

А.Ю. ТИТОВА, асп. ДонНТУ, Покровськ

**РОЗРОБКА МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ТЕРМОГРАМИ
МОЛОЧНИХ ЗАЛОЗ НА ОСНОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ
ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ ТЕРМОГРАФА**

Проаналізовано принципи формування термограм в сучасних системах діагностики онкологічних захворювань молочних залоз на основі термографії та визначені етапи формування теплового зображення. Розроблено аналітичну модель формування термограми молочних залоз жінок та проведено аналіз її адекватності. Лл.: 2. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: термограма молочних залоз, діагностика онкологічних захворювань, аналітична модель.

Постановка проблеми. Активний розвиток інформаційних технологій діагностики онкологічних захворювань молочної залози (МЗ) сприяє створенню новітніх та ефективних засобів для раннього виявлення та лікування раку. Використання контактної термографії в процесі первинної діагностики захворювань МЗ дає хороші показники виявлення пацієнтів групи ризику [1, 2]. Існуючі комп'ютерні системи реалізують кількісний аналіз температурних показників при відборі термограм з патологічними змінами. Для розвитку даного виду діагностики раку МЗ актуальною задачею являється розробка аналітичної моделі формування термограми на основі перетворення температурних показників контактного термографа для забезпечення можливості візуального аналізу отриманого зображення.

Аналіз літератури. Зараз існує багато різних способів реєстрації температури шкіри та відображення даних у вигляді термограм. Автори [3] створили кругові зображення температурної карти кожної МЗ з ізотермічними лініями та топографічними зонами. В [4] температурна карта МЗ пацієнта після обстеження контактним термографом представлена кольоровими прямокутниками з границями позицій сканера та датчиків чорного кольору. В рамках розвитку контактної об'ємної термографії створено двохвимірне та трьох вимірне теплові зображення, що відображають температурні зміни в тканині МЗ глибиною до 8 см [5]. В [6,7] сформовано кольорове теплове зображення верхньої частина тіла з температурною чутливістю 0,07 °С. Автором [8] визначена роль аналізу термограм, створених на базі мікроболометричної матриці з форматом 384 × 288 елементів в діагностиці гострих параназальних синуситів. В [9] інфрачервоні термограми реєстрували безконтактним термографом зі спектральною чутливістю 8 – 12 мкм, програмне забезпечення

комп'ютерної системи діагностики створило оброблене кольорове зображення грудей.

Термограми, що створюються існуючими системами зазвичай, мають низьку якість зображення, нестандартне розширення, котре значно ускладнює автоматизацію візуальної обробки або додаткові елементи – границі квадрантів та кольорових квадратів, ізотерми, мітки соска, які необхідно вилучати перед подальшою обробкою, тому в даній роботі запропоновано розробити нову модель формування термограми.

Мета дослідження – розробка аналітичної моделі формування термограми на основі перетворення температурних показників термографа в кольорове зображення при створенні інформаційної технології діагностики онкологічних захворювань МЗ.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- визначити етапи формування теплового зображення;
- формалізувати змінні та залежності моделі формування термограми;
- дослідити застосування розробленої моделі на конкретних прикладах.

Матеріали дослідження. Об'єктом дослідження є температурні показники шкіри МЗ, що отримані в процесі обстеження контактним термографом цифровим (КТЦ). В КТЦ сканер представляє собою матрицю інтелектуальних датчиків-термометрів, що дозволяє вимірювати коливання температури з розподільною здатністю 0,06 °С, шляхом послідовного позиціонування даних датчиків на обстежуваних ділянках шкіри [4]. Показання датчиків завжди виводяться у відповідній послідовності та в сукупності дають карту розподілу температури ділянки тіла, котру потрібно обстежити. Масив температур заноситься в файл з розширенням *.tmg, з якого необхідно вилучити потрібну інформацію для подальшого дослідження.

Координатна сітка вихідного файлу складається з чотирьох рядків (Row) та восьми стовбців (Col), що відповідають позиціям сканера при обстеженні. Всі дані розділяються на дві половини, отримані показники для правої МЗ розміщені з нульового по третій стовпець по всім рядкам координатної сітки та лівої МЗ – з четвертого по восьмий стовпець координатної сітки файлу, що розбиваються на однакову кількість полів (квадрантів). Кожна позиція сканера – квадрант даних – відповідає 36 значенням температури шкіри з матриці інтелектуальних датчиків.

Квадранти з температурними даними можуть займати всю координатну сітку, що обумовлено фізіологічними особливостями МЗ пацієнта або мати додаткові квадранти внизу основного зображення МЗ – це окремо зняті температурні показники соска відповідних МЗ.

Квадранти складаються з 36 маленьких квадратів, котрі відповідають температурі з датчиків-термометрів. Все це необхідно враховувати при розробці алгоритму читання даних з вихідного файлу та формування масиву температур. Описана координатна сітка файлу з розширенням *.mmg представлена на рис. 1.

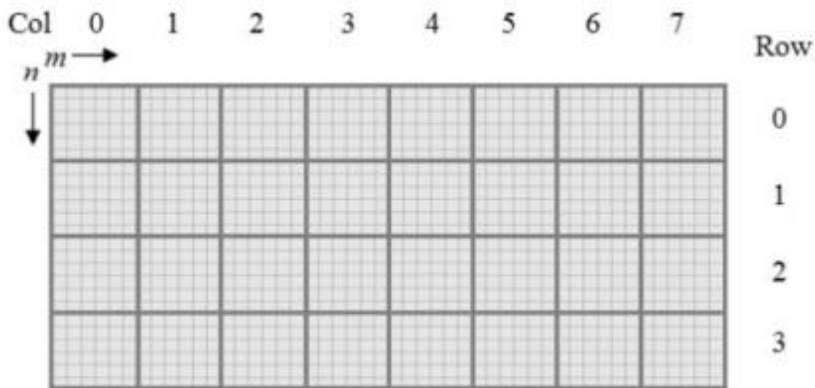


Рис. 1. Координатна сітка файлу з розширенням *.mmg

Як видно з рис. 1, $n, m = \overline{0;6}$ – номери строки та стовпця одного датчика термографа з 36 датчиків однієї позиції сканера, $row = \overline{0;3}$ – кількість позицій сканера по строкам для 36 датчиків термографа, $col = \overline{0;7}$ – кількість позицій сканера по стовпцям для 36 датчиків.

При розробці аналітичної моделі формування термограми запропоновано створити теплове зображення з термограмами правої та лівої МЗ, квадрантами та кольоровими квадратами, що не мають границь. Термограма представляє собою теплове випромінювання шкіри, тому для більшого візуального сприйняття медичним персоналом та пацієнтами необхідно використати кольорову модель RGB для заповнення квадратів кольорами, що відповідають значенням температури з датчиків термографа. Тобто, основна ідея формування теплового зображення – це проєціювання температурних показників в певний кольоровий тон, яким заповнюється кожен з 36 квадратів квадранту термограми.

Для цього слід виконати наступні етапи:

1. Зчитати з файлу з розширенням *.mmg потрібну інформацію.
2. Сформувати масив температур.
3. Розрахувати основні температурні показники.
4. Обрати початкові значення параметрів кольорової моделі HSV.
5. Розрахувати температурний коефіцієнт.
6. Отримати набір нормованих значень кольорового тону.

7. Конвертувати дані в кольорову модель RGB.

8. Намалювати квадрат кольору, що відповідає певному значенню температури кожного з 36 датчиків сканера термографа.

Для вилучення температурних показників з текстового формату файлу з розширенням *.mmg потрібно врахувати всі особливості розміщення даних в координатній сітці файлу.

Потім показники, що відповідають значенням температури ділянки шкіри, послідовно заносяться в масив температур $\{t_{i,j}\}$ з урахуванням кількості квадратів в квадрантах та кількості квадрантів у вихідному файлі, $i = \overline{0;23}$ – номери строк положення датчика (значення температури) в координатній сітці вихідного файлу, $j = \overline{0;47}$ – номери стовпців кожного значення температури в координатній сітці.

Для відповідності показникам температури параметрам кольорової моделі необхідно розрахувати максимальне та мінімальне значення температури з набору температур:

$$t_{\max} = \max_{i,j} \{t_{i,j}\}, \quad i = \overline{0, 23}, \quad j = \overline{0, 47}, \quad (1)$$

де t_{\max} – максимальне значення температури з всіх температурних показників вихідного файлу;

$$t_{\min} = \min_{i,j} \{t_{i,j}\}, \quad i = \overline{0, 23}, \quad j = \overline{0, 47}, \quad (2)$$

де t_{\min} – мінімальне значення температури з набору температур.

В термограмі для малювання маленького квадрату певного кольору палітри RGB необхідно перетворити показники температури, використовуючи спектр кольорової моделі HSV. Відомо, що дана модель описує колірний простір, заснований на трьох характеристиках кольору: колірному тоні (Hue), насиченості (Saturation) і значення кольору (Value) або яскравості (Brightness).

Колірний тон (H) вимірюється від 0 до 360°, значення якого відповідають певному кольору об'єкта, де 120 – зелений, 240 – синій, 355 – червоний. Насиченість (S) – це співвідношення основного тону та рівному йому за яскравістю безбарвного сірого, що вимірюється від 0 до 100% (0 позначає відсутність кольору або відтінок сірого, 100 – насичений колір), чим менше значення насиченості тим складніше визначити колір. Яскравість (V) – вимірюється від 0 до 100%, де 0 позначає чорний колір, а 100 – білий або в будь-якому ступені насичений колір. Виходячи з цього, обрані початкові значення параметрів кольорової моделі, а саме: $S = 100$ – початкове значення насиченості кольору; $V = 100$ – початкове значення яскравості кольору;

$pal_{\max} = 360$ – обране максимальне значення кольорового тону HSV моделі; $pal_{\min} = 120$ – встановлене мінімальне значення кольорового тону кольорової моделі HSV [10].

З урахуванням температурних показників термографа необхідно перерахувати параметри кольорової моделі HSV в значення кожного спектру кольорової моделі RGB на основі вихідних даних. Для цього слід обчислити температурний коефіцієнт, що дозволить провести масштабування значення температури в колір певного тону, за наступною формулою

$$k = (pal_{\max} - pal_{\min}) / (t_{\max} - t_{\min}),$$

де k – температурний коефіцієнт кольорової моделі HSV.

Потім параметр кольорового тону H кожного квадрата термограми треба розрахувати з використанням температурного коефіцієнту для перетворення значень температури в значення кольорового тону на основі формули виду:

$$H_{i,j} = pal_{\min} + (t_{i,j} - t_{\min})k,$$

де $H_{i,j}$ – набір значень кольорового тону всіх квадратів термограми, дані якого відповідають температурним показникам.

Тепер необхідно розрахувати додаткові параметри на основі параметрів кольорової моделі HSV, що використовуються для формування компонент кожного кольору з RGB спектру, за наступними формулами:

$$\begin{cases} H'_{i,j} = (H_{i,j} / 60) \bmod 6, \\ V_{\min} = ((100 - S)V) / 100, \\ a_{i,j} = (V - V_{\min})(H_{i,j} \bmod 60 / 60), \end{cases}$$

де $H'_{i,j}$ – набір нормованих значень кольорового тону, V_{\min} – отримане мінімальне значення яскравості, $a_{i,j}$ – додатково введений параметр.

Останнім етапом формування термограми в запропонованій аналітичній моделі є розрахунок кольорів спектру RGB та малювання квадратів певного кольору. Якщо значення температури з вихідного файлу дорівнює нулю – то це пусті квадрати, що заповнюються сірим кольором. Значення червоної, зеленої та синьо-блакитної складової спектру RGB, позначені відповідно $R_{i,j}$, $G_{i,j}$ та $B_{i,j}$ розраховуються на основі набору нормованих значень кольорового тону таким чином:

$$R_{i,j} = \begin{cases} V, & H'_{i,j} = 0 \text{ або } H'_{i,j} = 5, \\ V_{\min} + a, & H'_{i,j} = 1, \\ V_{\min}, & H'_{i,j} = 2 \text{ або } H'_{i,j} = 3, \\ |V_{\min} - a|, & H'_{i,j} = 4, \end{cases}$$

$$G_{i,j} = \begin{cases} |V_{\min} - a|, & H'_{i,j} = 0, \\ V, & H'_{i,j} = 1 \text{ або } H'_{i,j} = 2, \\ V_{\min} + a, & H'_{i,j} = 3, \\ V_{\min}, & H'_{i,j} = 4 \text{ або } H'_{i,j} = 5, \end{cases}$$

$$B_{i,j} = \begin{cases} V_{\min}, & H'_{i,j} = 0 \text{ або } H'_{i,j} = 1, \\ |V_{\min} - a|, & H'_{i,j} = 2, \\ V, & H'_{i,j} = 3 \text{ або } H'_{i,j} = 4, \\ V_{\min} + a, & H'_{i,j} = 5. \end{cases}$$

Далі необхідно створити функцію малювання квадрата (прямокутника) з використанням програмно-алгоритмічних засобів та розрахованих спектрів кольору RGB. Реалізація всіх етапів аналітичної моделі формування термограм дозволяє отримати теплове зображення, що складається з кольорових квадратів. Проведено дослідження запропонованої аналітичної моделі на 52 файлах з розширенням *.tmg, що показало адекватне перетворення та відображення температурних показників у вигляді термограм, приклад однієї термограми з цього набору представлений на рис. 2.

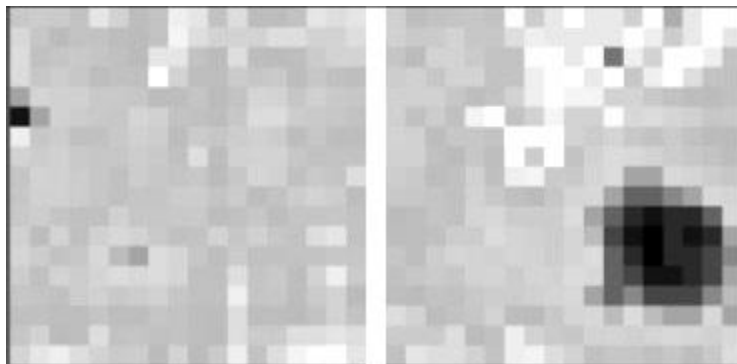


Рис. 2. Термограма з патологією в лівій МЗ

Висновки. В ході дослідження визначені основні етапи формування теплового зображення, формалізовано змінні та залежності

моделі формування термограми на основі перетворення температурних показників термографа, виконано дослідження застосування моделі на конкретних прикладах. Отримані результати свідчать про можливість використання моделі під час формування термограм та їх візуальної обробки в інформаційній технології діагностики онкологічних захворювань МЗ.

Список літератури: 1. *Piana A.* Contemporary evaluation of thermal breast screening / *A. Piana* – *Pan American Journal of Medical Thermology*. – 2014. – №. 1 (2). – P. 93-100. 2. *Дехтярев Ю.П.* Место и роль дистанционной инфракрасной термографии среди современных диагностических методов / *Ю.П. Дехтярев* // *Электроника и связь*. – 2010. – № 2 (55). – С. 192-196. 3. *Павлов А.С.* Применение компьютеризированного радиотермометра РТМ-01-РЭС для выявления пациентов группы риска и для оценки эффективности лечения заболеваний молочных желез [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.resltd.ru/rus/literature/tmp/med_tech.pdf – Дата доступа: декабрь 2016. 4. *Лях Ю.С.* Розробка автоматизованої експертної системи для попередньої скринінгової оцінки даних контактної цифрової термографії / *Ю.С. Лях* // *Університетська клініка*. – 2011. – № 1. – С. 109-112. 5. *Шихман С.М.* Контактная объемная термография молочных желез / *С.М. Шихман* // *Эндоскопическая хирургия*. – 2007. – № 6. – С. 40-44. 6. *Ковальчук И.С.* Возможности дистанционной инфракрасной термографии в диагностике заболеваний молочных желез (доброкачественные изменения) / *И.С. Ковальчук* // *Укр. мед. часопис*. – 2013. – № 3 (92). – С. 165-169. 7. *Котовський В.Й.* Інфрачервона термографія як сучасний метод первинної діагностики / *В.Й. Котовський* // *Біомед. інженерія*. – 2011. – № 1. – С. 38-43. 8. *Карчинський О.О.* Використання дистанційної інфрачервоної термографії в діагностиці гострих параназальних синуситів / *О.О. Карчинський* // *Scientific Journal "ScienceRise: Medical Science"*. – 2016. – № 10 (6) – С. 13-19. 9. *Milosevic M.* Thermography based breast cancer detection using texture features and minimum variance quantization / *M. Milosevic*. – *EXCLI Journal*. – 2014. – Vol. 13. – P. 1204-1215. 10. *Ковалева И.Л.* Получение и обработка изображений [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://rep.bntu.by/handle/data/1411> – Дата доступа: декабрь 2016.

References:

1. Piana, A. (2014), "Contemporary evaluation of thermal breast screening", *Pan American Journal of Medical Thermology*, No. 1(2), pp. 93-100.
2. Dekhtyarev, Y.P. (2014), "The place and role of remote infrared thermography among modern diagnostic methods", *Electronics and Communications*, No. 2 (55), pp. 192-196.
3. Pavlov, A.S. "The use of computer-RTM-01-RES to identify at-risk patients and to evaluate the effectiveness of treatment of breast", available at: http://www.resltd.ru/rus/literature/tmp/med_tech.pdf (accessed 15 December 2016).
4. Lyakh, Y.E. (2011), "Development of an automated expert system for pre-screening assessment data digital contact thermography", *University Clinic*, No. 1, pp. 109-112.
5. Shykhman, S.M. (2007) "Contact volumetric breast thermography", *Endoscopic surgery*, No. 6, pp. 40-44.
6. Kovalchuk, I.S. (2013), "Features remote infrared thermography in the diagnosis of breast disease (benign changes)", *Ukr. med. magazine*, No. 3 (92), pp. 165-169.
7. Kotovsky, V.I. (2011), "Infrared thermography as a modern method of primary diagnosis", *Biomed. Engineering*, No. 1, pp. 38-43.
8. Karchynskyy, A.A. (2016), "Using remote infrared thermography in the diagnosis of acute paranasal sinusitis", *Scientific Journal "ScienceRise: Medical Science"*, No. 10 (6), pp.13-19.

9. Milosevic, M. (2014), "Thermography based breast cancer detection using texture features and minimum variance quantization", *EXCLI Journal*, Vol. 13, pp. 1204-1215.

10. Kovaleva, I.L. (2008), "Production and processing of images", available at: <http://rep.bntu.by/handle/data/1411> (accessed 16 December 2016).

Статтю представив д-р техн. наук, проф. ДонНТУ Федоров Є.Є.

Надійшла (received) 21.12.2016

Titova Anastasiya, postgraduate
Donetsk National Technical University
square Shybankova, 2, Pokrovsk, Donetsk region, 85300, Ukraine
Tel.: (095) 333-51-01, e-mail: a.titova.wk@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-4803-2090

УДК 004.932.4

Розробка моделі формування термограми молочних залоз на основі перетворення температурних показників термографа / Тітова А.Ю. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2016. – № 44 (1216). – С. 116 – 124.

Проаналізовано принципи формування термограм в сучасних системах діагностики онкологічних захворювань молочних залоз на основі термографії та визначені етапи формування теплового зображення. Розроблено аналітичну модель формування термограми молочних залоз жінок та проведено аналіз її адекватності. Ил.: 2, Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: термограма молочних залоз, діагностика онкологічних захворювань, аналітична модель.

УДК 004.932.4

Разработка модели формирования термограммы молочных желез на основе преобразования температурных показателей термографа / Титова А.Ю. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2016. – № 44 (1216). – С. 116 – 124.

Проанализированы принципы формирования термограмм в современных системах диагностики онкологических заболеваний молочных желез на основе термографии и определены этапы формирования теплового изображения. Разработана аналитическая модель формирования термограммы молочных желез женщин и проведен анализ ее адекватности. Ил.: 2, Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: термограмма молочных желез, диагностика онкологических заболеваний, аналитическая модель.

UDC 004.932.4

Developing model of forming breast thermal images on the basis of the transformation by temperature indicators of thermograph / Titova A.Yu. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2016. – №. 44 (1216). – P. 116 – 124.

Analyzed the principles of forming thermal image in modern diagnostic systems of breast cancer based on thermography and defined stages of the thermal image. The analytical model of breast thermal image women was created and the analysis of its adequacy. Figs.: 2, Refs.: 10 titles.

Keywords: stages of thermal image, diagnostic systems of breast cancer, analytical model.