

## ВЫДЕЛЕНИЕ В КАДРЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ПРИЗНАКОВ ИСКОМЫХ ОБЪЕКТОВ

к.т.н. В.Е. Саваневич, Д.В. Руденко

В статье рассматриваются операции экономичного, с точки зрения трудоемкости, алгоритма выделения простого образа (ПО), включающего в себя двухэтапную процедуру объединения фрагментов ПО. Приводится оптимальное решающее правило первого этапа данной процедуры.

Современные средства наблюдения, используемые во многих областях человеческой деятельности, дают потребителю огромные потоки информации, из которых очень небольшая часть представляет в каждом конкретном случае действительный интерес. Процесс выделения полезной информации (с целью смягчения требований к средствам обработки) делят на несколько иерархических уровней. На первом из них производится непосредственный (зачастую упрощенный) анализ всего объема поступающей информации с целью обнаружения в ней некоторых первичных признаков искомых объектов. Причем данные признаки должны обладать дополнительным качеством пониженным числом степеней свободы, что при заданной дискретизации изображений обеспечивает минимальное число изоморфных вариантов признака [1]. В этом случае их называют простыми образами (ПО). В силу целого ряда причин одним из наиболее предпочитаемых и употребляемых ПО является прямая, прямой контур и т.д.

Использование ПО уменьшает количество изоморфных вариантов изображения объекта поиска, а следовательно, и число эталонов, и количество операций сравнения с ними (корреляционный метод) на единицы порядков. Однако желательно дальнейшее уменьшение трудоемкости процедур обработки. В информационном кадре размера  $500 \times 500$  дискрет отрезок прямой с параметрами  $\rho, \varphi, l_H, l_K$  размера  $\Delta l = l_K - l_H = 100$  дискрет (см. рис.1) при дискретизации по  $\rho - 3$  дискрета, по  $\varphi - 3^\circ$ , по  $l_H - 5$  дискрет имеет примерно 4300000 изоморфных изображений. А что говорить в случае неизвестной длины простого образа? При использовании в качестве эталонного сигнала матрицы изображения  $20 \times 100$ , считая, что при корреляционном методе на каждый эталон тратится примерно одна

операция сложения и одна операция умножения, на операцию однократного сопоставления эталона и сигнала потребуется 12000 "приведенных" операций (в качестве "приведенной" операции считалась операция сложения, операция умножения была приравнена к пяти операциям сложения). Таким образом, общая трудоемкость составит величину  $4300000 \times 12000 \approx 5.1 \cdot 10^{10}$  приведенных операций.

Примечание [нет1]:

В статье предлагается дальнейшее снижение трудоемкости операций

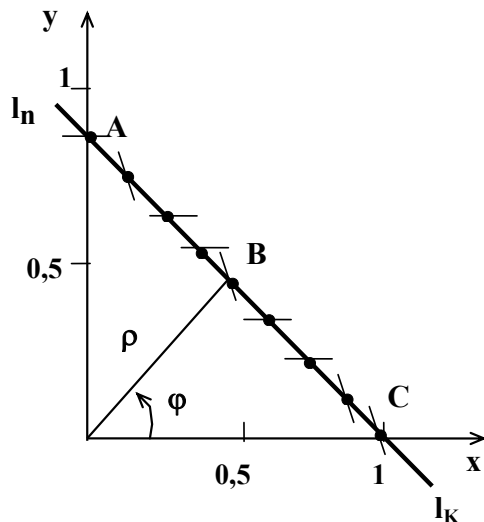


Рис. 1. Модель ПО

выделения ПО (отрезок прямой, прямолинейный контур объекта и т.д.) произвести за счет декомпозиции ПО (его представления в виде совокупности фрагментов, имеющих фиксированную длину), сравнения с эталонами введенных фрагментов ПО и дальнейшим объединением результатов этого сравнения (назовем их для краткости отметками) посредством использования модификации преобразования  $X_0$ . При использовании предлагаемого технического решения информационный кадр разбивается на области (например,  $20 \times 20$  дискрет), в каждой из которых вводятся четыре эталона (рис.2) и производится их сравнение с изображением области. Данные области пересекаются, накладываясь друг на друга с заданным шагом (например, 10 дискрет по каждой координате). Нетрудно показать, что в перечисленных выше условиях число введенных областей в информационном кадре составит примерно 2500, число используемых эталонов - 10000, а трудоемкость операций, необходимых для сопоставления сигналов и эталонов во всем кадре, составит примерно  $10000 \times 20 \times 20 \times 6 = 2.4 \cdot 10^7$  приведенных операций.

Данные области пересекаются, накладываясь друг на друга с заданным шагом (например, 10 дискрет по каждой координате). Нетрудно показать, что в перечисленных выше условиях число введенных областей в информационном кадре составит примерно 2500, число используемых эталонов - 10000, а трудоемкость операций, необходимых для сопоставления сигналов и эталонов во всем кадре, составит примерно  $10000 \times 20 \times 20 \times 6 = 2.4 \cdot 10^7$  приведенных операций.

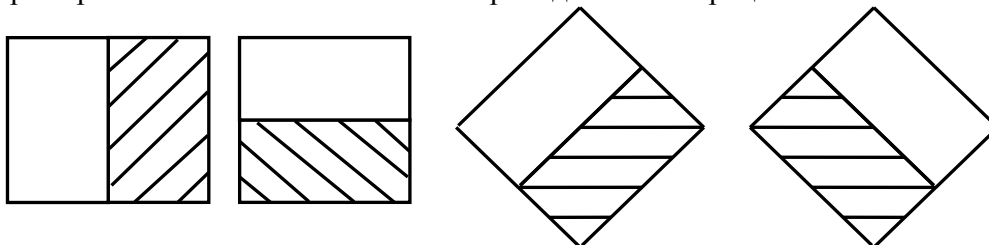


Рис. 2. Эталоны, используемые для выделения фрагмента ПО

Аналогичный результат может быть получен при использовании окна  $10 \times 10$  и шаге его перемещения 5 дискрет. Использование в каждом окне только четырех эталонов вызвано тем, что на столь малом фрагменте кадра достичь большой точности определения параметров прямой  $(\rho, \varphi)$  все равно либо невозможно, либо очень трудно.

Объединение результатов сравнения во введенных окнах и последующее принятие решения о наличии ПО в соответствии с критерием максимального правдоподобия и нормальной моделью ошибок определения координат осуществляется в соответствии с решающим правилом (РП):

$$\max_{\hat{\mathcal{G}}} \prod_{n=1}^N \left[ \eta + \sum_{j=1}^{L_n} \hat{a}_n^{(j)} G(\varphi, \hat{\varphi}) \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma_n^{(j)2}} \left[ \left( x_n(\hat{\mathcal{G}}) - \hat{x}_n^{(j)} \right)^2 + \left( y_n(\hat{\mathcal{G}}) - \hat{y}_n^{(j)} \right)^2 \right] \right\} \right] > \Pi, \quad (1)$$

где  $\hat{\mathcal{G}} = \{ \hat{\rho}, \hat{\varphi}, \hat{l}_n, \hat{l}_k \}$  - оценка вектора параметров ПО;  $N$  - число областей, на которые разбивается кадр;  $\eta$  - константа аппроксимации, позволяющая учесть возможность "пропадания" отметок, соответствующих истинному ПО;  $L_n$  - число отметок, сформированных в  $n$ -й области;  $j$  - номер отметки  $n$ -й области;  $\hat{a}_n^{(j)}$  - с точностью до констант максимальное значение отношения правдоподобия, соответствующее  $j$ -й отметке  $n$ -й области;  $G(\varphi, \hat{\varphi})$  - функция, являющаяся аналогом плотности распределения  $\hat{\varphi}$  при условии, что истинное значение параметра  $\varphi$ ;  $\sigma_n^{(j)2}$  - дисперсия ошибки определения координат центра, находящегося в  $n$ -й области кадра фрагмента ПО;  $x_n(\hat{\mathcal{G}})$ ,  $y_n(\hat{\mathcal{G}})$  - сглаженные оценки координат центра фрагмента ПО, находящегося в  $n$ -й области кадра;  $\hat{x}_n^{(j)}$ ,  $\hat{y}_n^{(j)}$  - координаты  $j$ -й отметки.

РП (1) с целью уменьшения трудоемкости его операций может быть реализовано по двухэтапной схеме. На первом этапе на основе первичных решений, полученных в каждом окне кадра, принимается решение о возможном наличии ПО на той или иной прямой. На втором - принимается окончательное решение о наличии ПО с указанием координат его начала и конца. РП первого этапа можно получить на основании РП (1) путем интегрирования его левой части по параметрам положения фрагментов ПО

на прямой с одновременным отказом от информации о положении и порядке следования друг за другом фрагментов ПО:

$$\max_{\hat{\rho}, \hat{\varphi}} \prod_{n=1}^N \left[ C_{\eta} + \sum_{j=1}^{L_n} \hat{a}_n^{(j)} G(\varphi, \hat{\varphi}) \times \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma_n^{(j)2}} \left[ \hat{\rho} - \hat{x}_n^{(j)} \cos \hat{\varphi} - \hat{y}_n^{(j)} \sin \hat{\varphi} \right]^2 \right\} \right] > \Pi, \quad (2)$$

где  $\rho - x \cos \varphi - y \sin \varphi = 0$  - уравнение прямой;  $C_{\eta}$  - константа.

Основное содержание полученного РП в том, что оно предлагает оценить степень уклонения сформированных пиков полей правдоподобия от каждой возможной прямой как от геометрического образа ПО.

РП(2) предписывает: для каждой сформированной отметки рассчитать приращение, которое она

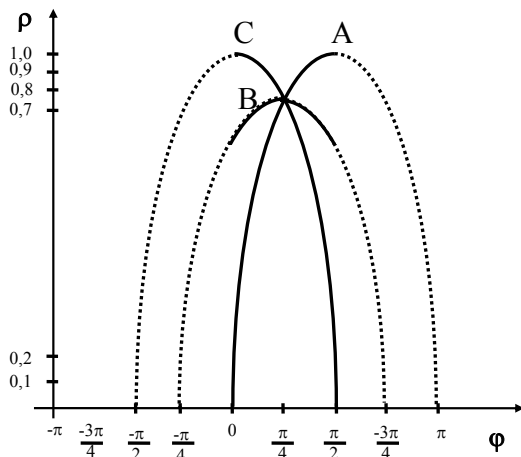


Рис. 3. Модель пространства параметров ПО

доставляет статистике в каждой точке параметрического пространства  $\bar{\mathfrak{S}}_1 = \{\rho, \varphi\}$  (без существенных потерь можно ограничить данное множество точек только теми, которые соответствуют прямым, проходящим в окрестности отметки (рис.3 - сплошные и пунктирные линии) и соответствующим ее ориентации в соответствии с  $G(\varphi, \hat{\varphi})$  (рис.3 - сплошные линии)); полученные статистики в каждой точке параметрического пространства  $\bar{\mathfrak{S}}_1$  для каж-

дой области кадра необходимо перемножить между собой; полученные результирующие статистики необходимо сравнить с порогом. С целью обеспечения реализуемости, очень важной особенностью полученного правила является то, что оно позволяет работать с каждым отдельно взятым пиком поля правдоподобия, не требует при этом какого-либо их группирования, что позволяет при практической реализации весьма естественно распараллелить вычислительный процесс.

С целью обеспечения реализуемости РП(2) в качестве "модели" параметрического пространства можно выбрать дискретную модель.

Отметим, что РП(2) является статистическим аналогом известного в литературе [2] преобразования  $X_0$  и отличается от него использованием функции  $G(\varphi, \hat{\varphi})$ , характеризующей ориентацию выделенного фрагмента ПО.

Операции второго этапа очевидны и здесь не приводятся. Однако отметим, что с целью уменьшения трудоемкости на втором этапе может быть использован, например, классический обнаружитель пачки сигналов [3].

При использовании введенного в начале статьи варианта дискретизации пространства параметров ПО, с учетом того, что значения  $\sin \varphi_i$  и  $\cos \varphi_i$  вычислены заранее и хранятся в ПЗУ, нетрудно показать, что число приведенных операций первого этапа на один выделенный в окне фрагмент ПО составляет величину, не превышающую 6000. При обеспечении условной вероятности ложного срабатывания устройства сравнения изображения окна с эталоном  $F_{cp} = 10^{-2}$  средняя трудоемкость операций первого этапа составит  $100 \times 6000 = 6 \cdot 10^5$  приведенных операций. Трудоемкость операций второго этапа при условной вероятности ложного срабатывания обнаружителя первого этапа  $F_1 = 10^{-3}$  не превысит  $10^6$  приведенных операций.

Тем самым, суммарная трудоемкость операций выделения ПО при предложенном подходе в рассматриваемом примере составит величину, не превышающую  $2.6 \cdot 10^7$  приведенных операций, что примерно на три порядка ниже трудоемкости традиционной схемы выделения ПО. Что касается качества принимаемых решений, то потери в энергии сигналов от искомых объектов при использовании описанного подхода (возникают из-за неточного учета формы этих сигналов), судя по результатам проведенного статистического моделирования, не превышают 20%. Указанные потери можно считать разумной платой за значительное снижение трудоемкости используемых процедур.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Параллельные методы и средства распознавания образов. Том 2. /Под ред. А.Н.Свенсона. - Киев. : Наук. думка, 1985. - 280с.
2. Лабунец В.Г., Чернина С.Д. Теория и применение преобразования  $X_0$  //Зарубежная радиоэлектроника. - 1987.-N 10. -С. 48 - 56.
3. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. -М.: Радио и связь, 1986. - 352с.