

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji
Katedra Elektroniki



Autoreferat rozprawy doktorskiej

Termiczna matryca odczytowa dla niewidomych

mgr inż. Krzysztof Boroń

PROMOTOR:

Prof. dr hab. inż. Andrzej Kos – Akademia Górniczo-Hutnicza, WIET

RECENZENCI:

Dr hab. inż. Włodzimierz Kalita, prof. nadzw. PRz – Politechnika Rzeszowska, WEiI

Prof. dr hab. Tadeusz Pisarkiewicz – Akademia Górniczo-Hutnicza, WIET

Praca została sfinansowana w ramach projektu badawczego

nr R0203101

przez Komitet Badań Naukowych

KRAKÓW, 2012

W rozprawie doktorskiej autor opisał wykonane urządzenie: „termiczną matrycę odczytową dla niewidomych”, za pomocą której osoba niewidoma poprzez dotykanie punktów o wybranej temperaturze może poczuć ciepłe lub zimne znaki i rozpoznać prezentowaną grafikę lub tekst. Urządzenie bazuje na innowacyjnym wykorzystaniu mikromodułów Peltiera jako punktów dotykowych. Zastosowanie odwracalnych źródeł ciepła w termicznej matrycy odczytowej dla niewidomych polepsza postrzeganie znaków i symboli graficznych, a także przyczynia się do oszczędności energii zasilania. Autor rozprawy wykonał pięć wersji urządzenia, udoskonalił je oraz przeprowadził testy z udziałem osób niewidomych. Po wykonaniu ostatniego prototypu przygotował ćwiczenia mające na celu naukę rozpoznawania treści generowanych termicznie. Przeprowadzenie serii ćwiczeń z udziałem osób niewidomych i ich nauczyciela pozwoliło na przeprowadzenie analizy czasu potrzebnego do poprawnego odczytu oraz sprawdzenia rozpoznawalności generowanych kształtów. Wykonanie modelu termicznego [1] umożliwia dobranie właściwego modułu Peltiera do parametrów termicznych skóry człowieka tak, aby zapewnić dopasowanie termiczne i zmniejszyć zużycie energii.

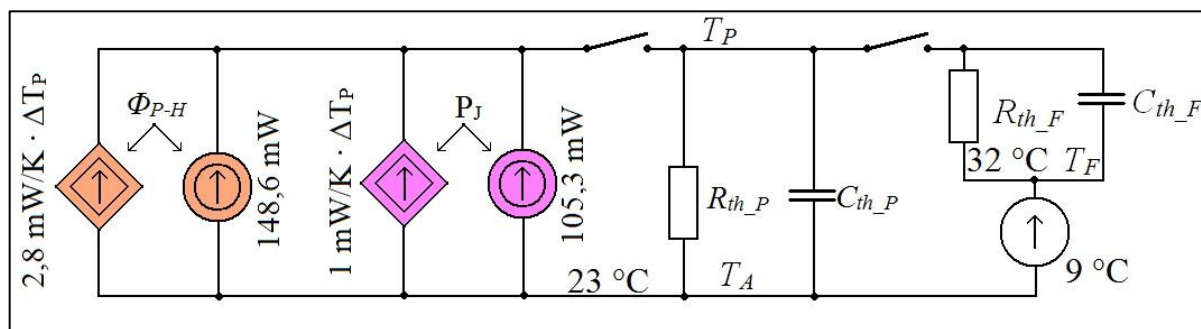
Model termiczny wybranych części dłoni oraz termicznego ekranu dotykowego dla niewidomych

Istnieje wiele publikacji na temat właściwości termicznych ludzkiej skóry. Jednakże, znając przewodność termiczną właściwą oraz pojemność cieplną właściwą skóry nie można wyznaczyć wartości tych parametrów dla ściśle określonego, małego obszaru skóry, ponieważ grubość i objętość skóry dotykającej punkt cieplny jest nieznana. Korzystając z wyników przeprowadzonych pomiarów oraz z programu komputerowego TEC CAD 2.1h, za pomocą którego można symulować działanie TEC w różnych warunkach pracy, wyznaczono rezystancję termiczną R_{th_P} , pojemność cieplną mikromodułu Peltiera C_{th_P} , rezystancję termiczną palca R_{th_F} oraz pojemność cieplną fragmentu skóry palca C_{th_F} . Rezystancję termiczną mikromodułu Peltiera R_{th_P} wyliczono z definicji mierząc różnicę temperatur między zimną a ciepłą stroną oraz obliczając strumień ciepła wpływający do górnej powierzchni mikromodułu Peltiera. Do wyznaczenia C_{th_P} zmierzono ilość ciepła zmagazynowaną w mikromodule Peltiera podczas stabilizowania się temperatury T_P powierzchni dotykowej po podłączeniu mikromodułu Peltiera do stałego napięcia zasilania. R_{th_F} obliczono mierząc przyrost strumienia ciepła wpływającego do górnej powierzchni dotykanej mikromodułu Peltiera ponad wartość odpowiadającą niedotykanemu mikromodułowi Peltiera. Wartość C_{th_F} obliczono wyznaczając najpierw wartość energii cieplnej zgromadzonej w pojemności cieplnej układu: *mikromoduł Peltiera + fragment skóry palca*. Zmierzono oscylogram temperatury górnej powierzchni punktu dotykowego, prądu zasilania i obliczono strumienie ciepła wpływające do powierzchni dotykanej: strumień ciepła wywołany efektem Peltiera Φ_{P-H} oraz strumień ciepła P_J (moc cieplną) powstały zgodnie z prawem Joule’a. Empirycznie wyznaczone wartości strumieni mocy Φ_{P-H} oraz P_J są zależne od różnicy temperatur $\Delta T_P = T_P - T_A$:

$$\Phi_{P-H} = 148,6 \text{ mW} + 2,8 \text{ mW/K} \cdot \Delta T_P$$

$$P_J = 105,3 \text{ mW} + 1 \text{ mW/K} \cdot \Delta T_P$$

Pomiarów temperatury powierzchni dotykanej T_P oraz temperatury otoczenia T_A dokonano podczas włączania mikromodułu Peltiera do zasilania mierząc od momentu włączenia do ustabilizowania się temperatury T_P . Następnie dla zmierzonej różnicy temperatur ΔT_P oraz ilości energii cieplnej, zgromadzonej w pojemnościach cieplnych układu: $C_{th_F} + C_{th_P}$, określono sumę tych pojemności cieplnych. Pojemność cieplną C_{th_F} obliczono jako różnicę pojemności układu pomniejszoną o pojemność cieplną C_{th_P} . Zaproponowany model termiczny znajduje się na rysunku 1.



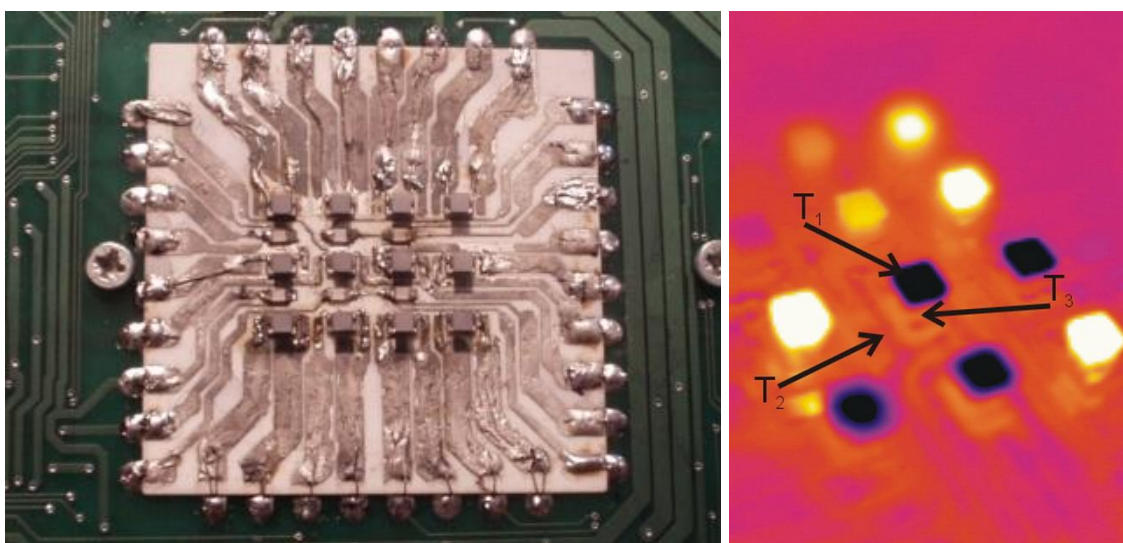
Rys.1. Model termiczny pojedynczego punktu termicznego ekranu dotykowego dla niewidomych [1]

Wartości strumieni ciepła są silnie zależne od temperatury. Zmierzone parametry wybranych fragmentów skóry dłoni świadczą o tym, że właściwości termiczne skóry człowieka mogą różnić się w zależności od cech personalnych i od miejsca przeprowadzania pomiaru. Środkowa część opuszki palca wskazującego w każdym przypadku charakteryzowała się największą wartością rezystancji termicznej ze wszystkich zmierzonych. Czynnikiem wpływającym na wartości pomiarów są cechy fizjologiczne skóry takie jak pocenie się i termoregulacja, oraz siła z jaką użytkownik dociska palec do urządzenia. Średnia arytmetyczna wartość R_{th_F} oraz C_{th_F} z przeprowadzonych pomiarów wynosi odpowiednio 220 K/W oraz 12,5 mJ/K. Zmierzona rezystancja termiczna mikromodułu Peltiera R_{th_P} wynosi 360 K/W, natomiast pojemność cieplna $C_{th_P} = 46 \text{ mJ/K}$.

Budowa ekranu dotykowego

W trakcie prac nad rozprawą autor wykonał pięć urządzeń generujących znaki cieplne [2]. Na początku pracy nad termiczną protezą dla niewidomych sprawdzono możliwość wytwarzania znaków cieplnych i ich rozpoznawania. Prosty układ jakim jest zasilana miniaturowa pompa Peltiera okazał się jednak niewystarczającym do generowania treści prezentowanych za pomocą ciepła. Pojemność cieplna skóry jest tak duża, że użycie prostego zasilania (bezpośrednio podłączając mikromoduł Peltiera do stałego napięcia zasilania) powoduje zbyt powolne osiągnięcie ustawionej wartości temperatury. Ze względu na pojemność cieplną i rezystancję termiczną skóry temperatura punktów cieplnych była niestabilna w trakcie dotykania. W drugim urządzeniu do pomiaru temperatury powierzchni dotykanej wykorzystano zjawisko Seebecka występujące w modułach Peltiera. Mierząc temperaturę wprowadzono jej stabilizację oraz możliwość wyboru temperatury osobno dla

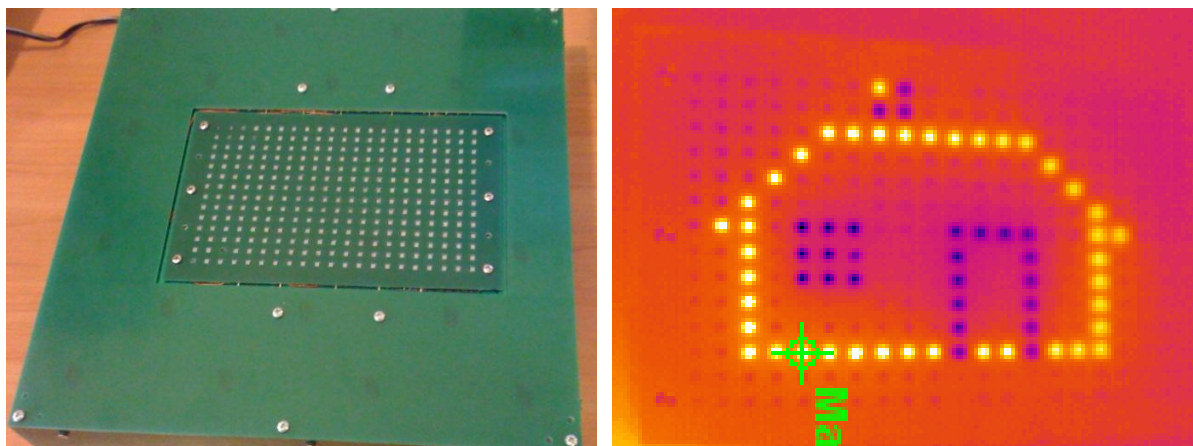
każdego punktu dotykowego. Wybrano takie napięcie zasilania, aby temperatura punktu cieplnego zmieniała się z 293 K (20 °C) do 328 K (55 °C) w czasie około 300 ms. Bez stabilizacji temperatury punkt cieplny mógłby osiągnąć przy tym napięciu zasilania nawet 433 K (160 °C). Zgodnie z opinią osób niewidomych zapewniono gładkość powierzchni panelu dotykowego tak, aby nierówności nie myliły się ze znakami Braille'a. Na podstawie zdobytych doświadczeń podczas budowy urządzenia umożliwiającego wygenerowanie dwóch ciepłych znaków pisma brajlowskiego wykonano urządzenie wyświetlające obrazy graficzne. Testy tego urządzenia ukazały pewne problemy w użytkowaniu. Temperatura zmierzona za pomocą napięcia Seebecka okazała się niezbyt dokładna w pewnych obszarach ekranu. Obraz na ekranie komputera odzwierciedlający wartości zmierzonych temperatur poszczególnych punktów dotykowych sugerował właściwą temperaturę, jednak rozpoznanie znaków ciepłych na obrzeżach termicznej protezy było łatwiejsze niż w centralnej części ekranu dotykowego. W celu rozwiązania problemu wykonano testowe urządzenie na którym mikromoduły Peltiera zostały przylutowane do płytki alundowej, na której metodą sitodruku naniesiono ścieżki elektryczne, tym samym zapewniając mikromodułom Peltiera bardzo dobry kontakt cieplny z radiatorem [3]. Zbudowany układ posłużył do zmierzenia parametrów termicznych układu, fragmentu skóry palca oraz do wykonania modelu termicznego.



Rys.2. Zdjęcie i zdjęcie termograficzne mikromodułów Peltiera przylutowanych do płytki alundowej. $T_1 = 274$ K, $T_2 = 304$ K, $T_3 = 306$ K

Ostatnim wykonanym prototypem termicznej protezy dla niewidomych jest termiczny ekran dotykowy zawierający niemal trzysta mikromodułów Peltiera. Mając na celu ograniczenie zużycia energii wprowadzono algorytm dynamicznego sterowania. Algorytm jest w stanie rozpoznać i włączać tylko te mikromoduły Peltiera które są dotykane. Dla jeszcze szybszego rozpoznawania punktów ciepłych wprowadzono algorytm przesterowania czyli krótkotrwałego przekroczenia temperatury zadanej. Urządzenie przystosowano do przeprowadzenia testów przez osoby niewidome. Zapewniono zwartą obudowę, gładki ekran dotykowy oraz wykonano program komputerowy służący do nauki

rozpoznawania znaków cieplnych. Temperatura punktów dotykowych jest zgodna z temperaturą zadaną z dokładnością ± 1 K. Punkty o ustawionej temperaturze są równie łatwe w odczycie na całej powierzchni ekranu. Za pomocą płytek drukowanych na podłożu alundowym rozwiązano problem kontaktu między mikromodułem Peltiera a radiatorem.



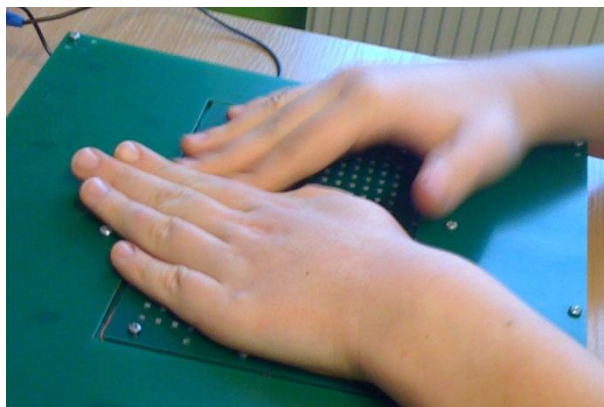
Rys.3. Zdjęcie termicznej matrycy odczytowej dla niewidomych oraz zdjęcie termograficzne wytworzonej grafiki

Termiczny ekran dotykowy dla niewidomych składa się z trzech typów płytek elektronicznych. Pierwsza to płytka alundowa zawierająca 49 mikromodułów Peltiera oraz jeden miniaturowy termistor. Druga to płyta główna, na której znajduje się procesor nadrzędny odpowiedzialny za komunikację z komputerem PC i sześciopunktowy pomiar temperatury radiatora. Trzeci typ płytki jest odpowiedzialny za kontrolę różnicy temperatur mikromodułów Peltiera, komunikację z procesorem nadrzędnym oraz po włączeniu dynamicznego sterowania matrycą dokonuje detekcji, czy któryś z obsługiwanych mikromodułów Peltiera jest dotykany. W urządzeniu znajdują się 42 płytki tego typu. Pomiar napięcia Seebecka jest wykonywany na każdym mikromodule Peltiera przez przetworniki A/C wbudowane w mikrokontrolery ATmega8. Każdy z mikrokontrolerów steruje siedmioma mikromodułami Peltiera oraz mierzy na nich napięcie Seebecka. Zastosowanie wielu mikrokontrolerów zamiast jednego centralnego z multipleksowanymi kanałami analogowymi zostało podyktowane prostszą budową urządzenia oraz ceną elementów.

Przeprowadzenie ćwiczeń z udziałem osób niewidomych

Po wykonaniu każdego układu generującego znaki cieplne przeprowadzono ćwiczenia z udziałem osób niewidomych oraz konsultowano dalsze prace badawcze z ich opiekunami. Na podstawie tych konsultacji określono rozmiary docelowego ekranu dotykowego, zapewniono gładkość ekranu a także ograniczono zakres temperatur. Po wykonaniu ostatniego prototypu termicznej matrycy odczytowej dla niewidomych przeprowadzono ćwiczenia w Specjalnym Ośrodku Szkolno – Wychowawczym dla Dzieci Niewidomych i Niedowidzących w Krakowie. Każda osoba testująca termiczną protezę dla niewidomych

brała udział w spotkaniach, podczas których miała za zadanie rozpoznać siedemnaście obrazków termicznych. Wraz z czasem spędzonym przy termicznym ekranie dotykowym rozpoznawalność obrazów była coraz lepsza, a czas potrzebny na rozpoznanie coraz krótszy. W trakcie ćwiczeń osoby testujące wyrabiały sobie sposób postępowania z nowym urządzeniem. Podczas pierwszego ćwiczenia osoby niewidome najczęściej dotykały panel za pomocą opuszek palców. W trakcie ostatniego spotkania większość osób najpierw dotykała urządzenie za pomocą dwóch dłoni zakrywając wszystkie mikromoduły Peltiera, następnie za pomocą zewnętrznej części palców lub bocznej części opuszki palca dokładnie lokalizowały punkty cieplne.



Rys.4. Lokalizowanie znaku cieplnego za pomocą całych dłoni

Interesującym zjawiskiem potwierdzonym przez innych użytkowników, był efekt zapamiętania zimnych znaków. Jeżeli użytkownik dotykał zimnych znaków za pomocą zewnętrznych części palców zaciśniętych w pięść to odczucie zimna pozostawało na jego skórze nawet przez kilka godzin. To subiektywne uczucie nie pojawiało się po dotykaniu urządzenia za pomocą innych części dłoni lub po dotykaniu ciepłych znaków. Zauważono także, że osoby, które są biegłe w czytaniu pisma Braille'a szybciej rozpoznają znaki cieplne w porównaniu do niewidomych, którzy mają problemy z używaniem liter wypukłych. Podczas przeprowadzenia ćwiczeń sprawdzono, że najłatwiej jest zlokalizować znak cieplny za pomocą nadgarstka gdzie rezystancja termiczna ma najmniejszą wartość ze zmierzonych. Chociaż opuszka palca ma największą rezystancję termiczną i rozpoznanie znaków termicznych za jego pomocą jest znacznie trudniejsze to osoby niewidome najczęściej wybierały właśnie tą część dłoni. Dla poprawnego rozpoznania termicznych obrazków podczas pierwszego spotkania osoba niewidoma potrzebowała przeciętnie 53 sekundy (mediana z wszystkich wartości czasu dla wszystkich osób), podczas drugiego spotkania 38 sekund, podczas trzeciego spotkania 32 sekundy a poprawność odczytu wynosiła 86 %.

Zastosowanie mikromodułów Peltiera, czyli odwracalnych źródeł ciepła, pozwoliło na pomiar oraz stabilizację temperatury punktów dotykowych. Stabilna temperatura punktów cieplnych umożliwia łatwiejsze rozpoznanie generowanych znaków i symboli graficznych. Wprowadzone rozwiązanie umożliwia ustawienie temperatury punktów dotykowych na wartość niższą niż temperatura otoczenia. Umożliwia to wytworzenie obrazów termicznych składających się z punktów ciepłych i punktów zimnych oraz regenerację temperatury skóry,

która może się zmienić podczas długotrwałej pracy z urządzeniem. Elektryczne pompy ciepła dostarczają do strony ciepłej więcej mocy cieplnej niż rezystory lub diody ponieważ poza ciepłem Joule'a do strony ciepłej wpływa także strumień ciepła zgodnie ze zjawiskiem Peltiera. Przyczynia się to do oszczędności energii zasilania w porównaniu do rozwiązań opartych na rezystorach lub diodach, które również mogą generować punkty ciepłe. Opracowane rozwiązania problemu postrzegania znaków termicznych przez niewidomych zostały zastosowane w mobilnym systemie bezpieczeństwa dla niewidomych [4].

Literatura własna

[1] Krzysztof BOROŃ, Andrzej KOS, *"Thermal model of selected parts of human hand and thermal touch screen for the blind"*, Metrology and Measurement Systems; ISSN 0860-8229. 2012 Vol. XIX No. 3, s. 593-602

[2] Krzysztof BOROŃ, Piotr BRATEK, Andrzej KOS, *"Graphical touch screen of thermal signs for the blind people – clinic test"*s, Microelectronics International; ISSN 1356-5362. — 2007 vol. 24 no. 2 s. 23–2

[3] Krzysztof BOROŃ, Zbigniew MAGOŃSKI, Andrzej KOS, *"Peltier modules array on common alumina substrate for the blind – thermal and electrical tests"*, Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania (Warszawa); ISSN 0033-2089, 2007 R. 48 nr 12 s. 33–36.

[4] Krzysztof BOROŃ, Wojciech GELMUDA, Andrzej KOS, *"Mobile Safety System for the Blind"*, Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania (Warszawa); ISSN 0033-2089, 2011 R. 52 nr 3 s. 79–81.