

Динамические параметры геоцентра, полученные по данным навигационных систем GPS и DORIS с использованием методов адаптивной регрессии

Ю.А. Нефедьев¹, Р.Р. Мубаракшина¹, А.О. Андреев^{1,2}

¹Казанский федеральный университет, Кремлевская 18, Казань, Россия, 420008

²Казанский государственный энергетический университет, Красносельская, 51, Казань, Россия, 420066

Аннотация

Целью данной работы является определение динамики геоцентра с помощью динамической адаптивной регрессией и общих законов навигационных систем DORIS и GPS. Динамика пространственного геоцентра представлена в виде координатного временного ряда. Математическое описание данного временного ряда (TS) позволяет определить систематическое изменение динамики геоцентра (DG). Для повышения точности моделирования и прогноза DG и выявления регулярных эффектов использовался подход динамического регрессионного моделирования. На основе этого подхода была разработана «Автоматизированная система динамического регрессионного моделирования» (АСДРМ) и ее модификации: АСДРМ-Г (для обработки данных дистанционного зондирования Земли) и АСДРМ-Т (для анализа техногенных характеристик). В результате получены параметры DG с учетом структуры моделей, точности прогнозов, устойчивости моделей полигармонической структуры и кросс-спектрального анализа. Моделирование динамики координат DG обеспечило более высокую аппроксимацию и точность прогноза по сравнению с результатами других авторов. Выявлены общие составляющие всех построенных в работе моделей.

Ключевые слова

дистанционное зондирование Земли, геоинформатика, регрессионное моделирование, кросс-спектральный анализ, DORIS, GPS

1. Введение

Поскольку космические геодезические измерения привязаны к ITRF (International Terrestrial Reference Frame), при их анализе следует учитывать положение геоцентра (PG). Точность определения положения геоцентра зависит от размера геодезической сети [1]. Базовая сеть GNSS (Global Navigation Satellite Systems) развернута в Северном полушарии, поэтому наибольшие вариации PG относятся к координате Z [2]. Определение закономерностей и свойств динамики геоцентра – современная и актуальная проблема. В настоящей работе регрессионный анализ DG проводился для моделей, построенных на основе измерений временных рядов дистанционного зондирования Земли, выполненных навигационными системами DORIS и GPS.

2. Статистические модели динамики параметров геоцентра

Исходными данными для моделирования динамики координат геоцентра стали еженедельно усредненные колебания PG, зарегистрированные системами GPS и DORIS за период 14 лет [3]. Все TS сдвига координат геоцентра являются нестационарными. Была построена модель АСДРМ (1) [2] с точностью аппроксимации $\sigma = 5\,074$ мм и прогнозирования $\sigma_{\Delta} = 5\,011$ мм. Применение фильтра Калмана к остаткам снизило стандартное отклонение (SD) ($\sigma = 2,557$ мм, $\sigma_{\Delta} = 2,528$ мм). Комбинированная математическая модель динамики геоцентра (параметр dx) имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 TX(t) = & 5,24 - 0,04t + 0,994 \sin(2\pi t/8 + 114,95) + 0,607 \sin(2\pi t/13 + 7,162) \\
 & + 0,282 \sin(2\pi t/17 + 236,93) + 2,439 \sin(2\pi t/25 + 250,95) \\
 & + 6,748 \sin(2\pi t/52 + 96,801) + 1,354 \sin(2\pi t/62 + 177,7) \\
 & + 1,355 \sin(2\pi t/170 + 210,56) + 0,27y_2(t - 1) + 0,138y_2(t - 2) \\
 & - 0,106y_3(t - 1) + y_4(t),
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где $y_2(t)$ – остаток после удаления гармонической составляющей; $y_3(t)$ – остаток после удаления модели авторегрессионной разнородности дисперсий; $y_4(t)$ – остаток после модели, включающей гауссовский белый шум. Аналогичным образом были построены комбинированные модели для смещения геоцентра TS по параметрам dy и dz и для GPS измерений. Анализ смещения геоцентра dx по оси X показал, что имеется линейный тренд с коэффициентом корреляции $R = 0,621$, $\sigma = 9,77$ мм и $\sigma_{\Delta} = 10\ 077$ мм. Динамика прогноза координат геоцентра по параметру dx , полученных системами DORIS и GPS, представлена на Рисунке 1. По оси абсцисс отложены дни, по оси ординат смещение dx координаты X в мм. Результаты кросс-спектрального анализа показали, что у параметра dx смещения геоцентра присутствуют общие гармоники: 8 (2 месяца), 25 (6 месяцев), 52 (1 год) (здесь номер гармоники и в скобках период). Соответственно, для параметра dy получено: 8 (2 месяца), 25 (6 месяцев), 52 (1 год) и для параметра dz общими гармониками являются гармоники 10 (2 месяца), 17 (3 месяца), 52 (1 год).

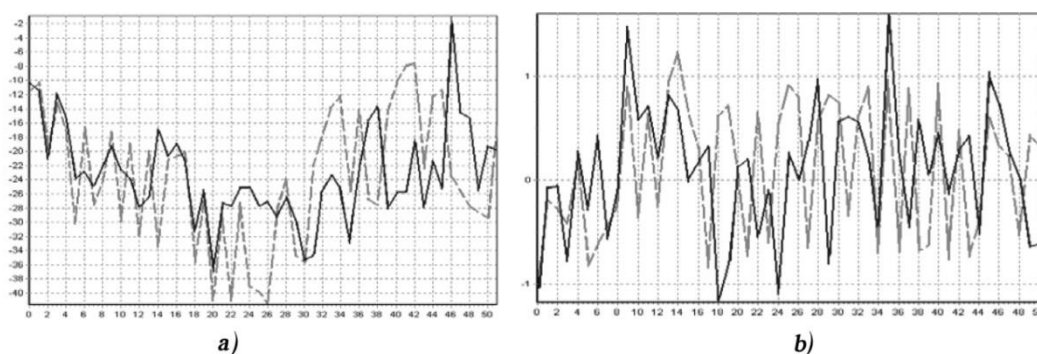


Рисунок 1: Динамические параметры наблюдений и прогноза смещения геоцентра TS, полученные с помощью а) системы DORIS, б) системы GPS

3. Заключение

В работе рассмотрены статистические модели динамики геоцентра, построенные для трех координат x , y , z . Было обнаружено, что использование этих моделей в случае прогнозных «горизонтов» позволяет оценивать их по нескольким критериям. Для изучения устойчивости наблюдаемой модели были исследованы временные ряды с использованием данных двух космических миссий GPS и DORIS. Полученные результаты показали, что наиболее устойчивыми гармониками являются составляющие с периодами 1, 2, 4, 6 месяцев и 1 год. В ходе исследований была обнаружена «мерцающая» структура периодических составляющих временных рядов. Также был определен временной интервал наиболее надежного прогноза («горизонт прогноза»), который составил от 10 до 25 недель для данных DORIS и от 6 до 25 недель для данных GPS.

4. Литература

- [1] Lavallee, D.A. Geocenter motions from GPS: a unified observation model / D.A. Lavallee, T. Blewitt // *J. Geophys. Res.* – 2006. – Vol. 111. – P. B05405.
- [2] Kuzin, S.P. Studies of the geocenter motion using 16-years DORIS data / S.P Kuzin, S.K. Tatevian, S.G. Valeev, V.A. Fashutdinova // *Advances in Space Research.* – 2010. – Vol. 46. – P. 1292-1298.
- [3] Gobinddass, M.L. Systematic biases in DORIS-derived geocenter time series related to solar radiation pressure mismodeling / M.L. Gobinddass, P. Willis // *Journal of Geodesy.* – 2009. – Vol. 83(9). – P. 849-858.