

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Л 247

P10-86-856

Э.Д.Лапчик

РЕАЛИЗАЦИЯ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИНТЕГРАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ХЮККЕЛЯ

Направлено в журнал "Автометрия"

1986

Введение

При обработке полутоновых изображений с помощью ЭВМ часто возникает задача выделения объектов, имеющих достаточно контрастные границы. Объект считается контурным, если его более тонкая структура не играет роли в контексте конкретной задачи. В этом случае выделение объектов сводится к нахождению и оцифровке их контуров. При этом изображение разбивается на участки простой формы, называемые входными окнами, каждый из которых состоит из достаточного количества разрешаемых элементов. Значения функции двух дискретных переменных, заданной на входном окне, также дискретны.

Для входного окна круглой формы задача обнаружения контура и измерения его параметров была решена М. Хюккелем^{/1/}, разработавшим для этой цели специальный алгоритм. При этом эталон контура (границы раздела двух областей с различными средними значениями входной функции) описывался прямой линией в локальных координатах входного окна.

Другой алгоритм, основанный на вычислении моментов входной функции, предложен в^{/2/}, где приведено его сравнение с алгоритмом Хюккеля и рассмотрен одномерный аналог предложенного алгоритма.

Для квадратного входного окна фиксированного размера упрощенный алгоритм Хюккеля рассмотрен в^{/3/}.

Некоторые алгоритмы локализации границы на входном окне малых размеров (2x2 или 3x3 элементов) рассмотрены в^{/4/}. Они основаны на различных методах контрастирования перепадов входной функции с последующим сравнением с порогом.

Анализ данных о помехоустойчивости различных алгоритмов^{/2,4/} позволяет предположить качественно преимущества алгоритма Хюккеля, в котором высокочастотные компоненты входной функции подавляются наиболее полно. Однако окончательный вывод может быть сделан только после количественного сравнения эффективности различных алгоритмов в широком диапазоне отношений сигнал/шум.

В настоящей работе приводится реализация алгоритма Хюккеля на ЭВМ типа СМ-4 с учетом упрощений, принятых в^{/3/}. Оценка эффективности проводилась как в модельных испытаниях на ЭВМ, так и при реальных измерениях на автомате АСМ-2.

Реализация алгоритма

Алгоритм Хюккеля реализован на квадратном входном окне. Такой выбор был сделан по следующим причинам.

Съем информации с фотоизображения для ввода ее в ЭВМ происходит при сканировании всего изображения или его фрагмента растром типа телевизионного (линейчатым или точечным), т.е. прямоугольной формы. Применение круглого входного окна вызывает дополнительные трудности: согласование его формы с "естественной" прямоугольной и отыскание нормирующих множителей (разделы 2.1 и 2.2 в^{/1/}). Эти трудности были преодолены подбором размеров окон^{/1/}, что может оказаться нежелательным ограничением.

Кроме того, необходимо значительное перекрытие круглых входных окон для исключения пропуска части обрабатываемого изображения, что увеличивает общее время обработки, а введенная в^{/1/} весовая функция окна приводит к неравновесной обработке изображения в целом, что не представляется обоснованным.

В разработанных программах вычисления проводятся в следующей последовательности. Сначала находятся компоненты двух базисных функций, по которым рассчитывается угол наклона линии контура (границы) в локальной системе координат квадратного входного окна. Эти компоненты вычисляются по четырем треугольным областям, получаемым расщеплением квадрата его диагоналями.

Затем находится точное положение линии контура на входном окне и оценки средних значений входной функции по обе стороны от нее (V и $VH=V+H$). Точное положение этой линии находится по комбинации трех условий - знаку угла наклона, типу пересечения (смежных или противоположных сторон окна) и расположению большей части площади окна (над границей или под ней). При этом иногда необходимо найти зеркальное отображение линии контура относительно одной из осей симметрии входного окна. Знак угла наклона границы известен из предыдущих вычислений. Второе условие находится в предположении о пересечении смежных сторон окна с последующей проверкой его истинности. Выполнение третьего условия определяется при подсчете среднего индекса элементов разрешения на участке входного окна, где значения входной функции не превышают некоторого порога. В качестве порога берется нормированная по площади полусумма максимальной и минимальной из найденных ранее компонент базисных функций.

Отметим, что произвольно расположенная граница делит входное окно на две части так, что средний индекс части окна, расположенной под (над) границей, всегда меньше (больше) среднего индекса всех элементов входного окна. Действительно, на входном окне размером $n \times n$ элементов при правой системе индексации и следующих обозначениях:

k, ℓ - индексы элементов столбца, строки,
 $m=m(k)$ - старший индекс элемента строки k -го столбца, находящегося под границей,
 средний индекс k -го столбца:

$$I_k = \frac{1}{n} \sum_{\ell=1}^n (n(\ell-1)+k) = k + n \frac{n-1}{2},$$

средний индекс части этого столбца, находящейся под границей:

$$I_m = \frac{1}{m} \sum_{\ell=1}^m (n(\ell-1)+k) = k + n \frac{m-1}{2}.$$

Усреднив по всем столбцам, получим средний индекс входного окна:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n I_k = \frac{n^2+1}{2}$$

и средний индекс части окна, находящейся под границей:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n I_m = \frac{1}{2} \left(1 + \sum_{k=1}^n m \right) \leq S.$$

Равенство достигается при всех $m=n$, но в этом случае граница находится за пределами входного окна. Обратное неравенство для части окна, лежащей над границей, доказывается аналогично. Очевидно, что при принятой системе индексации и вертикальной границе меньший средний индекс соответствует части входного окна, находящейся слева от границы.

Доказанное свойство границы используется при анализе третьего из перечисленных выше условий, при этом подсчитывается количество и суммарный индекс тех элементов, в которых значения входной функции не превышают порога. Эти же данные используются для оценки B и BH .

Алгоритм реализован на ФОРТРАНе и оформлен в виде четырех программ - основной и трех ее модификаций, включенных в базовый пакет АЭЛТ-2/160. Различные модификации отличаются типом переменных суммирования (REAL, INTEGER), а также наличием или отсутствием вычислений оценок B и BH .

Отметим, что основное время тратится на операции суммирования, поэтому общее время работы подпрограмм пропорционально площади входного окна. Применение переменных суммирования типа INTEGER сокращает это время примерно вдвое (на ЭВМ типа СМ-4), но накладывает ограничения на размер входного окна. Одномерный аналог алгоритма Хуккеля также реализован в виде двух подпрограмм базового пакета, отличающихся типом переменных суммирования.

Оценка эффективности

Количественная оценка эффективности алгоритма Хуккеля была получена как при модельных испытаниях на ЭВМ, так и при измерениях на автомате АЭЛТ-2/160. В первом случае цифровая модель входной функции генерировалась специальной программой, причем размер окна, положение

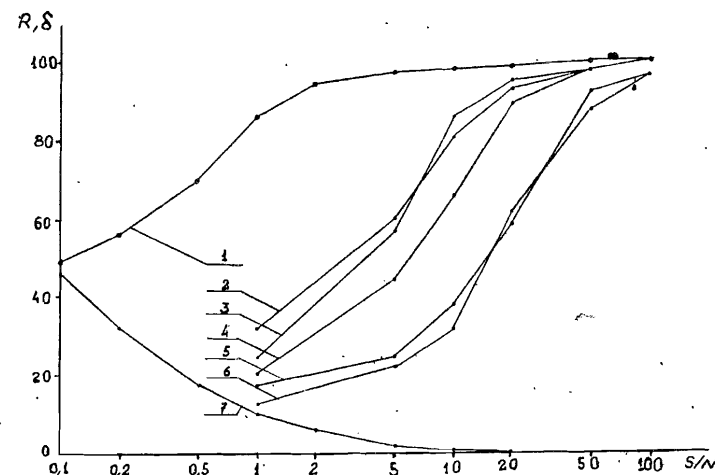


Рис. 1. Эффективность различных алгоритмов.

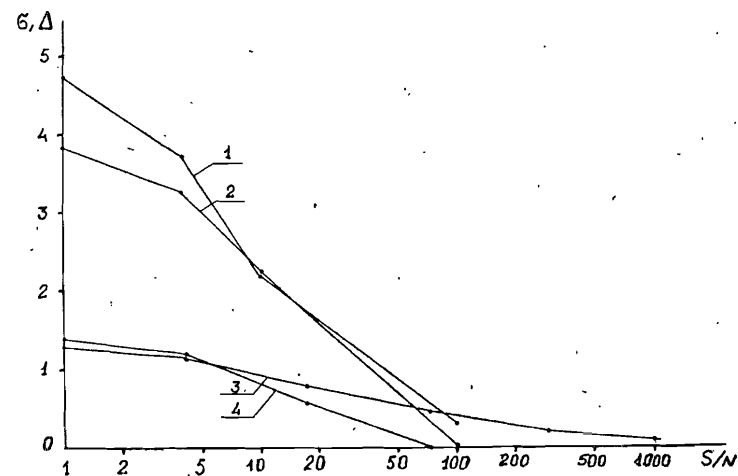


Рис. 2. Ошибки локализации границы.

линии контура, разность значений входной функции по обе стороны от этой линии и отношение сигнал/шум задавались с терминала. Оценка проводилась по критерию, рассмотренному в ^{4/4}, для чего рассчитывалась безразмерная величина R :

$$R = \frac{100}{I} \sum_{k=1}^{I_c} \frac{1}{1 + a \cdot d_k^2}, \quad \text{где}$$

$$I = \max(I_1, I_0);$$

I_1, I_0 - число точек в идеальном и рассчитанном контурах;

$a = 1/9$ - масштабный множитель;

$d_k = d(k)$ - расстояние (в элементах разрешения) между точкой рассчитанного перепада и линией, состоящей из точек идеального перепада, измеренное по нормали к этой линии.

Выбор критерия объясняется тем, что по нему были оценены другие алгоритмы, названные в ^{4/4} "наиболее обещающими".

Оценка проводилась на входном окне размером 64x64 элемента, значениях входной функции в диапазоне 0+255, в присутствии независимого гауссова шума. Отношение сигнал/шум определялось как и в ^{4/4}:

$$S/N = \frac{H^2}{D}, \quad \text{где}$$

H - высота перепада входной функции на контуре;

D - дисперсия гауссова шума.

Эффективность различных алгоритмов, рассчитанная на ЭВМ по приведенному выше критерию, приведена на рис.1, где график 1 соответствует алгоритму Хюккеля, а графики 2+6 заимствованы из ^{4/4} и показывают эффективность операторов Кирша (2), Собела (3), "восточного курсового" оператора (4) и двух вариантов оператора Робертса (5,6). Из этих графиков следует значительное преимущество алгоритма Хюккеля.

Следует отметить, что приведенные в ^{2/2} на рис.13,14 экспериментальные данные сравнения предложенного авторами алгоритма с алгоритмом Хюккеля получены для круглого входного окна. Кроме того, условия этого эксперимента рассмотрены в ^{2/2} недостаточно полно для того, чтобы его можно было повторить с другими алгоритмами или в более широком диапазоне отношений сигнал/шум.

На рис.1 (график 7) представлена также зависимость усредненной относительной ошибки оценки средних значений входной функции по обе стороны от границы (δ %), полученная для алгоритма Хюккеля при рассмотренных выше условиях модельных испытаний.

Для сравнения одномерного аналога алгоритма Хюккеля с алгоритмом, предложенным в ^{2/2}, были проведены модельные испытания при тех же условиях, что и в ^{2/2}:

- эффективность алгоритмов оценивалась по среднеквадратичному (σ) и усредненному абсолютному (Δ) отклонениям от заданной абсциссы "А" идеального перепада входной функции (одномерного аналога границы);

- входная функция задавалась на 20 элементах разрешения (длина входной серии);

- A=10 и A=6 при расчетах σ и Δ соответственно;

- присутствовал нормальный аддитивный шум;

- каждый из параметров σ и Δ рассчитывался в сериях из 200 независимых испытаний.

Результаты проведенных испытаний представлены на рис.2, где по оси абсцисс отложено отношение сигнал/шум в тех же единицах, что и на рис.1, а по оси ординат - величины σ и Δ в элементах разрешения. Зависимости Δ и σ представлены соответственно графиками 2,4 для одномерного аналога алгоритма Хюккеля и графиками 1,3 - для алгоритма, предложенного в ^{2/2}, откуда и заимствованы данные для построения двух последних.

Из рис.2 следует преимущество одномерного аналога алгоритма Хюккеля, по крайней мере в области слабых шумов.

В качестве иллюстрации на рис.3,4,5 представлены результаты работы созданных программ при различных отношениях сигнал/шум. На них AL(AR) - ординаты пересечения линией границы левой (правой) стороны входного окна.

Для измерений на автомате АЭЛТ-2/160 была создана специальная программа. Измерения проводились на стандартном ступенчатом клине, применяемом в денситометрической аппаратуре, как в режиме сканирования, так и в режиме измерения амплитуд сигналов. В обоих случаях находились параметры линейной границы между соседними полями ступенчатого клина, имеющими разную оптическую плотность (ОП). В режиме сканирования уровень дискриминации подбирался для каждой из пяти сканируемых границ. После фильтрации рассчитывались их МНК-параметры. В режиме измерения амплитуды подстройка на границах не проводилась. Их параметры находились с помощью алгоритма Хюккеля. Сравнение проводилось по угловому положению границ в системе координат автомата.

Многочисленные измерения показали, что среднеквадратичный разброс углового положения границ в обоих случаях растет с увеличением оптической плотности клина (разность ОП соседних полей клина примерно постоянна по всей его длине). При этом режим сканирования всегда давал худшие результаты - среднеквадратичные разбросы были в 2+5 раз выше.

- обработка контурных изображений с линеаризацией элементов контура в пределах входного окна, а в одномерном варианте - локализация перепада входной функции.

Литература

1. Hueckel M.H. An Operator which Locates Edges in Digitized Pictures. JASM, 18, No1, 1971, p.113.
Русский пер. в сб.: Интегральные роботы (под ред. Г.Е. Поздняка). Вып. I, "Мир", М., 1975, с.225.
2. Tatabai A.J., Mitchell O.R. Edge Location to Subpixel Values in Digital Imagery. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-6, No.2, March 1984, p.188.
3. Мери Л., Васси Э.-В кн.: Труды IV Международной конференции по искусственному интеллекту. т.8, М., 1975, 8.58.
4. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Т.2, "Мир", М., 1982.
5. Баранчук М.К. и др. ОИЯИ, Р10-886I, Дубна, 1975.
6. Баранчук М.К. и др. ОИЯИ, Р10-83-538, Дубна, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 декабря 1986 года.

Лапчик Э.Д.

P10-86-856

Реализация и оценка эффективности интегрального алгоритма Хюккеля

Рассмотрена реализация интегрального алгоритма Хюккеля в виде программ на ЭВМ типа СМ-4 с необходимыми упрощениями для принятой формы входного окна. Показана более высокая помехоустойчивость этого алгоритма по сравнению с некоторыми другими, а применительно к сканирующему автомату АЭЛТ-2/160 /ЛВТА ОИЯИ/ - по сравнению с измерениями в режиме сканирования. При этом необходимые испытания проведены как при цифровом моделировании входной функции, так и при реальных измерениях на АЭЛТ-2/160. Определена область применения созданных программ - обработка контурных изображений. Рассмотрена возможность сокращения времени работы программ применительно к сканирующим автоматам типа АЭЛТ-2/160.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Lapchik E.D.

P10-86-856

Realization and Efficiency Estimation of Hueckel's Edge Operator

Hueckel's integral algorithm realization as programs on the SM-4 computer with necessary simplifying for a defined entry window is considered. Lower noiseproof to noises of this algorithm as compared with some others, and with scanning mode measurements with AELT-2/160 CRT Scanning Device (LCTA, JINR) is shown. The necessary tests are performed both by digital model of the entry function and by real measurements with AELT-2/160. The processing of boundary images is an area of using the created programs. A possibility of running time decreasing due to using computer scanning devices of AELT-2/160 type is discussed.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986