А.В. ТЕРЕХИН

Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», г.Муром

Алгоритм вычисления диагональных признаков формы

УДК 004.932.2

В связи с повсеместным распространением систем машинного зрения, и постоянным увеличением задач, которые необходимо решать с помощью этих систем, появляется необходимость увеличивать возможности и улучшать алгоритмы цифровой обработки изображений. Одной из основных задач систем технического зрения является распознавание объектов. Оно базируется на определении признаков объектов и последующем их сравнении. В зависимости от конкретно поставленной задачи системы машинного (технического) зрения, или СТЗ, различаются техническим оснащением, но их всех объединяет то, что они для идентификации конкретных объектов используют наборы признаков, определенным образом предварительно преобразованных [1, 2]. Конкретные значения этих наборов признаков формируют эталоны объектов. На данный момент при классификации объектов достаточно точно форму объекта можно описать с помощью методов контурного анализа [2, 6]. Но они являются довольно трудоемкими в расчетах и временные затраты на их вычисление возрастают прямо пропорционально количеству объектов. Поэтому задача предварительной классификации объектов по признакам формы является актуальной.

Большинство существующих признаков формы [3, 4, 5] опираются на признаки, считываемые непосредственно с изображения и не дают широкой классификации объектов. Такие признаки как площадь, периметр, отношение периметра к площади и многие другие коэффициенты [3, 4, 5], дают описание лишь отдельного объекта и не могут различить группу похожих по форме объектов. Например, два объекта могут иметь одинаковую площадь, но при этом быть совершенно разными по форме. То же самое относится и к периметру. Многие геометрические коэффициенты дают числовые значения, которые нельзя объединить в группы, они являются отличительными признаками конкретного объекта и отличают его от всех других объектов из выборки. Важность признаков формы заключается в простоте их реализации и минимальных временных затратах на вычисления.

Прямоугольный коэффициент формы, далее ПКФ, характеризует отношение меньшей стороны объекта к большей, и вычисляется по алгоритму, описанному в [1, 2]. Обозначается $k_{пр}$. Данный признак может хорошо отсеивать объекты по их «вытянутости», то есть классифицировать объекты на те, которые можно «вписать» в квадрат, и те которые можно вписать в «прямоугольник» (см. рис. 1). Область значений коэффициента находится в диапазоне (0;1]:

$k_{пр} = 1$, если $a = b$

$k_{пр} \to 0$, если $a >> b$

где a,b – стороны описанного прямоугольника

Одним из его недостатков является то, что он может разделить все объекты не более чем на две группы (объекты вписываемые в прямоугольник и квадрат). Вторым недостатком данного признака является то, что он не сможет различить между собой объекты отношение ширины/длины которых одинаково (например круг, квадрат).

С учетом вышеописанных недостатков появляется задача дополнения стандартного признака формы новыми коэффициентами, позволяющими различать плоские геометрические объекты.

Решение поставленной задачи осуществляется описанными ниже признаками (диагональный коэффициент формы и коэффициенты диагональных отрезков).

Введем определения.

Максимальный отрезок объекта – отрезок, соединяющий 2 точки контура объекта и имеющий максимальную длину (рассчитывается по алгоритму, описанному в [1, 2]). В данной статье максимальный отрезок объекта считается его **главной диагональю** (Рис. 1 c).

Побочная диагональ объекта – отрезок, соединяющий противоположные точки контура объекта и находящийся на линии, проходящей через центр объекта, и соединяющий правую нижнюю и левую верхнюю вершины описанного прямоугольника (Рис. 1 d).

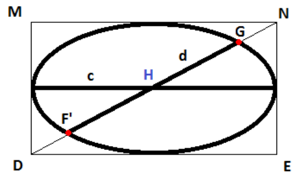

Рис. 1 Пример плоской геометрической фигуры, вписанной в прямоугольник

Диагональный коэффициент – признак формы, вычисляющий соотношения между главной и побочной диагоналями объекта (обозначается $k_Д$).

Диагональный отрезок описанного прямоугольника – отрезок, соединяющий центр фигуры и одну из ее вершин (данный отрезок лежит на диагонали прямоугольника – Рис. 1 – HN).

Диагональный отрезок объекта – отрезок лежащий на одной из диагоналей описанного вокруг него прямоугольника и соединяющий центр объекта и точку пересечения контура объекта с этой диагональю (коэффициенты диагональных отрезков обозначаются $k_{ДО1}, k_{ДО2}, k_{ДО3}, k_{ДО4}$, на Рис. 1 – HG).

Половинчатые объекты – объекты в которых середина максимального отрезка лежит на одной из граней описанного вокруг него прямоугольника (Рис. 2 – 1).

Полные объекты – объекты в которых середина максимального отрезка находится внутри описанного вокруг него прямоугольника (Рис. 2 – 2).

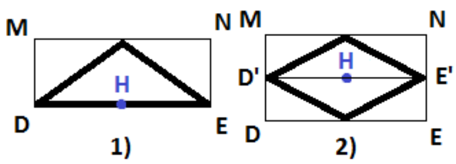

Рис. 2 Пример «половинчатой» и «полной» фигур

Данные коэффициенты позволяют расширить возможности классификации объектов с использованием прямоугольного коэффициента формы.

Алгоритм

1. Строится минимально описанный вокруг объекта прямоугольник, вычисляются его стороны (далее длина/ширина объекта) по алгоритму, описанному в [1, 2];

2. Рассчитывается прямоугольный коэффициент формы по формуле представленной в [3, 4, 5];

3. Выполняется анализ прямоугольного коэффициента формы:

3.1 Если $k_{пр}$ = 1, то объект можно вписать в квадрат и выполняется пункт 4 алгоритма.

3.2 Если 0 < $k_{пр}$ < 1, то объект можно вписать в прямоугольник и выполняется пункт 5.

4. Диагонали объекта близкого по форме к кругу будут равны между собой (диаметры), следовательно $k_Д$ = 1.

Если объект близок по форме к квадрату, то главная диагональ будет гипотенузой в прямоугольном треугольнике, а побочная диагональ – катетом (рис. 3 – 1).

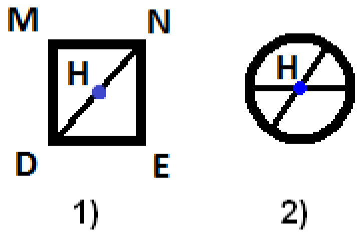

Рис. 3 Изображение квадратного и круглого объектов

a = DE, c = DN, a – сторона квадрата, c – главная диагональ объекта.

Отсюда

$$k_Д = \frac{a}{c}$$

В прямоугольном треугольнике DNE:

$c^2 = a^2 + a^2 = 2a^2$, $c = a\sqrt{2}$,

$$k_Д = \frac{a}{c} = \frac{a}{a\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}.$$

Следовательно для квадрата минимальное значение $k_Д = \frac{\sqrt{2}}{2}$

Если $k_Д = 1$, то есть главная и побочная диагональ равны, то объект является кругом (Рис. 3 – 2).

Таким образом $\frac{\sqrt{2}}{2} < k_Д < 1$ при $k_{пр} \to 1$ (крайние значения ДКФ описывают форму близкую к окружности и к квадрату).

5. Определение типа объекта по положению середины максимального отрезка. Точка H (рис. 2) в обоих случаях обозначает центр самого длинного отрезка в фигуре, соединяющего 2 точки

контура. В 1 случае точка H лежит на одной из граней описанного прямоугольника (Рис. 2 - 1), во втором случае внутри (Рис. 2 - 2).

Разделение объектов на группы по данному признаку классификации осуществляется проверкой точки на принадлежность линии, и определяется по формуле прямой:

Ax+By+C=0

Вычисление коэффициентов A,B,C осуществляется стандартными программами при известных координатах начала и конца отрезка.

Если H $\in$ DE и объект «половинчатый»;

Если H $\notin$ DE и объект «полный».

5.1 Половинчатые фигуры

По значениям коэффициентов диагональных отрезков половинчатые фигуры делятся на подклассы треугольники и полукруг.

5.1.1 Треугольники

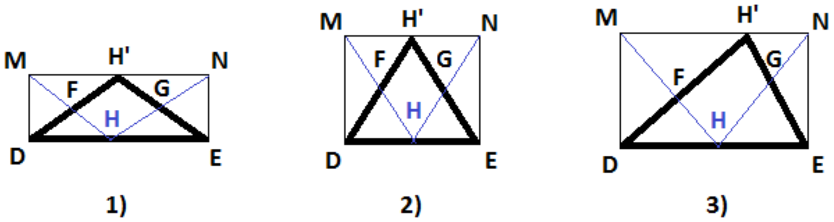

Рис. 4 Различные виды треугольников

На рис. 4 диагональными отрезками объектов являются HF, HG, а диагональными отрезками описанных прямоугольников – HM, HN. Они находятся по формуле Евклидова расстояния:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2)}$$

где $(x_1; y_1)$, $(x_2; y_2)$ - координаты начала и конца отрезков.

Для вычисления координат точек F и G находится решение системы уравнений прямых:

$$\begin{cases} Ax + By + C = 0, \\ A'x + B'y + C = 0 \end{cases}$$

где *A, B, C* и *A',B',C'* – постоянные коэффициенты, причем *A* и *B*, и соответственно *A'* и *B'* не равны нулю одновременно.

(x,y) – координаты точки пересечения отрезков.

Коэффициенты диагональных отрезков для треугольников и полукруга рассчитываются по следующим формулам:

$$k_{ДО1} = \frac{HF}{HM}$$

$$k_{ДО2} = \frac{HG}{HN}$$

5.1.1.1 Разносторонний треугольник

В прямоугольнике HH'MD (рис. 4 – 1,2) отрезки HM и DH' являются диагоналями, они равны и их пересечение делит их пополам, следовательно HF = HG, MF = GN, а для произвольного треугольника данные диагональные отрезки не будут равны между собой и соответственно коэффициенты диагональных отрезков:

$$k_{ДО1} \neq k_{ДО2}$$

5.1.1.2 Равносторонний треугольник

В соответствии с рассуждениями в 5.1.1.1 для равностороннего треугольника:

$$k_{ДО1} = k_{ДО2} = \frac{1}{2}$$

Данный коэффициент делает различие между двумя видами треугольников и полукругом.

Для отличия равностороннего треугольника и полукруга от равнобедренного треугольника вводится коэффициент радиусов (обозначается k_p). В равностороннем треугольнике (рис. 4 – 2) $HG = HE$ коэффициент радиусов:

$$k_p = \frac{HG}{HE} = 1$$

Для того чтобы отличить между собой равнобедренный и равносторонний треугольники необходимо снова воспользоваться прямоугольным коэффициентом формы.

Из прямоугольного треугольника HNE (рис. 4 – 2), *HG*=*GN*, *HG*=*HE*, $HN^2 = NE^2 + HE^2$, $(2HE)^2 = NE^2 + HE^2$, $NE^2 = HE^2 - 4HE^2 = 3HE^2$, $NE = HE\sqrt{3}$.

Так как H является серединой DE, то DE = 2HE.

Для равностороннего треугольника:

$$k_{пр} = \frac{NE}{DE} = \frac{HE\sqrt{3}}{2HE} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Так как равносторонний треугольник является частным случаем равнобедренного то чтобы различить их между собой, значение $k_{пр}$ не должно быть равным $\frac{\sqrt{3}}{2}$:

$$k_{пр} \neq \frac{\sqrt{3}}{2}$$

5.1.1.3 Равнобедренный треугольник

Для равнобедренного треугольника вышеописанные коэффициенты принимают следующие значения (аналогично рассуждениям в 5.1.1.1):

$$k_{ДО1} = k_{ДО2} = \frac{1}{2}$$

В равнобедренном треугольнике (рис. 4 часть 1) $HG \neq HE$:

$$k_p = \frac{HG}{HE} = \frac{HF}{HD} = \frac{\sqrt{NE^2 + HE^2}}{2HE^2}$$

(при $NE = HE\sqrt{3}$ – треугольник будет равносторонним)

$$k_{пр} \neq \frac{\sqrt{3}}{2}$$

5.1.2 Полукруг

Так как HF,HD (рис. 5) в полукруге являются радиусами, HF=HD=HJ, HJ=MD, то HF=HD=HJ=MD. Из прямоугольного равнобедренного треугольника HMD: $HM^2 = MD^2 + HD^2 = HF^2 + HF^2 = 2HF^2$, $HM = HF\sqrt{2}$

Для полукруга (рис. 5) коэффициенты будут выглядеть следующим образом:

$$k_{ДО1} = \frac{HF}{HM} = k_{ДО2} = \frac{HG}{HN} = \frac{HF}{HF\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

В полукруге (рис. 5) $HG = HE = HF = HD$, и соответственно коэффициент радиусов:

$$k_p = \frac{HF}{HD} = 1$$

Так как в полукруге HD,HF,HG,HE являются радиусами, то DE = 2 HD, MD=HD и ПКФ:

$$k_{пр} = \frac{MD}{DE} = \frac{HD}{2HD} = \frac{1}{2}$$

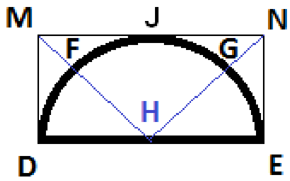

Рис. 5 Полукруг

Для вычисления координат точек F, G необходимо решить систему уравнений окружности и прямой, на пересечениях которых они находятся:

$$\begin{cases} Ax + By + C = 0, \\ (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2 \end{cases}$$

Где $(x, y), (x_0, y_0)$ – координаты искомой точки, центра окружности,

R – радиус окружности.

Решение аналитических описаний прямой и кривых для нахождение точек пересечений (общих точек) осуществляется стандартными программами, при известных координатах концов отрезка, центра окружности и величине радиуса окружности.

5.2 Полные фигуры

Так как для «полных» фигур (рис.6) точка H находится в центре описанного прямоугольника, то для их описания уже потребуется не 2 коэффициента диагональных отрезков, а 4.

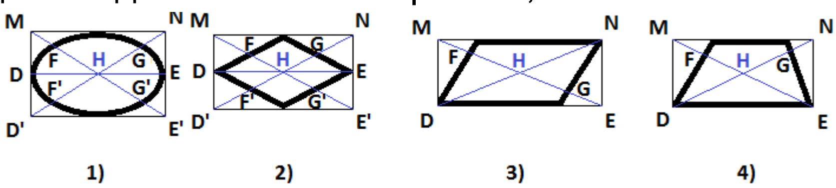

Рис. 6 «Полные фигуры»

5.2.1 Группа фигур с одинаковыми коэффициентами диагональных отрезков.

К данной группе относятся эллипс и ромб (рис. 6 часть 1,2).

$$k_{ДО1} = \frac{HG}{HN};\ k_{ДО2} = \frac{HF}{HM};k_{ДО3} = \frac{HG'}{HE'};\ k_{ДО4} = \frac{HF'}{HD'}$$

Объединяет объекты в этой группе равенство между собой всех четырех диагональных отрезков:

$$k_{ДО1} = k_{ДО2} = k_{ДО3} = k_{ДО4}$$

А различает значение коэффициентов

Ромб:

$$k_{ДО1} = k_{ДО2} = k_{ДО3} = k_{ДО4} = \frac{1}{2}$$

Эллипс

$$k_{ДО1} = k_{ДО2} = k_{ДО3} = k_{ДО4} \neq \frac{1}{2}$$

5.2.2 Группа фигур с различающимися между собой коэффициентами диагональных отрезков.

Для параллелограмма коэффициенты диагональных отрезков следующие:

$$k_{ДО1} = \frac{HN}{HN} = 1;\ k_{ДО2} = \frac{HG}{HE} < 1\ ;\ k_{ДО3} = \frac{HD}{HD} = 1\ ;\ k_{ДО4} = \frac{HF}{HM} < 1$$

Для трапеции:

$$k_{ДО1} = \frac{HF}{HM} < 1\ ;\ k_{ДО2} = \frac{HG}{HN} < 1\ ;\ k_{ДО3} = \frac{HD}{HD} = 1\ ;\ k_{ДО4} = \frac{HE}{HE} = 1$$

При $k_{ДО1} = k_{ДО2}$ трапеция будет равнобедренной.

Различие данной группы объектов от предыдущей в том, что коэффициенты диагональных отрезков в данном случае не все равны между собой.

Внутригрупповое различие заключается в том, что в параллелограмме попарно равны коэффициенты противоположных диагональных отрезков, а в трапеции 2 смежных.

Заключение

По предложенным алгоритмам были проведены исследования на тестовых геометрических объектах.

Было сгенерировано по 1000 объектов каждого типа формы со случайно измененными размерами.

Целью исследования было экспериментальное подтверждение математических расчетов и сравнение соответствующих значений коэффициентов отдельных объектов.

На основе полученных признаков, для проведения исследований, была разработана программа выполняющая распознавание плоских геометрических фигур.

В результате проверки, все тестовые объекты были распознаны с вероятностью 100%.

Таким образом можно сделать выводы что предложенные диагональные признаки формы могут использоваться в системах распознавания, где необходимо различать объекты близкие по форме к геометрическим примитивам.

Литература

1. Садыков С.С., Савичева С.В. «Предварительная обработка изображений плоских объектов в системах технического зрения», //«Приборостроение», №2, 2012. С. 19-24.

2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р.Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. - 1072 с.

3. Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений с помощью вычислительных машин. – М.: Мир, 1972. – 232 с., ил.

4. Садыков С.С., Стулов Н.Н. Методы и алгоритмы выделения признаков объектов в системах технического зрения. М.: Горячая линия – Телеком, 2005. 204с.: ил.

5. Хорн Б. К. П., Зрение роботов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 487 с., ил.

6. Фурман Я. А. Введение в контурный анализ и его приложения к обработке изображений и сигналов. – М.: Физматлит, 2002. - 297 с.