

Михайлов М. В., Щербов И.Л., Паслен В. В.

Донецкий национальный технический университет

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ТРАЕКТОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Оперативная оценка точности измерительных средств приобрела особую важность в связи с развитием и применением статистических методов, обеспечивающих оптимальную обработку избыточной информации при правильном учете ее точностных характеристик. Оперативный контроль и самоконтроль точности представляет весьма существенное звено адаптивных алгоритмов обработки траекторией информации.

Высокие требования обработки обусловлены тем, что результаты траекторных измерений используются для оценки тактико-технических характеристик ЛА с весьма совершенными системами управления и т. д. Как известно средства измерения имеют зоны высокой и низкой чувствительности, а также подвержены сбоям, что неблагоприятно сказывается на точности конечных результатов. Поэтому для повышения точности данные измерений многократно дублируют, вследствие чего возникает пространственная избыточность информации. В основном применяются простые методы обработки, использующие минимально-необходимую информацию (3-4 первичных координаты из всей совокупности). Описанный в данной работе обобщенный метод позволяет использовать всю пространственно-избыточную информацию, учитывая погрешности каждого из средств измерений. Он также позволяет объединять зоны высокой точности каждого из средств измерений, при этом в каждой из них точность местоположения выше точности любого простого метода. Однако он, в отличие от метода адаптивного оптимального сглаживания, не позволяет учесть возникающую в результате измерения временную избыточность, а также оценить скорость и ускорение ЛА в каждой точке траектории. Последовательная реализация обобщенного метода, а затем метода адаптивного оптимального сглаживания позволяет более полно учесть существующую избыточность информации и тем самым повысить ее точность.

Описание методов дается в последовательности их применения.

Для отыскания точки местоположения объекта обобщенным методом применяется формула рекуррентного соотношения для последовательного приближения :

$$\dot{r}_{v+1} = \dot{r}_v + \left( \sum_{j=1}^m \frac{f_{jv} f_{jv}^T}{\sigma_{\xi_j}^2} \right)^{-1} \cdot \sum_{j=1}^m \frac{f_{jv}}{\sigma_{\xi_j}^2} [\xi_j - \xi_j(\dot{r}_v)] , \text{ где}$$

$m$  — количество координат,  $\xi_j$  — значение и типы первичных координат,  $\sigma_{\xi_j}^2$  — точность координат,  $\xi_j(\dot{r}_v)$  — уравнения поверхностей положения,  $f_j$  — градиенты поля соответствующих первичных координат,  $\dot{r}_v$  — вектор координат положения объекта на  $v$ -м приближении.

Необходимым условием применения метода является привязка работы средств измерения к системе единого времени. На данном этапе развития техники измерений точность привязки составляет величину не менее 10 с. В качестве точки центра вторичной системы координат удобно использовать центр Земли.

При определении среднеквадратической ошибки месторасположения объекта использовалась формула :

$$\sigma_r^2 = E |e|^2 = S_p \left( \sum_{j=1}^m \frac{f_{jv} f_{jv}^T}{\sigma_{\xi_j}^2} \right)^{-1} ,$$

$S_p$  —сума диагональных членов (след) матрицы.

В полученных на данном этапе вторичных координатах остается неучтенной временная избыточность. Для ее использования производится дальнейшая обработка координат методом адаптивного оптимального сглаживания, основой которого является приближение сглаживающего полинома к данным измерений таким образом, чтобы приблизиться к истинной траектории и тем самым уменьшить ошибку данных измерений.

В основе метода адаптивного оптимального сглаживания лежит метод наименьших квадратов (МНК). В общем случае для нахождения коэффициентов МНК необходимо решить систему уравнений, однако это приводит к громоздкости решения, а также, вследствие взаимозависимости коэффициентов, делает затруднительной оценку степени и структуры сглаживающего полинома» что негативно сказывается на качестве сглаживания. Для устранения этих недостатков в качестве базисных функций сглаживающего полинома применяются ортонормированные базисные функции (ОНБФ), которые строятся по следующей рекуррентной формуле;

$$P'_k = (t - \omega_{k-1})G_{k-1}(t) - \omega_{k-2}G_{k-2}(t)$$

$$G_k(t) = \frac{P'_k(t)}{\sqrt{P_k'^T P'_k}} \quad G_0(t) = \frac{1}{\sqrt{n}} \quad G_1(t) = \frac{t}{\sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2}}$$

Аппроксимирующий многочлен при этом имеет вид:

$$\xi_n(t) = \sum_{k=0}^m w_k G_k(t)$$

Вследствие ортонормированности базисных функций система уравнений, при нахождении коэффициентов МНК распадается на ряд независимых уравнений, вследствие чего коэффициенты определяются по формуле:

$$\hat{w}_k = \sum_{i=1}^n G_k(t_i) r_j(t_i) \quad k=0, \dots, m; \quad j=x, y, z.$$

Оценку коэффициентов можно производить по критерию Пирсона или Фишера,

В настоящее время в ДонНТУ на факультете специальной подготовки реализована программа обобщенного метода, и метода адаптивного оптимального сглаживания, а также ведутся работы в других направлениях повышения точности измерений.