_{kv} = A_o \cos \left[\omega \left(t_v - \frac{D_{kv}}{c} \right) + \Phi_{сл} \right], \quad (2)$$

където: $k = 1, 2, 3, 4$; A_o е нормираната амплитуда на сигналите; ω е носещата честота; D_{kv} е далечината от потребителя до спътника; $\Phi_{сл}$ е случайна начална фаза, равномерно разпределена в интервала от $-\pi$ до π .

Сигналят от изхода на СВС има вида:

$$\vec{\eta} = \vec{V} + \vec{\varepsilon}, \quad (3)$$

където: $\vec{\eta} = [\eta_x, \eta_y, \eta_z]^T$ е вектор от наблюденията по трите оси; $\vec{V} = [V_x, V_y, V_z]^T$ е вектор от действителните стойности на скоростта по осите, а $\vec{\varepsilon} = [\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z]^T$ е вектор от стойностите на грешките, с които се измерват съставните на скоростта V . Характерно е да се отбележи, че грешката на измерването $\vec{\varepsilon}$ е корелирана с измерваната скорост \vec{V} . Параметърът подлежащ на оценка от второто наблюдение е скоростта \vec{V} .

С цел упростяване на пресмятането и доказване на целесъобразността от комплексирание на посочените измерватели е извършен анализ на параметрите само по едната координатна ос X . В такъв случай априорните сведения за параметрите подлежащи на оценка ще се описват с векторно-матричното уравнение:

$$\vec{\lambda}_v = \bar{\Phi} \vec{\lambda}_{v-1} + n_v, \quad (4)$$

където: $\vec{\lambda}_v$ е вектор от параметрите подлежащи на оценка; $\bar{\Phi}$ е фундаментална матрица на прехода имаща вида:

$$\bar{\Phi} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{\alpha}(1 - e^{-\alpha T}) & 0 \\ 0 & e^{-\alpha T} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\alpha_\varepsilon T} \end{bmatrix},$$

където: $\vec{n}_v = [0, n_{xv}, \varepsilon_{xv}]^T$ е вектор от формиращи шумове с корелационна матрица $\bar{\Psi}$, за конкретния случай, съгласно [1] имаща вида:

$$\bar{\Psi} = \begin{bmatrix} \frac{N_x T^3}{6} & \frac{N_x T^2}{4} & 0 \\ \frac{N_x T^2}{4} & \frac{N_x}{2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{N_\varepsilon T}{2} \end{bmatrix},$$

където T е стъпката на дискретизация.

Използвайки (3) и (4) наблюдението от СВС се преобразува в ново наблюдение η^* на фона на бял шум.

$$\eta^* = \eta_{v-1} - \varepsilon^{-\alpha_x T} \eta_v = (e^{-\alpha_x T} - e^{-\alpha_x T}) \mathcal{N}_x + n$$

Конкретизирайки алгоритъма в [3] се получава следния израз за корелационната матрица на грешката на оценяваните параметри:

$$\bar{R}_v^{-1} = \tilde{R}_v^{-1} + \int_{t_{v-1}}^{t_v} \bar{H}_v^T \bar{N}^{-1} \bar{H} d\tau \quad , \quad (5)$$

където предположената стойност на корелационната матрица е:

$$\tilde{R}_v^{-1} = \bar{\Phi} \bar{R}_{v-1} \bar{\Phi}^T + \bar{\Psi} \quad ,$$

а

$$\bar{H}^T = \begin{bmatrix} G_{x1} S_1 & G_{x2} S_2 & G_{x3} S_3 & G_{x4} S_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & e^{-\alpha_x(t-\tau)} - e^{-\alpha_x(t-\tau)} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

е матрица от коефициентите пред филтрираните параметри в приеманите наблюдения;

$$\bar{N} = \begin{bmatrix} \frac{2}{No} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2}{No} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{2}{No} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{2}{No} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2}{Ne} \end{bmatrix}$$

е матрица, включваща шумовете в наблюденията.

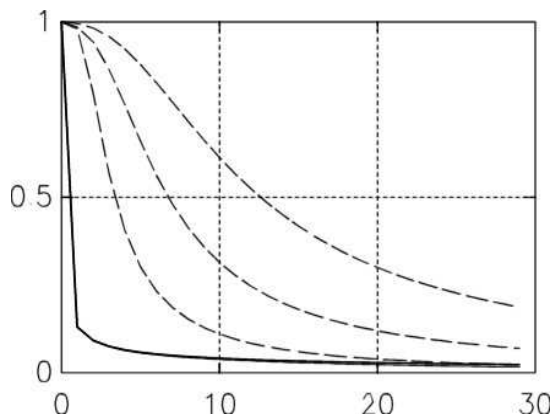
Използвайки MATLAB при следните типови стойности за спътниковата навигационна система и СВС: отношение сигнал-шум $q = 1, 10, 100$; стъпка на дискретизация $T = 0,1$ сек.; $\sigma_x = 30$ m; $\sigma_{vx} = 300$ m/s; $\sigma_{свс} = 1$ m/s [2, 3, 4].

Част от получените количествени резултати са показани на фиг.1 и фиг.2

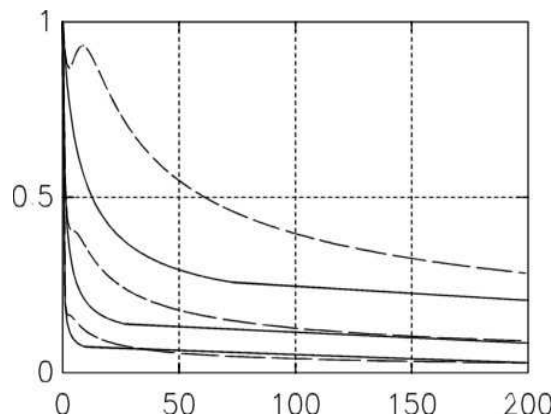
От получените резултати се вижда :

1. При голямо отношение сигнал-шум преходния процес завършва след около 5 стъпки, а при малко на около 50-та.

2. Точността на измерване на навигационния параметър е значително по-висока, като за малки q е около два пъти и се поддържа такава дори и след 100 стъпки.



Фиг.1



Фиг.2

3. При големи стойности на q двете точности се изравняват.

4. От фиг. 1 прави впечатление, че преходния процес завършва около петата стъпка независимо от отношението сигнал-шум и трите получени резултата съвпадат.

Получените резултати от изследването показват, че е целесъобразно реализиране на навигационен комплекс от спътникова навигационна система и системата за въздушна скорост.

Литература:

1 М.С.Ярлыков Статистическая теория радионавигации. – М.: Радио и связь, 1985

2.М.С.Ярлыков, В.А.Болдин, А.С.Богачев. Авиационные радионавигационные устройства, - М.: ВВИА им. Жуковского, 1980

3.В.И.Иванов, М.С.Маринов Статистическа теория на авиационните радиотехнически устройства. – С.: МО "Св. Георги Победоносец", 1999

4.В.И.Тихонов, В.Н.Харисов Статистически анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1991