

навигация и управление движением” – Сб. докл., Киев 21–22 апреля 2005 г. – С. 310–313.

3. *Пономаренко В.К., Мирошниченко В.С.* Выбор параметров измерителей числовых характеристик случайных процессов, Изв. ВУЗ СССР, разд. Радиоэлектроника, XVI, 1971, №7.

4. *Цветков Э.И.* Методические погрешности статистических измерений.- / Цветков Э.И – Л.: Энергоатомиздат, 1984, –144 с.

5. *Воллернер Н.Ф.* Выбор оптимальной длительности реализации при аппаратурном анализе случайных процессов / Воллернер Н.Ф. – Изв. ВУЗов СССР, радиофизика, 1966, № 4, С. 737–740.

6. *Воллернер Н.Ф.* Аппаратурный спектральный анализ сигналов. / Воллернер Н.Ф. - М: Сов. Радио, 1977, 207 с.

7. *Туз Ю.М.* Структурные методы повышения точности измерительных устройств. / Туз Ю.М. – К.: Вища школа, 1976.– 256 с.

Поступила 18.02.2013г.

УДК 621.396.933:527.8

Larisa Dobryakova, Łukasz Lemieszewski, Evgeny Ochinn, Szczecin

GNSS: ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ WGS-84

Abstract. This article "GNSS: the improving of the positioning accuracy using the WGS-84 models" assumes that the receiver is on the surface of the Earth, described by model WGS-84. The calculated distance from the satellite S1 to GNSS-receiver located on the surface of the Earth, forms a sphere of permissible location of GNSS-receiver. The intersection of the Earth's surface and the sphere S1 forms the line of acceptable location of GNSS-receiver.

The calculated distance from the satellite S2 to the GNSS-receiver, located on the surface of the Earth, forms a second sphere of permissible location of GNSS-receiver. The intersection of the Earth's surface and the sphere S2 forms the second line of the permissible location of GNSS-receiver. The intersection of these two lines forms two possible point for location of GNSS-receivers, one of which is dropped by a logical analysis of the location of valid values GNSS-receiver.

Актуальность

Спутниковые системы глобальной навигации (Global Navigation Satellite System, GNSS: Navstar GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS) позволяют решать задачу позиционирования некоторого движущегося объекта (корабль, самолёт, автомобиль), т.е. определять широту, долготу, высоту объекта над уровнем моря, а также его скорость, направление движения и текущее время. Точность позиционирования по широте и долготу для гражданских GNSS

составляет единицы метров.

Основными источниками ошибок позиционирования являются:

- тропосферные и ионосферные задержки — GNSS-приёмник определяет среднюю задержку, для частичной коррекции такой ошибки;
- эфемеридные (орбитальные) погрешности передаваемых координат спутников;
- неоднородность гравитационного поля Земли, влияющая на орбиты спутников;
- многолучевой прием — GNSS-сигнал отражается от скал или высоких зданий;
- невозможность разместить на спутниках передатчики большой мощности, из-за чего приём их сигналов невозможен в условиях шумов; глушение GNSS-сигналов (GNSS-jamming) может быть реализовано широко доступными приборами малой стоимости (~\$100);
- ошибка часов — обычные кварцевые часы в бытовых GNSS-приёмниках обладают малой точностью хода по сравнению с атомными хронометрами на спутниках;
- "малое" количество видимых спутников — чем больше спутников в зоне видимости GNSS-приемника, тем выше точность позиционирования GNSS-приемника;
- "плохая" геометрия взаимного расположения видимых спутников — чем больше разброс взаимного расположения видимых спутников, тем выше точность позиционирования GNSS-приемника;
- намеренное внесение ошибок в GNSS-сигнал с целью недопустимости применения гражданских GNSS-приемников в военных целях, например, технология SAASM¹ — Selective Availability Anti-Spoofing Module (Антиспуфинговый Модуль Избирательной Доступности);
- и многие другие.

Для повышения точности позиционирования используются неподвижные базовые станции, положение которых известно с геодезической точностью (единицы миллиметров). Измеренная ошибка позиционирования транслируется в некоторой окрестности (десятки километров) базовых станций, образуя так называемый дифференциальный режим (DGNSS). Наиболее развитыми DGNSS являются глобальные подсистемы, которые передают поправку к GNSS-сигналам с геостационарных спутников: EGNOS, WAAS, MSAS и др. Однако, в реальных условиях навигационная аппаратура потребителя часто не способна функционировать в дифференциальном режиме позиционирования. Это обусловлено влиянием внешней среды распространения сигнала, пропаданием сигнала от базовой станции, затенением большого количества навигационных космических аппаратов, аномальными ошибками и другими факторами.

¹ http://www.symmetricom.com/media/files/secure/white-papers/wp_GPS_Why_Convert_to_SAASM.pdf
<http://www.quadrilogic.ro/ITT/SAASM%20data%20sheet.pdf>

Необходимо также отметить, что эффективность DGNSS снижается при увеличении расстояния от базовых станций. *Поэтому разработка методов повышения точности позиционирования объекта в обычном режиме GNSS является актуальной задачей* [1-4].

Постановка и решение задачи

Принцип позиционирования объекта в системе GNSS основан на вычислении расстояния от него до нескольких спутников, точные координаты которых известны. Вычисленное расстояние от спутника S1 до GNSS-приёмника образует сферу допустимого местонахождения GNSS-приёмника (рис.1).

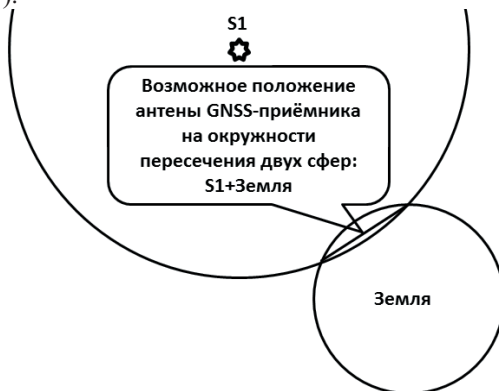


Рис.1. В поле зрения GNSS-приемника один спутник S1

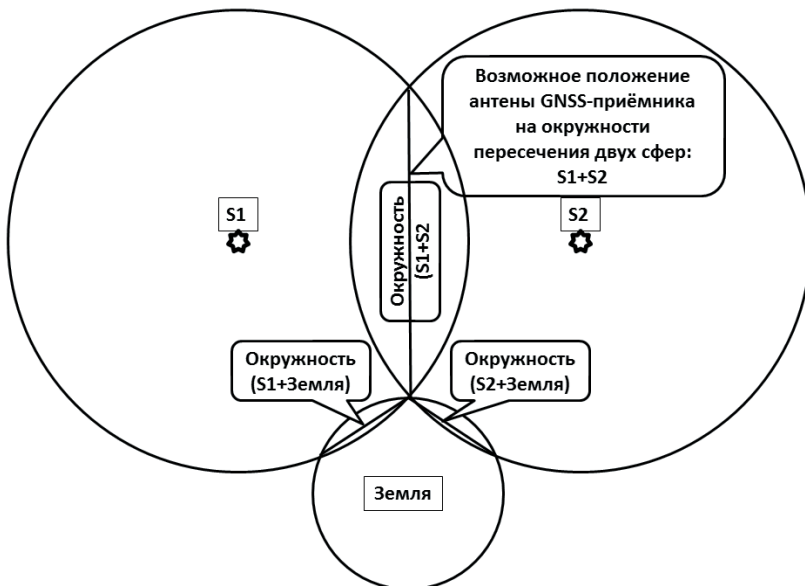


Рис.2. В поле зрения GNSS-приемника два спутника S1 и S2

Вычисленное расстояние от спутника S2 до GNSS-приёмника образует вторую сферу допустимого местонахождения GNSS-приёмника (рис.2). Пересечение этих двух сфер образует окружность (S1+S2) допустимого местонахождения GNSS-приёмника.

Вычисленное расстояние от спутника S3 до GNSS-приёмника образует третью сферу допустимого местонахождения GNSS-приёмника (рис.3). Пересечение двух сфер S1 и S3 образует окружность (S1+S3) допустимого местонахождения GNSS-приёмника, а пересечение двух сфер S2 и S3 образует окружность (S2+S3) допустимого местонахождения GNSS-приёмника. Пересечение окружностей (S1+S2), (S1+S3) и (S2+S3) образует точку местонахождения GNSS-приёмника.

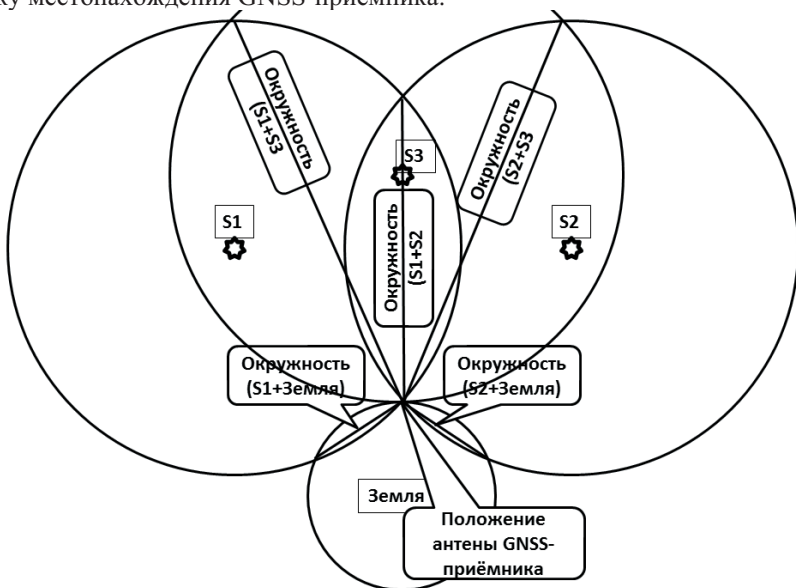


Рис. 3. В поле зрения GNSS-приемника три спутника S1, S2 и S3

Принцип позиционирования с использованием сферической модели Земли

Предположим, что приёмник находится на поверхности земли, описываемой сферой. Вычисленное расстояние от спутника S1 до GNSS-приёмника, находящегося на сферической поверхности Земли, образует сферу допустимого местонахождения GNSS-приёмника (рис.4). Пересечение сферы Земли и сферы S1 образует окружность (S1+Земля) допустимого местонахождения GNSS-приёмника.

Вычисленное расстояние от спутника S2 до GNSS-приёмника, находящегося на сферической поверхности Земли, образует вторую сферу допустимого местонахождения GNSS-приёмника (рис.5). Пересечение сферы Земли и сферы S2 образует вторую окружность (S2+Земля)

допустимого местонахождения GNSS-приёмника. Пересечение этих двух окружностей образует две допустимые точки местонахождения GNSS-приёмника, одна из которых отбрасывается с помощью логического анализа допустимых значений местонахождения GNSS-приёмника.

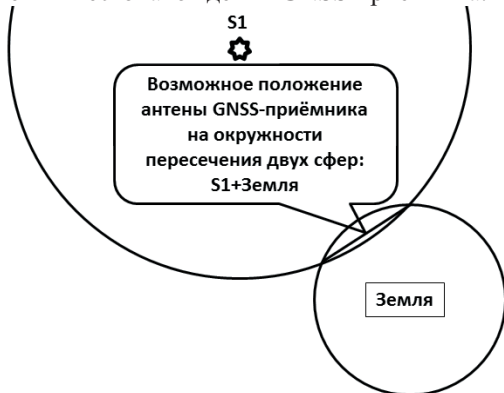


Рис.4. В поле зрения GNSS-приемника, находящегося на сферической поверхности Земли, находится один спутник S1 (не в зените)

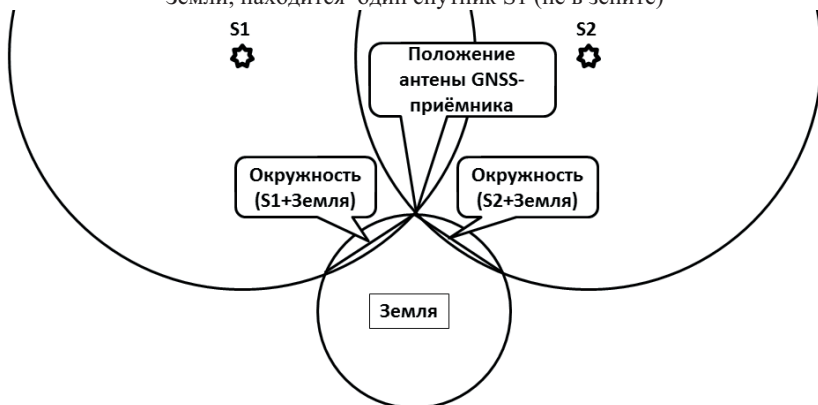


Рис.5. В поле зрения GNSS-приемника, находящегося на сферической поверхности Земли, находятся два спутника S1 и S2

Принцип позиционирования с использованием модели WGS-84

Для решения планетарных задач геодезии создано несколько систем геодезических параметров Земли. Наиболее известными системами являются World Geodetic System 1960, 1966, 1972 и 1984 годов (WGS-60, WGS-66, WGS-72 и WGS-84), созданные Картографическим управлением Министерства обороны США.

WGS-84² определяет координаты поверхности Земли относительно

² <http://www.dqts.net/http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/wgs84fin.pdf>

центра масс Земли. В WGS-84 нулевым меридианом считается Главный меридиан (рис.6). Он расположен в 5,31" к востоку от Гринвичского меридиана. Определяющими фундаментальными геодезическими постоянными системы WGS-84 являются: большая полуось общего земного эллипсоида $a=6\,378\,137,0$ м и малая полуось — $6\,356\,752,3142$ м, угловая скорость вращения Земли $\omega = 7\,292\,115 \times 10^{-11}$ рад/с.

В июне 1994 г. была введена новая версия WGS-84, получившая наименование WGS-84 (G730). В этой версии используются уточненные координаты пунктов слежения МО США за спутниками GPS NAVSTAR, что привело к повышению точности системы координат WGS-84 до 10 см.

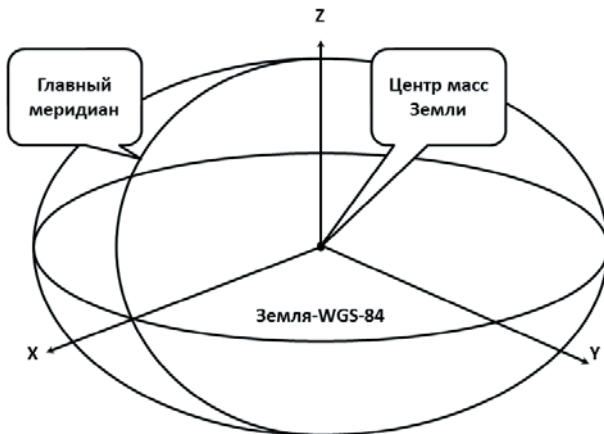


Рис.6. Модель Земли WGS-84

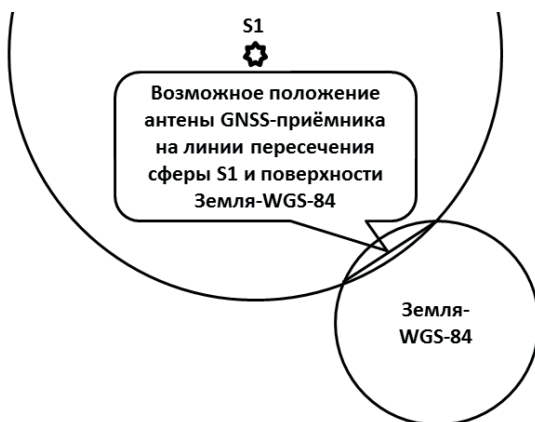


Рис.7. В поле зрения GNSS-приемника, находящегося на поверхности Земли WGS-84, находится один спутник S1



Рис. 8. Эффект каньона в городах с высокими зданиями

Использование модели Земли WGS-84 значительно повышает точность позиционирования GNSS-приемника, благодаря тому, что пересечение сферы спутника с реальной поверхностью Земли более точно описывается кривой (S+WGS-84) (рис.7). Вычисленное расстояние от спутника S1 до GNSS-приёмника образует сферу допустимого местонахождения GNSS-приёмника (рис.4). Пересечение поверхности Земли и сферы S1 образует замкнутую кривую (S1+WGS-84) допустимого местонахождения GNSS-приёмника.

Вычисленное расстояние от спутника S2 до GNSS-приёмника образует вторую сферу допустимого местонахождения GNSS-приёмника (рис.8). Пересечение поверхности Земли и сферы S2 образует вторую замкнутую кривую (S2+WGS-84) допустимого местонахождения GNSS-приёмника. Пересечение этих двух замкнутых кривых образует две допустимые точки местонахождения GNSS-приёмника, одна из которых отбрасывается с помощью логического анализа допустимых значений местонахождения GNSS-приёмника.

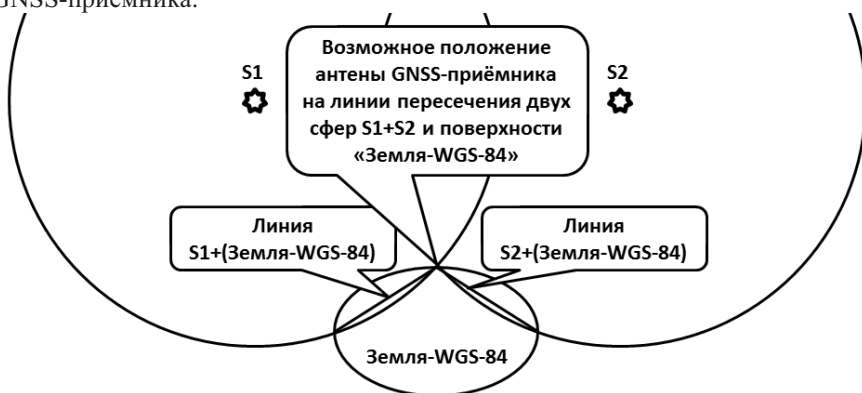


Рис.9. В поле зрения GNSS-приемника, находящегося на поверхности Земли WGS-84, находятся два спутника S1 и S2

Исследование такого метода навигации показало, что в условиях открытого пространства, когда количество видимых спутников сравнительно велико (≥ 10), увеличение точности незначительно (единицы процентов). Однако в условиях малого количества спутников (3-5) с "плохой" геометрией взаимного расположения в космическом пространстве, что характерно для городов с плотной высотной застройкой, достигается значительное увеличение точности позиционирования GNSS-приёмника (десятки процентов).

Выводы:

- проведено исследование существующих алгоритмов и методов повышения точности позиционирования GNSS-приемника;
- предложен метод повышения точности позиционирования GNSS-приемника, основанный на использовании модели поверхности Земли

WGS-84;

- разработанный метод повышения точности позиционирования GNSS-приемника целесообразно использовать в "тяжелых" условиях навигации, например, как средство борьбы с "каньон-эффekten" в городах с плотной высотной застройкой.

1. *Никитин Д.П.* Повышение точности местоопределения приемника сигналов ГНСС при изменении режима работы // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва, 2012, Специальность 05.12.14 - «Радиолокация и радионавигация»

2. *Kenneth Goussak, Todd Kusserow, Bernard Goblisch* Review and Analysis of the Selective Availability Anti-Spoofing Module (SAASM) Card Integration Program (SCIP) // Proceedings of the 54th Annual Meeting of The Institute of Navigation, June 1 - 3, 1998.

3. *Veitsel V.V., Nikitin D.P., Plenkin A.V., Veitsel A.V., Zhodzishsky M.I., Prasolov V.A.* Method and Apparatus of GNSS receiver Heading determination // United States Patent Application, № 13383807, 12.1.2012.

4. *Zhodzishsky M.I., Veitsel V.A., Veitsel A.V., Nikitin D.P., Veitsel V.V.* Improving the Positioning Quality of Global Navigation Satellite System Receivers Operating in the Differential Navigation Mode // United States Patent Application, № 138380245, 17.2.2012.

Поступила 11.02.2013р.

УДК 621.313

Г.О.Кравцов, м.Київ

МОДЕЛЮВАННЯ SMART GRID

Abstract. The power grid is considered within the context of optimal control, ecology, human cognition, glassy dynamics, information theory, microphysics of clouds, and many others. Here is a review of the types of analysis that have appeared in recent years in Smart Grid modeling field.

Актуальность

Математичне моделювання – перед усім методологія [1]. Сутність цієї методології полягає в заміні похідного об'єкту його «образом» - математичною моделлю – і в подальшому вивченні моделі за допомогою алгоритмів. Моделювання, як «третій метод» пізнання, конструювання, проектування поєднує в собі багато переваг як теорії, так і експерименту.

Постановка задачі

На поточний момент в світі активно проводяться роботи щодо стандартизації в галузі Smart Grid [2]. Враховуючи актуальність та констатуючи майже відсутність матеріалів українською мовою щодо цього