

СИСТЕМАТИЧЕСКАЯ ОШИБКА ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ И ВРЕМЕНИ РАССОГЛАСОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СИГНАЛОВ ДВУХ НАВИГАЦИОННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Шарко В.П., Цулая А.В., Паршин О.Г.

ООО «Софттим» (www.softtime.com, Украина, Киев, ул. Московская, 8е)

E-mail: vadim.sharko@softtime.com

Systematic Error in Measurements of Coordinates and Time Deviation on Processing Spatial Signals of Two Navigation Satellites

The phase front measurements of satellite spatial-time signals in global satellite navigation systems, in addition to existing pseudo-range methods, give a possibility to decrease the minimal number of satellites down to two, while still allowing to solve navigation problems. A systematic error in measurements of coordinates and time deviations between clocks of receiver and satellite transmitters that arises, during processing spatial signals of two satellites, in global satellite navigation systems is analyzed in this paper.

Измерения фазового фронта пространственно-временного сигнала (ПВС) космического аппарата (КА) в глобальной навигационной спутниковой системе (ГНСС) дополнительно к существующим псевдодальностным методам позволяют уменьшить число КА, минимально требуемое для решения навигационной задачи, до двух. В работе исследуется систематическая ошибка (СО) измерения координат и значения рассогласования временных шкал аппаратуры потребителя (АП) и КА, возникающая при обработке пространственных сигналов двух КА в ГНСС.

В работах [1, 2] обоснована возможность измерения навигационных параметров (НП) (координат АП, составляющих скорости АП и значения времени рассогласования (ЗВР) между шкалами приёмников АП и КА), применяя методы пространственной обработки ПВС дополнительно к методам определения псевдодальностей, используемых в современных ГНСС. Минимальное число КА, требуемых для получения НП в описанной методике, равно одному или двум при известном или неизвестном ЗВР соответственно. В настоящей работе рассматривается СО измерения метрических координат и ЗВР при использовании алгоритма сверхразрешения Кейпона (АСК) [3] для разделения пространственных сигналов (ПС) двух КА.

Ограничивая геометрию задачи одной плоскостью, получена система уравнений, позволяющая вычислить глобальные координаты аппаратуры приёмника (АП), если измерены угловые координаты КА относительно АП и известны глобальные координаты двух КА:

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_{Rc} = Y_{St_1} - R_{St_1} \sin \gamma_{St_1}, Z_{Rc} = Z_{St_1} - R_{St_1} \cos \gamma_{St_1} \\ R_{St_1} = \hat{R}_{St_1} - ct_{\Delta} \\ ct_{\Delta} = \hat{R}_{St_2} - \sqrt{(Y_{Rc} - Y_{St_2})^2 + (Z_{Rc} - Z_{St_2})^2} \end{array} \right. \quad (1)$$

где Y_{Rc} , Z_{Rc} - искомые глобальные координаты АП, R_{S_1} - истинная дальность до первого КА, g_{S_1} - угловая координата первого КА, измеряемая по ФФ ПВС, \hat{R}_{S_k} - псевдодальность, измеряемая по времени задержки, Y_{S_k} , Z_{S_k} - известные глобальные координаты k -го КА соответственно, $k=1,2$, t_D - ЗВР. Систему уравнений (1) можно решить относительно неизвестных Y_{Rc} , Z_{Rc} и t_D , решив тем самым навигационную задачу.

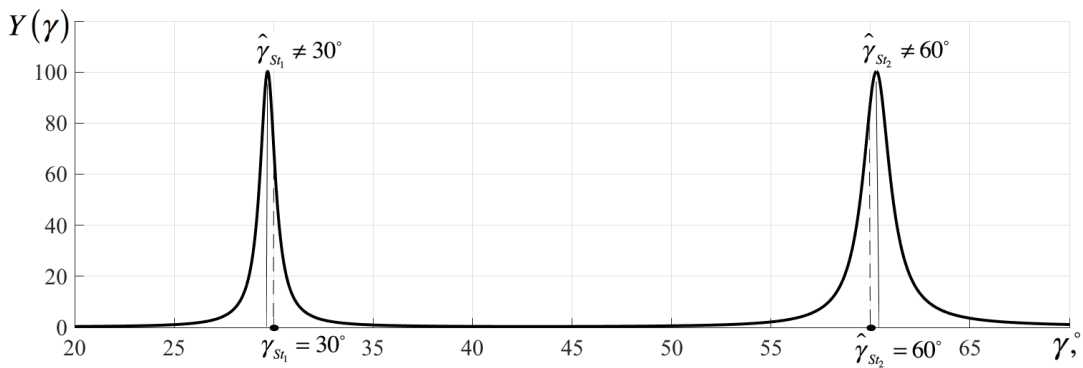


Рис. 1. РФ АСК для случая двух КА.

При использовании АСК может иметь место систематическая ошибка (СО) измерения угловой координаты КА относительно АП. Максимумы решающей функции (РФ) АСК соответствуют некоторым точкам $\hat{\gamma}_{S_k}$, которые в общем случае не совпадают с точками истинного местоположения g_{S_k} , определяя СО χ_{S_k} (рис. 1):

$$\xi_{S_k} = |\gamma_{S_k} - \hat{\gamma}_{S_k}| \neq 0 \quad (2)$$

так как

$$\frac{dY(\gamma_{S_k})}{d\gamma} \neq 0 \quad \text{и} \quad \frac{dY(\hat{\gamma}_{S_k})}{d\gamma} = 0 \quad (3)$$

Эта ошибка ведёт к ошибкам измерения координат АП и значения времени рассогласования (ЗВР) временных шкал АП и КА, что следует из системы уравнений (1).

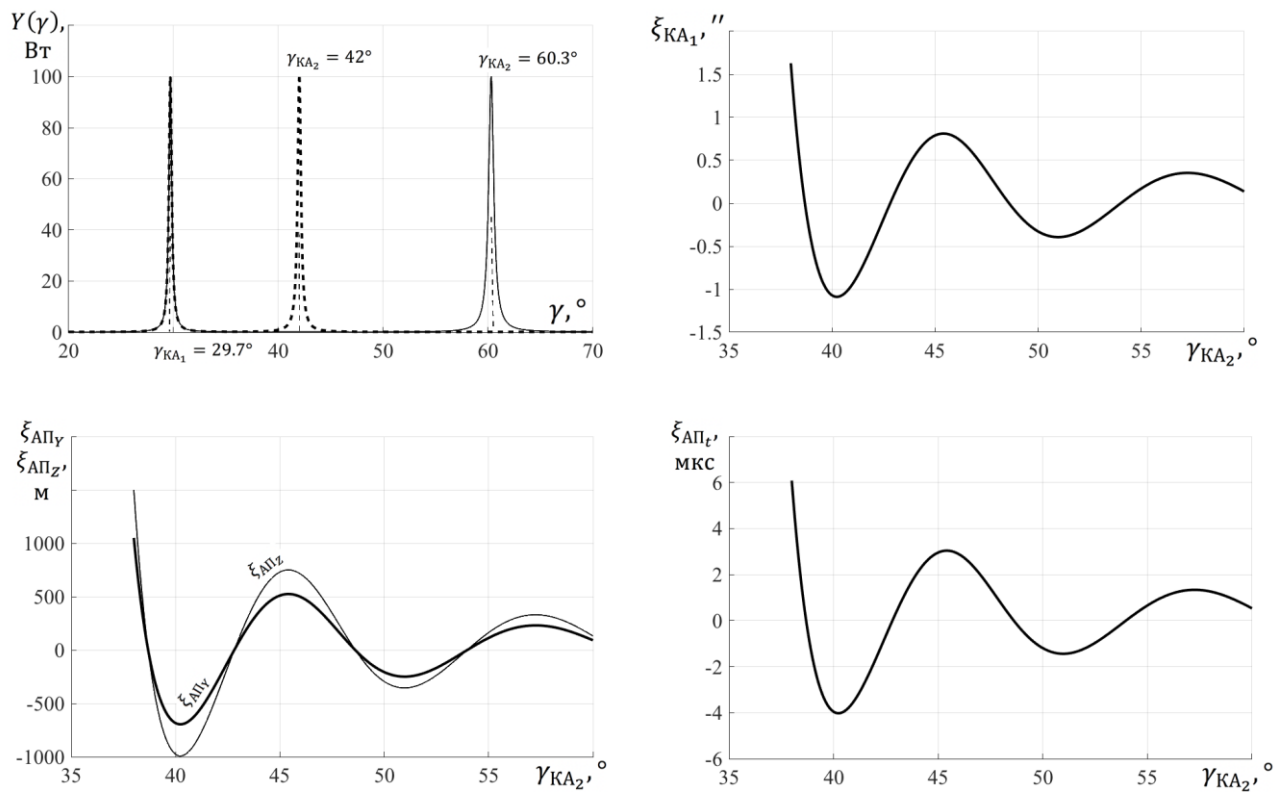


Рис. 2. СО измерения координат и ЗВР.

На рис. 2 представлены результаты определения СО угловой координаты первого КА X_s , вычисления СО глобальных координат X_{Rc_y} , X_{Rc_z} и ЗВР X_t временной шкалы АП при изменении положения второго КА g_{s_2} от 42 до 60.3 угловых градуса, выполненных в математических моделях среды MatLab для антенной решётки с числом АЭ 9, расстоянии между АЭ 20 см, длиной волны 20 см и отношении сигнал/шум в одном АЭ 20 дБ. Из полученных результатов следует, что СО определения глобальных координат может достигать нескольких сотен метров, что следует учитывать при проектировании таких систем.

Литература

1. Шарко В. П. Методика определения навигационных параметров движущихся объектов по волновому фронту сигналов радионавигационных систем: дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук / Шарко Вадим Павлович. – Киев, 2012. – 150 с.
2. Шарко В.П. Определение потенциальной точности измерений координат по фазовым характеристикам радиосигналов глобальных навигационных спутниковых систем. Наука и техника Воздушных Сил Вооружённых Сил Украины, № 2(8), 2012
3. J. Capon. High-Resolution Frequency-Wavenumber Spectrum Analysis. Proc. IEEE, Vol. 57, No. 8, August 1969