Атомная техника за рубежом. – 1976. – № 11. – С. 12-19. 5 Малкин С. Д. Основные особенности тренажеров для АЭС. – М.: 1989– 14 С. (Препринт / Ин-т атомной энергии, № ИАЭ-4834/4.) 6 Максимов М.В., Дубковский В.А., Серебринский Б.М. и др. Автоматизированная обучающая система "Машина перегрузочная" для подготовки ремонтного персонала на АЭС с ВВЭР-1000 // Электрические станции. – 1994. – № 1. – С. 8-10. 7 Максимов М.В. Применение объектно-ориентированной методологии для проектирования модернизированной системы перегрузки топлива на АЭС с ВВЭР повышенной ядерной безопасности // Межвузовский журнал "Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы". – 1997. – № 1. – С. 162-173. 8 Максимов М.В., Майсян И.Г. Объектно-ориентированный анализ привода СУМП-1000 МВ // Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы". – 1998. – № 1. – С. 158-165. 9 Максимов М.В. Диагностика и управление технологическим процессом перегрузки ядерного топлива на энергетических реакторах– Одесса: Астропринт. – 1996. – 231 С. 10 Иванов И.И. Табличное моделирование граничных условий перемещения ядерного топлива на АЭС с ВВЭР. // Труды Одесского политехнического университета. – 1998. – Вып. 1(5). – С. 199-202 11 Билей Д.В., Максимов М.В., Маслов О.В. и др. Система управления перегрузкой ядерного топлива на АЭС с ВВЭР-1000 // Электрические станции. – 1996. – №12. – С. 37-42.

Поступило в редколлегию 10.05.99.

УДК 621.391

В. Г. ИВАНОВ, *Харьков, Украина*

КОДИРОВАНИЕ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ФУНКЦИЙ ХААРА

Розглядаються і пропонуються економічні з погляду обчислювальних витрат методи кодування (відбудови) даних на основі використання особливостей підсумовування рядів Хаара. Обчислювальна складність наведених виразів є мінімальною з усіх відомих алгоритмів обробки даних у класі ортогональних перетворень. Важным этапом в задачах кодирования данных является их восстановление с заданными ограничениями на качество или сложность вычислений.

Экономичным, с точки зрения вычислительных затрат, является метод, предложенный в [1] и заключающийся в анализе разрядов двоичной записи номера отсчета восстанавливаемой функции и последующим суммированием коэффициентов ортогонального преобразования Хаара с соответствующими знаками.

Таким образом, при вычислении значений Функции на ЭВМ, использующих двоичную систему, реализуется соотношение

$$P_n(x) = a_1 + \sum_{m=1}^{m_0} (-1)^{\varepsilon_m} b_{m j_m}, \tag{1}$$

где $x=0,\ \varepsilon_1\varepsilon_2 \ldots \varepsilon_s \ldots,\ \varepsilon_1\varepsilon_2 \ldots \varepsilon_{m-1} = j_{m-1},\ b_{m,j_m}$ - обобщенные коэффициенты Хаара.

Тогда при каждом m легко выделить цифры $\varepsilon_1\varepsilon_2 \ldots \varepsilon_{m-1}$.

Для этого нужны только простейшие логические операции. По значениям m и j_m можно сформировать адрес ячейки, содержащей b_{m,j_m}.

Если следующая цифра в двоичной записи числа x (т.е. ε_m) равна нулю, то b_{m,j_m} прибавляется к накапливаемой сумме, а если следующая цифра равна 1, то b_{m,j_m} вычитается:

$$Z_m = Z_{m-1} + (-1)^{\varepsilon_m} b_{m,j_m}, \qquad (2)$$

где $m=1, 2, ... m_0$

Начав $Z_0=a_1$, получим $Z_{m_0} = P_n(x)$.

В каждом цикле здесь производится одно сложение и несколько логических операций. Поэтому общее число элементарных операций, затрачиваемых на вычисление $P_n(x)$ равно $O(m_0)$ или $O(log_2 n)$, где n число отсчетов функции, а запись $O(log_2 n)$ означает, что число вычисленных операций в одной точке стремится к значению двоичного логарифма размерности базисе Хаара и для восстановления исходной функции во всех " n" её точках требуется $n\ log_2 n$ операций сложения-вычитания.

Предлагаемый ниже метод позволяет сократить общее число вычислительных операций при восстановлении всех "n" значений исходной функции до $2(n-1)$ и для его осуществления необходимо вычислить промежуточные суммы из одинаковых коэффициентов Хаара, входящих в суммы всего ряда дискретных точек, а в дискретных точках с нечетными номерами значения восстанавливаемой функции получают вычитанием удвоенного значения коэффициента Хаара из значения суммы, полученной в предыдущей дискретной точке с четным номером. Рассмотрим предлагаемый метод синтеза дискретных данных в базисе функций Хаара, например, для восстановления исходной функции в восьми её точках, т.е. при $n=8$.

Запишем сумму в каждой дискретной точке по способу, предложенному в [1]. Например, для точки $x=0$ или в двоичной системе $x=0, 000$, при $m=1$ выделим $(m-1=0)$ цифры x и т.к. следующая за этой цифрой стоит цифра ноль $(x=0, 000)$, то коэффициент b_{11} в выражении (2) берут со знаком плюс. При $m=2$ выделяют $(m-1=1)$ цифры аргумента x, т.е. $(x=0, 000)$ и анализируют следующий двоичный разряд и т.д. до $m=m_0$. Тогда в точке $x=0, 000$ по вышеуказанному правилу ряд $P_n(k)$ запишется как

$$P_0(x) = a_1 + b_{11} + b_{21} + b_{31}. \qquad (3)$$

Аналогично для остальных точек будем иметь:

$$\begin{aligned}
&P_1(0,001)=a_1+b_{11}+b_{21}-b_{32} \quad P_2(0,010)=a_1+b_{11}+b_{21}+b_{32}\\
&P_3(0,011)=a_1+b_{11}-b_{21}-b_{32} \quad P_4(0,100)=a_1-b_{11}+b_{22}+b_{33}\\
&P_5(0,101)=a_1+b_{11}+b_{22}-b_{33} \quad P_6(0,100)=a_1-b_{11}-b_{22}+b_{34} \qquad (4)\\
&P_7(0,111)=a_1+b_{11}-b_{22}-b_{34}.
\end{aligned}$$

Для выражения (4) запишем промежуточные суммы

$a_1+b_{11} =c_1, a_1-b_{11} =c_2$

и (4) перепишем как

$$\begin{cases} P_0(x)=c_1+b_{21}+b_{31} \\ P_1(x)=c_1+b_{21}-b_{31} \end{cases} \quad \begin{cases} P_4(x)=c_2+b_{22}+b_{33} \\ P_5(x)=c_2+b_{22}-b_{33} \end{cases}$$

$$\begin{cases} P_2(x)=c_1-b_{21}+b_{32} \\ P_3(x)=c_1-b_{21}-b_{32} \end{cases} \quad \begin{cases} P_6(x)=c_2-b_{22}+b_{34} \\ P_7(x)=c_2-b_{22}-b_{34}. \end{cases} \qquad (5)$$

Так как значение суммы в точке с нечетным номером отличается от значения суммы, вычисленной в предыдущей четной точке на удвоенное значение коэффициента с индексом максимального значения "m", то выражение (5) окончательно запишется:

$$\begin{aligned} &P_0(x)=c_1+b_{21}+b_{31} \quad P_4(x)=c_2+b_{22}+b_{33} \\ &P_1(x)= P_0(x)-2b_{31} \quad P_5(x)= P_4(x)-2b_{33} \\ &P_2(x)=c_1-b_{21}+b_{32} \quad P_6(x)=c_2-b_{22}+b_{34} \\ &P_3(x)= P_2(x)-2b_{32} \quad P_7(x)= P_6(x)-2b_{34}. \end{aligned} \qquad (6)$$

Таким образом, число операций типа сложения-вычитания в выражении (6) будет равняться двенадцати и следует еще добавить две операции при вычислении промежуточных сумм c_1 и c_2 и общее число вычислительных операций будет равняться четырнадцати, т.е. $2(n-1)$. Умножение на два в дискретных точках с нечетными номерами на ЭВМ с двоичной системой представляет собой простой сдвиг числа в регистре и это время можно не учитывать.

Учитывая нестационарную природу функций Хаара и определяя соответствующим образом промежуточные суммы рядов Хаара можно записать в общем виде формулы оптимальных вычислений для восстановления исходных данных:

$$P_i(x) = A_{l+Q} + C_{k+Q}(-1)^{i+1}2^{(\log N-1)/2}, \qquad (7)$$

где $i=1,2,...,N$, $l=(\frac{1}{2}N-2)$, $Q=Ц\,[(\frac{i+1}{2})]-1$

При этом $A_i=C_0+C_2(-1)^i$ для $i=0,\ 1$ и $A_i=A_{k-3}+C_k(-1)^i$ для $i=2,\ 3,...\ 2[(0,5N-1)-1]$, а $k=(2^{m-1}+1),...\ 2^m$ для $m=2,\ 3...(\log N-1)$.

Вычислительная сложность приведенных выражений является минимальной из всех известных алгоритмов обработки данных в классе ортогональных преобразований [2,3].

Список литературы: 1. *Соболь И.М.* Многомерные квадратурные формулы и функции Хаара. Москва: Наука. 1969. 288 с. 2. *Садыков Р.Х., Чеголин П.М., Шмерко В.П.* Методы и средства обработки сигналов в дискретных базисах. Минск: Наука и техника, 1987. 296 с. 3. *Применение ортогональных методов при обработке сигналов и анализе систем* / Свердловск: УПИ им. С.Н. Кирова, 1983. 158 с.

Поступило в редколлегию 10.05.99.