

of one rivet on the left edge, the distribution of stresses and displacements of the plate changes insignificantly.

**Keywords:** simulation, ANSYS, rivet, multi-site damage.

Надійшла до редакції  
27 березня 2018 року

Рецензовано  
16 квітня 2018 року

УДК 621:535-1

## АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ТЕРМОГРАФИЧЕСКОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ

*Стадничук В. С., Колобродов В. Г., Кондратенко Д. Ю.*

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина*

*E-mail: [thermo@ukr.net](mailto:thermo@ukr.net)*

*Представлен подход к исследованию термографических изображений, распознаванию человека для задач интеллектуального видеонаблюдения, медицинских, охранных, картографических целей. Предложен алгоритм автоматического выделения (распознавания) лица и определения температуры человека в инфракрасном (ИК) спектре излучения, приведены результаты его работы и проведен анализ эффективности. Анализ показал высокую эффективность работы алгоритма – 90 % успешно распознанных изображений.*

**Ключевые слова:** тепловизор, распознавание образов; совмещение изображений.

### Вступление

В нынешнее время для широкого круга задач, таких как видеонаблюдение, медицина, охрана, картографирование, применяются приборы, работающие в ИК-области спектра, а также методы и способы обработки таких изображений. Для имплементации термографических изображений применяются специальные тепловизионные камеры (тепловизоры или термографы). По сравнению с видеокамерами, работающими в видимом диапазоне, они обладают такими преимуществами:

- отсутствие чувствительности к внешнему освещению и способность работать в условиях полной темноты;
- возможность дать приемлемое для опознавания изображение при значительном удалении системы от человека;
- отсутствие чувствительности к внешней маскировке (например, элементам макияжа).

Данные особенные черты дают возможность использовать термографию в случаях, когда использование обычных видеокамер не рационально, недостаточно для реализации поставленных целей [1, 2].

Работы по распознаванию лиц, определению температуры в ИК-диапазоне, активно проводятся, совершенствуются последние 10 лет [2] и решаются при помощи высокочувствительных видеокамер, которые работают в ИК-диапазоне. Возможность использовать тепловизионные (термографи-

ческие) камеры для данного рода исследований появилась относительно недавно.

Информационными признаками в термографии являются подкожные рисунки артерий и вен, которые являются уникальными и неизменными для каждого человека, поскольку сосудистый рисунок не зависит от температуры лица, пластических операций, фактора старения человека, как и отпечаток пальца [3, 4].

Сейчас существует небольшое количество алгоритмов опознания человека на изображении и определения его температуры [4]. К их недостаткам можно отнести: сложность реализации, большое время обработки. Исходя из этого, в рамках данного исследования был разработан и отлажен алгоритм распознавания температуры человека по комбинации термографического изображения и изображения в видимом диапазоне. При этом были опробованы разные алгоритмы наложения двух изображений и выбран оптимальный.

### Алгоритм поиска лица на термографических изображениях

Проведено исследование физиологических особенностей лица человека с целью выделения универсальной и стабильной температурной области, которую можно использовать как область привязки при выделении области лица.

В результате исследования было выяснено, что внутренний уголок глаза здорового человека

даєт найбільше інтенсивне випромінювання в ІК-діапазоні. Експериментально були помічені деякі відхилення від загальної тенденції. Основні причини: симетричні зони, пов'язані з гіпертермією на межі відкритих і закритих частин тіла (рис. 1, б), з запальними процесами (рис. 1, в), з вегетосудинною дистонією (рис. 1, г) [5, 6]. Результати спостережень були

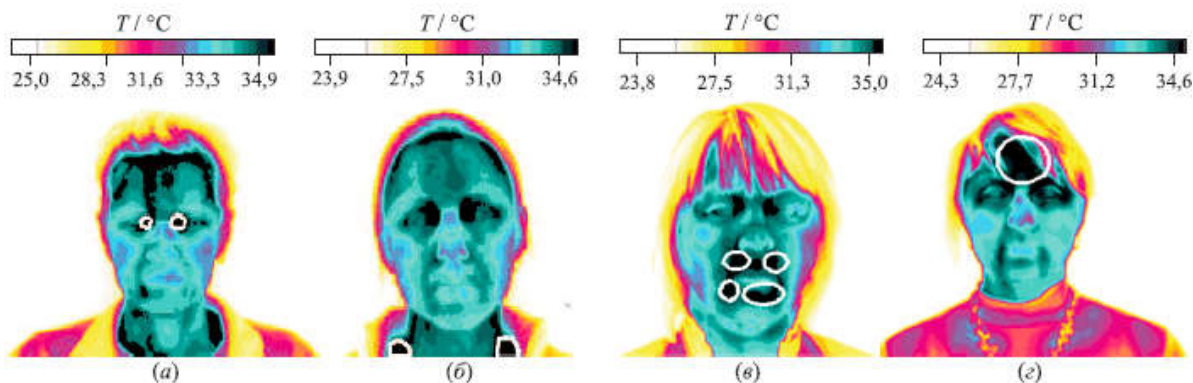


Рис. 1. Термографічне зображення обличчя: (а) гіпертермія зони внутрішніх кутків очей (нормальне стан); (б) симетрична гіпертермія в зоні ключиці; (в) гіпертермія в зоні рота і носа; (г) гіпертермія в зоні лба, перекривається волосами

#### Перший етап: накладення зображення

Першим етапом є попередня обробка зображення накладенням зображення, отриманого в видимому спектрі випромінювання на термографічне (рис. 2). Це необхідно для коректного визначення області очей. Існує декілька способів накладення двох зображень, такі як: базове, жорстке, зсув за подобою, афінне перетворення. Експериментальним шляхом було встановлено оптимальне – зсув за подобою. При базовому накладенні спостерігається двоїння зображення в районі плечей (не критично) і в районі голови (коректне визначення області очей неможливо) (рис. 3). В даному випадку два зображення просто накладаються одне на одне без масштабування.



Рис. 2. Термографічне зображення і зображення в видимому спектрі [2]

При афінному перетворенні зображення повертається і масштабується по відношенню до іншого. Спостерігається менше двоїння в районі плечей, але двоїння в районі голови залишилося – визначення області очей ускладнено (рис. 4).

При жорсткій трансформації відбувається поворот і обертання зображення по відношенню до іншого. Спостерігається ще більше невідповідності

при розробці алгоритму детекції області очей і визначення температури. Тому в якості опорних точок області інтересу були обрані точки внутрішніх кутків очей. Використання даних меток ефективно тому, що з їх допомогою можна найбільш ефективно визначити температуру тіла людини.

двох зображень (рис. 5).



Рис. 3. Базове зсув зображень



Рис. 4. Афінне перетворення

При зсуві за подобою відбувається перетворення подобию, що складається з накладення, обертання і масштабування зображення. Обезпечується оптимальне накладення зображень. Спостерігається незначительне двоїння в районі плечей, але для поставленої задачі це не критично. В районі голови і очей двоїння відсутнє. Можливо точне визначення області очей (рис. 6).



Рис. 5. Жорстке перетворення

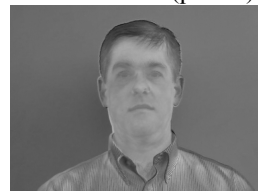


Рис. 6. Накладення за подобою

**Висновок:** для подібних завдань зсуву двох зображень з подальшим розпізнаванням людини доцільним є алгоритм накладення за подобою зображень.

**Другий етап: знаходження області очей**

На втором этапе находится область глаз. Для этого применяется детектор каскадного объекта vision.CascadeObjectDetector в среде MatLab [7], использующий алгоритм Виолы-Джонса для обнаружения лиц, носов, глаз, рта или верхней части лица. В общем случае этот алгоритм обнаруживает пару глаз. Эта модель обучена находить на изо-

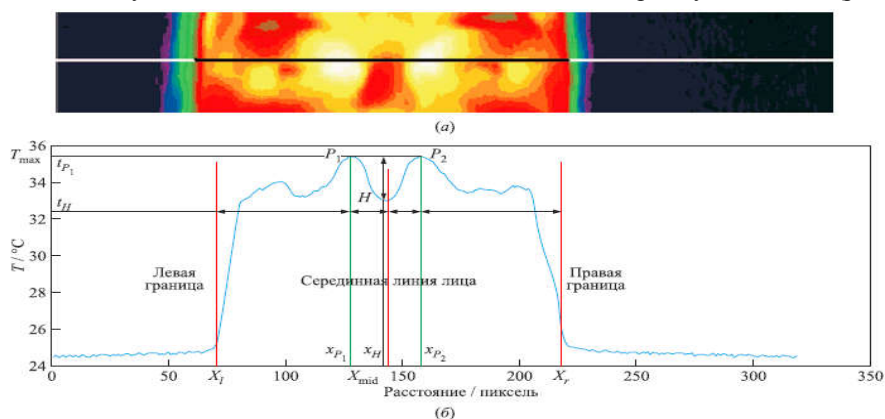


Рис. 7. Тепловой профиль по строчке, которая соответствует зоне внутренних уголков глаз: (а) часть полезной термограммы лица (линией выделена строчка, которая содержит внутренние уголки глаз); (б) соответствующий тепловой профиль

#### Принцип нахождения области глаз

Как было установлено ранее, глаза являются зоной повышенной гипертермии. В связи с этим на данном интервале ведётся поиск значения максимальной температуры  $T_{\max}$ . Затем построчно происходит проход маской с двумя пиками ( $P_1$  и  $P_2$ ) и впадиной ( $H$ ) всего интервала [8]. Среди строк, которые удовлетворяют условиям маски, в качестве линии глаз выбирается строка  $y_0$ , где на рис. 7:

- значение одного пика равно максимуму на интервале

$$t_{P1} = T_{\max} \parallel t_{P2} \quad T_{\max};$$

- пики симметрично располагаются относительно средней линии

$$x_{P1} \quad W = W \quad x_{P2};$$

- пики симметрично располагаются относительно границ лица

$$x_{P1} \quad X_l = X_r \quad x_{P2};$$

- впадина располагается на средней линии

$$x_H = X_{\text{mid}};$$

- разница температур между пиком и впадиной больше заданного порогового значения (эмпирическим путём было установлено пороговое значение 0,5 С):

$$T_{\max} \quad t_H > 0,5 \text{ С},$$

где  $x_{P1}$ ,  $x_H$  и  $x_{P2}$  – абсциссы точек  $P_1$ ,  $H$  и  $P_2$ , а  $t_{P1}$ ,  $t_H$  и  $t_{P2}$  – температуры в точках  $(x_{P1}, y_0)$ ,  $(x_H, y_0)$  и  $(x_{P2}, y_0)$  соответственно [9].

#### Третий этап: определение температуры

На третьем этапе определяется температура в области глаз (выделенного прямоугольника). Изме-

бражении область глаз. Общий принцип работы алгоритма: задаётся значение порога, соответствующее температуре кожи. Это значение не включает одежду и волосы. Для каждой строки изображения находится левая и правая граница области глаз (рис. 7). После обнаружения область глаз выделяется прямоугольником (рис. 8).



нение температуры происходит по термографическому изображению путём подсчёта среднего значения массива пикселей [10].



Рис. 8. Выделение области глаз



Рис. 9. Результат работы алгоритма определения температуры

Далее происходит конвертация в градусы Цельсия и встраивание значения температуры тела на исходное изображение в видимом диапазоне (рис. 9). Возможна конвертация значения температуры в другие шкалы и встраивание на любое изображение.

#### Выводы

Предложен алгоритм автоматического наложения и совмещения двух изображений, а также алгоритм автоматического определения области глаз и температуры человека. Данный алгоритм основывается на поиске внутренних уголков глаз, которые являются стабильной гипертермической областью на лице человека. Высокий показатель правильного распознавания лица (90 %) подтвердил эффективность представленного алгоритма. Стоит отметить, что данный алгоритм можно использовать как алгоритм автоматического опреде-

ления присутствия человека в кадре, например, для систем контроля доступа и охраны периметра; автоматического определения температуры, например, в медицинских целях. В дальнейшем рассмотренный подход можно применять для идентификации личности в интеллектуальных системах видеонаблюдения.

#### Литература

1. Evans D. Infrared facial recognition technology being pushed toward emerging applications // Proc. SPIE, 1997. Vol. 2962. P. 276–286.
2. Куприянов В. В., Стовичек Г. В. Лицо человека: Анатомия, мимика. Москва: Медицина, 1988.
3. Иваницкий Г. Р. Современное матричное тепловидение в биомедицине // Успехи физических наук. 2006. Т. 176, №12. С. 1293 – 1320.
4. Баша Н. А., Шульга Л. А. Алгоритм автоматического выделения лица на термографических изображениях // Информ. и её примен. 2011. том 5, выпуск 1. С. 73 – 77.
5. Prof. Marcello Vanali, Politecnico di Milano. Algorithms for infrared image processing - POLITECNICO DI MILANO, - Anno accademico 2010 – 2011.
6. Norbert Schuster, Valentin G. Kolobrodov. Infrarotthermographie. Zweite, uberarbeitete und erweiterte Ausgabe (Монографія); дрк; WILEY-VCH. – Berlin. – 2004. – 356 p.
7. R. C. Gonzales, R. E. Woods, and S. L. Eddins, Digital Image Processing Using MATLAB. New York, USA: Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, 2003.
8. Колобродов В. Г., Лихолит Н. И., Овечкин В. С. К выбору критерия распознавания тепловизионных изображений // Артиллерийское и стрелковое вооружение: Междунар. науч.- техн. сб. – Киев: НТЦ АСВ. 2004. № 2. С. 30 – 34.
9. Maldague X. P. V., Jones T. S., Kaplan H., Marinetti S. and Prystay M. "Chapter 2: Fundamentals of Infrared and Thermal Testing: Part 1. Principles of Infrared and Thermal Testing," in Nondestructive Handbook, Infrared and Thermal Testing, Volume 3, X. Maldague technical ed., P. O. Moore ed., 3rd edition, Columbus, Ohio, ASNT Press, 2001, 718 p.
10. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы. Техника. Применение. Москва: Мир, 1988.

УДК 621:535-1

**В. С. Стаднічук, В. Г. Колобродов, Д. Ю. Кондратенко**

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна*

#### АЛГОРИТМ РОЗПІЗНАВАННЯ ЛЮДИНИ ПО ТЕРМОГРАФІЧНОМУ ЗОБРАЖЕННЮ

В даний час для широкого кола завдань, таких як відеоспостереження, медицина, безпека, відображення, пристрої, що працюють в інфрачервоній області спектра, застосовуються методи та методи обробки таких зображень. Робота, пов'язана з завданнями розпізнавання обличчя, визначення температури в інфрачервоному діапазоні, триває протягом останніх 10 років і вирішується за допомогою високочутливих відеокамер, що працюють у відбитому ІК-діапазоні. Нещодавно з'явилася можливість використання теплових фотоапаратів для цього типу досліджень. Інформаційні ознаки в термографії є підшкірними малюнками артерій та вен, які є унікальними та незмінними для кожної людини, оскільки судинна картина не залежить від температури особи, пластичної хірургії та фактора старіння людини, як відбиток пальця. Було зроблено дослідження фізіологічних особливостей обличчя людини з метою виділення універсальної та стабільної температурної області, яку можна використати як зв'язуючу область при розподілі області обличчя. Представлено підхід до вивчення термографічних зображень, завдань інтелектуального відеоспостереження, медичних, безпечних, картографічних цілей. Запропоновано алгоритм автоматичного розпізнавання облич та визначення температури тіла людини в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні випромінювання, представлені результати його роботи та проведено аналіз ефективності. Експериментально визначено оптимальне місце для визначення температури людини - внутрішні кути очей, оскільки цей регіон має найбільше відбиття в інфрачервоному діапазоні. Алгоритм розроблений в середовищі MatLab і може бути перенесений на інші мови програмування. Було проведено дослідження способу нанесення одного зображення на інший, обрано оптимальний метод. Аналіз показав високу ефективність алгоритму – 90 % успішно визначених образів. Можливе використання в готових тепловизорах та системах безпеки.

**Ключові слова:** розпізнавання образів; аналіз зображень; системи відеонагляду; термографія; детекція особи, поєднання зображень.

**V. S. Stadnichuk, V. G. Kolobrodov, D. Y. Kondratenko**

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

#### RECOGNITION ALGORITHM OF HUMAN BY THERMOGRAPHIC IMAGE

Currently, for a wide range of tasks, such as video surveillance, medicine, security, mapping, the devices working in

the infrared region of the spectrum are applied, as well as methods and methods for processing such images. The work related to the tasks of face recognition, the determination of temperature in the infrared range, has been going on for the last 10 years and is being solved with the help of high-sensitivity video cameras operating in the reflected IR range. The possibility of using thermal imaging cameras for this type of research has recently appeared. Information signs in thermography are subcutaneous drawings of arteries and veins, which are unique and unchanged for each person, since the vascular pattern does not depend on face temperature, plastic surgery and the aging factor of a person, like a fingerprint. A study was made of the physiological features of a person's face with a view to isolating a universal and stable temperature region, which can be used as a binding area in the allocation of the face area. The approach to the study of thermographic images, human recognition for the tasks of intellectual video surveillance, medical, security, cartographic purposes is presented. An algorithm for automatic facial recognition and determination of the human body temperature in the infrared (IR) radiation range is proposed, the results of its work are presented and the efficiency analysis is performed. The optimal place for determining the human temperature - the internal angles of the eyes was determined experimentally, since this region has the most reflection in the infrared range. The algorithm is developed in the MatLab environment and can be ported to other programming languages. A study was made of the method of applying one image to another, and the optimal method was chosen. The analysis showed high efficiency of the algorithm – 90 % of successfully recognized images. Possible use in ready-made thermal imagers and security systems.

**Keywords:** pattern recognition; image analysis; video surveillance systems; thermography; Face detection, combination of images.

*Надійшла до редакції  
23 березня 2018 року*

*Рецензовано  
16 квітня 2018 року*

УДК 681.3

## ВЫБОР ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ И БАЗОВОЙ ТОЧКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АЛГОРИТМА СЛОЖЕНИЯ ЕЁ ТОЧЕК С РАЦИОНАЛЬНЫМИ КООРДИНАТАМИ НА КОНЕЧНОМ ПОЛЕ

*Акбаров Д. Е., Умаров Ш. А.*

*Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени  
Мухаммад аль-Харезми, Фергана, Республика Узбекистан*

*E-mail: [sht00357@gmail.com](mailto:sht00357@gmail.com)*

*В статье исследованы вопросы решения задач определения и вычисления параметров эллиптической кривой (ЭК) для корректной реализации асимметричных криптоалгоритмов. Используются формулы Виета для корней многочленов, приведен способ выбора коэффициентов. Указан интервал выбора базовой точки. Определены формулы касательной к базовой точке и нахождения координаты точки пересечения касательной с ЭК. Получена рекуррентная формула сложения базовой точки с другими точками ЭК с рациональными координатами.*

**Ключевые слова:** эллиптическая кривая, асимметричный криптоалгоритм, дискриминант, кубическое уравнение, формулы Виета, базовая точка, порядок базовой точки.

### **Введение**

Асимметричные криптографические алгоритмы конструируются на основе вычислительных сложностей: разложения достаточно большого натурального числа на простые множители, дискретного логарифмирования на конечном поле с достаточно большой характеристикой, сложения точек с рациональными координатами эллиптической кривой (ЭК) на конечном поле.

Напомним, что алгоритмы шифрования RSA и Эль-Гамал, также стандарт алгоритмов элек-

тронной цифровой подписи DSA и ГОСТ Р 34.10-94, их модификации на ЭК EC DSA-2000 и ГОСТ Р 34.10-2001 являются широко используемыми, как показано в работах [1 – 4].

### **Постановка задачи**

Приложения асимметричных алгоритмов требуют предварительного выбора (установки) параметров для корректной работы и обеспечения гарантируемой стойкости. Установка параметров открытых и закрытых параметров требует прове-