



Разработка математической модели уточнения координат мобильной станции по кодовым и фазовым данным спутников GPS и ГЛОНАСС



Капитонов Михаил

НПК «GPScom»

Инженер-программист

(495) 232-28-70

info@GPScom.ru

Москва

15 февраля 2013 г.



Актуальность разработки

Предпосылки для разработки модели:

1. Независимость от уже имеющихся на рынке решений (Javad, Trimble, Topcon и др.)
2. Создание универсальной модели, работающей в режиме реального времени (Real Time)
3. Большая часть аналогичных разработанных моделей не включает возможность работы без использования спутников системы GPS (только ГЛОНАСС)



Основные вспомогательные алгоритмы

- Модель ионосферной задержки: модель Клобучара
- Модель тропосферной задержки: модель Хопфилд со стандартными значениями
- Расчет координат спутников:
 - ✓ Аналитический метод для GPS-спутников
 - ✓ Метод численного интегрирования Рунге-Кутта для ГЛОНАСС-спутников



Абсолютный метод позиционирования по кодовым псевдодальностям

- Уравнение псевдодальности:

$$P_A^i = R_A^i + I_A^i + T_A^i + c * (dt_A - dt^i) + \varepsilon_A^i$$

- Линеаризация геометрической дальности:

$$R_A^i = (R_A^i)^0 - \left(\frac{X^i - X_A^0}{(R_A^i)^0} * dX_A + \frac{Y^i - Y_A^0}{(R_A^i)^0} * dY_A + \frac{Z^i - Z_A^0}{(R_A^i)^0} * dZ_A \right)$$

- Система линейных уравнений и ее решение с помощью МНК:

$$AX + B = V; \quad \hat{X} = -(A^T A)^{-1} (A^T B)$$

- Количество неизвестных параметров = 4 (5), количество уравнений = n (n – число наблюдаемых спутников)



Дифференциальный метод позиционирования по кодовым псевдодальностям

- Вычисленная поправка для псевдодальности для базовой станции (BS):

$$\Delta P_{BS} = R_{BS} - P_{BS} \approx -c * (dt_{BS} - dt^i) - I_{BS} - T_{BS} - \varepsilon_{BS}$$

- Скорректированное значение псевдодальности для мобильной станции (MS):

$$\tilde{P}_{MS} = P_{MS} + \Delta P_{BS} \approx R_{MS} + c * (dt_{MS} - dt_{BS}) + (I_{MS} - I_{BS}) + (T_{MS} - T_{BS}) + \varepsilon_{MS,BS}$$

- Количество неизвестных параметров = 4 (5), количество уравнений = n (n – число наблюдаемых спутников)



Дифференциальный метод позиционирования по фазовым измерениям

- Двойная разность для псевдодальностей:

$$R_{MS}^i - R_{MS}^1 = \tilde{P}_{MS}^i - \tilde{P}_{MS}^1 + [R_{BS}^i - R_{BS}^1 - (\tilde{P}_{BS}^i - \tilde{P}_{BS}^1)]$$

- Двойная разность для фазовых измерений:

$$R_{MS}^i - R_{MS}^1 = \tilde{\varphi}_{MS}^i - \tilde{\varphi}_{MS}^1 + \lambda_1 * N_{MS,BS}^{i1} + [R_{BS}^i - R_{BS}^1 - (\tilde{\varphi}_{BS}^i - \tilde{\varphi}_{BS}^1)]$$

- Количество неизвестных параметров = $n+2$, количество уравнений = $2n-2$ (n – число наблюдаемых спутников)



Тестирование и точность алгоритмов

Метод позиционирования	GPS	GLONASS	GPS + GLONASS
Абсолютный (кодовые данные)	2.5 м	3.0 м	2.0 м
Дифференциальный (кодовые данные)	0.5 м	0.5 м	0.4 м
Дифференциальный (фазовые данные) – плавающее решение	0.3 м	0.3 м	0.2 м

Алгоритмы тестировались на данных, полученных с приемников NovAtel OEM-615 и NovAtel DL-V3.



В разработке:

1. Абсолютный метод позиционирования по фазовым измерениям
2. Использование измерений по частоте L2; применение линейных комбинаций фаз L1 и L2 в фазовых решениях
3. Повышение уровня фильтрации данных



Заключение

- Реализована обработка данных в режиме реального времени
- Достаточность модели для ряда приложений
- Достигнуты независимость и универсальность модели
- Модель успешно опробована на некоторых наборах реальных данных



Спасибо за внимание!

