

## ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 621.396.96

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЮСТИРОВКИ  
ИСТОЧНИКОВ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

В.А. АПОРОВИЧ, Т.В. ПРОКОФЬЕВА, М.В. СМОВЖ

*НИИ средств автоматизации  
пр. Независимости, 117, 220600, г. Минск**Поступила в редакцию 21 августа 2008*

С помощью статистического имитационного моделирования проведено сравнение предложенного метода динамической и известного метода статической юстировки радиолокационной информации. Результаты сравнения показывают эффективность нового метода динамической юстировки.

*Ключевые слова:* юстировка, динамическая юстировка, статическая юстировка.

**Введение**

Проводилось сравнительное исследование эффективности динамической юстировки (ДЮ) [1] и проводимой традиционными методами статической юстировки (СЮ).

Рассматривалась модель статической юстировки [2, 3]. Вектор  $r_2^0$  координат второй радиолокационной станции (РЛС), съюстированных относительно первой РЛС, рассчитывался по формуле

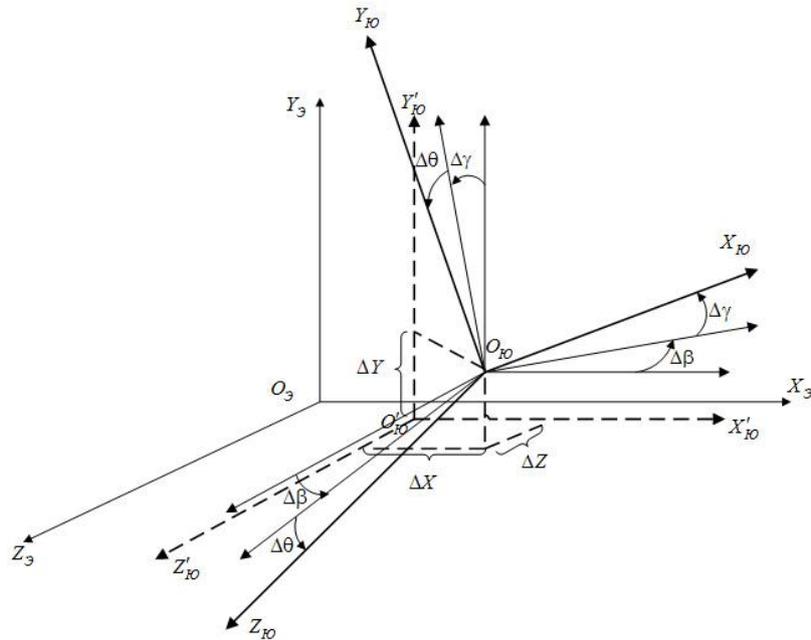
$$r_2^0 = A r_1^0 + b, \quad (1)$$

где  $A$  — параметр юстировки — матрица коэффициентов пересчета;  $r_1^0$  — вектор координат, измеренных второй РЛС;  $b$  — параметр юстировки — вектор смещений.

Параметры статической юстировки находились исходя из решения методом наименьших квадратов [2].

**Методика моделирования**

Пусть (рис. 1) имеются два источника РЛИ ( $O_3$  и  $O_{10}$ ), причем для каждого из них определена своя система координат ( $O_3 X_3 Y_3 Z_3$  и  $O_{10} X_{10} Y_{10} Z_{10}$ ). Однако второй источник РЛИ ( $O_{10}$ ), определяя координаты некоторой точки в системе  $O_{10} X_{10} Y_{10} Z_{10}$ , использует для расчетов систему  $O'_{10} X'_{10} Y'_{10} Z'_{10}$ , в силу чего и координатная информация от двух источников является несогласованной. Для согласования РЛИ необходимо использовать поправки, учитывающие ошибки топопривязки и ориентирования. Следуя рисунку, система  $O_{10} X_{10} Y_{10} Z_{10}$  может трактоваться как система  $O'_{10} X'_{10} Y'_{10} Z'_{10}$  перенесенная на вектор  $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$  и повернутая на углы  $\Delta\beta$  вокруг оси  $Oy$ ,  $\Delta\gamma$  — вокруг  $Oz$  и на  $\Delta\theta$  — вокруг  $Ox$ .



Ошибки ориентирования и топопривязки

Эталонная трасса (эталон), для которой проводилось сравнение результатов юстировки, задавалась следующими параметрами:  $X_0 = -30\ 000$  м;  $Z_0 = -100\ 000$  м;  $Y_0 = 10\ 000$  м (начальные координаты);  $V_x = 0$ ;  $V_z = 100$  м/с;  $V_y = 0$  (движение цели в третьей четверти координатной плоскости ZOX вдоль оси Z на постоянной высоте 10 000 м). Сопровождение велось двумя источниками (РЛС), расположенными на расстоянии 10 000 м друг от друга. В процессе моделирования для источников задавались различные значения ошибок топопривязки, ориентирования, искажения масштаба дальности.

В качестве исходных данных задавались следующие значения ошибок юстировки:  $\Delta\beta_1, \Delta\theta_1, \Delta\gamma_1, \Delta\beta_2, \Delta\theta_2, \Delta\gamma_2$  — систематические ошибки ориентирования и горизонтирования для первого и второго источников соответственно;  $\Delta X_1, \Delta Y_1, \Delta Z_1, \Delta X_2, \Delta Y_2, \Delta Z_2$  — систематические ошибки топопривязки для первого и второго источников соответственно;  $\delta_1, \delta_2$  — коэффициенты искажения масштаба дальности для первого и второго источников соответственно.

Коэффициент искажения масштаба дальности  $\delta$  определяется исходя из соотношения

$$D_{\text{измер}} = D_{\text{ист}} (1 + \delta),$$

здесь  $D_{\text{измер}}$  — измеренное значение дальности объекта относительно точки стояния РЛС;  $D_{\text{ист}}$  — истинное значение дальности объекта относительно точки стояния РЛС.

Для СЮ второй источник юстировался к первому в соответствии с (1). Рассчитывались следующие значения:  $\sigma X^{(1)}, \sigma Y^{(1)}, \sigma Z^{(1)}$  — среднеквадратические ошибки (СКО) координат первого источника относительно эталона;  $\sigma X_J^{(2)}, \sigma Y_J^{(2)}, \sigma Z_J^{(2)}$  — СКО съюстированных к первому источнику координат второго источника относительно эталона;  $\sigma X_C, \sigma Y_C, \sigma Z_C$  — средние значения СКО координат, здесь

$$\sigma U_C = \sqrt{\frac{\sigma U^{(1)2} + \sigma U^{(2)2}}{2}},$$

где  $U$  соответствует последовательно  $X, Y, Z$ ;  $\sigma_C$  — усредненное значение СКО,

$$\sigma_C = \sqrt{\frac{\sigma X_C^2 + \sigma Y_C^2 + \sigma Z_C^2}{3}}.$$

Для ДЮ рассчитывались значения:  $\sigma X_{DJ}, \sigma Y_{DJ}, \sigma Z_{DJ}$  — СКО съюстированных координат;

$$\sigma_C \text{ — усредненное значение СКО, } \sigma_{CDJ} = \sqrt{\frac{\sigma X_{DJ}^2 + \sigma Y_{DJ}^2 + \sigma Z_{DJ}^2}{3}}.$$

## Результаты моделирования

В первом случае юстировка источников проводилась по одной трассе, расположенной в первой четверти плоскости  $ZOX$ . Для данного примера по всем рассматривавшимся наборам ошибок топопривязки, ориентирования, искажения масштаба дальности значения средние значения СКО  $\sigma X_C, \sigma Y_C, \sigma Z_C$ , полученные при статической юстировке, превышали соответствующие значения СКО  $\sigma X_{DJ}, \sigma Y_{DJ}, \sigma Z_{DJ}$ , полученные при динамической юстировке, то есть динамическая юстировка оказывалась эффективнее статической. Результаты сравнения эффективности юстировки для одного из наборов ошибок приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные						
$\Delta\beta_1=-0,5^\circ$	$\Delta\theta_1=0$	$\Delta\gamma_1=0,1^\circ$	$\Delta X_1=-100\text{м}$	$\Delta Y_1=0$	$\Delta Z_1=0$	$\delta_1=0,001$
$\Delta\beta_2=1^\circ$	$\Delta\theta_2=0,2^\circ$	$\Delta\gamma_2=0$	$\Delta X_2=0$	$\Delta Y_2=0$	$\Delta Z_2=200\text{ м}$	$\delta_2=0$
Результат						
Статическая юстировка		$\sigma X_C=1164\text{ м}$	$\sigma Y_C=18238\text{ м}$	$\sigma Z_C=1454\text{ м}$	$\sigma_C=10585\text{ м}$	
Динамическая юстировка		$\sigma X_{DJ}=561\text{ м}$	$\sigma Y_{DJ}=425\text{ м}$	$\sigma Z_{DJ}=299\text{ м}$	$\sigma_{CDJ}=441\text{ м}$	

На следующем этапе сравнения юстировка источников проводилась по двум трассам, одна из которых была расположена в первой четверти плоскости  $ZOX$ , а другая — в третьей четверти. В этом случае по всем заданным наборам ошибок топопривязки, ориентирования, искажения масштаба дальности эффективность динамической юстировки также оказалась выше — за счет относительно малых отклонений координаты  $Y$ , рассчитанной путем статической юстировки, от эталона. Значения  $\sigma_C$  по всем наборам ошибок превышали значения  $\sigma_{CDJ}$ , однако эффективность юстировки для координат  $X$  и  $Z$  менялась в зависимости от расположения трасс, видимых источниками, относительно эталона. Если выдаваемые вторым источником трассы были расположены ближе к эталону, чем трассы, выдаваемые первым источником, эффективность динамической юстировки для координат  $X, Z$  оказывалась выше, чем эффективность статической юстировки; в противном случае эффективность оказывалась примерно одинаковой. Результаты сравнения эффективности юстировки для одного из наборов ошибок приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные						
$\Delta\beta_1=0,5^\circ$	$\Delta\theta_1=0,1^\circ$	$\Delta\gamma_1=0$	$\Delta X_1=0$	$\Delta Y_1=0$	$\Delta Z_1=100\text{ м}$	$\delta_1=0$
$\Delta\beta_2=1^\circ$	$\Delta\theta_2=0,2^\circ$	$\Delta\gamma_2=0$	$\Delta X_2=0$	$\Delta Y_2=0$	$\Delta Z_2=200\text{ м}$	$\delta_2=0$
Результат						
Статическая юстировка		$\sigma X_C=814\text{ м}$	$\sigma Y_C=2504\text{ м}$	$\sigma Z_C=551\text{ м}$	$\sigma_C=1553\text{ м}$	
Динамическая юстировка		$\sigma X_{DJ}=924\text{ м}$	$\sigma Y_{DJ}=444\text{ м}$	$\sigma Z_{DJ}=601\text{ м}$	$\sigma_{CDJ}=686\text{ м}$	

На третьем этапе юстировка источников проводилась по трем трассам (наилучший вариант для статической юстировки); первая трасса была расположена в первой четверти плоскости  $ZOX$ , вторая — в третьей четверти и третья — в четвертой четверти данной плоскости. Результаты сравнения эффективности юстировки приведены в табл. 3–5.

Таблица 3

Исходные данные						
$\Delta\beta_1=0,5^\circ$	$\Delta\theta_1=0,1^\circ$	$\Delta\gamma_1=0$	$\Delta X_1=0$	$\Delta Y_1=0$	$\Delta Z_1=100\text{м}$	$\delta_1=0$
$\Delta\beta_2=1^\circ$	$\Delta\theta_2=0,2^\circ$	$\Delta\gamma_2=0$	$\Delta X_2=0$	$\Delta Y_2=0$	$\Delta Z_2=200\text{м}$	$\delta_2=0,001$
Результат						
Статическая юстировка		$\sigma X_C=850\text{м}$	$\sigma Y_C=607\text{ м}$	$\sigma Z_C=532\text{м}$	$\sigma_C=677\text{м}$	
Динамическая юстировка		$\sigma X_{DJ}=907\text{м}$	$\sigma Y_{DJ}=457\text{ м}$	$\sigma Z_{DJ}=569\text{м}$	$\sigma_{CDJ}=672\text{м}$	

Даже в этом случае эффективность динамической юстировки практически всегда выше, чем статической. Как видно и таблиц, эффективность юстировки обусловлена совокупностью ошибок топопривязки, ориентирования, искажения масштаба дальности по каждому из источников. Если выдаваемые первым источником трассы расположены ближе к эталону, чем трас-

сы, выдаваемые вторым источником, эффективность статической юстировки выше; в противном случае выше эффективность динамической юстировки. Эффективность динамической юстировки выше при наличии искажения масштаба дальности.

Таблица 4

Исходные данные						
$\Delta\beta_1=1^\circ$	$\Delta\theta_1=0$	$\Delta\gamma_1=0,1^\circ$	$\Delta X_1=0$	$\Delta Y_1=0$	$\Delta Z_1=0$	$\delta_1=0$
$\Delta\beta_2=0,5^\circ$	$\Delta\theta_2=0,2^\circ$	$\Delta\gamma_2=0$	$\Delta X_2=0$	$\Delta Y_2=0$	$\Delta Z_2=0$	$\delta_2=0$
Результат						
Статическая юстировка		$\sigma X_C=1268$ м	$\sigma Y_C=629$ м	$\sigma Z_C=676$ м	$\sigma_C=906$ м	
Динамическая юстировка		$\sigma X_{DJ}=896$ м	$\sigma Y_{DJ}=424$ м	$\sigma Z_{DJ}=456$ м	$\sigma_{CDJ}=630$ м	

Таблица 5

Исходные данные						
$\Delta\beta_1=-0,5^\circ$	$\Delta\theta_1=0$	$\Delta\gamma_1=0,1^\circ$	$\Delta X_1=-100$ м	$\Delta Y_1=0$	$\Delta Z_1=0$	$\delta_1=0,001$
$\Delta\beta_2=1^\circ$	$\Delta\theta_2=0,2^\circ$	$\Delta\gamma_2=0$	$\Delta X_2=0$	$\Delta Y_2=0$	$\Delta Z_2=200$ м	$\delta_2=0$
Результат						
Статическая юстировка		$\sigma X_C=598$ м	$\sigma Y_C=628$ м	$\sigma Z_C=358$ м	$\sigma_C=542$ м	
Динамическая юстировка		$\sigma X_{DJ}=561$ м	$\sigma Y_{DJ}=425$ м	$\sigma Z_{DJ}=299$ м	$\sigma_{CDJ}=441$ м	

### Заключение

Динамическая юстировка в большинстве случаев обеспечивает более высокую эффективность, чем статическая (традиционная). Динамическая юстировка не требует специального режима [1] и осуществляется в процессе сопровождения объектов. Это позволяет рекомендовать совместное использование двух методов: сначала провести статическую юстировку в системе (если это возможно), а затем в ходе основной работы использовать динамическую.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № Т06М-025 от 01.02.2006г.)

## EFFECTIVENESS OF DYNAMICAL ALIGNMENT OF RADAR INFORMATION SOURCES

U.A. APAROVICH, T.U. PRAKOFIEVA, M.V. SMOUZH

### Abstract

Comparison of methods of dynamical and known method of static alignment of radar information sources was created. Results show effectiveness of new method of dynamical alignment.

### Литература

1. Апарович В.А., Прокофьева Т.В., Гапеев К.С. // Докл. БГУИР. 2008. № 4. С. 5–12.
2. Абрамович М.С., Сталевская С.Н., Апарович В.А., Ольшанский В.И. // Информационные системы и технологии. Материалы I Междунар. конф. Минск, 2002. Ч. 2. С. 161–166.
3. Вакуленко Н.Н., Жирков В.М., Мачулин В.М. // Радиосистемы. 2002. № 8. С. 33–36.