Н.Д.ОГОРОДНИЙЧУК, В.В.ПАСЛ..Н

АЛГОРИТМ СОВМЕСТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ВРЕМЕННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ ДАННЫХ ВНЕШНЕТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

УДК 629.73:519.24

Предложена блок-схема алгоритма совместной реализации пространственной и временной избыточности данных внешнетраекторных измерений. Показана возможность реализации данного алгоритма на ЭВМ ЕС 1060.

Совместная реализация пространственной и временной избыточности данных внешнетраекторных измерений (ВТИ) представляет задачу нелинейного сглаживания. При ее решении для оценки вектора А - коэффициентов сглаживающего полинома используем итеративный алгоритм:

$$\hat{A}_{\nu+1} = \hat{A}_\nu + \Delta\hat{A}_\nu = \hat{A}_\nu + (J_\nu^T \Lambda J_\nu)^{-1} J_\nu^T \Lambda \{\xi - \xi[\Gamma(t, A_\nu)]\} \qquad (1)$$

приводящий через ряд последовательных приближений к максимально-правдоподобной оценке (МПО) [1].

В формуле (1) J - Якобиева матрица частных производных от измеряемых по вычисляемым параметрам, ν - индекс приближения, Λ - весовая матрица, $\Gamma(t, A)$ - вектор положения объекта в пространстве, ξ - многомерный вектор измерений, T - знак транспонирования.

Исходными данными для осуществления нелинейного сглаживания являются: многомерный вектор ξ измерений, элементом которого является ξ_i^j, где: $j = 1,\ldots,N$; $i = 1,\ldots,n$; N - число подлежащих обработке первичных координат; n - число точек на интервале сглаживания.

В общем виде методика нелинейного сглаживания данных ВТИ предусматривает:

1. Нахождение начального приближения вектора коэффициентов сглаживающего полинома.

2. Определение МПО вектора коэффициентов сглаживающего полинома.

3. Вычисление и вывод на печать сглаженных значений вторичных параметров.

Для получения начального приближения вектора коэффициентов сглаживающего полинома необходимо решить систему уравнений вида:

$$\varphi^T \varphi C = \varphi^T \Gamma^*, \tag{2}$$

где: C – вектор коэффициентов полинома;

φ – линейно-независимая базисная функция (ЛНБФ), обеспечивающая преобразование вектора коэффициентов сглаживающего полинома в вектор положения объекта в пространстве;

$\varphi^T \varphi$ – основная матрица системы уравнений;

Γ^* – исходный вектор вторичных координат, рассчитанный по минимально-необходимому набору первичных координат.

Решив систему уравнений (2), получим оценку вектора коэффициентов сглаживающего полинома, т.е. начальное приближение коэффициентов сглаживающего полинома в виде:

$$\hat{C}_o = (\varphi^T \varphi)^{-1} \varphi^T \Gamma^*. \tag{3}$$

В общем виде последовательность решения задачи о нахождении начального приближения вектора коэффициентов сглаживающего полинома и начального приближения первичных и вторичных координат можно представить в следующем виде:

$$\xi \to \Gamma^* \to \varphi \to \varphi^T \varphi \to (\varphi^T \varphi)^{-1} \to (\varphi^T \varphi)^{-1} \varphi^T \to C_o = (\varphi^T \varphi)^{-1} \varphi^T \Gamma^* \to \hat{\Gamma}_o = \varphi \hat{C}_o \to \hat{\xi}_o. \tag{4}$$

Следующим этапом решения задачи является нахождение МПО вектора коэффициентов сглаживающего полинома по итеративному алгоритму (I) путем уточнения начального приближения. Для независимого вычисления приращений коэффициентов сглаживающего полнима используем рекуррентную формуму, вытекающую из условия равенства нулю недиагональных элементов основной матрицы системы, построенной на базе Λ -ОБФ. В общем виде последовательность решения задачи после нахождения начального приближения вектора коэффициентов сглаживающего полинома может быть представлена в виде:

$$C_y \to \Gamma_y \to \xi_y \to \Delta\xi_y \to F_y \to \Phi_y \to P_y \to J_y \to A l_y \to A_y \to \Delta A_y \to \hat{A}_{y+1} \to \Delta\Gamma_y \to \Gamma_{y+1} \tag{5}$$

где: ν =1,2,... и до тех пор пока $\Delta \hat{\Gamma}_\nu$ не станет меньше ε = 0.1 ÷ 0.5 м;

$\Delta \hat{\xi}_\nu = \xi - \hat{\xi}_\nu$ – вектор отклонений данных измерений от ν -го приближения совместно сглаженных первичных параметров;

F_ν – матрица проекций градиентов, элементы которой рассчитаны по вычисленным значениям вторичных параметров по формулам, приведенным в [2];

$\Phi_\nu = F_\nu \varphi$ – Якобиева матрица преобразования в базисе ЛНБФ $\varphi(t,\tau)$;

P – система Λ -ОБФ, построенная на базе ЛНБФ $\varphi(t,\tau)$ из условия равенства нулю недиагональных элементов основной матрицы;

$J_\nu = F_\nu P_\nu$ – Якобиева матрица преобразования в базисе Λ -ОБФ $P(t,\tau)$;

Al_ν – верхняя треугольная матрица, элементы которой получены в процессе построения Λ -ОБФ $P(t,\tau)$;

$\hat{A}_\nu = (I - Al_\nu)\hat{C}_\nu$ – вектор коэффициентов сглаживающего полинома, пересчитанный из базиса ЛНБФ $\varphi(t,\tau)$ в базис Λ -ОБФ $P(t,\tau)$;

$\Delta \hat{A}_\nu = (J_\nu^T \Lambda J_\nu)^{-1} J_\nu^T \Lambda \Delta \hat{\xi}_\nu$ – вектор приращений последовательных приближений оценок коэффициентов сглаживающего полинома;

$\hat{A}_{\nu+1} = \hat{A}_\nu + \Delta \hat{A}_\nu$ – очередное приближение вектора оценок A – коэффициентов сглаживающего полинома;

$\Delta \hat{\Gamma}_\nu = P_\nu \Delta \hat{A}_\nu$ – вектор приращений вторичных параметров;

$\hat{\Gamma}_{\nu+1} = \hat{\Gamma}_\nu + \Delta \hat{\Gamma}_\nu$ – $(\nu+1)$ -е приближение вторичных параметров.

Следует иметь ввиду, что для получения очередного приближения $\hat{A}_{\nu+1}$ найденные поправки $\Delta \hat{A}_\nu$ должны быть сложены с $\hat{A}_\nu$, соответствующим той же системе Λ -ОБФ $P(t,\tau)$, а не с $\hat{C}_\nu$, соответствующем системе ЛНБФ $\varphi(t,\tau)$. Об этом необходимо помнить на каждом этапе приближения, т.к. $P(t,\tau)$ от итерации к итерации изменяется, причем $\hat{A}_{\nu+1}$, $P_{\nu+1}(t,\tau)$, полученные на предыдущем этапе служат в качестве $\hat{C}_\nu$, $\varphi_\nu(t,\tau)$ для следующего этапа.

Блок-схема алгоритма, реализующего данную методику, представлена на рис. I.

Блок I – начало алгоритма. В блоке 2 вводится информация: массив данных измерений*; среднеквадратическое отклонение (СКО) ошибок измерений; максимально возможная степень сглаживающего полинома; ин-

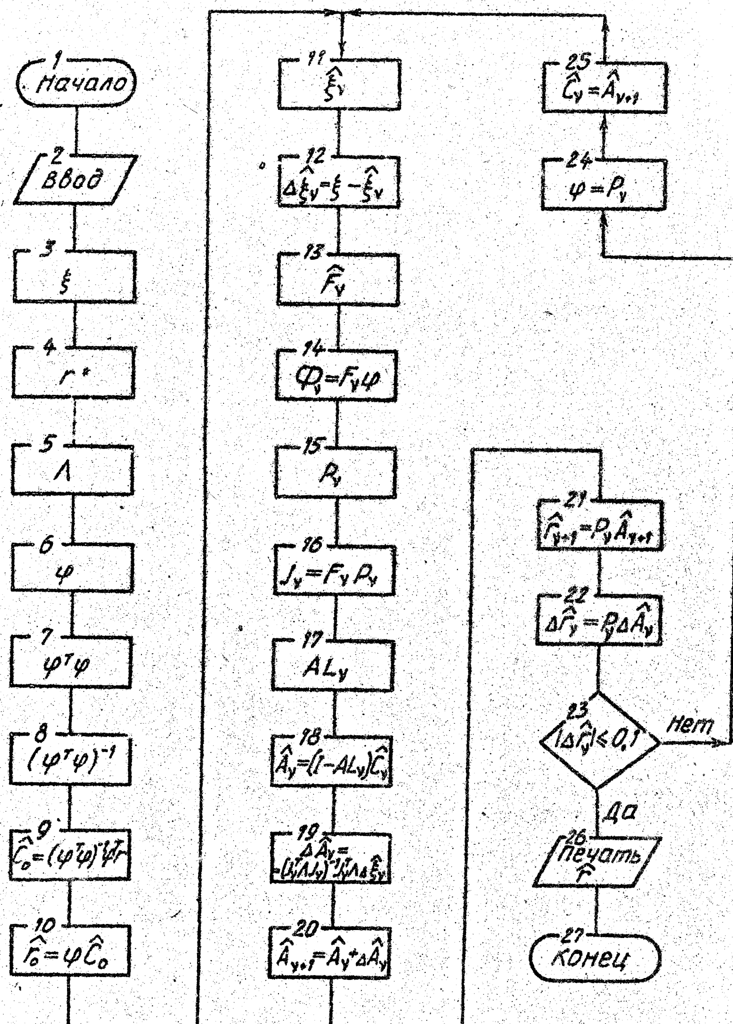
1 Начало
2 Ввод
3 ξ
4 r^*
5 Λ
6 φ
7 $\varphi^T\varphi$
8 $(\varphi^T\varphi)^{-1}$
9 $\hat{C}_0=(\varphi^T\varphi)^{-1}\varphi^T r$
10 $\hat{r}_0=\varphi\hat{C}_0$
11 $\hat{\xi}_\nu$
12 $\Delta\hat{\xi}_\nu=\xi-\hat{\xi}_\nu$
13 $\hat{F}_\nu$
14 $\Phi_\nu=F_\nu\varphi$
15 P_ν
16 $J_\nu=F_\nu P_\nu$
17 AL_ν
18 $\hat{A}_\nu=(I-AL_\nu)\hat{C}_\nu$
19 $\Delta\hat{A}_\nu=-(J_\nu^T\Lambda J_\nu)^{-1}J_\nu^T\Lambda\Delta\hat{\xi}_\nu$
20 $\hat{A}_{\nu+1}=\hat{A}_\nu+\Delta\hat{A}_\nu$
21 $\hat{r}_{\nu+1}=P_\nu\hat{A}_{\nu+1}$
22 $\Delta\hat{r}_\nu=P_\nu\Delta\hat{A}_\nu$
23 $|\Delta\hat{r}_\nu|\leq 0,1$
Нет
Да
24 $\varphi=P_\nu$
25 $\hat{C}_\nu=\hat{A}_{\nu+1}$
26 Печать $\hat{r}$
27 Конец

Рис. 1

тервал сглаживания. В блоках 3-5 происходит формирование многомерного вектора измерений ξ, вычисление вторичных координат по минимально-необходимому набору первичных координат и вычисление исходного вектора положения Γ^*, формирование весовой матрицы Λ, на диагонали которой расположены величины, обратные дисперсиям ошибок измерений j первичной координаты σ_j^{-2} $(j=1,\dots,N)$.

В блоках 6-10 определяются начальное приближение вектора коэффициентов сглаживающего полинома и начальные приближения первичных и вторичных координат объекта (см. последовательность (4)).

В блоках 11-25 определяются МПО вектора коэффициентов сглаживающего полинома и МПО положения объекта в пространстве (см. последовательность (5)).

В блоке 26 - выводятся на печать сглаженные значения вторичных параметров. Блок 27 - конец алгоритма.

По данной блок-схеме, представленной на рис. 1, составлена программа на языке ПЛ/1, обеспечивающая совместную реализацию пространственной и временной избыточности данных ВТИ. При обработке на ЭВМ ЕС 1060 (с быстродействием 1млн оп/с) 3-6 первичных координат на интервале сглаживания 15-25 с при интервале дискретизации 1с МПО положения объекта на траектории достигается за 15-55 с. При этом МПО достигается в результате 1...3 последовательных приближений, объем необходимой памяти составляет 420-660 кбайт.

Проведенные исследования подтверждают возможность совместной реализации пространственной и временной избыточности (нелинейного сглаживания) данных ВТИ на ЭВМ ЕС 1060 с целью повышения достоверности и точности контроля траектории.

Путем частичной замены матричных произведений скалярными - достигнуто сокращение времени решения задачи в 1,5 раза, а объема занимаемой памяти в 2 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. ОГОРОДНИЙЧУК Н.Д. О прикладных методах анализа траекторной информации. Сборник материалов НТК, посвященной 25-летию училища. Ч.1., Киев, КВВАИУ, 1977, с. 65-84.

2. ОГОРОДНИЙЧУК Н.Д. Обработка траекторной информации. Ч.1., Киев, КВВАИУ, 1981, - 141 с.