

РД  
3323  
-1-  
519,2  
А К А Д Е М И Я   Н А У К   С С С Р

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

---

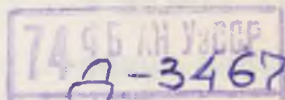
Алимов Ш.А.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ФИЛЬТРАЦИИ  
ИЗМЕРЕНИЙ БЛИЗКИХ ОБЪЕКТОВ

(0.5.13.01 - техническая кибернетика и  
теория информации)

Д и с с е р т а ц и я

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Научный руководитель  
член-корреспондент  
АН СССР  
Н.Н.МОИСЕЕВ

Москва, 1973 г.

# С о д е р ж а н и е

|                                                     | Стр. |
|-----------------------------------------------------|------|
| 1. В в е д е н и е . . . . .                        | 3    |
| 2. ГЛАВА I. Задача идентификации измерений близ-    |      |
| ких объектов . . . . .                              | 12   |
| § 1. Идентификация скалярных измерений              | 13   |
| § 2. Идентификация векторных измерений              | 30   |
| § 3. Сравнение оптимального метода                  |      |
| идентификации измерений с одним                     |      |
| эвристическим методом, используемым                 |      |
| в практических задачах . . . . .                    | 36   |
| 3. ГЛАВА II. Задача одновременной идентификации из- |      |
| мерений и уточнения параметров движения             |      |
| объекта . . . . .                                   | 40   |
| § 1. Определение апостериорных оценок               |      |
| в модели косвенных измерений фа-                    |      |
| зовых координат . . . . .                           | 40   |
| § 2. Определение разладки марковской                |      |
| цепи в модели косвенных измерений                   |      |
| фазовых координат . . . . .                         | 85   |
| 4. Цитированная литература . . . . .                | 93   |

## В в е д е н и е

Задачи идентификации и фильтрации измерений играют важную роль в практических задачах. Важным примером таких задач может служить задача определения орбит ИСЗ и других небесных тел. Обычно на практике встречается следующая задача. Имеется один объект и требуется по результатам каких-либо измерений определить его орбиту. В этом случае задача сводится к оценке элементов орбиты этого объекта. Как правило, для этого применяется или метод наименьших квадратов [5] или метод фильтрации Калмана-Бьюси [4]. Задача существенно усложняется, если приходится иметь дело с одновременным определением орбит нескольких близких объектов. В этом случае неизвестно, к какому из объектов относится полученное очередное измерение и, следовательно, тогда возникает задача идентификации измерений, т.е. задача отождествления измерений с рассматриваемыми объектами.

Обычно поступают следующим образом. Для всех объектов, составляется каталог, в который заносятся имеющиеся оценки элементов орбит и соответствующие им корреляционные матрицы. При поступлении каждого нового измерения решается задача: к какому из спутников каталога относится это измерение. После того, как эта задача будет решена, измерение используется для уточнения оценок элементов орбит соответствующего спутника. При этом возможны ошибочные решения, которые ухудшают свойства оценок объектов каталога. В данной работе рассматри-



ваются две задачи, связанные с идентификацией и фильтрацией измерений близких объектов.

Работа состоит из двух глав. В первой главе рассматривается задача идентификации измерений, под которой понимается процесс отождествления измерений с одним из объектов, имеющихся в каталоге. Задача идентификации измерений является задачей проверки статистических гипотез. Теория проверки статистических гипотез была создана Нейманом и Пирсоном [1]. Они рассмотрели эту проблему с позиций теории вероятностей и предложили метод проверки гипотез, минимизирующий вероятность ошибки принятия решения.

Задача принятия решения в общем виде с использованием элементов теории игр была рассмотрена А. Вальдом [2]. Он же впервые ввел понятия риска и цены ошибочного принятия решения. Различные аспекты теории принятия решения рассматривались в работах [6], [13] - [17].

В практических задачах для идентификации измерений широко применяется один из методов проверки гипотез - метод доверительных интервалов. В соответствии с этим методом полученные измерения и спрогнозированные на момент этих измерений элементы орбит ИСЗ, имеющихся в каталоге, пересчитываются в некоторые параметры, называемые параметрами идентификации. В пространстве этих параметров для каждого параметра определяется доверительный интервал, который рассчитывается из следующего условия:

$$P\{|v_j^{(z)} - \tilde{v}_j| \leq S_{zj}\} = P_{gob.}, \quad j = 1, 2, \dots, 6$$

где  $v_j^{(z)}$  -  $j$ -й параметр идентификации  $z$ -го объекта  
 $\tilde{v}_j$  -  $j$ -й параметр идентификации, вычисленный по измерениям

$S_{zj}$  - доверительный интервал  $j$ -го параметра  $z$ -го объекта

$P_{gob.}$  - некоторое значение вероятности.

Считается, что измерение  $\tilde{v}$  относится к  $z$ -му объекту, если выполняется следующее условие:

$$|v_j^{(z)} - \tilde{v}_j| \leq S_{zj} \quad \text{для всех } j = 1, 2, \dots, 6$$

Обычно уровень доверительной вероятности  $P_{gob.}$  назначается из некоторых эвристических соображений. В случае попадания измерения в пересечение доверительных интервалов, этот метод не дает однозначного решения. Для раскрытия неопределенности в этом случае используется эвристический метод построения в пространстве параметров идентификации разделяющей поверхности. Этот метод заключается в следующем. Строится поверхность, которая делит область пересечения таким образом, чтобы измерение, попавшее в пересечение, можно было однозначно отнести к определенному объекту в каталоге.

Уравнение разделяющей поверхности, которое решается в практических задачах, в случае двух объектов имеет вид:



$$\sum_{j=1}^6 \left\{ \frac{|\tilde{v}_j^{(1)} - \tilde{v}_j^{(2)}|}{\sigma_j^{(1)}} - \frac{|\tilde{v}_j^{(2)} - \tilde{v}_j^{(1)}|}{\sigma_j^{(2)}} \right\} = 0, \quad (\text{В.1})$$

где  $\sigma_j^{(n)}$ ,  $(n=1,2)$  — дисперсия оценки  $j$ -го параметра идентификации  $n$ -го объекта.

В главе I настоящей работы рассматривается задача идентификации измерений близких объектов в некоторой вариационной постановке. Используется метод, позволяющий принять решение о принадлежности получаемых измерений к тому или иному ИСЗ из условия минимума среднего риска при принятии решения.

В соответствии с предлагаемым методом пространство измерений разбивается на непересекающиеся подмножества, каждое из которых отвечает некоторому объекту и в случае, если измерение попадет в одно из этих подмножеств, его относят к соответствующему объекту. В случае двух объектов поверхность  $L$ , делящая пространство измерений  $E^e$  ( $e$  — число измерений), на две области  $G'$  и  $G''$ , определяется из условия минимума функционала

$$\Phi(\alpha, L) = \alpha C_1 \int_{G''} p'(x) dx + (1-\alpha) C_2 \int_{G'} p''(x) dx,$$

который является средним риском при принятии решения.

В функционале  $\Phi(\alpha, L)$ ,  $x \in E^e$ ,

$p'(x)$ ,  $p''(x)$  — нормальные плотности распределения параметров первого и второго объектов соответственно,

$\alpha$  - априорная вероятность отнесения измерений к первому объекту,

$C_1, C_2$  - штрафы за ошибки I и II рода соответственно.

Под ошибкой I рода понимается вероятность отнесения полученного измерения ко второму объекту, в то время как измерение принадлежит к первому объекту. Ошибка I рода  $Q_1$  имеет вид:

$$Q_1 = \int_{G''} p'(x) dx$$

Аналогично, ошибка II рода  $Q_2$  определяется вероятностью отнесения полученного измерения к первому объекту, тогда как измерение принадлежит второму объекту

$$Q_2 = \int_{G'} p''(x) dx$$

В предлагаемом методе уравнение разделяющей поверхности имеет вид

$$\alpha C_1 p'(x) = (1 - \alpha) C_2 p''(x) \quad (B.2)$$

В случае, когда априорная вероятность  $\alpha$  неизвестна, используется минимаксный критерий, согласно которому минимальный средний риск максимизируется по всем значениям априорной вероятности  $\alpha$  [6].

В § 3 этой главы предлагаемый нами метод сравнивается с применяемым в практических задачах методом (B.I). В случае,



когда доверительные области не пересекаются, то оба метода дают примерно одинаковые результаты. В случае же, когда имеет место пересечение доверительных областей, идентификация измерений, попавших в пересечение, более точно производится предлагаемым нами методом.

Во второй главе рассматривается один метод совместного решения задачи идентификации измерений и уточнения параметров движения объектов. На практике задача идентификации измерений и уточнение параметров движения объекта решаются отдельно. В начале решается задача идентификации измерений, затем с помощью фильтра Калмана [4] производится уточнение параметров движения объекта по этим проидентифицированным измерениям. Из-за отдельного решения задач идентификации и фильтрации измерений, оценки параметров движения объектов получаются смещенными [9] , [10] . Суть дела не изменится, если вместо метода идентификации измерений применяемого в практических задачах использовать оптимальный метод идентификации измерений развитый в I главе настоящей работы. И в этом случае оценки параметров движения объектов будут смещенными.

Естественно, что в такой ситуации возникает вопрос о получении несмещенных оценок.

Во II главе рассматривается метод одновременного решения задачи идентификации измерений и уточнения параметров движения объектов, дающий несмещенные оценки, оптимальные в средне-квадратическом смысле, а также асимптотически нормальные, в



случае отсутствия в уравнениях объекта случайных шумов.

Этот метод, основанный на работе [10], заключается в следующем.

Пусть движение двух объектов описывается следующими стохастическими нелинейными разностными уравнениями:

$$A(i+1) = G(A(i), \xi_i^A, i),$$

$$B(i+1) = G(B(i), \xi_i^B, i), \quad i = 0, 1, 2, \dots$$

где  $\xi_i^A, \xi_i^B$  — векторные гауссовские случайные процессы с нулевыми средними и корреляционными матрицами  $Q_i^A, Q_i^B$ . Следуя [10], модель косвенных измерений фазовых координат обоих объектов имеет следующий вид

$$x_i = \chi_i F(A(i)) + (1 - \chi_i) F(B(i)) + \varepsilon_i, \quad (B.3)$$

где  $\varepsilon_i$  — гауссовский шум,  $\varepsilon(i) \in N(0, K\varepsilon_i)$ .

$\chi_i$  — представляет собой однородную марковскую цепь с состояниями 0, 1.

$$P(\chi_0 = 1) = p, \quad P(\chi_0 = 0) = q \quad \text{и} \quad p + q = 1$$

Марковская матрица определяется в виде

$$M = P\{x_i = 1 | x_i = 1\} = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix}$$

На основании измерений  $x_1, \dots, x_n$  определяются апостериорные оценки

$$\hat{\alpha} = M(\alpha | x_1, \dots, x_n), \quad \hat{\beta} = M(\beta | x_1, \dots, x_n) \quad \text{и}$$

корреляционные матрицы  $\hat{K}_\alpha, \hat{K}_\beta$ . Оказывается, что вычисленные таким образом оценки  $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$  обладают теми замечательными свойствами, о которых говорилось выше. В § 2 исследуется случай разладки марковской цепи (изменение матрицы  $M$ ) в модели косвенных измерений фазовых координат (В.3). Дело в том, что реальную последовательность измерений можно представить в виде однородной марковской цепи только на небольших интервалах времени. На больших же интервалах временная последовательность чередования измерений орбит двух различных объектов может нарушаться, т.е. в некоторый момент времени между измерениями матрица  $M_1 = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix}$  может замениться матрицей  $M_2 = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$ .

Моменты времени, когда происходит разладка, неизвестны. Поэтому, на каждом шаге процедуры одновременной идентификации измерений и уточнения элементов орбит необходимо принимать решение с тем, произошла разладка или нет.



Для принятия такого решения использовался последователь-  
ный критерий А.Вальда [3] .