

Шестаков И.Н.

О ВОЗМОЖНОСТЯХ МЕТОДА БАЗОВЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ В СПУТНИКОВОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Для решения некоторых задач необходимо позиционирование с дифференциальной точностью. Как известно, получение таких точностей может происходить разными способами, и на практике чаще всего используют поправки от существующих дифференциальных систем. Покрытие территории Российской Федерации дифференциальными станциями ничтожно, и следовательно, эти точности для отечественного потребителя недоступны.

Для устранения этого пробела автором разработан метод базовых определений [1], который является автономным, не требующим наземной инфраструктуры дифференциальных и корректирующих станций и, следовательно, дополнительного связанного оборудования. Кроме того, развитие этого метода позволяет уменьшить число спутников для выполнения позиционирования без снижения точности навигационных расчётов, что актуально для навигации в полярных широтах.

Скорость распространения электромагнитных волн (ЭМВ) зависит от среды распространения, которая неоднородна и, следовательно, наблюдается рефракция [2]. Для сигналов от космических аппаратов (КА) спутниковой радионавигационной системы (СРНС) наибольшее влияние на эту скорость оказывают слои ионосферы и тропосферы, в которых скорость ЭМВ имеет эффект замедления. При прохождении слоя ионосферы траектория сигнала от i -го КА – $КА_i$, предположим, имеет ломаную линию (рис. 1, а), в то время как для расчёта координат объекта считается, что траектория прямолинейна:

$$D_i = \sqrt{(X_{BC} - x_i)^2 + (Y_{BC} - y_i)^2 + (Z_{BC} - z_i)^2} + c \Delta t, \quad i = 1, \dots, A. \quad (1)$$

Здесь D_i – псевдодальность от воздушного судна (ВС) до $КА_i$, $D_i = ct_i$, t_i – время прохождения сигнала от $КА_i$ до ВС; $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света; Δt – смещение бортовой шкалы времени (БШВ) ВС относительно системного времени.

Постановка задачи. Пусть на время t известны реальные положения спутников и объекта с их координатами: соответственно $КА_i (x_i, y_i, z_i)$ и $ВС (X_{BC}, Y_{BC}, Z_{BC})$. Пусть координаты $КА_i$ известны достаточно точно, а координаты ВС неизвестны, но известны координаты фантомного положения $ВС' (X'_{BC}, Y'_{BC}, Z'_{BC})$. Требуется найти координаты $КА_i' (x_i', y_i', z_i')$ и погрешности Δx , Δy , Δz .

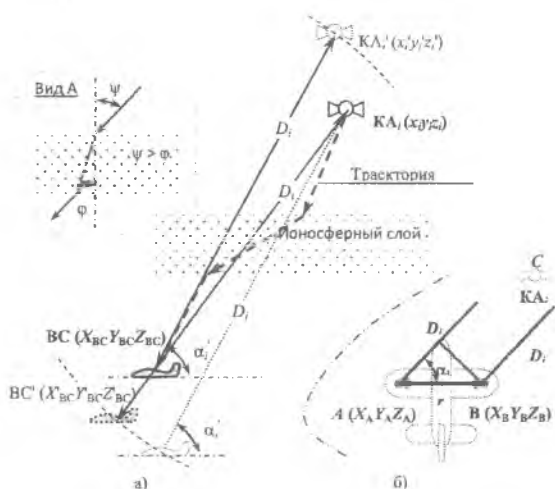


Рис. 1. Схема процесса, поясняющая постановку задачи: а) иллюстрация образования фантомной ошибки; б) принцип определения угла визирования KA_i

Решение. Пусть на борту ВС имеется комплект аппаратуры потребителя с несколькими приёмными устройствами. Пусть приёмных устройств два, и они установлены по одному в точке А и в точке В. По точке А будем идентифицировать координаты ВС. Расстояние r между точками А и В известно и $r = const$. Координаты точек А (X_A, Y_A, Z_A) и В (X_B, Y_B, Z_B) найдены с помощью (1), т. е. это будут A' и B' . Пространственное положение r в геоцентрической системе координат определяют направляющие косинусы [3].

При наличии двух приёмных антенн, разнесённых на расстояние r (рис. 1, б), по разности фаз φ определяется угол α_i между вектором r и направлением на KA_i :

$$\varphi = 2\pi r \cos \alpha_i / \lambda, \quad (2)$$

где λ – длина волны. Угол α_i даст линию визирования не на реальное положение KA_i , а на его фантомное местоположение на расстоянии D от ВС. Так как реальные координаты ВС нам недоступны, преобразуем рис. 1, а в рис. 2, из которого видно, что $\alpha_i = \alpha_i' \neq \gamma_i$.

Сфера радиусом D_i описывается уравнением:

$$D_i^2 = (X'_{BC} - x_i)^2 + (Y'_{BC} - y_i)^2 + (Z'_{BC} - z_i)^2. \quad (3)$$

Уравнение прямой, проходящей через точку $KA_i'(x_i', y_i')$ в направлении α_i' :

$$Y'_{BC} - y_i' = \operatorname{tg} \alpha_i' (X'_{BC} - x_i'). \quad (4)$$

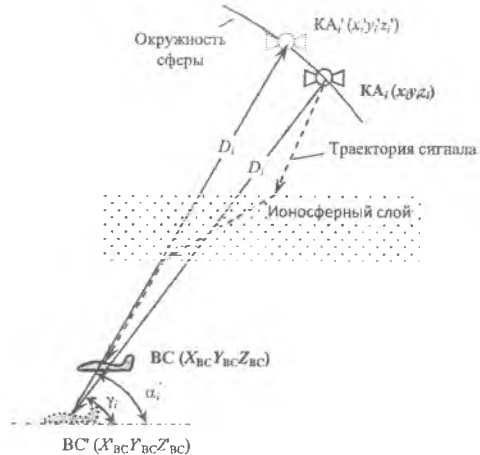


Рис. 2. Иллюстрация к определению погрешностей координат ВС

Решение системы уравнений, состоящей из (3) (без третьего слагаемого) и (4), даст значения x_i' , y_i' , причём x_i' и y_i' принадлежат сфере (3). Погрешности определений: $\Delta x = x_i' - x_i$, $\Delta y = y_i' - y_i$. Зная, что проекция сферы на плоскость даёт окружность,

найдем радиус сферы положения KA_i' (R) с центром в KA_i : $|R| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$.

Зная R , можно задать сферу положения KA_i' :

$$R^2 = (x' - x_i)^2 + (y' - y_i)^2 + (z' - z_i)^2. \quad (5)$$

Таким образом, система уравнений (3), (4) и (5) даст координаты KA_i' x_i' , y_i' , z_i' в трёхмерном пространстве. Погрешности Δx , Δy , Δz вычисляются: $\Delta x = x_i' - x_i$, $\Delta y = y_i' - y_i$, $\Delta z = z_i' - z_i$.

Погрешности определения фантомного положения КА будут аналогичны и для ВС. Поэтому: $X_{BC} = X'_{BC} - \Delta x$, $Y_{BC} = Y'_{BC} - \Delta y$, $Z_{BC} = Z'_{BC} - \Delta z$.

Библиографический список

1. Шестаков, И.Н. Метод базовых определений в СРНС [Текст]/ И.Н. Шестаков. // Авиакосмическое приборостроение. – М.: Техлитиздат. – 2008 – №6. – С. 31-34.
2. Теоретические основы радиолокации: Учебн. пособие для вузов [Текст]/ А.А. Коростелев, Н.Ф. Клюев, Ю.А. Мельник и др.; Под ред. В.Е. Дулевича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Сов. радио, 1978. – 608 с.
3. Яценков, В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС [Текст]/ В.С. Яценков. – М: Горячая линия – Телеком, 2005. – 272 с.