

DETEKCJA KRAWĘDZI W TERMOGRAMACH STÓP Z WYKORZYSTANIEM TRANSFORMACJI RADONA NA POTRZEBY ROZPOZNANIA STOPY CUKRZYCOWEJ

Łukasz Chlastawa¹, Agnieszka Lisowska-Lis²

¹ l_chlastawa@atar.edu.pl, ² lisowskalis@atar.edu.pl,

^{1, 2} Akademia Tarnowska, Tarnów, Polska

Streszczenie

Szacuje się, że na całym świecie 589 milionów osób choruje na cukrzycę, z czego 252 miliony to osoby, u których choroba jeszcze nie została zdiagnozowana [1]. Ponad 90% zachorowań dotyczy cukrzycy typu 2. W Polsce w 2018 roku na cukrzycę chorowało 2,9 miliona dorosłych [2]. Liczba amputacji w wyniku zespołu stopy cukrzycowej w Polsce stale wzrasta. Redukcja liczby amputacji jest możliwa przez wdrożenie odpowiedniego programu opieki nad chorymi z owrzodzeniami w przebiegu zespołu stopy cukrzycowej. Metoda opracowywana przez nas może to zadanie ułatwić.

Celem badań jest obróbka i analiza termogramów stóp osób zdrowych i osób chorujących na cukrzycę, w tym zagrożonych syndromem stopy cukrzycowej. Wyniki badania naukowego pozwolą stwierdzić przydatność algorytmu analizy termogramów we wspieraniu diagnostyki w gabinecie po-

dologicznym. W ramach procedury badawczej przedmiotem analizy są punkty na stopach dobrane tak, aby jak najdokładniej wykryć problemy z ukrwieniem dolnej powierzchni stopy. Pięć punktów dotyczy palców, a kolejne pięć dotyczy śródstopia i tyłostopia. Prowadzone badania poświęcone są opracowaniu algorytmu automatycznego rozpoznania stóp i oznaczania punktów referencyjnych oraz analizie danych o temperaturze w tych punktach na monochromatycznych obrazach termograficznych.

W ostatnich latach pojawiają się prace naukowe dotyczące zastosowania termografii w podczerwieni w komputerowo wspomaganą diagnostyce i badaniach przesiewowych cukrzycy [3, 4]. Monitorowanie stóp w podczerwieni może dostarczyć informacji klinicznych zanim będzie można zidentyfikować innymi metodami kliniczne objawy uszkodzeń stopy [5, 6]. Bha-

rara i in. [7, 8] zaproponowali testy bodźcami cieplnymi stopy cukrzycowej i zmierzili wynikające z tego zmiany temperatury za pomocą termografii ciekłokrystalicznej. Termografia statyczna jest już uznaną metodą wspierającą diagnostykę [9]. Są prowadzone również badania dotyczące termografii dynamicznej w tym zakresie [10].

Opracowywany algorytm analizy obrazów stopy jest oparty na przekształceniach i metodach analizy obrazu, które można przedstawić analitycznie. Jest zatem przewidywalny i jednocześnie skuteczny przy spełnieniu wymaganych, choć niezbyt rygorystycznych założeń dotyczących wykonania obrazów. Zakładany jest brak konieczności zastosowania dodatkowej prze-

stony dla ujednoczenia tła, co czyni badanie prostym do wykonania przez jedną osobę. Kontury obiektów w tle są jednak czynnikiem utrudniającym poprawną analizę danych. Niezbędne jest prawidłowe zlokalizowanie stóp na obrazie, a do tego przyczynia się lokalizacja ich bocznych, zewnętrznych krawędzi. W tym celu wykorzystano transformację Radona. Na podstawie analizy sinogramu wstępnie przetworzonego, zbinaryzowanego obrazu termograficznego stóp utworzony program wskazuje przebieg krawędzi. Dane o lokalizacji bocznych, zewnętrznych krawędzi stóp będą później wykorzystane do wyszukania i oznaczania właściwych punktów referencyjnych do analizy temperatury.

Słowa kluczowe: termografia w podczerwieni, stopa cukrzycowa, transformacja Radona, analiza obrazu, detekcja krawędzi

Keywords: infrared thermography, diabetic foot, Radon transform, image analysis, edge detection

Bibliografia / References

- [1] International Diabetes Federation. Diabetes Facts & Figures. Accessed March 31, 2026. <https://idf.org/about-diabetes/diabetes-facts-figures>.
- [2] Pacjent.gov.pl. Cukrzyca w liczbach. Accessed March 31, 2026. <https://pacjent.gov.pl/aktualnosc/cukrzyca-w-liczbach>.
- [3] Hernandez-Contreras, D., H. Peregrina-Barreto, J. Rangel-Magdaleno, J. Ramirez-Cortes, and F. Renero-Carrillo. "Automatic Classification of Ther-

- mal Patterns in Diabetic Foot Based on Morphological Pattern Spectrum." *Infrared Physics & Technology* 73 (2015): 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.09.022>.
- [4] Faust, O., U. Rajendra Acharya, E. Y. K. Ng, T. J. Hong, and W. Yu. "Application of Infrared Thermography in Computer-Aided Diagnosis." *Infrared Physics & Technology* 66 (2014): 160–175. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2014.06.001>.

[5] Armstrong, David G., Lawrence A. Lavery, Paul J. Liswood, William F. Todd, and Jeffrey A. Tredwell. "Infrared Dermal Thermometry for the High-Risk Diabetic Foot." *Physical Therapy* 77, no. 2 (1997): 169–175. <https://doi.org/10.1093/ptj/77.2.169>.

[6] Bagavathiappan, S., J. Philip, T. Jayakumar, B. Raj, P. N. Rao, M. Varalakshmi, and V. Mohan. "Correlation between Plantar Foot Temperature and Diabetic Neuropathy: A Case Study Using Infrared Thermal Imaging." *Journal of Diabetes Science and Technology* 4, no. 6 (2010): 1386–1392. <https://doi.org/10.1177/193229681000400613>.

[7] Bharara, M., V. Viswanathan, and J. E. Cobb. "Warm Immersion Recovery Test in Assessment of Diabetic Neuropathy: A Proof-of-Concept Study." *International Wound Journal* 5,

no. 4 (2008): 570–576. <https://doi.org/10.1111/j.1742-481X.2008.00455.x>.

[8] Bharara, M., V. Viswanathan, and J. E. Cobb. "Cold Immersion Recovery Responses in the Diabetic Foot with Neuropathy." *International Wound Journal* 5, no. 4 (2008): 562–569. <https://doi.org/10.1111/j.1742-481X.2008.00454.x>.

[9] Ilo, Arjaleena, Pekka Ronsi, and Jussi Mäkelä. "Infrared Thermography and Vascular Disorders in Diabetic Feet." *Journal of Diabetes Science and Technology* 14, no. 1 (2020): 28–36. <https://doi.org/10.1177/1932296819871270>.

[10] Vardasca, Ricardo, C. Magalhães, A. Seixas, R. Carvalho, and J. Mendes. "Diabetic Foot Monitoring Using Dynamic Thermography and AI Classifiers." In *Proceedings of QIRT Asia 2019*, 2019. <https://qirt.org/archives/qirtasia2019/papers/027.pdf>.

EDGE DETECTION IN FOOT THERMOGRAMS USING THE RADON TRANSFORM FOR DIABETIC FOOT RECOGNITION

Abstract

It is estimated that 589 million people worldwide suffer from diabetes, including 252 million individuals in whom the disease remains undiagnosed [1]. More than 90% of cases are associated with type 2 diabetes. In Poland, 2.9 million adu-

Its were living with diabetes in 2018 [2]. The number of amputations resulting from diabetic foot syndrome in Poland is steadily increasing. A reduction in amputation rates can be achieved through the implementation of appropriate care programs

for patients with diabetic foot ulcers. The method developed in this study may facilitate this process.

The aim of this study is to process and analyze thermographic images of the feet of both healthy individuals and diabetic patients, including those at risk of diabetic foot syndrome. The results of the study will allow assessment of the usefulness of thermogram analysis algorithms in supporting diagnostics in podiatric practice. Within the research procedure, specific points on the foot are selected to enable accurate detection of circulatory disorders in the plantar region. Five points correspond to the toes, while another five are located in the midfoot and hindfoot regions. The research involves the development of an algorithm for automatic foot recognition and the automated marking of predefined measurement points, followed by the analysis of temperature data at these locations based on monochromatic thermographic images.

In recent years, scientific studies have increasingly explored the application of infrared thermography in computer-aided diagnosis and screening of diabetes [3, 4]. Infrared monitoring of the feet may provide clinical information before pathological changes can be detec-

ted using conventional diagnostic methods [5, 6]. Bharara et al. [7, 8] proposed thermal stimulation tests of the diabetic foot and measured the resulting temperature changes using liquid crystal thermography. Static thermography is a well-established and widely studied method supporting diagnostics [9]. Dynamic thermography likewise remains an active area of research and development [10].

The developed image analysis algorithm is based on analytical image processing methods, ensuring predictability and effectiveness under relatively simple acquisition conditions. No additional background standardization (e.g., masking) is required, which allows the examination to be performed easily by a single operator. However, background objects may interfere with accurate data analysis. Therefore, precise localization of the feet is essential, particularly through the detection of their lateral outer edges. For this purpose, the Radon transform is employed. Based on the analysis of the sinogram of a preprocessed and binarized thermographic image, the algorithm determines edge trajectories, which will subsequently be used to identify and mark reference points for temperature analysis.