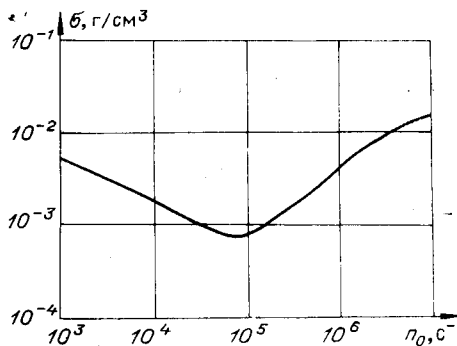


Рис. 3. Зависимость суммарной погрешности плотномера от числа попаданий n_0 .



τ при $\bar{n}_0 = \text{const}$ эти погрешности статистически независимы, а суммарная погрешность σ определяется для любого (но постоянного в пределах одного определения) \bar{n}_0 . На зависимости $\sigma = f(\bar{n}_0)$ в радиоизотопных приборах с линейной или экспоненциальной зависимостью n_0 от параметров x, y или z наблюдается пологий минимум. Величина n_0 , соответствующая минимуму σ , для γ -абсорбционных приборов с экспоненциальной аппроксимацией меньше, нежели для приборов с линейной аппроксимацией. Наличие минимума на зависимости $\sigma = f(\bar{n}_0)$ и ее непрерывность позволяют, приравняв к нулю первую производную от σ до \bar{n}_0 , получить трансцендентное уравнение для определения оптимального \bar{n}_0 . Однако из-за значительной сложности получаемых уравнений и необходимости их численного решения, по нашему мнению, более целесообразно определение оптимального \bar{n}_0 по графику $\sigma = f(\bar{n}_0)$. На рис. 3 приведена зависимость погрешности σ плотномера с экспоненциальной аппроксимацией при значениях параметров $\tau = 3 \cdot 10^{-6}$ с, $t = 100$ с, $\mu d = 2$ см³/г, $\mu = 0,286$ см²/г, $\rho_{\text{min}} = 1$ г/см³, $\rho_{\text{max}} = 1,6$ г/см³, $\rho = 1,3$ г/см³.

Описанная методика и приведенные формулы позволяют оптимизировать загрузку детектора для получения минимума погрешности или максимума быстродействия, а также, задавая допустимую суммарную погрешность, находить минимально необходимую активность источника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольданский В. И., Куценко А. В., Подгорецкий М. И. Статистика отсчетов при регистрации ядерных частиц. М.: Наука, 1959.
2. Фюнфер Э., Нейерт Г. Счетчики излучений: Пер. с нем. М.: Атомиздат, 1961.
3. Колесов Б. М. и др. Быстродействующая схема счетного канала для параллельного включения галогенных счетчиков гамма-квантов и бета-частиц. — ИТЭ, 1974, № 5.
4. Рудановский А. А., Васильев А. Г., Онищенко А. М. Экспресс-анализатор зольности угля. — Уголь, 1973, № 12.

Поступило в редакцию 4 января 1978 г.;
окончательный вариант — 14 марта 1980 г.

УДК 658.012.011.56 : 311

З. Д. ЗУРАБИШВИЛИ
(Тбилиси)

ОПТИМАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРИ ОЦЕНКЕ ПАРАМЕТРОВ ПУАССОНОВСКИХ ПОТОКОВ

При разработке различных информационно-измерительных систем часто возникает задача параллельной оценки вероятностных характеристик нескольких случайных импульсных потоков. Сбор статистических данных для решения этой задачи обычно осуществляется подключением к каждому потоку отдельного регистрирующего прибора. В работе предлагается методика оптимального распределения n регистрирующих приборов для оценки параметров N случайных импульсных потоков ($n < N$). Использование меньшего количества регистрирующих приборов особенно эффективно в том случае, когда обработка статистических данных происходит в удалении от объекта, а информация о потоках передается по каналам связи. При этом вместе с количеством регистрирующих приборов уменьшается количество самой дорогостоящей части системы — каналов и аппаратуры передачи данных.

Пусть имеется N пуассоновских потоков с параметрами $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$. Требуется статистически оценить эти параметры с помощью n приборов.

Рассмотрим случай, когда $n=1$. Этот прибор поочередно подключается к исследуемым потокам. Время регистрации i -го потока обозначим через t_i . Поскольку суммарное время наблюдения равно t , то $\sum_{i=1}^N t_i = t$.

Введем обозначение

$$b_i = t_i/t. \quad (1)$$

Ясно, что

$$\sum_{i=1}^N b_i = 1. \quad (2)$$

По условиям задачи информация о потоках требуется выдать только по окончании интервала времени t , поэтому (во избежание излишних переключений) интервалы t_i желательно иметь непрерывными, а не состоящими из отдельных отрезков.

Параметр λ_i потока i будем оценивать по формуле

$$\lambda_i^* = m_i/t_i, \quad (3)$$

где m_i — число случайных событий за время наблюдения t_i .

Дисперсия числа событий m_i выражается формулой*

$$D[m_i] = \lambda_i t_i. \quad (4)$$

Учитывая (3) и (4) для дисперсии величины λ_i^* , получим

$$D[\lambda_i^*] = \lambda_i/t_i. \quad (5)$$

Отношение дисперсии оценки параметра λ_i к λ_i^2 , т. е. $D[\lambda_i^*]/\lambda_i^2$, назовем относительной дисперсией оценки.

Учитывая (1) и (5), получим $D[\lambda_i^*]/\lambda_i^2 = 1/\lambda_i b_i t$. Тогда для суммарной относительной дисперсии оценок всех N потоков имеем

$$K_1 = \sum_{i=1}^N \frac{D[\lambda_i^*]}{\lambda_i^2} = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^N \frac{1}{\lambda_i b_i}. \quad (6)$$

Если критерием качества измерений параметров λ_i является величина K_1 , то возникает задача отыскания таких b_i , при которых достигается минимум величины K_1 .

Найдем значения b_i , обеспечивающие минимум суммарной относительной дисперсии.

Подставляя (2) в (6), получим

$$K_1 = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{\lambda_i b_i} + \frac{1}{t} \frac{1}{\lambda_N (1 - b_1 - b_2 - \dots - b_{N-1})}. \quad (7)$$

Для отыскания минимума величины K_1 находим b_i из условия $\frac{\partial K_1}{\partial b_i} = 0$ для $i = 1, 2, \dots, N-1$. Дифференцируя (7) по b_i , получим

$$\frac{\partial K_1}{\partial b_i} = -\frac{1}{t} \frac{1}{\lambda_i b_i^2} + \frac{1}{t} \frac{1}{\lambda_N (1 - b_1 - b_2 - \dots - b_{N-1})^2} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N-1. \quad (8)$$

Так как $\frac{\partial^2 K_1}{\partial b_i^2} = \frac{1}{t} \frac{2}{\lambda_i b_i^3} + \frac{1}{t} \frac{2}{\lambda_N b_N^3} > 0$, то определяемые из (8) значения b_i дают минимум величины K_1 .

С учетом (2)

$$b_i = \frac{1}{\sqrt{\lambda_i}} \frac{1}{\sum_{j=1}^N \frac{1}{\sqrt{\lambda_j}}}. \quad (9)$$

* Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. М.: Мир, 1967. Т. I.

Подставляя (9) в (6), для минимального значения суммарной относительной дисперсии получим

$$K_1 = \frac{1}{t} \left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{\sqrt{\lambda_i}} \right)^2.$$

Может случиться, что критерием качества измерений параметров λ_i предпочтительнее взять сумму дисперсий величин λ_i^* , т. е.

$$K_2 = \sum_{i=1}^N D[\lambda_i^*] = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{b_i}. \quad (10)$$

Найдем такие b_i , при которых достигается минимум величины K_2 . Аналогично (8) имеем

$$\frac{\partial K_2}{\partial b_i} = -\frac{1}{t} \frac{\lambda_i}{b_i^2} + \frac{1}{t} \frac{\lambda_N}{(1 - b_1 - b_2 - \dots - b_{N-1})^2} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N-1. \quad (11)$$

На основании (2) и (11)

$$b_i = b_N \sqrt{\lambda_i / \lambda_N}, \quad (12)$$

откуда

$$b_i = \frac{\sqrt{\lambda_i}}{\sum_{j=1}^N \sqrt{\lambda_j}}. \quad (13)$$

Подставляя (13) в (10), для минимального значения суммы дисперсий получим

$$K_2 = \frac{1}{t} \left(\sum_{i=1}^N \sqrt{\lambda_i} \right)^2.$$

Вычислив b_i с помощью (9) или (13) в зависимости от того, требуется ли минимизация суммы (6) или (10), находим интервалы времени наблюдения $t_i = b_i t$ за потоками.

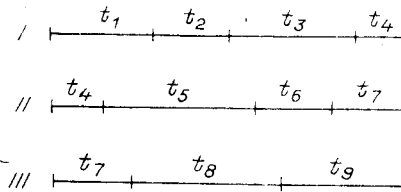
Заметим, что для оптимального распределения времени t_i наблюдения за потоками требуется знание параметров λ_i . В ходе измерений можно сначала оценить эти параметры грубо, а затем, подставив λ_i^* вместо λ_i в формуле (9) или (13), получить более точные значения λ_i^* . Эта методика наиболее целесообразна в том случае, когда измерения повторяются несколько раз и имеется возможность с учетом всех предшествующих результатов оценивать λ_i все более точно и приближаться к оптимальному набору t_i для последующих измерений. При этом разрешающая способность и емкость регистрирующих устройств должны быть достаточными для проведения измерений.

Рассмотрим случай, когда число регистрирующих приборов $n > 1$. Поскольку наблюдение ведется n приборами одновременно, будем руководствоваться тем, что время суммарной наработки приборов равно nt . Вычислив b_i по формуле (9) или (13), разбиваем это время на отрезки

$$t_i = nb_i t. \quad (14)$$

Может оказаться, что для некоторых потоков получается $nb_i > 1$, т. е. $t_i > t$. Это означает, что каждому из таких потоков необходимо выделить отдельный прибор. Для остальных потоков и оставшихся приборов снова вычисляем b_i и находим значения t_i по формуле (14), в которую вместо n подставляем число оставшихся приборов. Если опять получим $nb_i > 1$, то снова закрепляем отдельные приборы за соответствующими потоками и так далее до тех пор, пока не получим $nb_i < 1$ для всех оставшихся потоков.

Один из возможных способов распределения времени наблюдения за потоками при $nb_i < 1$ иллюстрирует рисунок, на котором показан случай $N=9$ и $n=3$. Временные диаграммы работы I, II и III приборов расположены друг под другом, и точки, лежащие



на одной вертикали, соответствуют одному и тому же моменту времени. Интервалы t_1, t_2, \dots, t_9 есть времена наблюдения за первым, вторым и так далее потоками. Из рисунка видно, что интервал наблюдения за четвертым потоком t_4 пришлось распределить между первым и вторым приборами, а интервал t_7 — между вторым и третьим.

При таком способе распределения все приборы заняты и нет случаев одновременного измерения одного потока несколькими приборами.

Поступило в редакцию 4 июня 1980 г.

УДК 535.8 : 535.242.2

М. П. ГРИШИН, В. Н. КОРЕШКОВ, Ш. М. КУРБАНОВ, В. П. МАРКЕЛОВ
(Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ КООРДИНАТНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО МИКРОДЕНСИТОМЕТРА С УПРАВЛЕНИЕМ ОТ ЭВМ

При создании автоматических микроденситометров (АМД) с управлением от ЭВМ [1] необходимы прецизионные системы сканирования, реализующие автоматическое перемещение и измерение координат элементов фотометрируемого изображения в плоскости X, Y и ввод в ЭВМ результатов измерения. В настоящее время в литературе мало представлены методические указания по применению и методике исследования координатных погрешностей выпускаемых приборов типа АМД, что затрудняет использование этих приборов на практике. В статье приводятся анализ и исследование координатных погрешностей прибора АМД-1.

Система сканирования автоматического микроденситометра АМД-1 состоит из двухкоординатного стола с электрическим приводом на шаговых двигателях с электронным дроблением основного шага. Это позволяет, наряду с высокой скоростью движения (~ 10 мм/с), получить высокую плавность и малое значение одиночного шага перемещения (около 0,7 мкм).

Конструкция стола выполнена по крестовой схеме и содержит две каретки (рис. 1). Одна из них (каретка K_x) перемещается в направлении оси X , а ее перемещение измеряется датчиком линейных перемещений D_x . Каретка K_x несет на себе датчик перемещений D_y и каретку K_y , на которой расположен пленочный носитель (фотоэмульсия, фотопластинка). Каретка K_y перемещается по оси Y , и ее перемещение измеряется датчиком D_y . Линейные перемещения обеих кареток осуществляются с помощью ходовых винтов и управляемых шаговых двигателей. Каретка K_x несет на себе ходовой винт и шаговый двигатель привода каретки K_y .

В качестве датчиков линейных перемещений применены фотоэлектрические датчики совместно с цифровым отсчетным устройством.

Основными элементами датчика являются длинная растровая решетка (шкала) и короткая индексная решетка (индекс), представляющие собой стеклянные пластины, на которых с постоянным шагом $t=0,2$ мм нанесены непрозрачные штрихи шириной 0,1 мм (рис. 2). Оба элемента — шкала и индекс — расположены параллельно друг другу с небольшим зазором $\approx 0,08$ мм, штрихи при этом должны быть параллельны друг другу. За индексом находятся четыре кремниевых фотоприемника (ФП), освещаемых источником, установленным за шкалой. На каждый ФП попадает свет, прошедший только через одну из четырех групп штрихов на индексной решетке, нанесенных с последовательным смещением по шагу на величину $1/4t$ относительно предыдущей группы. Благодаря этому с ФП датчика снимаются сигналы треугольной формы с соответствующим сдвигом по фазе. Эти сигналы, выровненные по величине среднего значения при помощи подстроечных сопротивлений, поступают в цифровое устройство, в котором проводится электронная интерполяция отсчетов перемещения, позволяющая получить цену отсчета до 1 мкм [2, 3].

Шкалы датчиков расположены вдоль направляющих стола прибора на соответствующих каретках. Осветительная система с индексной решеткой и фотоприемником датчика перемещений по координате X установлена на корпусе прибора, а датчик по координате Y — на каретке K_x .

Ошибки датчиков измерения координат системы зависят от точности изготовления шкал, индексных решеток [4], согласования уровней сигналов фотоприемников и точности электронной интерполяции цифрового устройства, а также от погрешностей, вызываемых несоблюдением принципа Аббе. Суммарная ошибка измерения координат системы не превышает 0,008 мм, предельная внутришаговая ошибка датчиков равна 0,004 мм.