

Ю.А.Андреев, М.Я.Штейнбок

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХУРОВНЕВОГО АЛГОРИТМА
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КЭНС

(г.Томск)

Корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЭНС) получают все более широкое практическое применение, так как относятся к наиболее совершенным автоматическим бортовым навигационным системам и, по мнению ряда специалистов /1,2/, в ближайшее время не будут иметь каких-либо альтернатив. Основой работы систем данного класса является вычисление взаимно-корреляционной функции (ВКФ) двух изображений, эталонного (ЭИ) и текущего (ТИ). Положение экстремума ВКФ характеризует отклонение объекта от заданного курса.

Перспективной является цифровая реализация КЭНС. Однако кроме очевидных достоинств (высокая точность, помехоустойчивость и т.д.), цифровые КЭНС имеют и ряд серьезных недостатков, связанных, в первую очередь, с большим объемом вычислений и большими затратами памяти. Можно выделить два основных пути повышения быстродействия КЭНС: аппаратное вычисление наиболее трудоемких операций и совершенствование алгоритмов функционирования систем данного класса, основанное на использовании свойств изображений и их взаимно-корреляционных функций.

Идея алгоритма заключается в следующем /2/. На нижнем (грубом) уровне используются не исходные изображения, а изображения с пониженным разрешением. Снижение разрешения осуществляется путем замены каждых m^2 элементов с интенсивностью, равной средней интенсивности выбранных m^2 элементов. В результате получаем сжатые изображения, размер которых

$$N_c^2 = N^2 / m^2, \quad (1)$$

где N^2 - размер исходных ЭИ и ТИ.

Производится вычисление ВКФ сжатых изображений; координаты максимума ВКФ указывают на сдвиг между ЭИ и ТИ с точностью до $\frac{m}{2}$. На верхнем уровне вычисляется ВКФ исходных изображений, но максимум ищется лишь в окрестности точки, полученной на нижнем уровне. Ниже будет показано, что подобный алгоритм позволяет повысить быстродействие КЭНС более чем на порядок. Следует отметить, что описанный метод сжатия аналогичен расфокусировке изображений окном с размером m^2 и весо-

вой функцией $h(t) = \frac{1}{m^2}$. Различие заключается в том, что в качестве элементов сжатого изображения выбираются лишь те, которые получены из непересекающихся окон.

Теоретическое исследование расфокусированных изображений проведено в работе /3/. Авторами показано, что число степеней свободы (число независимых элементов) изображения

$$n = \left(\frac{N}{2\tau_0} \right)^2, \quad (2)$$

где τ_0 - интегральный радиус корреляции - характеризует структуру изображения.

Расфокусировка приводит к увеличению радиуса корреляции и, соответственно, уменьшению количества степеней свободы, а именно

$$\hat{\tau}_0 = \tau_0 \zeta^{-1}, \quad (3)$$

$$\hat{n} = n \zeta^2 \frac{1}{m^2}, \quad (4)$$

где $\hat{\tau}_0$ и \hat{n} - соответственно радиус корреляции и число степеней свободы расфокусированного изображения;

ζ - коэффициент, зависящий от вида корреляционной функции.

В случае корреляционной функции вида

$$\rho(\tau_1, \tau_2) = e^{-\tau_1 \tau_2 / \tau_0^2} \quad (5)$$

можно получить

$$\zeta = \frac{\tau_0}{m/2}. \quad (6)$$

Простые расчеты показывают, что если N невелико ($N \ll 64$), то число степеней свободы расфокусированного изображения становится близким или меньшим единицы даже при небольшом радиусе корреляции исходного изображения. В этом случае полученные теоретические зависимости /3/ могут быть использованы лишь для качественного анализа результатов экспериментального исследования работы алгоритма. С другой стороны, вопросы реализации КЭНС, работающих с изображениями ограниченного размера, являются интересными с точки зрения практического применения /4/, так как позволяют снизить требования к памяти БЦВМ.

Исследование поведения двухуровневого алгоритма с использованием изображений малого размера было произведено методом имитационного моделирования на мини-ЭВМ СМ-4. Исходными данными для модели являлись размер изображений (ЭИ и ТИ) - $\sqrt{2} = 32 \times 32$;

тип изображений – случайные пальмовские поля с экспоненциальной корреляционной функцией /5/; элементы изображений (яркости) квантованы на 16 уровней и распределены по нормальному закону со средним $M = 8$ среднеквадратичным отклонением $\sigma = 4$;

размер расфокусирующего окна $M = 2, 4, 8, 32$;

вариант работы алгоритма (выделены два варианта, различающиеся по методу поиска экстремума ВКФ на нижнем уровне КЭО: слепой поиск; направленный поиск).

Метод слепого поиска заключается в полном переборе возможных значений ВКФ и нахождении ее наибольшего пика. Направленный поиск начинается с точки ВКФ, соответствующей нулевому сдвигу. Вокруг данной точки рассчитываются ближайшие соседние с ней элементы ВКФ; положение наибольшего элемента окрестности указывает направление движения к экстремуму. Если наибольший элемент находится в центре окрестности – искомый экстремум найден; в противном случае строится новая окрестность вокруг найденной наибольшей точки и так далее до тех пор, пока наибольшая точка окрестности не будет центральной. На верхнем уровне алгоритма в обоих вариантах применялся направленный поиск, исходной точкой которого являлся результат работы нижнего уровня. Таким образом, нижний уровень двухуровневой КЭО является аналогом грубой навигационной системы.

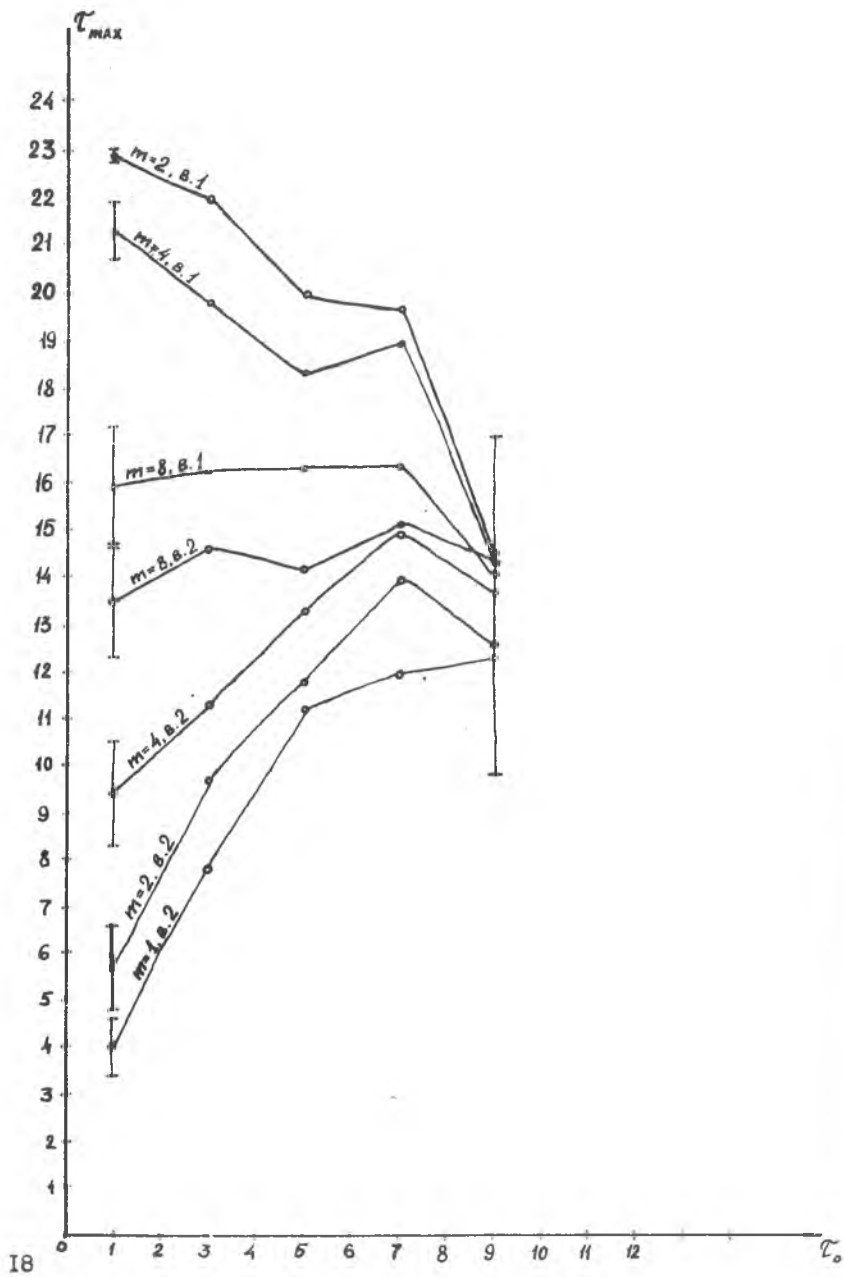
Целью проведения эксперимента было получение зависимости максимального сдвига между исходными изображениями, который может быть определен двухуровневой КЭНС, от радиуса корреляции изображений для различных размеров расфокусирующего окна и различных вариантов работы алгоритма. При этом предполагалось, что исходные ЭИ и ТИ различаются лишь своими несовпадающими частями, прочие же помехи (геометрические искажения, шум и т.д.) отсутствуют.

Результаты эксперимента представлены на рисунке. Экспериментальные точки были получены усреднением по ансамблю из 40 реализаций исходных полей; доверительные интервалы рассчитывались по уровню $\alpha = 0,05$. Из приведенных зависимостей следует:

величина максимального сдвига, определяемого моделью, существенно зависит от степени сжатия и от варианта работы алгоритма лишь для небольших радиусов корреляции исходных полей;

применение слепого поиска на нижнем уровне алгоритма является более предпочтительным;

увеличение радиуса корреляции исходных изображений приводит к уменьшению величины максимального сдвига для первого варианта алгоритма и увеличению ее для второго варианта;



с увеличением размеров расфокусирующего окна величина максимального допустимого сдвига уменьшается для случая слепого поиска и увеличивается для случая направленного поиска.

Качественное объяснение указанных зависимостей можно получить на основе выражений (2)–(6). Действительно, из выражений (3), (6) следует, что при расфокусировке изображений возрастает их радиус корреляции. Это приводит к расширению области правильного срабатывания метода направленного поиска, так как расширяется область монотонности ВКФ в районе глобального экстремума. С другой стороны, расфокусировка и сжатие приводят к резкому сокращению числа степеней свободы изображений и, следовательно, возрастанию величины боковых (локальных) экстремумов ВКФ. Этим объясняется ухудшение работы слепого поиска при возрастании размеров расфокусирующего окна и радиусов корреляции исходных изображений.

В заключение следует отметить, что применение двухуровневого алгоритма КЭО существенно повышает быстродействие КЭНС. Простые расчеты показывают, что время, необходимое для слепого поиска экстремума по исходным изображениям при $N^2 = 32 \times 32$ составляет для мини-ЭВМ СМ-4 $T_1 \approx 215$ с, применение двухуровневого алгоритма позволяет сократить это время: при $m = 2$ $T_2 \approx 14$ с; при $m = 4$ $T_3 \approx 3$ с; при $m = 8$ $T_4 \approx 10$ с (время выполнения элементарных операций на мини-ЭВМ СМ-4 было получено экспериментально и составляет для чисел с фиксированной запятой: сложение – 60 мкс, умножение – 85 мкс, деление – 95 мкс; для чисел с плавающей запятой: сложение – 135 мкс, умножение – 140 мкс, деление – 150 мкс).

Приведенные характеристики указывают на целесообразность применения двухуровневого алгоритма в реальных корреляционно-экстремальных системах.

Л и т е р а т у р а

1. Белоглазов И.Н., Тарасенко В.П. Корреляционно-экстремальные системы. – М.: Сов. радио, 1974.
2. Бочкарев А.М. Корреляционно-экстремальные системы навигации. – Зарубежная радиоэлектроника: 1981, № 9, с.28–53.
3. Буймов А.Г., Буймова Н.А. Статистика расфокусированных изображений. – В кн.: Корреляционно-экстремальные системы управления. Томск: ТГУ, 1981, с.15–22.
4. Андреев Ю.А. Влияние дискретизации изображений на точностные характеристики КЭС. – В кн.: Корреляционно-экстремальные системы управления. Томск: ТГУ, 1981, с.31–37.

УДК 519.9

Л.Г.Седых

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
НЕКОТОРЫМИ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

(г.Ленинград)

В настоящее время поверхностные явления и поверхностно-активные вещества (ПАВ) определяют важнейшие технологические процессы и применяются практически во всех отраслях народного хозяйства, поэтому их исследованию уделяется большое внимание. В статье приводится решение задачи синтеза оптимального управления биотехническими процессами, описываемыми уравнениями с частными производными параболического типа, что позволит создавать автоматизированные системы управления биотехнологическими комплексами.

Задача 1

Минимизировать $\int_0^T \int_{\Omega} (\mathcal{L}(\xi, t, u) + \rho u(\xi, t)) d\xi dt$
при условиях:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial t} = D \Delta \mathcal{L} - \rho(x, y, z, t, \alpha) \text{ в } \Omega \times (0, T), \quad (1)$$

$$\mathcal{L}|_{t=0} = \mathcal{L}_0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial n} \Big|_{\partial \Omega} = 0, \quad (3)$$

$$u \in U,$$

где $\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial n}$ - производная по нормали к $\partial \Omega$ (границе области Ω);
 $\xi = (x, y, z)$; $U = \{u: \bar{\Omega} \rightarrow [a, b] \mid u \text{ - измеримое}\}, 0 < a < b < +\infty$,

$$\bar{\Omega} = \begin{cases} \Omega \times (0, T) & , \text{ для задачи 1, 2,} \\ (0, \ell) \times (0, T) & , \text{ для задачи 3,} \\ \Omega & , \text{ для задачи 4, 5,} \\ (0, \ell) & , \text{ для задачи 6.} \end{cases}$$