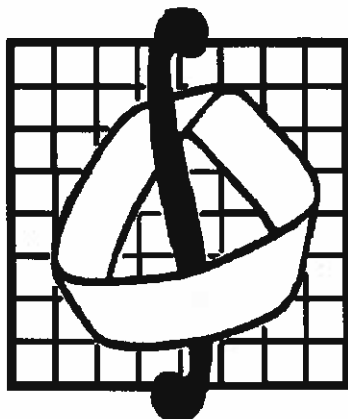


МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА



Механико-математический факультет

МАТЕРИАЛЫ
IX Международной конференции
"Интеллектуальные системы и
компьютерные науки"

(23-27 октября 2006 г.)

ТОМ 2
часть 2

Издательство механико-математического факультета МГУ
2006

УДК 519.95, 519.14, 519.1, 519.6

Издание осуществлено при поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
по проекту № 06-01-10-114

Материалы IX Международной конференции "Интеллектуальные системы и компьютерные науки" (23-27 октября 2006 г.), том 2, часть 2. - М.: Изд-во механико-математического факультета МГУ, 2006.

Сборник содержит работы участников IX Международной конференции "Интеллектуальные системы и компьютерные науки", проходившей на механико-математическом факультете МГУ им. М. В. Ломоносова с 23 по 27 октября 2006 г. при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 06-01-10-114). Сборник адресован научным сотрудникам, преподавателям, аспирантам и студентам, работающих и интересующихся тематикой математических проблем теории интеллектуальных систем и их приложений.

Научное издание

МАТЕРИАЛЫ IX МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ "ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ" (23-27 октября 2006 г.) Под общей редакцией академика Садовниченко В. А., проф. Кудрявцева В. Б., проф. Михалева А. В.

В составлении и редактировании сборника принимали участие: Строгалов А. С., Носов В. А., Уварова Т. Д., Холоденко А. В., Галатенко А. А.

Ответственный за выпуск Строгалов А. С.

© Механико – математический факультет МГУ, 2006

Использование матриц сравнений в задаче поиска по эталону¹

Перевалов Д. С.,

м.н.с., Институт Математики и Механики УрО РАН

620219, г. Екатеринбург,

ГСП-384, ул. С.Ковалевской, 16

e-mail: Denis.Perevalov@mail.ru

Многие задачи анализа изображений реальных сцен зачастую содержат в себе задачу поиска и локализации какого-либо объекта на изображении. Для ее решения обычно используется принцип сопоставления с эталоном [1]. В этом случае перед началом работы системе предоставляется одно или несколько эталонных изображений искомого объекта, по которому строится некоторый критерий сопоставления. С его помощью на входных изображениях ищутся объекты, изображения которых близки к эталонным.

В данной работе вводится один пиксельный критерий сопоставления на основе так называемых матриц сравнений. Для полутонового изображения $X = (X_1, \dots, X_n)^T$, состоящего из n пикселей, $X_i \in [0, 1]$, матрицей сравнений будем называть матрицу $M = M(X)$ размером $n \times n$, задаваемую по правилу

$$M_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{если } X_i \geq X_j \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Это матрица бинарного отношения " \geq " между яркостями пикселей X . Она является представлением изображения в порядковой шкале измерения [2]. В частности, это означает, что M инвариантна к изменениям яркости пикселей изображения с помощью произвольной строго возрастающей функции.

Матрица сравнений является удобным средством для работы со следующей моделью изображения объекта. Зададим эту модель как предикат $P(X)$, который строится по набору непересекающихся множеств пикселей A_1, \dots, A_m и двумя наборами индексов (p_1, \dots, p_K) , (q_1, \dots, q_K) , где $p_k, q_k \in \overline{1, m}$:

$$P(X) = \bigwedge_{k=1}^K (\forall i \in A_{p_k} \forall j \in A_{q_k} (X_i \geq X_j)).$$

Истинность предиката для изображения X означает, что для всех k область A_{p_k} на X ярче (не темнее) области A_{q_k} .

Утверждение 1. $P(X) = (\text{dist}(X; P) = 0)$, где

$$\text{dist}(X; P) \triangleq \sum_{k=1}^K |A_{p_k}| \cdot |A_{q_k}| - \sum_{k=1}^K \chi(A_{p_k})^T M(X) \chi(A_{q_k}),$$

$\chi(A)$ – характеристический вектор множества A .

Таким образом, $\text{dist}(X; P)$ можно считать критерием, позволяющим оценить степень отличия изображения от модели – чем это значение ближе к 0, тем отличие меньше.

Для практического применения данного критерия желательно, чтобы модель изображения объекта строилась автоматически на основании одного или нескольких эталонных изображений этого объекта. Один из возможных способов построения модели дает следующее утверждение.

Утверждение 2. Пусть множество индексов, задающих предикат P , "транзитивно" в следующем смысле: если для некоторых i и j $q_i = p_j$, то найдется k такое, что $p_k = p_i$ и $q_k = q_j$. Пусть $S(P) = \{X \in [0, 1]^n : P(X)\}$ – множество, состоящее из изображений, удовлетворяющих предикату P , а $M(P)$ – матрица, полученная усреднением по всем матрицам сравнений изображений из $S(P)$:

¹Работа поддержана грантом РФФИ №06-01-229.

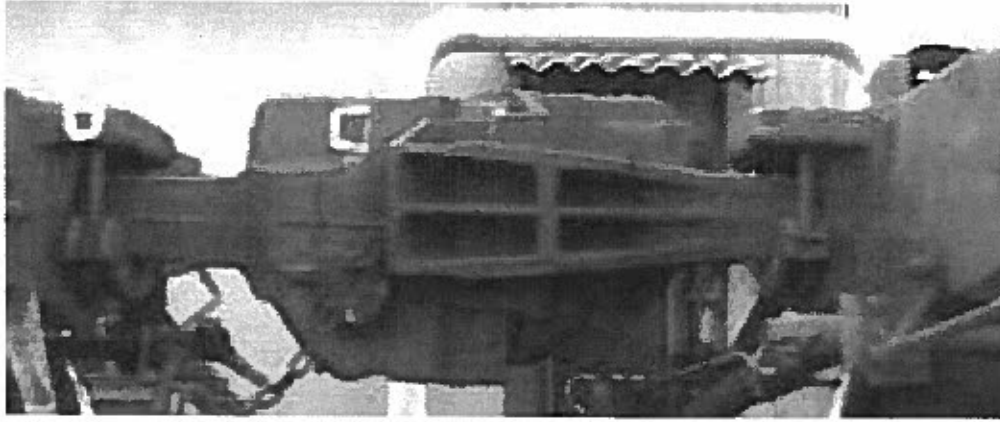


Рис. 1: Пример изображения узла автосцепки.

$$M(P) = \frac{1}{\int_{S(P)} dX} \int_{S(P)} M(X) dX.$$

Тогда для произвольных i и j равенство $M(P)_{ij} = 1$ выполняется в том и только том случае, когда $\exists k (i \in A_{p_k} \wedge j \in A_{q_k})$.

Следовательно, если имеется набор эталонных изображений $T = (T_1, \dots, T_N)$, то в качестве оценки матрицы $M(P)$ можно взять матрицу $\bar{M} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N M(T_k)$ и выбрать множество пар индексов (i_k, j_k) , $k = \overline{1, K}$, для которых \bar{M}_{i_k, j_k} принимает наибольшие значения. Будем считать, что $A_{p_k} = \{i_k\}$, $A_{q_k} = \{j_k\}$, а построенный с их помощью предикат P есть оценка модели объекта, изображенного на эталонах. В данном случае выражение для $\text{dist}(X; P)$ примет более простой вид: $\text{dist}(X; P) = K - \sum_k M(X)_{i_k, j_k}$.

Нужно заметить, что параметр K должен выбираться из практических соображений, в зависимости от требуемых в конкретной задаче качества и быстродействия алгоритма сопоставления с эталоном.

Работоспособность предложенного критерия была проверена путем сравнения с другими широкоизвестными критериями сопоставления в задаче обнаружения изображения автосцепки. На входном изображении требовалось обнаружить автосцепку двух сцепленных железнодорожных вагонов (рис. 1), либо сообщить, что ее на изображении нет. Съемка тестового видео проводилась на сортировочной горке станции Свердловск-сортировочный стационарно закрепленной видеокамерой, ось которой была направлена параллельно осям колесных пар вагонов.

Для тестирования использовалось 685 кадров с изображением 137 автосцепок, при этом каждая автосцепка была представлена пятью кадрами с разных ракурсов; а также 23211 кадров, на которых не было автосцепки. Был выбран набор из $N = 10$ эталонных изображений крестовины автосцепки размером $n = 216 = 24 \times 9$ пикселей.

Использовались следующие критерии сопоставления [1, 3]:

- $\text{dist}_{L_2}(X; T)$ – расстояние от X до ближайшего эталона в метрике L_2 ;
- $r(X; T)$ – коэффициент корреляции изображения X с усредненным изображением эталонов;
- $\rho(X; T)$ – коэффициент корреляции Спирмена рангового вектора изображения X с усредненным вектором рангов эталонов;
- $\text{dist}(X; P)$ – предложенный критерий с $K = n$.

На каждом тестовом изображении было проведено сканирование локальным окном, в каждой позиции окна было вычислено значение критерия. Экстремальное значение критерия для изображения (минимум для $\text{dist}_{L_2}(X; T)$ и $\text{dist}(X; P)$; максимум для $r(X; T)$ и $\rho(X; T)$) было записано в таблицы. На основании таблиц для всевозможных пороговых значений были вычислены частоты

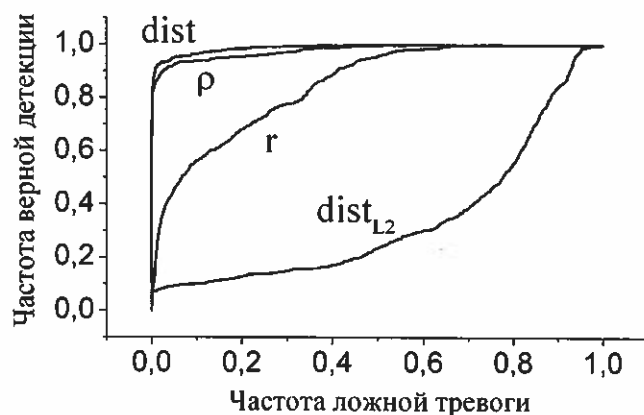


Рис. 2: ROC-кривые.

верной детекции и ложной тревоги. Результаты, отражающие эти данные, представлены на рис. 2 в виде ROC-кривых (Receiver Operating Characteristic Curves) [4].

Чем ближе график такой кривой к верхней горизонтали $y = 1$, тем алгоритм точнее, а площадь под кривой есть численная мера точности. В данном случае площади оказались равными 0.3423, 0.8491, 0.9793 и 0.9894 для критериев dist_{L2} , r , ρ и dist соответственно. Таким образом, предложенный критерий dist показал лучший по качеству результат, сопоставимый по качеству с коэффициентом корреляции Спирмена ρ . В то же время скорость вычисления dist превосходит скорость вычисления ρ примерно в $\log_2 n \approx 8$ раз. Это объясняется тем, что время их работы есть $O(n)$ и $O(n \log_2 n)$ операций соответственно.

Проведенный эксперимент является свидетельством в пользу эффективности использования аппарата матриц сравнений для построения моделей и алгоритмов в ряде задач обработки изображений.

Список литературы

- [1]. Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений*. : Пер. с англ. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
- [2]. Рунион Р. *Справочник по непараметрической статистике*. : Пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 198 с.
- [3]. Баклицкий В.К., Бочкарев А.М., Мусьяков М.П. Методы фильтрации сигналов в корреляционно-экстремальных системах навигации. – М.: Радио и связь, 1986. – 216 с.
- [4]. Courtney P., Thacker N. A. *Performance Characterisation in Computer Vision: The Role of Statistics in Testing and Design*— In "Imaging and Vision Systems: Theory, Assessment and Applications", NOVA Science Books, 2001.