

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО РЕЖИМА КОМПЛЕКСИРОВАННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

к.т.н. И.А. Кашаев, В.Н. Дейнеко, С.А. Капустин
(представил д.т.н., проф. Э.Н. Хомяков)

Рассмотрены вопросы комплексирования дифференциальных подсистем космических навигационных систем и существующих радиотехнических систем с высокостабильными хранителями времени и частоты, а также алгоритм обработки измерений в подсистеме формирования контрольно - корректирующей информации.

В последнее время все большее внимание уделяется вопросам целостности космических навигационных систем (КНС) и бортового оборудования [1], что делает эту характеристику КНС сопоставимой по своему значению с точностными характеристиками навигационных систем и комплексов. Известно, что комплексирование аппаратуры потребителя (АП) КНС с другими измерителями позволяет повысить точность и эффективность контроля целостности КНС.

Эквивалентом части информации, получаемой контрольной станцией (КС) от навигационного спутника (НС), могут служить сигналы времени и частоты от хранителя времени с высокостабильным стандартом частоты [2]. В качестве такого хранителя времени предлагается использовать хранители времени опорных станций радионавигационных систем наземного базирования (РНСНБ) или радиоинтерферометров со сверхдлинными базами (РСДБ). Кроме того, потенциальную точность дифференциального режима применения КНС снижает разнос измерений во времени и пространстве. С увеличением интервала времени между моментами определения и применения дифференциальных поправок, увеличением дальности между контрольной станцией и аппаратурой потребителя достижимая точность дифференциального режима падает [3]. Таким образом, вокруг КС существует пространственно-временная рабочая область применения КНС, размеры которой определяются требуемой точностью координатно-временных определений. Возможность математического описания погрешностей, сопровождающих применение КНС в дифференциальном режиме, позволяет оценить размеры рабочих областей и эффективность дифференциальной коррекции в целом.

Взаимодействие подсистемы формирования контрольно - корректирующей

шей информации (ПФККИ), РНС и РСДБ при их комплексировании обеспечивается за счет информационного обмена по каналам, связывающие соответствующие центры управления. Центр управления, получая информацию от контрольно - корректирующей станции (ККС), производит вторичную обработку данных и решает задачу формирования дифференциальных поправок к основным источникам погрешностей измерений. В центре управления формируются поправки к координатам, составляющим скоростей, уходом шкал времени и частоты спутников относительно системных шкал КНС [4]. Систему уравнений, описывающую процесс измерений на каждой ККС в предположении, что фазовая неоднозначность разрешена, можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} \widehat{\Delta S}_{i1\Phi}^j(t) = R_1^j(t) - R_1^j(t) + \nabla_{i1}(t) + \delta \Delta S_{i1\Phi}^j(t); \\ \widehat{S}_{iK}^j(t) = R_1^j(t) + \alpha^j(t) + \delta S_{iK}^j(t); \\ \widehat{S}_{iK}^j(t) = R_1^j(t) + \alpha^j(t) + \nabla_{i1}(t) + \delta S_{iK}^j(t); \\ \widehat{S}_{i\Phi}^j(t) = \dot{R}_1^j(t) + \dot{\alpha}^j(t) + \delta \dot{S}_{i\Phi}^j(t); \\ \widehat{S}_{i\Phi}^j(t) = \dot{R}_1^j(t) + \dot{\alpha}^j(t) + \dot{\nabla}_{i1}(t) + \delta \dot{S}_{i\Phi}^j(t). \end{cases}$$

Вектор оцениваемых сетью КС параметров будет иметь вид

$$\bar{\Theta} = \left\| \bar{\Theta}_1^T, \bar{\Theta}_2^T, \dots, \bar{\Theta}_{p(t)}^T, \bar{V}^T \right\|^T,$$

где $\bar{\Theta}_j^T = \left\| X^j(t), Y^j(t), Z^j(t), \dot{X}^j(t), \dot{Y}^j(t), \dot{Z}^j(t), \alpha^j(t), \dot{\alpha}^j(t) \right\|^T$ - вектор координатно - временных и скоростных параметров j -го спутника.

Предлагается в ПФККИ производить оптимизацию весов измерений каждой ККС не только по эфемеридно - временным и флуктуационным, а и по тропосферным составляющим погрешностей с целью максимизации точности дифференциальной коррекции навигационных параметров потребителя. Необходимо найти вектор дифференциальных поправок подсистемы в виде линейной комбинации дифференциальных коррекций $\widehat{\bar{V}}$ такой, чтобы был минимизирован среднестатистический квадрат невязки ϵ_j , т.е.

$$\langle \epsilon_j^2 \rangle = \left\langle \left(\widehat{\bar{G}}_j^T \bar{\theta}_j + \Delta_{nj}^{aTM} \right) - \bar{p}_j^T \widehat{\bar{V}}_j \right\rangle^2 \rightarrow \min.$$

Учитывая $\widehat{\bar{V}}_j = D_j \bar{\theta}_j + \Delta + \Delta_j^{aTM} + \delta_j$ и предполагая некоррелированность всех составляющих погрешностей, можно получить

$$F(\bar{p}) = \langle \varepsilon_j^2 \rangle = \left(\bar{G}_j^T - \bar{p}_j^T D_j \right) K_\theta \left(\bar{G}_j^T - \bar{p}_j^T D_j \right)^T + \bar{p}_j^T K_\eta \bar{p}_j + \bar{p}_j^T K_\delta \bar{p}_j + \sigma_{Z_0}^2 \left[a_{nj}^2 - 2a_{nj} \bar{p}_j^T \bar{b}_{ij} + \bar{p}_j^T L \bar{p}_j \right], \quad (1)$$

где K_θ - корреляционная матрица эфемеридных и частотно - временных погрешностей навигационных спутников спутниковой радионавигационной системы (СРНС), причем $K_\theta = \langle \bar{\theta}_j \bar{\theta}_j^T \rangle$; $K_\delta = \langle \bar{\delta}_j \bar{\delta}_j^T \rangle$ - корреляционная матрица флуктуационных погрешностей измерений КС; E - единичная матрица; K_η - корреляционная матрица отклонений времени КС и СРНС η_t от среднего значения Δ_0 .

Рассмотрим достижение минимума функции (1) и после некоторых преобразований получим искомый вектор весов

$$\left(\bar{p}_j^T \right)_{\text{opt}} = \left[\bar{G}_j^T - \bar{g}_{ij} D_j \right] D_j^T K_\Sigma^{-1} D_j \left[D_j^T K_\Sigma^{-1} D_j \right]^{-1} D_j K_\Sigma^{-1} + \bar{g}_{ij},$$

где $K_\Sigma = K_{\varepsilon_j} + L_{ij}$; $\bar{g}_{ij} = a_{nj} \sigma_{Z_0}^2 \bar{b}_{ij}^T K_\Sigma^{-1}$.

Таким образом, изложенный подход обработки измерительной информации в подсистеме формирования контрольно - корректирующей информации позволит получить большую точность дифференциальной коррекции навигационных измерений потребителя за счет учета тропосферной составляющей погрешности. Вариант комплексирования в составе интегральной радионавигационной системы различных радионавигационных систем, работающих в разных диапазонах частот, использующих разные принципы определения местоположения объекта и имеющих в своем составе высокостабильные хранители времени и частоты, позволяет получить высокую гибкость функционирования комплексированной системы, динамичность структуры, и ее повышенную устойчивость к различным видам естественных и искусственных помех.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев Ю. А. Системы спутниковой навигации. – М.: Экотрендз, 2000. – 220с.
2. Жалило А.А. Методический подход и алгоритмы реализации дифференциального метода спутниковой навигации по наблюдениям сетей контрольных станций // Сб. тр. 7-ой С.-Пб. НТК по интегрированным навигационным системам. – С.-Пб. – 1996. – 164 с.
3. Аргунов А.Д., Малюков С.Н. и др. Формирование и применение интегрального радионавигационного поля // Радиотехника. – 1998. – №9. –

С. 53 - 56.

4. Харисов В.А., Перов А.И., Болдин В.А. Глобальная спутниковая навигационная система ГЛОНАСС. – М.: ИПРЖР, 1998. – 400 с.

Поступила в редколлегию 28.02.2001
