

С.С. САДЫКОВ,
С.В. САВИЧЕВА

Оценка возможностей методов распознавания плоских объектов

УДК 004.932.2

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

Осуществлено сравнение четырех алгоритмов распознавания наложенных двух реальных плоских объектов на основе А-алгоритма, методов Байеса и k -средних, а также EM-метода. В качестве признаков при идентификации использованы значения кривизны в точках контура, длины выпуклых и вогнутых участков, а также коэффициенты выпуклости и вогнутости контура объекта.

Введение

Автоматические системы распознавания (АСР) в настоящее время в промышленности находят широкое применение. Основной задачей АСР при этом является узнавание объектов, расположенных в поле зрения видеодатчика с целью дальнейшей передачи управления роботу для захвата их с ленты конвейера.

Данная задача по степени сложности включает в себя распознавание:

- единственного объекта;
- несколько (однотипных и разнотипных) изолированных друг от друга объектов;
- двух (однотипных и разнотипных) соприкасающихся и наложенных друг на друга объектов.

При использовании АСР возможно возникновение трех перечисленных выше ситуаций распознавания объектов как отдельно, так и в совокупности.

В связи с этим актуальным является вопрос разработки автоматической системы распознавания, которая будет сортировать плос-

кие промышленные детали и изделия, расположенные на ленте конвейера, как по отдельности, так и в наложенном состоянии с использованием быстродействующих и точных алгоритмов распознавания [1].

Алгоритмы распознавания

Предлагаемый подход идентификации плоских объектов при их наложении состоит из двух этапов:

Этап 1. Обучение АСР

Этап 2. Распознавание

На этапе обучения реализуются следующие шаги:

1. Формирование эталонных A_3 -функций отдельных исходных объектов.

2. Генерация эталонных и экзаменационных наложенных двух объектов (два или три наложенных объекта назовем сложным объектом).

3. Формирование эталонных A_3 -функций сложных объектов.

На этапе экзамена реализуются следующие шаги:

1. Генерация экзаменационного сложного объекта из известных отдельных объектов

2. Формирование A -функции сложного экзаменационного (входного) объекта.

3. Определение классов сложных объектов, к которым относится экзаменационный (входной) объект.

4. Распознавание каждого отдельного объекта в сложном (по найденной A_3 -функции) и определение их расположения в найденном сложном объекте.

5. Оценка вероятности ошибки и правильности распознавания

А. Формирование эталонных A_3 -функций исходных объектов.

Пусть используется n исходных объектов. Для каждого исходного объекта вычисляются значения A -функции и эти функции размещаются в базу эталонов как A_3 -функции.

Под A -функцией понимается последовательность значений кривизны, вычисленной в каждой точке дискретного контура изображения объекта [2-4].

Б. Генерация наложенных объектов для каждого сочетания исходных объектов и формирование классов наложенности.

Из выбранных 10 тестовых объектов формируется 55 сочетаний наложенных двух плоских объектов и 120 сочетаний наложенных трех плоских объектов.

Для каждого сочетания формируется 2000 вариантов наложения объектов. При этом угол поворота каждого объекта меняется случайным образом от 0 до 360 градусов.

Для распознавания предусмотрено сохранение как по одному эталону, так и множества. Это позволит определить количество эталонов, при котором наблюдается минимальная ошибка распознавания. При этом в качестве эталонов наложенных объектов сохраняются наиболее часто встречающиеся случаи наложения объектов, что позволит минимизировать число ошибок.

В. Вычисление признаков объектов и формирование на их основе векторов-признаков эталонов наложенных объектов.

Основным признаком, используемым при идентификации являются значения А-функции контуров изображений наложенных объектов.

Дополнительными признаками являются: длины вогнутых и выпуклых участков контура и коэффициенты вогнутости и выпуклости контура.

Длины выпуклых и вогнутых участков и коэффициенты вогнутости и выпуклости контура определяются по формулам в [1].

Таким образом, на этапе обучения формируется K кластеров. Число кластеров K равно числу сочетаний исходных объектов. В данном случае для двух наложенных объектов $K=55$, а для трех – $K=120$. В состав каждого кластера Q_r ($r=1, \dots, K$) входят значения M_r эталонных векторов-признаков для каждого сочетания n исходных объектов (их может быть как по одному, так и множество). Общее число эталонов составляет M .

Вектора-признаков в общем виде они могут быть представлены следующим образом (рис. 1):

x_1	x_2	...	x_n
a_1	a_2	...	a_n
y_1	y_2	y_3	y_4
$l_{вогн}$	$l_{выпн}$	$k_{вогн}$	$k_{выпн}$

Рис. 1. Вектор-признаков

Этап распознавания

Состоит из двух шагов:

Шаг 1. Определение класса наложенных объектов

Шаг 2. Распознавание каждого объекта в наложенном.

Шаг 1. Пусть имеется выборка, состоящая из N изображений наложенных объектов для каждого из K кластеров.

Для каждого изображения в кластере сформирован n -компонентный вектор признаков $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$.

Задача состоит в сравнении векторов-признаков экзаменационного (неизвестного) объекта со всеми векторами-признаков эталонов по кластерам наложенных объектов с использованием А-алгоритма, метода Байеса, k -средних, EM-алгоритма.

А-алгоритм

Обозначим исходный наложенный объект O_i . Для него формируем вектор признаков X_i^* . Последовательно сравниваем вектор признаков X_i^* наложенного объекта O_i со всеми векторами признаков эталонов по формуле (1):

$$d(X_i^*, X_j^*) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^M |X_i^* - X_j^*|, \quad (1)$$

где M – число точек контура экзаменационного объекта, то есть количество значений кривизны объекта; i – номер экзаменационного объекта; j – номер эталонного объекта; N – число точек контура эталона.

Среди всех значений $d(X_i^*, X_j^*)$ ищется минимальное. Найденный минимум $\min d(X_i^*, X_j^*)$ свидетельствует о том, что часть контура сложного объекта принадлежит эталону с вектором признаков X_j^* .

Таблица 1

Сравнение с векторами-признаками эталонов наложенных объектов

Кластер 1	Кластер 2	...	Кластер 55 (120)
$d_1(X_i^*, X_j^*)$	$d_1(X_i^*, X_j^*)$	...	$d_1(X_i^*, X_j^*)$
$d_2(X_i^*, X_j^*)$	$d_2(X_i^*, X_j^*)$	...	$d_2(X_i^*, X_j^*)$
...
$d_n(X_i^*, X_j^*)$	$d_n(X_i^*, X_j^*)$	...	$d_n(X_i^*, X_j^*)$
$\min d_n(X_i^*, X_j^*)$	$\min d_n(X_i^*, X_j^*)$	...	$\min d_n(X_i^*, X_j^*)$
$\min d = \min_{i=1,55(120)} \{d_n(X_i^*, X_j^*)\}$			

Шаг 2. Шаг 1 позволяет определить из каких объектов состоит сложный объект O_i . Допустим, установили, что наложены объект 1 и объект 2. Задача состоит в определении границ первого и второго объектов в сложном.

Для этого А-функция распознаваемого (неизвестного) объекта сравнивается с A_3 -функциями всех эталонов объекта 1 и объекта 2 по формулам (2):

$$\begin{aligned}\Delta_1 &= \frac{1}{k_1} \sum_{i=1}^{k_1} |\alpha_{эj} - \alpha_{сли}| \\ \Delta_2 &= \frac{1}{k_1} \sum_{i=2}^{k_1+1} |\alpha_{эj} - \alpha_{сли}|, \\ &\dots \\ \Delta_m &= \frac{1}{k_1} \sum_{i=m}^{k_1+m} |\alpha_{эj} - \alpha_{сли}| \end{aligned} \quad (2)$$

где $\alpha_{эj}$ – значения элементов A_3 -функции эталонного объекта ($j=1, 2, \dots, N$); $\alpha_{сли}$ – значения элементов A_3 -функции эталонного сложного объекта O_i ($i=1, 2, \dots, P$); m – число смещений A_3 -функции эталонного объекта $\alpha_{эj}$ для полного обхода контура сложного объекта O_i ; Определяется как:

$$m = 2(N + P), \quad (3)$$

где N – число точек контура эталонного объекта; P – число точек контура сложного объекта O_i .

Результата расчета отклонений Δ_m заносятся в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты расчета отклонений от эталонов объекта 1

Эталон 1	Эталон 2	...	Эталон q
Δ_1	Δ_1	...	Δ_1
Δ_2	Δ_2	...	Δ_2
...
Δ_{m1}	Δ_{m2}	...	Δ_{mq}
$R_1 = \min_{i=1,m} \{\Delta_i\}$	$R_2 = \min_{i=1,m} \{\Delta_i\}$	...	$R_q = \min_{i=1,m} \{\Delta_i\}$

Решение об идентификации принимается на основе следующего выражения, определяемого по таблице 1:

$$\min R = \min_{i=1,q} \{R_i\}, \quad (4)$$

где q – число эталонов.

Аналогичное сравнение А-функции объекта 2 выполняется со всеми A_3 -функциями эталонных объектов.

Метод Байеса

Решение о принадлежности принимается на основе следующего правила:

Объект с номером i и вектором признаков X^ считается принадлежащим к кластеру Q в случае максимума апостериорной вероятности, т.е.*

$$X^* \in Q^*, \text{ если } P_i(Q^* | X^*) = \max P_i(Q_r | X^*),$$

$$\text{где } P_i(Q_r | X^*) = P(Q_r) \frac{P(X^* | Q_r)}{P(X^*)} \quad (5)$$

Входящие в формулу (5) компоненты определяются следующим образом:

$$1. \quad P(Q_r) = \frac{M_r}{M} \text{ – априорная вероятность существования } r\text{-го}$$

класса,

где M_r – число объектов r -го класса в обучающей выборке, M – общее число объектов в обучающей выборке.

$$2. \quad P(X^* | Q_r) = \sum_{j=1}^N P(X_j^* | Q_r) \text{ – вероятность принятия } j\text{-ым вектором}$$

признаков значения X_j^* .

Значение $P(X_j^* | Q_r)$ определяется следующим образом:

$$P(X_j^* | Q_r) = \frac{M_{rj}}{M},$$

где M_{rj} – число объектов обучающей выборки, принадлежащих r -му классу у которых j -ый признак принимает значение X_j^* , M – общее число объектов в обучающей выборке.

3. $P(X^*) = \sum_{r=1}^K P(Q_r) P(X^* | Q_r)$ – вероятность возникновения в обучающей выборке конкретного сочетания конкретных векторов признаков.

Метод k-средних

Решение о принадлежности принимается на основе следующего правила:

Объект с номером i и вектором признаков X^ считается принадлежащим к кластеру Q в случае минимума суммарного квадратичного отклонения точек кластера от центра этого кластера, т.е.:*

$$(X^* - \mu_r)^2 = \min_{r=1, \dots, K} \{(X^* - \mu_r)^2\}, \quad (6)$$

где X^* – вектора-признаков наложенных объектов;

$\mu_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^*$ – центр масс (центроид) кластера;

N – общее число изображений наложенных объектов в кластере Q_r ($r=1, \dots, K$).

EM-алгоритм

Решение о принадлежности неизвестного объекта с номером i и вектором признаков X^* к кластеру Q принимается на основе двух последовательных шагов [1]:

1. Шаг Ожидания (E-алгоритм)

Используя текущее значение вектора-признаков X^* вычисляется значение апостериорной вероятности $P_i(Q_r/X^*)$ по формуле (5).

2. Шаг Максимизации (M-алгоритм)

Для найденных на шаге ожидания значений выполняется оценка максимального правдоподобия по формуле:

$$L = \ln \sum_{r=1}^K P_i(Q_r / X^*) P(Q_r),$$

где $P_i(Q_r/X^*)$ – апостериорная вероятность; $P(Q_r)$ – априорная вероятность существования r -го класса.

Экспериментальные исследования

Исследование алгоритма идентификации двух наложенных плоских объектов по их А-функциям было проведено на выборке, состоящей из 10 реальных объектов (рис. 2).



Рис. 2. Изображения исходных объектов

В качестве эталонов была сгенерированы и сохранены по 100 вариантов наложения для каждого из сочетаний исходных объектов.

Процент наложения и углы поворота объектов менялись случайным образом.

Учитывая, что число сочетаний для 10 объектов равно 55, то общее число сгенерированных эталонов для каждой выборки составило 5500.

Часть из эталонов объектов приведена на рис. 3.

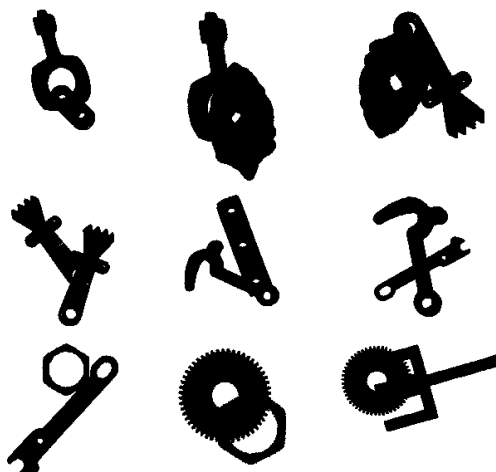


Рис. 3. Примеры наложения реальных плоских объектов

На рис. 4 и 5 представлены графики зависимости максимальной вероятности ошибки от числа эталонов для четырех алгоритмов и графики времени распознавания от количества эталонов.

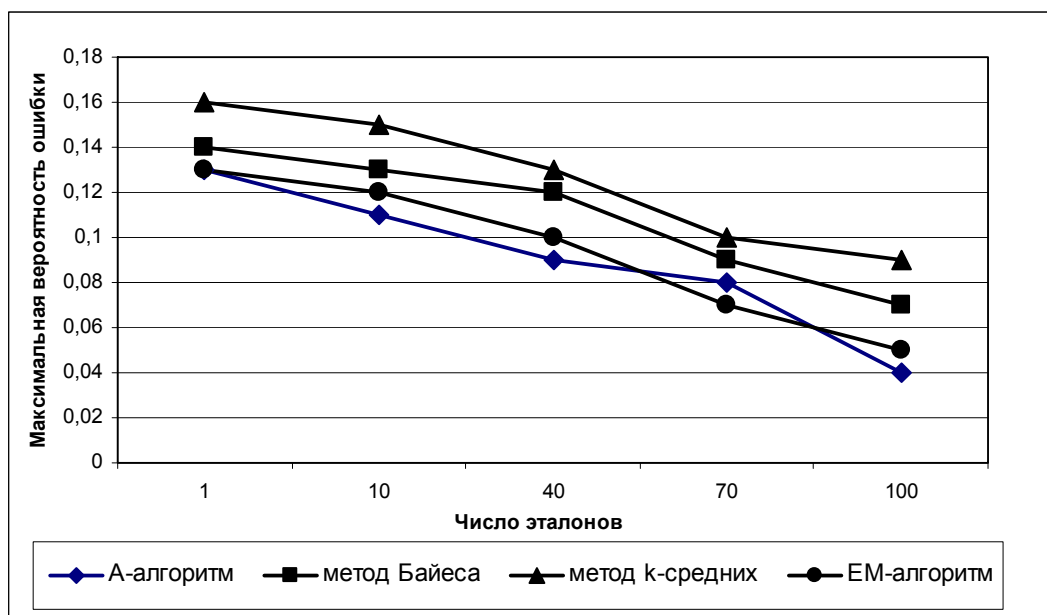


Рис. 4. График зависимости максимальной вероятности ошибки от числа эталонов для четырех алгоритмов

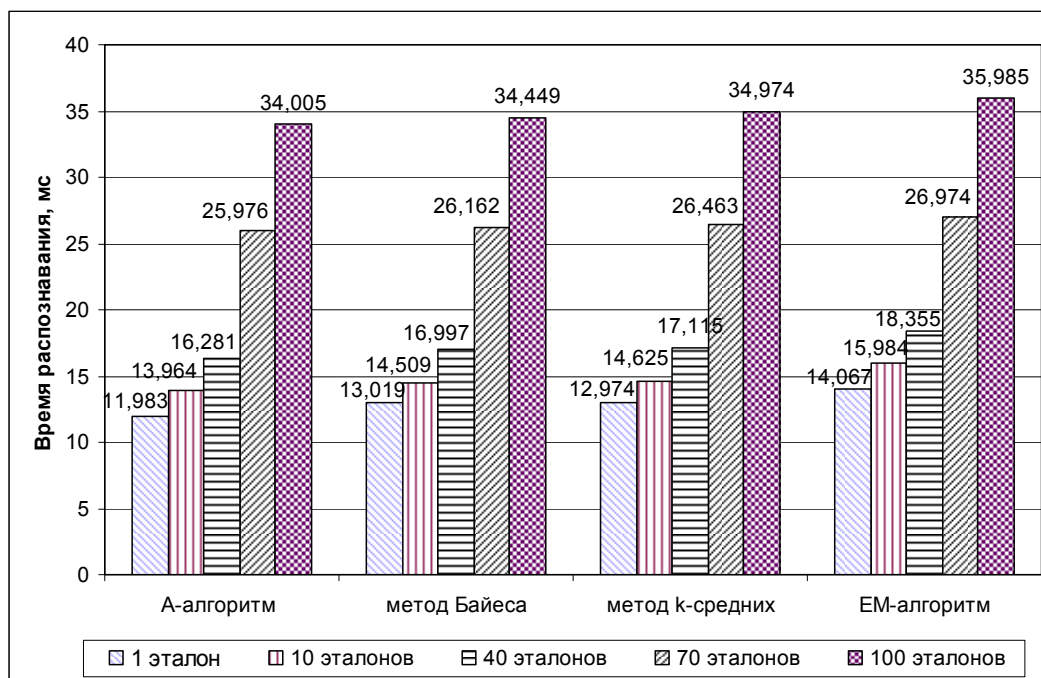


Рис. 5. График зависимости времени распознавания от числа эталонов на объект

Анализ графиков на рис. 4 позволяет сделать вывод, что введение дополнительных признаков и одновременное использование ни одного, а множества эталонов на каждый объект позволяет минимизировать число ошибок при распознавании, которое при 100 эталонах составляет:

- на основе А-алгоритма – 4 %;
- на основе метода Байеса – 7%;
- на основе метода k-средних – 9 %;
- на основе EM-алгоритма – 5 %.

Анализ графиков на рис. 5 позволяет сделать следующие выводы:

1. минимальное время на идентификацию используется алгоритмом распознавания на основе А-алгоритма;
2. максимальное время на идентификацию используется EM-алгоритмом;
3. с увеличением числа эталонов время на распознавание увеличивается по всем алгоритмам.

Заключение

1. Произведен сравнительный анализ алгоритмов распознавания отдельных и наложенных плоских объектов: А-алгоритма, метода Байеса, метода k-средних, EM-алгоритма.

2. В качестве основного признака были использованы значения А-функции. Дополнительными признаками являются длины выпуклых и вогнутых участков, коэффициенты выпуклости и вогнутости контуров объектов.

3. Сравнения показали, что для распознавания отдельных плоских объектов наилучшие результаты как по точности распознавания (100% при 10 эталонах), так и по скорости работы (6,92 мс при 10 эталонах) показывает алгоритм распознавания на основе А-алгоритма.

4. Экспериментально установлено, что при распознавании наложенных объектов А-алгоритм выигрывает у других методов: точность распознавания у А-алгоритма составляет 4%, у метода Байеса – 7%, у k-средних – 9%, у EM-алгоритма – 6%; время, затрачиваемое на идентификацию у А-алгоритма составляет 34,005 мс, у метода Байеса – 34,449 мс, у k-средних – 34,974 мс, EM-алгоритма – 35,985 мс.

5. Основное количество ошибок при распознавании наложенных объектов приходится на ситуации с большим процентом наложения (от 60%). В результате получается, что большая часть одного объекта практически полностью закрыта другим объектом, и его идентифицировать не удастся.

Литература

1. Садыков С.С., Савичева С.В. Распознавание отдельных и наложенных плоских объектов – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2012. – 265 с.

2. Садыков С.С., Савичева С.В. «Алгоритм идентификации плоских объектов с использованием минимального числа признаков» //Автоматизация и современные технологии, 2011. № 7. С. 3-6.

3. Садыков С.С., Савичева С.В. «Идентификация реальных плоских объектов на основе единственного признака точек их внешних контуров», //Информационные технологии, 2011. №8. С.13-16.

4. Садыков С.С., Савичева С.В. «Идентификация реальных плоских объектов на основе их сигнатуры», // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2012. №1. С. 17-20.

E-MAIL: SAVICHEVA.SVETLANA@GMAIL.COM