

# ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЯ

ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНИКА І ТЕХНОЛОГІЯ

ХАЛАДЗІЛЬНА ТЭХНІКА І ТЭХНАЛОГІЯ

REFRIGERATION ENGINEERING AND TECHNOLOGY

TECHNIQUE ET TECHNOLOGIE FRIGORIFIQUE

TECNICA I TECNOLOGIA DE REFRIGERACION

- \* Холодильна техніка
- \* Енергетика і енергозбереження
- \* Холодильні та супутні технології
- \* Автоматика, комп'ютерні та телекомунікаційні технології
- \* Загальна інформація



## ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЯ

### Науково-технічний журнал № 5 (127) 2010

Реєстраційний номер КВ 2519  
ISSN 0453-8307

Виходить шість разів на рік  
Заснований у 1964 році

#### Редакційна колегія:

Головний редактор  
д-р техн. наук, професор В.В. Притула

Заступник головного редактора  
д-р техн. наук, професор А.Ю. Лагутін

#### Члени колегії:

д-р техн. наук, проф. О.А. Вассерман  
д-р техн. наук, проф. Г.С. Гайворонська  
д-р техн. наук, проф. В.А. Денисенко  
д-р техн. наук, проф. О.В. Дорошенко  
д-р техн. наук, проф. В.П. Железний  
д-р техн. наук, проф. В.І. Живиця  
д-р техн. наук, проф. Н.О. Князєва  
д-р техн. наук, проф. Г.К. Лавренченко  
д-р техн. наук, проф. В.О. Мазур  
д-р техн. наук, проф. В.І. Милованов  
д-р техн. наук, проф. Т.В. Морозюк  
д-р техн. наук, проф. В.А. Наєр  
д-р техн. наук, проф. В.І. Недоступ  
д-р техн. наук, проф. В.Р. Нікульшин  
д-р техн. наук, проф. В.П. Оніщенко  
д-р техн. наук, проф. В.П. Плотников  
д-р фіз.-мат. наук, проф. В.Б. Роганков  
д-р техн. наук, проф. Л.М. Тележенко  
д-р техн. наук, проф. М.Г. Хмельнюк  
д-р техн. наук, проф. В.П. Чепурненко  
д-р фіз.-мат. наук, проф. В.Т. Швець

Генеральний спонсор видання  
Одеський припортовий завод

Спонсор видання  
Благодійний фонд "Ціацан"

Мова видання  
українська, російська та англійська

Випускаючий редактор  
О.С. Бодюл  
Конт. тел. +38 (048) 720-91-44

Відповідальний секретар  
В.І. Верченко  
Конт. тел. +38 (048) 720-91-63

Адреса редакції  
вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082  
Одеська державна академія холоду

Журнал включено до Переліку наукових видань, в яких можуть публікуватися основні результати дисертаційних робіт (Бюлєтень ВАК України, 2009, № 11)

Підписано до друку 11.10.2010 за рекомендацією  
Вченої ради (протокол №2 від 11 жовтня 2010 р.)  
Формат 60x84<sup>1/8</sup>. Гарнітура Times New Roman. Друк  
різографічний. Ум.-друк. арк. 11,05.  
Тираж 101 прим.

Видруковано за допомогою технічних засобів ОДАХ.  
вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082.  
Тел.: +38 (048) 720-91-63

© Одеська державна академія холоду, 2010



# ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

## REFRIGERATION ENGINEERING AND TECHNOLOGY

5 (127)

2010

## В НОМЕРЕ:

## IN ISSUE:

## РАЗДЕЛ 1 ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНИКА

## SECTION 1 REFRIGERATION ENGINEERING

**Ю.В. Байдак**

Регулятор напруги живлення електричного двигуна привода герметичного компресора холодильної машини

**6 Y.V. Baydak**

Electrical engine drive of refrigerating machine hermetic compressor voltage regulator

**В.Й. Лабай, Й.С. Мисак**

Термодинамічні основи знаходження ексергетичного ККД холодильних машин split-кондиціонерів

**15 V.I. Labay, I.S. Misak**

Thermodynamic basis for finding of split-air conditioners refrigerating machines exergic efficiency

**Н.В. Калинкевич, А.В. Скорик**

Проектирование радиально-осевых каналов турбокомпрессоров

**20 N.V. Kalinkevich, A.V. Skorik**

Turbocompressors radial-axial channels design

## РАЗДЕЛ 2 ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГО-СБЕРЕЖЕНИЕ

## SECTION 2 POWER ENGINEERING AND ENERGY SAVING

**В.М. Арсеньев, М.И. Проценко,****Ю.С. Мерзляков**

Гибридный термотрансформатор со струйной термокомпрессией водоаммиачного рабочего тела

**26 V.M. Arsen'ev, M.I. Protsenko,****Y.S. Merzlyakov**

Hybrid thermotransformer with jet bonding of water-ammonia working body

**П.О. Котов, А.Є. Денисова**

Перспективи використання двигунів зовнішнього згоряння для інтегрованої теплонасосної системи теплопостачання

**30 P.O. Kotov, A.E. Denysova**

Prospects of external combustion engines utilization for integrated heat supply heat pump system

**В.Б. Роганков, В.И. Левченко**

Асимметрия процессов конденсации и парообразования в метастабильных средах

**35 V.B. Rogankov, V.I. Levchenko**

Condensation and vaporization processes asymmetry in the metastable media

**А.Л. Цыкало, О.А. Сагдеева, Д.В. Попов**

Математическое моделирование процессов распространения примеси на границе раздела фаз «воздух-вода»

**44 A.L. Tsikalo, O.A. Sagdeeva, D.V. Popov**

The contaminant distribution processes on the phase division border ‘air-water’ mathematical simulation

**РАЗДЕЛ 3 ХОЛОДИЛЬНЫЕ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ****SECTION 3 REFRIGERATING AND ACCOMPANYING TECHNOLOGIES*****A.M. Войтко, Д.А. Войтко***

Энергетические затраты на компрессор и вентилятор при замораживании плодов и овощей в псевдоожженном и плотном слоях

***В.В. Клименко, А.В. Скрипник***

Экспериментальное исследование плавления льдогазогидратных капсул

***М.Б. Кравченко***

Регулирование кажущейся теплопроводности живой ткани

**РАЗДЕЛ 4 АВТОМАТИКА, КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ*****49 A.M. Voytko, D.A. Voytko***

Energy costs on the compressor and fan when frozen fruit and vegetables in fluidization and dense layers

***54 V.V. Klimenko, A.V. Skripnik***

Capsules ice-gas hydrate melting experimental research

***58 M.B. Kravchenko***

Regulation of apparent thermal conductivity of living tissue

**SECTION 4 AUTOMATIC COMPUTER AND TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES*****С.С. Великодный, Е.В. Котенко***

Разработка системы реального времени распознавания лиц с использованием примитивов Хаара и алгоритма ADABOOST

***Е.В. Малахов, Н.В. Кислова***

Моделирование технологических процессов разработки интеллектуальной продукции

***О.Н. Дегтярев, А.И. Самойлов, В.А. Тупиков, Л.К. Шраго***

Модернизация стенда для испытаний воздушного компрессора

***О.О. Уліцька, О.А. Стопакевич***

Управління нелінійними об'єктами окремих класів

***67 S.S. Velikodny, E.V. Kotenko***

Development of face detection real time system with using of Haar like features and ADABOOST algorithm

***71 Е.В. Малахов, Н.В. Кислова***

Simulation of intellectual products development technological processes

***75 O.N. Degtyaryov, A.I. Samoylov, V.A. Tupikov, L.K. Shrago***

Modernization of stand for air compressor testing

***80 О.О. Уліцька, А.А. Стопакевич***

Non-linear objects of different classes control

## РАЗДЕЛ 4

# АВТОМАТИКА, КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.93:12

**С.С. Великодный, Е.В. Котенко**

Одесская государственная академия холода, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, 65082

### РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИМИТИВОВ ХААРА И АЛГОРИТМА ADA BOOST

Существующие методы для распознавания лиц можно разделить на методы, основанные на анализе изображения, и на методы, основанные на анализе ключевых точек лица. Представленная в этой статье система обнаружения лиц использует комбинацию обоих подходов. Разработанная система использует модель дескрипторов Хаара на пяти различных шаблонах, а также алгоритм AdaBoost в качестве оптимального дискретного классификатора для генерации "сильного" классификатора с высокой точностью. Для снижения вычислительной сложности, ключевые точки сохраняют информацию о себе в базе данных. Эта информация используется в дальнейшем для ускорения обучения системы.

**Ключевые слова:** Ключевые точки – Алгоритм AdaBoost – Примитивы Хаара – Распознавание лиц.

The existent methods for face detection can be divided into image based methods and feature based methods. The presented detection system in this paper uses bit of both of this approach. The developed system uses Haar-Like features models of five different templates and uses AdaBoost optimum discrete classifier to select the best combination of weak classifier with corresponding coefficient to create the strong classifier with stronger accuracy. To reduce the computation complexity features are initially created using meaning full heuristics developing a database storing the feature information's. This boosting system can use this information learning very quickly to select the weak classifiers.

**Keywords:** Feature based – AdaBoost algorithm – Haar like features – Face detection

#### I ВВЕДЕНИЕ

Автоматическое распознавание лиц – сложная актуальная проблема, заключающаяся в обнаружении одного или нескольких лиц на одном изображении или видеопоследовательности. Сложность заключается в том, что человеческое лицо не является чем-то постоянным. Различаются не только лица разных людей, но и изображения лица одного и того же человека, сделанные разными фотографами, при разном освещении, разном эмоциональном состоянии, ракурсе. Именно поэтому в последние годы появилось такое большое количество различных алгоритмов распознавания лиц. Но каждый из таких методов решает задачу лишь в одном частном случае, для которого он был разработан. Все эти алгоритмы делятся на два класса: основанные на анализе растрового изображения (image-based) и основанные на анализе ключевых точек лица: глаз, носа и губ (feature based) [1].

Целью работы является разработка системы реального времени распознавания лиц с использованием примитивов Хаара и алгоритма AdaBoost.

© С.С. Великодный, Е.В. Котенко, 2010

Объектом исследования является система распознавания лиц.

Предметом исследования являются примитивы Хаара и алгоритм AdaBoost.

Представленная в этой статье система обнаружения лиц использует комбинацию обоих подходов. Разработанная система использует модель дескрипторов Хаара на пяти различных шаблонах, а также алгоритм AdaBoost в качестве оптимального дискретного классификатора для генерации "сильного" классификатора с высокой точностью. Для снижения вычислительной сложности, ключевые точки (features) сохраняют информацию о себе (размер, положение, тип, порог и знак) в базе данных. Эта информация используется в дальнейшем для ускорения обучения системы.

#### II ОБЗОР СИСТЕМЫ

##### Алгоритм AdaBoost

В основе методики лежит алгоритм adaptive boosting'a (адаптивного усиления) или сокращенно AdaBoost. AdaBoost – эффективный

алгоритм машинного обучения, который сочетает в себе простое статистическое обучение при одновременном значительном снижении ошибок обучения и обобщения [2]. Алгоритм не требует никаких предварительных знаний о структуре лица. Смысл алгоритма заключается в том, что если у нас есть набор эталонных объектов, т.е. есть значения и класс к которому они принадлежат (например, -1 – нет лица, +1 – есть лицо), кроме того имеется множество простых классификаторов, то мы можем составить один более совершенный и мощный классификатор [3]. При этом в процессе составления или обучения финального классификатора акцент делается на эталоны, которые распознаются «хуже», в этом и заключается адаптивность алгоритма, в процессе обучения он подстраивается под наиболее «сложные» объекты [4].

#### Haar-like features

Использование системы машинного обучения требует набора классификаторов, для проведения обучения и дальнейшего распознавания лиц. В данной работе используются так называемые haar-like features (далее – примитивы). Основные требования, предъявляемые к ним – быстродействие, инвариантность к форме, наклону, цвету изображения и т.п. [5]. Наиболее репрезентативные ключевые точки будут автоматически выбраны на стадии обучения.

В представленной работе используется пять Haar примитивов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Коллекция примитивов Хаара

Каждый шаблон имеет свою «оценку». Значением каждого примитива является разница суммы значений точек в белой и черной областях:

$$V = \sum_w I(x, y) - \sum_b I(x, y) \quad (1)$$

Принцип работы примитива следующий: на эталонное изображение накладывается какой-либо примитив. Далее вычисляется разница сумм значений пикселей в белой области примитива и в чёрной области. В итоге получается обобщённая характеристика анизотропии некоторого участка изображения [6].

Однако, даже для небольшого изображения количество накладываемых примитивов очень велико. Если взять изображение размером 24x24

пикселей, то количество примитивов будет приблизительно 180 000 [7]. Задача алгоритма AdaBoost выбрать те примитивы, которые наиболее эффективно выделяют данный объект.

Используя значения всех обучающих наборов, на основании случайного множества изображений, содержащих лица и не содержащих лиц, рассчитывается индивидуальный порог для каждого дескриптора.

Этот порог рассчитывается, используя функцию плотности вероятности – Probability density function (PDF) (рисунок 2) для лицевых и не-лицевых наборов данных.

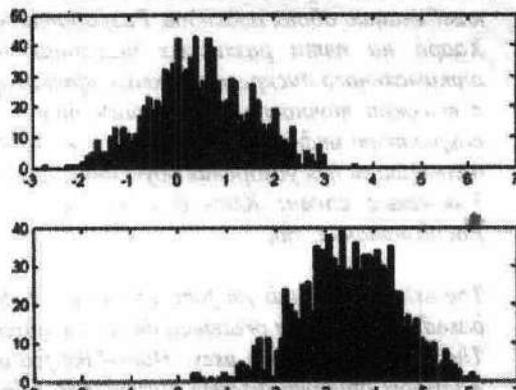


Рисунок 2 – Функция PDF для лицевых и нелицевых наборов данных

На основании этих значений соответственно вычисляется распределение вероятности – Cumulative distribution function (CDF) (рисунок 3) и значение переменной, в которой значение этого порога максимальное. Оно и становится индивидуальным порогом дескриптора.

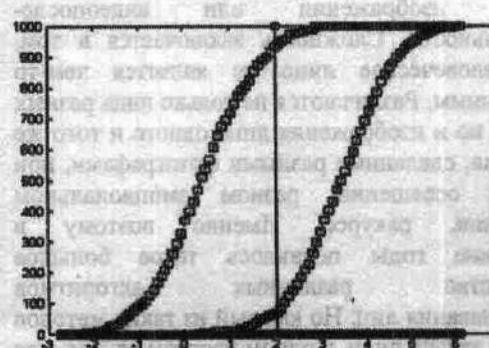


Рисунок 3 – Функция CDF

### III РЕЗУЛЬТАТЫ

Разработанная система обнаружения лиц изначально была протестирована как классификатор на изображениях, подобных учебным изображениям. Для эксперимента

использовались изображения, главным образом содержащие несколько лиц в фас.

#### Тестирование классификатора лицо/шум

В работе были использованы два различных классификатора, на которых тестировалось 4000 и 10000 обучающих наборов. Первый классификатор (классификатор А) протестирован на 7832 изображений лиц и на 8000 изображений, не содержащих лица. Второй классификатор (классификатор В) протестирован на 4832 изображений лиц и на 6000 изображений, не содержащих лица.

Полученные результаты позволяют оценить качество обнаружения лиц и частоту ложноположительных срабатываний детектора. Результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Оценка производительности классификаторов А и В**

Показатель	Классификатор А	Классификатор В
Ложноположительные ошибки на стадии обучения, %	1.2	15.35
Ложно-отрицательные ошибки на стадии обучения, %	0.8	1.92
Ложноположительные ошибки на стадии тестирования, %	3.1125	16.8333
Ложно-отрицательные ошибки на стадии тестирования, %	4.3412	1.5728

#### Тестирование датчика обнаружения лица

Распознавание лиц произведено на реальных изображениях, полученных системой. Тестирование проводилось с использованием классификатора А.

Изначально системе отдавались изображения, которые использовались в обучающей коллекции. Система выдала прекрасный результат – все лица на изображении были обнаружены (рисунок 4).



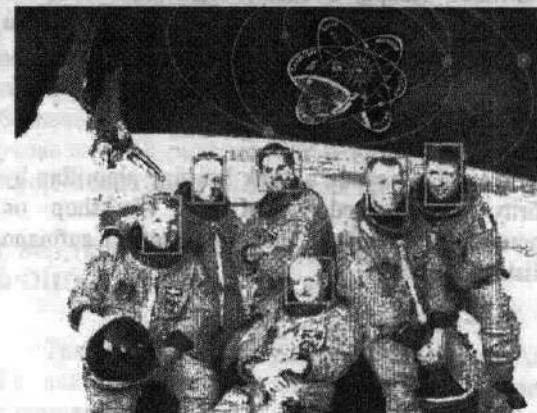
**Рисунок 4 – Тестирование системы на изображениях из обучающей коллекции**

Далее системе были предложены изображения, содержащие лица различных размеров. Система также распознала все лица (рисунок 5).



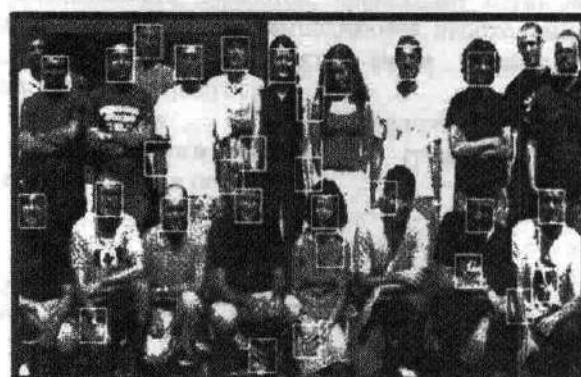
**Рисунок 5 – Тестирование системы на изображениях с масштабированием**

Результаты тестирования более объемных изображений также оказались хорошими (рисунок 6).



**Рисунок 6 – Тестирование системы на объемных изображениях**

Однако, когда были предложены комплексные изображения с большим количеством лиц, помимо лиц были выделены некоторые другие объекты, которые система распознала как лица (рисунок 7).



**Рисунок 7 – Тестирование системы на комплексных изображениях**

#### IV ЗАКЛЮЧЕННЯ

В работе изложен новый подход для решения задачи обнаружения лиц, гарантирующий высокую точность обнаружения при малой вычислительной сложности алгоритма.

Разработанная система была протестирована на коллекции изображений, содержащей большое количество различных изображений в широком диапазоне сцен. Коллекция содержит изображения с различным уровнем освещения, масштабом, расположением лиц, различным качеством съемки. Эксперименты с таким большим и сложным набором данных являются трудоемкими и занимают много времени. Успешная работа разработанной системы на таком большом наборе данных доказывает ее устойчивость даже в условиях сложных сцен.

При дальнейшей разработке объекта исследования приведенная система может быть усовершенствована за счет введения новых примитивов Хаара, а также адаптации весовых коэффициентов к определенным функциям вычисления ошибки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Y. Freund. Boosting a weak learning algorithm by majority. In Proceedings of the Workshop on Computational Learning Theory. Morgan Kaufmann Publishers, 1990.
2. Y. Freund and R.E. Schapire. A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting. In Proceedings of the Second European Conference on Computational Learning Theory, pages 23–37. Springer-Verlag, 1995.
3. J. Friedman, T. Hastie, and R. Tibshirani. Additive logistic regression: a statistical view of boosting. Technical Report, Dept. of Statistics, Stanford University, July 1998.
4. R. Lienhart, A. Kuranov, and V. Pisarevsky. Empirical analysis of detection cascades of boosted classifiers for rapid object detection. MRL Technical Report, May 2002.
5. H.A. Rowley, S. Baluja, and T. Kanade. Neural network-based face detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 20(1):23–38, 1998.
6. R.E. Schapire, Y. Freund, P. Bartlett, and W.S. Lee. Boosting the margin: a new explanation for the effectiveness of voting methods. In Proc. 14th International Conference on Machine Learning, pages 322–330. Morgan Kaufmann, 1997.
7. V.N. Vapnik and A. Chervonenkis. On the uniform convergence of relative frequencies of events to their probabilities. Theory of Probab. and its Applications, 16(2):264–280, 1971.