2. А. М. Искольдский, М. И. Кудряшов. О восстановлении оптических сигналов в исследовании быстропротекающих процессов.— «Автометрия», 1972, № 5.
3. В. Д. Волосов, В. Р. Муратов, Е. В. Нилов. О разрешающей способности электронно-оптических преобразователей.— «ПТЭ», 1963, № 1.

Поступило в редакцию
17 февраля 1975 г.

УДК 621.317.7

С. М. ДУБИНА, А. А. КАЛЕНТЬЕВ
(Куйбышев)

ОДНА ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ

В сообщении рассматриваются вопросы выбора оптимального ряда частот опроса параметров объекта при автоматическом контроле с использованием управляющей вычислительной машины (УВМ); предлагаются методы решения задачи выбора оптимального ряда частот на базе теории оптимальных покрытий (ТОП) [1].

При проведении автоматического контроля множества параметров некоторого объекта с помощью УВМ важно, чтобы, с одной стороны, опрос параметров проводился с частотой, удовлетворяющей требованию полноты информации о параметре, точности воспроизведения параметра и т. д., с другой — с целью сокращения времени проведения контроля необходимо параллельное проведение контроля нескольких параметров. Главное препятствие для сокращения времени контроля — большое многообразие частот, с которыми происходит опрос различных параметров.

Как показано в [2], основным ограничением на число параллельно проводимых испытаний с использованием вычислительных машин служит многообразие частот опроса параметров. В связи с этим для увеличения числа параллельно проводимых испытаний (а следовательно, и для уменьшения общего времени контроля технического объекта) целесообразно заменить ряд теоретических частот опроса некоторым набором частот так, чтобы, с одной стороны, достигалась бы максимальная упаковка импульсов опроса на временном отрезке контроля, с другой стороны, чтобы частоты опроса из предлагаемого набора были достаточно близки к теоретическим.

Из физических соображений предполагается, что любая теоретическая частота опроса может быть заменена только большей частотой из оптимального набора, т. е. должно выполняться условие

$$f_j \leq f_{p_j},$$

где f_j — теоретическая частота опроса j-го параметра, f_{p_j} — частота опроса j-го параметра из оптимального набора частот. Введем функцию загрузки процессора

$$F(f) = \sum_{j=1}^{M} f_j \tau_j.$$

Здесь τ_j — длительность импульса опроса j-го параметра, M — число контролируемых параметров.

Критерии эффективности, по которым оценивается выбор оптимального ряда, могут быть следующими.

Критерий 1. Коэффициент перегрузки процессора

$$K_n = \rho(f, f_p) = \frac{\sum\limits_{j=1}^{m} f_{p_j} \sum\limits_{i=1}^{n_j} \tau_i}{\sum\limits_{j=1}^{M} f_j \tau_j} = \frac{F(f_p)}{F(f)}, \tag{1}$$

где m — число частот оптимального набора частот; n_j — число параметров, контролируемых с теоретическими частотами опроса из интервала $\left(f_{p_{j-1}},\ f_{p_j}\right]$.

Критерий 2. Величина Δ, равная наименьшему общему кратному частот аппроксимирующего ряда. Возможное число одновременно проводимых проверок определяется условием

$$\Delta \leqslant \frac{1}{\sum\limits_{j=1}^{N} \tau_j} \qquad (2)$$

(N — число параллельно проводимых проверок).

Если $\tau_j = \text{const}$ для всех $j = 1, 2, \ldots, N$, то $N \leqslant \frac{1}{\Delta\tau}$.

Дадим постановку задачи в терминах ТОП [1]. Введем внешнее множество X — множество теоретических частот f_j:

$$X = \{f_j\}.$$

Различные наборы оптимальных частот f_{p_j} образуют множество Y.

$A = \left\{f_{p_j}\right\}$, $j = 1, 2, \ldots, m$, — система m оптимальных частот из Y (m — число частот покрытия).

Критерий эффективности $F(X, A)$ соответствует любому из приведенных выше критериев.

Теперь можно сформулировать следующие задачи.

1. Определить такую систему частот $A = \left\{f_{p_j}\right\}$, $j = 1, 2, \ldots, m$, при фиксированном числе частот m, чтобы значение критерия 1 было минимально.

2. Определить такую систему частот $A = \left\{f_{p_j}\right\}$, $j = 1, 2, \ldots, m$, при фиксированном числе частот m, чтобы значение критерия 1 было минимально при ограничении на критерий 2.

3. Определить число частот m и их распределение $A = \left\{f_{p_j}\right\}$, $j = 1, 2, \ldots, m$, так, чтобы значение критерия 1 было минимально при заданном ограничении на критерий 2 (значение Δ).

4. Определить такую систему частот $A = \left\{f_{p_j}\right\}$, $j = 1, 2, \ldots, m$, при фиксированном числе частот m, чтобы значение критерия 2 было минимально при ограничении на критерий 1.

5. Определить число частот m и их распределение $A = \left\{f_{p_j}\right\}$, $j = 1, 2, \ldots, m$, так, чтобы значение критерия 2 было минимально при ограничении на критерий 1.

Решение задачи 1 будем искать с помощью вычислительного алгоритма улучшения [1]. Идея метода состоит в последовательном перемещении покрывающих частот в направлениях уменьшения функции $\rho(f, f_p)$. Процедура повторяется до тех пор, пока перемещение любого из центров перестанет вызывать уменьшение функции $\rho(f, f_p)$.

Задача 1. Для решения задачи получим условие возможного перемещения j-го центра ($j = 1, 2, \ldots, m$). Изменение значения критерия K_n, вызванное сдвигом центра,

$$\Delta K = K_n^0 - K_n^1,$$

где K_n^0 — значение критерия до сдвига j-го центра, K_n^1 — значение критерия после сдвига j-го центра.

Поскольку знаменатель критерия (1) зависит только от условия задачи (теоретического ряда частот и их спектра), то он является величиной постоянной и на условие изменения критерия K_n не влияет.

Можно записать условие возможного перемещения j-го центра:

$$K_n^0 - K_n^1 > 0. \qquad (3)$$

Подставляя соответствующие значения K_n^0 и K_n^1 (1) в (3) и проводя простые алгебраические преобразования, получим

$$-f_{p_j} \sum_1^{n\delta} \tau_i - \delta \sum_1^{n_j} \tau_i - \delta \sum_1^{n\delta} \tau_i + f_{p_{j+1}} \sum_1^{n\delta} \tau_i > 0, \qquad (4)$$

где $\delta = \left(f_{p_j}^1 - f_{p_j}\right)$; положительное значение δ соответствует сдвигу вправо, отрицательное — сдвигу влево; $n\delta$ — число опросов, частота следования которых $f_i \in \left(f_{p_j}, f_{p_j}^1\right]$.

Так как $\sum\limits_{i=1}^{n\delta} \tau_i > 0$, то условие (4) можно переписать в виде

$$-f_{p_j}-\delta\frac{\sum_1^{n_j}\tau_i}{\sum_1^{n\delta}\tau_i}-\delta+f_{p_{j+1}}>0$$

или

$$f_{p_{j+1}}-f_{p_j}-\delta\left(\frac{\sum_1^{n_j}\tau_i}{\sum_1^{n\delta}\tau_i}+1\right)>0.$$

Рассмотрим случай равномерного спектра частот при $\tau_i=\mathrm{const}$. Предполагаем, что значения частот — целые числа, тогда условие сдвига значения f_{p_j} примет вид:

1) сдвиг осуществляется вправо, если

$$1<f_{p_{j+1}}-f_p-n_j, \tag{5}$$

2) сдвиг осуществляется влево, если

$$1<n_j-\left(f_{p_{j+1}}-f_{p_j}\right).$$

Из условия $\frac{\partial}{\partial\delta}\left(K_n^0-K_n^1\right)=0$ можно получить значение перемещения j-го центра δ при максимальном уменьшении критерия 1:

$$\delta=\left(f_{p_{j+1}}-f_{p_j}-n_j\right)/2. \tag{6}$$

Следует отметить, что по формуле (6) δ может получиться нецелым, тогда следует брать ближайшее целое значение.

Теперь опишем алгоритм процедуры улучшения [1]:

1. Для начальной произвольно заданной системы центров (выбранных частот) $A^0=\left\{f_{p_j}\right\}$, $j=1,2,\ldots,m$, определяются области Дирихле D_j^0. Очевидно, в силу выполнения условия $f_{p_j}\geqslant f_j$ для j-го центра f_{p_j} область Дирихле представляет собой отрезок $\left[f_{p_{j-1}}+1, f_{p_j}\right]$.

2. Для найденных областей Дирихле D_j^0 системы центров вычисляются значения

$$R_j=\max_{f_j\in D_j^0}\rho\left(f_j, f_{p_j}\right),\ j=1,2,\ldots,m.$$

3. Из системы A^0 выделяется тот из улучшаемых элементов f_{p_j}, которому соответствует максимальное значение критерия R_j.

4. Последовательной процедурой улучшения производится замена элемента f_p на неулучшаемый на данном этапе элемент $f_{p_j}^1$.

5. По окончании этапа улучшения система $A^0=\left\{f_{p_j}\right\}$ заменяется системой $A^1=\left\{f_{p_j}^1\right\}$.

Для новой системы указанный процесс повторяется.

Процедура повторяется до тех пор, пока все центры станут неулучшаемыми.

Следует отметить, что метод «улучшения» является методом локальной оптимизации и при сильных ограничениях результат зависит от выбора начального приближения.

Задача 2 решается аналогично задаче 1, только с учетом ограничений по критерию 2. Начальное приближение выбирается удовлетворяющим этому ограничению, и вся процедура «улучшения» проводится вдоль границы ограничения. В качестве центров могут быть выбраны только такие частоты, которые не увеличивают значение Δ. Условия сдвига (5), приведенные в задаче 1, применимы и в этом случае.

Задача 3 решается аналогично задаче 2 для различных значений m. Затем из всех значений m и соответствующих им наборов $\left\{f_{p_j}\right\}$ выбираются такие, которые минимизируют (1).

Задача 4 решается аналогично задаче 2 для различных значений критерия 2. По заданному ограничению критерия 1 выбирается система центров с минимальным значением Δ. Другим путем эта задача может решаться как задача 1 до достижения граничного значения K_n, а далее вдоль границы оптимизировать по Δ.

Задача 5. Эта задача может рассматриваться как обратная к задаче 3 и решаться как задача 4 для 1, 2,... центров. Далее выбирается число центров, обеспечивающее минимальное значение Δ при ограничении на K_n.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. А. Пиявский. Об оптимизации сетей.— «Изв. АН СССР. Техническая кибернетика», 1968, № 1.
2. Ю. Н. Золотухин, В. И. Рабинович. О режиме периодического опроса источников информации.— «Автометрия», 1972, № 4.

Поступило в редакцию 16 июня 1973 г.; окончательный вариант — 18 ноября 1974 г.

УДК 62—503.32

Н. С. АНИШИН, Ю. В. ДЕНИСЕНКО, Л. Б. ЗОРЬЯН, Г. Г. ХАЧИЯН

(Краснодар)

ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ И УСТРОЙСТВЕ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ

При цифровой обработке сейсмических и, в частности, вибросейсмических сигналов часто встречающаяся операция — вычисление корреляционной функции между оператором и сейсмическим сигналом. Поскольку и тот и другой представлен рядом цифровых (как правило, двоичных) отсчетов, то вычисление интеграла заменяется вычислением суммы

$$y_k = \sum_{i=0}^{N} f_i x_{i+k}, \tag{1}$$

где x_i, f_i — i-е отсчеты зондирующего и сейсмического сигналов соответственно; y_k — k-й отсчет корреляционной функции, $i=0, 1, 2, \ldots, N$; $k=0, 1, 2, \ldots, M$ $(M \leqslant N)$.

При вычислении на универсальных ЭВМ, а также при использовании специализированных процессоров самой трудоемкой является операция умножения, составляющая значительную часть всех арифметических операций. Использование матричных умножений с целью значительного уменьшения времени выполнения умножения приводит к большим аппаратурным затратам при многоразрядном представлении сомножителей.

Ниже рассматривается алгоритм вычисления приближенного значения корреляционной функции, исключающий операции умножения и сводящий все вычислительные операции к одному сложению и арифметическому сдвигу на каждое умножение.

Цель создания данного алгоритма — сокращение объема оборудования и повышение аппаратурного быстродействия спецпроцессора при сравнительно небольших погрешностях вычисления. При необходимости алгоритм также может быть эффективно использован для приближенных вычислений на ЭВМ.

В основе предложенного алгоритма лежит замена действительного значения $i+k$-го отсчета зондирующего сигнала x ближайшим двоичным числом, представленным несколькими «0» и только одной «1». Умножение на такой множитель, по существу, является арифметическим сдвигом множимого. При этом разность между действительным и аппроксимированным значением зондирующего сигнала не теряется (как это делается в релейных корреляторах*), а передается (подсуммируется) в $[(i+1)+k]$-й отсчет оператора и со вновь полученным значением зондирующего сигнала выполняется та же аппроксимация и т. д.

Алгоритм приближенного вычисления корреляционной функции можно записать в виде

---

* Жовинский В. Н., Арховский В. Ф. Корреляционные устройства. М., «Энергия», 1974.