

Bartosz OSTROWSKI, Mariusz FELCZAK, Krzysztof TOMALCZYK

POLITECHNIKA ŁÓDZKA, INSTYTUT ELEKTRONIKI,
ul. Wólczarska 211/215, 90-924 Łódź

Optymalizacja termiczna położenia elementów elektronicznych w interfejsie wizyjno-akustycznym systemu wspomagania niewidomego w samodzielnym poruszaniu się

Mgr inż. Bartosz OSTROWSKI

Bartosz Ostrowski ukończył studia w 2004 roku. Od samego początku zajmuje się projektowaniem elektroniki. Od 2006 zajmuje się również problematyką wymiany ciepła w układach elektronicznych. W obecnej chwili jego prace związane są z optymalizacją rozmieszczenia elementów elektronicznych na podłożu w celu minimalizacji maksymalnej temperatury układu.



e-mail: bostrow@p.lodz.pl

Dr inż. Mariusz FELCZAK

Mariusz Felczak ukończył studia w Politechnice Łódzkiej na wydziale Elektrotechniki i Elektroniki. W roku 2007 obronił pracę doktorską i rozpoczął pracę na stanowisku adiunkta. Obecnie jego prace związane są z wymianą ciepła układów elektronicznych, do których jest wykorzystywany zaprojektowany przeze niego tunel powietrzny. Zajmuje się również optymalizacją rozmieszczenia elementów elektronicznych na podłożu przy użyciu algorytmów genetycznych.



e-mail: felczak@p.lodz.pl

Dr inż. Krzysztof TOMALCZYK

Krzysztof Tomalczyk ukończył studia w Politechnice Łódzkiej na wydziale Elektrotechniki i Elektroniki. W latach 2003 – 2011 pracował na stanowisku asystenta a obecnie na stanowisku adiunkta w Instytucie Elektroniki PL. Dotychczas opublikował 17 prac naukowych o tematyce związanej z elektronicznymi układami zasilającymi oraz zastosowaniami termowizji. Jednym z głównych obszarów jego prac badawczych jest problematyka strat mocy w układach elektronicznych.



e-mail: krzysztof.tomalczyk@p.lodz.pl

Streszczenie

W artykule omówiono zagadnienie optymalizacji rozmieszczenia komponentów układu elektronicznego celem minimalizacji temperatury podczas jego pracy. Optymalizacja została przeprowadzona na przykładzie sprzętowego interfejsu wizyjno-akustycznego systemu wspomagania niewidomego w samodzielnym poruszaniu się. Rozmieszczenie komponentów na zadanym obszarze płytki PCB zostało zoptymalizowane przy użyciu opracowanego przez autorów algorytmu ewolucyjnego składającego się z dwóch etapów obliczeń [1]. W wyniku zastosowania algorytmu uzyskano rozmieszczenie komponentów, dla którego tak maksymalna, jak i średnia temperatura płytki PCB nie powodują dyskomfortu dla użytkownika. Pomiar termowizyjny potwierdza poprawność uzyskanych wyników.

Słowa kluczowe: optymalizacja termiczna, przewodzenie ciepła, konwekcja, niewidomi.

Thermal optimization of electronic device placement in a video-and-sound interface of the system assisting the blind in independent mobility

Abstract

The paper deals with the problem of optimal electronic component placement on a PCB in order to obtain the lowest possible, given the design limitations, maximum and average electronic circuit temperatures. The optimization is applied to an exemplary electronic device, which is a video-and-sound interface of the system assisting the blind in independent mobility. The majority of optimization algorithms is based on large-scale sparse matrix calculations. The authors propose an alternative approach, using an original idea of an evolution algorithm [1]. The algorithm is implemented in Delphi 7 programming language and utilizes the ANSYS 11 modeling environment for temperature calculations. The device to be optimized contains a stereovision camera system, a set of inertial sensors, a microcontroller, a sound adapter and a USB hub for a mobile computer data exchange (Fig. 1). The prototype has a form of glasses with integrated inter-aural headphones (Fig. 2). The device dissipates 3.1 W of heat during its operation, with the USB hub and LDO voltage regulator identified as the hottest spots. The cameras also emit considerable amounts of heat, they

are however excluded from the placement optimization, due to their exact position requirement. The PCB was modeled with a 2D 1mm grid applied to a simplified representation of the PCB actual shape (Fig. 3). The algorithm required 194 iterations to return an optimal placement (Fig. 4) with average PCB temperature approx. 22°C, the hottest spot not exceeding 35°C. Such a temperature level allows the video-and-sound interface to be operated with no compromise on user's safety and comfort. The device was re-designed, built and tested according to the obtained optimal component placement. The thermal imaging measurements (Fig. 5) are in good accordance with the temperature calculation results from the algorithm.

Keywords: thermal optimization, thermal conductivity, convection, visually impaired person.

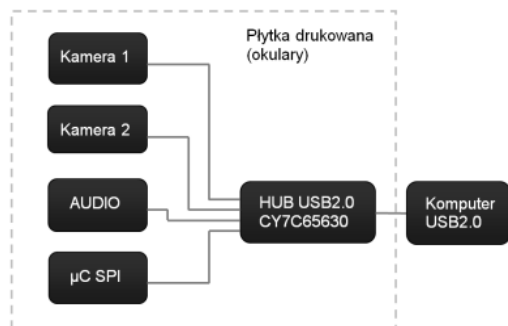
1. Wprowadzenie

Istnieje wiele metod automatycznej optymalizacji położenia elementów elektronicznych w celu wyeliminowania „gorących punktów” i/lub uzyskania najniższej średniej temperatury płytki PCB. Duża część z nich wymaga implementacji bardzo zaawansowanych algorytmów oraz wykorzystania specjalnych bibliotek umożliwiających obliczenia na macierzach rzadkich o dużych rozmiarach. Autorzy w celu optymalizacji rozmieszczenia elementów na płytce PCB wykorzystali zmodyfikowany algorytm ewolucyjny [1]. Do optymalizacji wykorzystano autorskie oprogramowanie napisane w języku Delphi 7. Obliczenia numeryczne związane z wyznaczaniem temperatury w danej iteracji przeprowadzano w programie ANSYS 11.

2. Sprzętowy interfejs wizyjno-akustyczny systemu wspomagania niewidomego w samodzielnym poruszaniu się

Prace doświadczalne w zakresie systemów wspomaganie osób niewidomych prowadzone w Instytucie Elektroniki Politechniki Łódzkiej pozwoliły na opracowanie urządzenia do rejestracji obrazów stereowizyjnych, danych z czujników inercyjnych oraz docelowo wytwarzającego dźwięki umożliwiające przekazywanie osobie niewidomej (użytkownikowi) informacji o jego najbliższym otoczeniu. Interfejs składa się z:

- dwóch kamer wideo komunikujących się z komputerem za pomocą magistrali USB 2.0,
- mikrokontrolera nadzorującego proces akwizycji danych wideo oraz danych pochodzących z czujników inercyjnych,
- karty dźwiękowej umożliwiającej odtwarzanie strumienia dźwiękowego wytwarzanego w komputerze oraz przesyłanie do komputera zebranych dźwięków,
- koncentratora USB 2.0 umożliwiającego podłączenie całego interfejsu do komputera przy wykorzystaniu jednego przewodu.



Rys. 1. Schemat blokowy urządzenia
Fig. 1. Block diagram of the system



Rys. 2. Prototyp elektronicznych okularów do dźwiękowego „obrazowania” otoczenia
Fig. 2. Environmental sound imaging glasses prototype

Dzięki informacjom zebranych od użytkowników końcowych możliwe było określenie wielkości oraz kształtu, jakim powinno się charakteryzować urządzenie, tak, aby było akceptowane przez osoby niewidome. Określono, iż urządzenie powinno posiadać formę zbliżoną kształtem do okularów oraz powinno charakteryzować się niewielką masą nie powodującą dyskomfortu u osoby je użytkującej. Interfejs wyposażono w dwie słuchawki stereofoniczne douszne, zintegrowane z elementami mocującymi zakładanymi na uszy [2].

3. Identyfikacja problemów termicznych

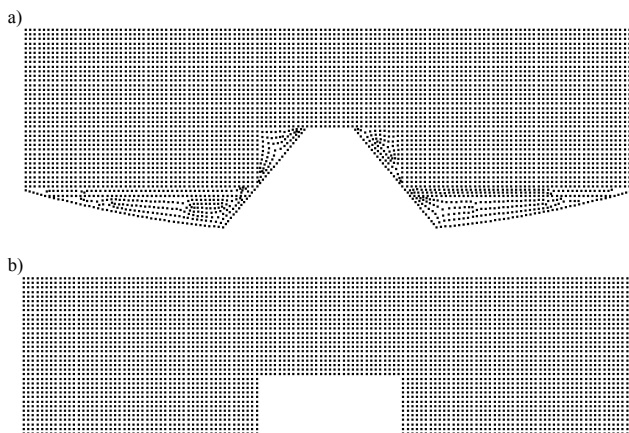
Podczas użytkowania prototypu interfejsu wizyjno-akustycznego zauważono, że wydzielające się podczas jego pracy ciepło może powodować dyskomfort u osób korzystających z systemu. Urządzenie zasilane jest wyłącznie z portu USB komputera. Pomimo niewielkiej wartości prądu zasilania interfejsu, około 3,1 W mocy zamienianej jest bezpośrednio w ciepło podczas pracy urządzenia. W celu optymalizacji rozmieszczenia poszczególnych układów elektronicznych zidentyfikowano elementy, które wydzielają najwięcej ciepła w układzie.

Tab. 1. Źródła energii cieplnej w układzie
Tab. 1. Heat sources

Lp.	Nazwa	Moc, mW	Rozmiar, mm
1	Kamera lewa	625	6 x 14
2	Kamera prawa	625	6 x 14
3	Koncentrator USB	1300	8 x 8
4	Mikroprocesor	150	8 x 8
5	Moduł dźwięku	425	7 x 7
6	Stabilizator LDO	700	3 x 6

W celu skrócenia czasu obliczeń związanych z rozmieszczeniem elementów przyjęto raster siatki położenia elementów równy 1mm (rys. 3a,b). Ograniczono także powierzchnię rozmieszczenia

elementów eliminując łuki obrysu płytki PCB, dzięki czemu wyeliminowano nieregularności siatki powstające w wyniku jej automatycznego dopasowania do nieprostokątnego kształtu PCB (rys. 3a).



Rys. 3. Raster siatki obrysu PCB a) rzeczywistego używanego podczas symulacji termicznych b) ograniczonego, używanego do rozmieszczania elementów
Fig. 3. PCB Grid a) total area b) the area used for placement of devices

W obliczeniach optymalizacyjnych uwzględniono materiał przewodzący ciepło o właściwościach typowego podłoża stosowanego w elektronice do tworzenia płytek drukowanych – laminatu FR-4 o grubości 1,5 mm i przewodności cieplnej $\lambda = 0.25$ W/m·K. Temperaturę otoczenia ustalono na 20°C. W procesie optymalizacji algorytm zmieniał położenie elementów 3, 4, 5 i 6 (tab. 1). Elementy 1 i 2 to kamery systemu stereowizyjnego, których położenie na płytce PCB jest ściśle ustalone i nie może podlegać zmianie.

4. Optymalizacja termiczna położenia układów elektronicznych

Optymalizacja została przeprowadzona przy użyciu algorytmu genetycznego zaimplementowanego w języku programowania Delphi 7. Algorytm ewolucyjny, jako program nadrzędny, wywołuje oprogramowanie ANSYS® w trybie wsadowym, z wyłączonym interfejsem graficznym. Oprogramowanie ANSYS® uruchamia opisany w języku skryptowym model termiczny analizowanych układów elektronicznych, definiujący m. in. wymiary geometryczne i właściwości fizyczne użytych materiałów. Dodatkowo w skrypcie przekazywane są położenia układów elektronicznych oraz rozpraszane moce. Na tej podstawie oprogramowanie ANSYS® rozwiązuje model przepływu ciepła, uwzględniający przewodzenie ciepła oraz konwekcję naturalną, w oparciu odpowiednio o równania Kirchhoffa-Fouriera oraz Naviera-Stockesa [1, 6, 7]. Wartości temperatury zwracane są w pliku tekstowym do programu nadrzędnego.

Algorytm optymalizacji położenia składa się z dwóch etapów. Pierwszy z nich to optymalizacja wstępna. Na jej potrzeby obszar podłoża został podzielony na 26 pól, w których mogą być umieszczone elementy elektroniczne. Do tego celu wykorzystano kodowanie permutacyjne [1, 3, 4]. Następnie uzyskane położenie jest modyfikowane w drugim etapie przy użyciu siatki, której węzły rozmieszczone są co 1 mm. Celem optymalizacji wstępnej jest doprowadzenie do rozmieszczenia układów elektronicznych w położeniach bliskich optymalnych. Są to położenia początkowe dla drugiego etapu optymalizacji. W drugim etapie pracy algorytm koryguje położenia układów elektronicznych wyznaczone w etapie pierwszym. Tu przyjęte zostało kodowanie binarne, w którym każdemu układowi elektronicznemu odpowiada trzy bity kodujące przesunięcie elementów względem położenia pierwotnego. Najstarszy bit odpowiada za wykonanie (1) bądź nie (0) przesunięcia względem położenia pierwotnego, natomiast dwa najmłodsze odpowiadają za kierunek przesunięcia w osi n lub m

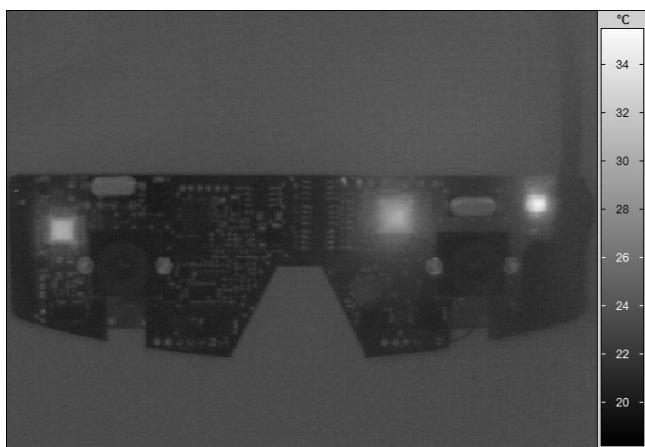
prostokątnego układu współrzędnych: $n+1,m$ (00), $n-1,m$ (01), $n,m+1$ (11) czy $n,m-1$ (10). Dla tak skonstruowanego, dwuetapowego algorytmu przeprowadzono optymalizację przy użyciu funkcji celu $f(T_{maks}, T_{sr})$ gdzie T_{maks} – maksymalna temperatura w branym pod uwagę obszarze płytki, T_{sr} – średnia temperatura płytki.

5. Wyniki działania algorytmu oraz ich weryfikacja termowizyjna

W wyniku zastosowania opracowanego algorytmu uzyskano rozmieszczenie elementów elektronicznych na płytce PCB, dzięki któremu średnia temperatura płytki wynosi $22,4^{\circ}\text{C}$, przy czym temperatura najgorętszego punktu wyniosła $34,25^{\circ}\text{C}$ (rys. 4). Są to dane symulacyjne, uzyskane z modelu termicznego w programie ANSYS®. Algorytm optymalizacyjny na uzyskanie wyniku potrzebował 194 iteracje, co jest rezultatem akceptowalnym z punktu widzenia złożoności i szybkości obliczeń numerycznych. Uzyskane wartości temperatur są wystarczająco niskie, by zapewnić komfortowe użytkowanie urządzenia przez osobę niewidomą. Niemniej ważny jest fakt, że najgorętszy punkt został umieszczony w jednym z górnych rogów płytki, co minimalizuje jego kontakt z twarzą użytkownika i zapewnia rozpraszanie ciepła bezpośrednio do otoczenia. Jednocześnie pozostałe źródła ciepła rozmieszczone są równomiernie na powierzchni płytki, dzięki czemu udało się uzyskać efektywniejsze chłodzenie konwekcyjne. Uzyskane rozmieszczenie nie jest jedynym możliwym rezultatem zastosowania algorytmu optymalizacyjnego, gdyż funkcja celu może posiadać więcej niż jedno minimum, jednak przy przyjętych założeniach ograniczających uzyskano wynik satysfakcjonujący, jednoznacznie lepszy od rozmieszczenia elementów przed optymalizacją, które cechowało się nagromadzeniem „gorących punktów” w ograniczonym obszarze a w konsekwencji odczuwalnym dla użytkownika wzrostem średniej temperatury płytki.



Rys. 4. Wynik optymalizacji rozmieszczenia na płytce PCB - rozkład temperatur
Fig. 4. The optimization result – temperature distribution



Rys. 5. Obraz termowizyjny płytki PCB interfejsu wizyjno-akustycznego
Fig. 5. Infrared image of the PCB

Na podstawie uzyskanych wyników zaprojektowana i wykonana została płytka PCB. W celu weryfikacji danych uzyskanych z optymalizacji numerycznej przeprowadzono pomiary termowizyjne w warunkach zbliżonych do założonych przy modelowaniu i symulacji. Maksymalna temperatura na płytce wyniosła $35,11^{\circ}\text{C}$ natomiast średnia temperatura z wszystkich elementów poddanych optymalizacji to $23,34^{\circ}\text{C}$ (rys. 5). Wyniki te wykazują dobrą zgodność z wartościami uzyskanymi z symulacji. Niewielkie różnice (w granicach 5%) pomiędzy wartościami symulacyjnymi i pomiarowymi w dużej mierze mogą wynikać z ograniczeń modelu termowizyjnego. Dla uproszczenia modelu założono m. in. że elementy elektroniczne systemu umieszczone są bezpośrednio na powierzchni podłoża. W rzeczywistości istnieje pewna odległość pomiędzy układem elektronicznym a podłożem, w wyniku czego przewodzenie ciepła jest gorsze niż założono w modelu. Na uzyskane rozbieżności miała także wpływ ograniczona dokładność pomiaru termowizyjnego.

6. Wnioski

Dzięki opracowanemu algorytmowi ewolucyjnemu oraz jego implementacji wykorzystującej środowisko ANSYS® do modelowania termicznego badanych obiektów, możliwe było stworzenie funkcjonalnego oprogramowania pozwalającego na optymalizację położenia poszczególnych źródeł ciepła na projektowanej płytce PCB układu elektronicznego. Przydatność opracowanej metody została wykazana na przykładzie sprzętowego interfejsu wizyjno-akustycznego systemu wspomagania niewidomego w samodzielnym poruszaniu się. W wyniku zastosowania opracowanego oprogramowania udało się zoptymalizować rozmieszczenie kluczowych komponentów elektronicznych na płytce PCB interfejsu, dzięki czemu obniżeniu uległy tak maksymalna, jak i średnia temperatura układu, co istotnie wpłynęło na komfort użytkowania urządzenia przez niewidomych. Uzyskane wartości temperatur zostały zweryfikowane pomiarem termowizyjnym, co potwierdziło poprawność zastosowanego modelu termicznego. W toku dalszych prac planowane jest porównanie skuteczności opracowanej metody optymalizacji z metodą Force Directed [5].

Prace dofinansowano ze środków grantu rozwojowego N R02 0083 10 Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2010-2013.

7. Literatura

- [1] Felczak M., Więcek B.: Application of genetic algorithms for electronic devices placement in structures with heat conduction through the substrate. *Microelectronics Reliability*, 2011, rocznik 51, nr 2, s. 453-459; ISSN: 0026-2714 13,50/0,00/27,00p.
- [2] Bartosz Ostrowski, Paweł Pełczyński, Remigiusz Danych: Sprzętowy interfejs wizyjno-akustycznego systemu wspomagającego niewidomego w samodzielnym poruszaniu się. *Przegląd Elektrotechniczny*, NR 10/2011, s. 130-132.
- [3] Michalewicz Z.: Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2003.
- [4] Herrera F.: Genetic algorithms and soft computing, Physica-Verlag, April 1996 pp. 51-68, 1996.
- [5] Chan T., Congy J.: Generalized Force directed Method for Circuit Placement. *ISPD'05*, April 3-6, 2005, San Francisco, California, USA.
- [6] Wiśniewski S.: Wymiana ciepła. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2000.
- [7] Staniszewski B.: Wymiana ciepła, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1980.