

Biometryczna weryfikacja tożsamości – systemy komercyjne i prototypy

Adam Czajka, Andrzej Pacut

Pracownia Biometrii, Naukowa i Akademicka Sieć Komputerowa NASK

oraz

Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej, Politechnika Warszawska

{A.Czajka,A.Pacut}@ia.pw.edu.pl

<http://www.ia.pw.edu.pl/{ac,~pacut}>

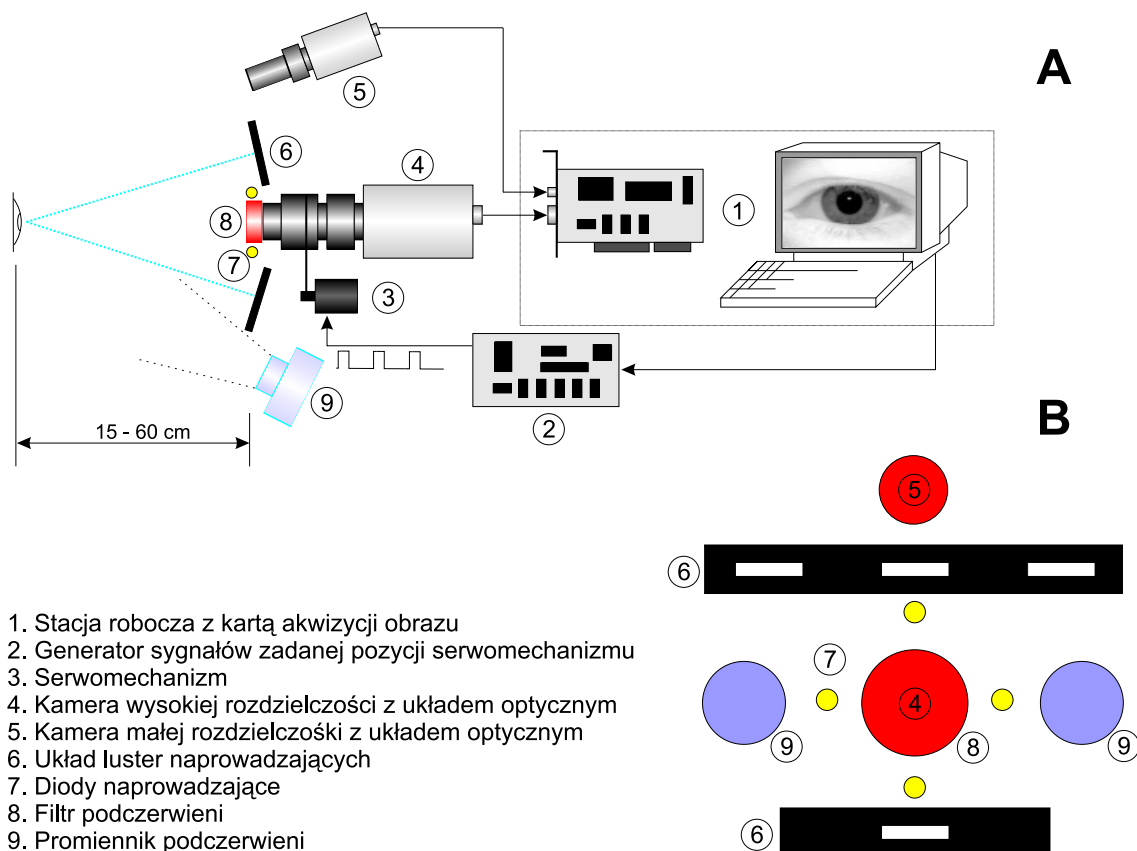
Wprowadzenie

Szybki i niezawodny pomiar cech biometrycznych ma niebagatelne znaczenie dla funkcjonalności i jakości całego systemu biometrycznego weryfikującego tożsamość osoby. Błędy fałszywej akceptacji (ang. *false acceptance rate*) oraz fałszywego odrzucenia (ang. *false rejection rate* – *FRR*) nie mogą być rozpatrywane jedynie w kategoriach metod kodowania i porównywania cech biometrycznych, w oderwaniu od rzeczywistych cech sprzętu stosowanego w danych okolicznościach. Z punktu widzenia funkcjonowania danej metody biometrycznej nie jest istotne na jakim etapie system popełnił błąd, stąd troska o właściwy dobór sprzętu i podstawowych algorytmów jest w pełni uzasadniona. Opracowanie niniejsze jest kontynuacją tematyki przedstawionej w poprzedniej edycji konferencji SECURE, gdzie zaprezentowana została metoda weryfikacji dynamiki podpisów odręcznych [6] z wykorzystaniem sieci neuronowych. Przedstawiamy teraz trzy inne techniki biometryczne, będące przedmiotem badań w Pracowni Biometrii NASK/PW, z silniejszym naciskiem na aspekty doboru sprzętu i szczegółów jego działania.

1 System automatycznej weryfikacji wzoru tęczówki oka

Biometria tęczówki oka bazuje na unikalnych cechach struktury mięśnia tęczówki (wzorów tworzonych przez beleczki mięśniowe, niepowtarzalnych dla całej populacji i różnych nawet dla bliźniąt jednojajowych). Kolor tęczówki (uzależniony od stężenia barwnika – *melaniny*) nie jest tu brany pod uwagę. Pomiar cech strukturalnych tęczówki jest dokonywany na podstawie zdjęć w oświetleniu podczerwonym (począwszy od długości fali ok. 750 nm), które praktycznie nie jest absorbowane przez melaninę, uniezależniając metodę od koloru oczu i jego zmian w trakcie życia człowieka.

Oko ludzkie jest obiektem niewielkim i względnie ruchliwym, a jego fotografowanie w szybki i wygodny sposób z zachowaniem wysokiej jakości obrazów, wymaga konstrukcji odpowiedniego sprzętu. Mając na uwadze charakter tekstury tęczówki oraz uwzględniając twierdzenie Shannona o minimalnej częstotliwości próbkowania, wymagana rozdzielczość skanowania oka to około 10 linii/mm. W systemie skonstruowanym w Pracowni Biometrii NASK/PW średnica tęczówki stanowi od 1/3 do 1/2 wysokości obrazu, co dla typowej tęczówki o rozmiarze około 8 mm, przy rozdzielczości pionowej obrazu 570 linii prowadzi do minimalnej uzyskanej rozdzielczości pionowej ok. 23 linie/mm, odpowiadającej dokładności około 600 dpi.

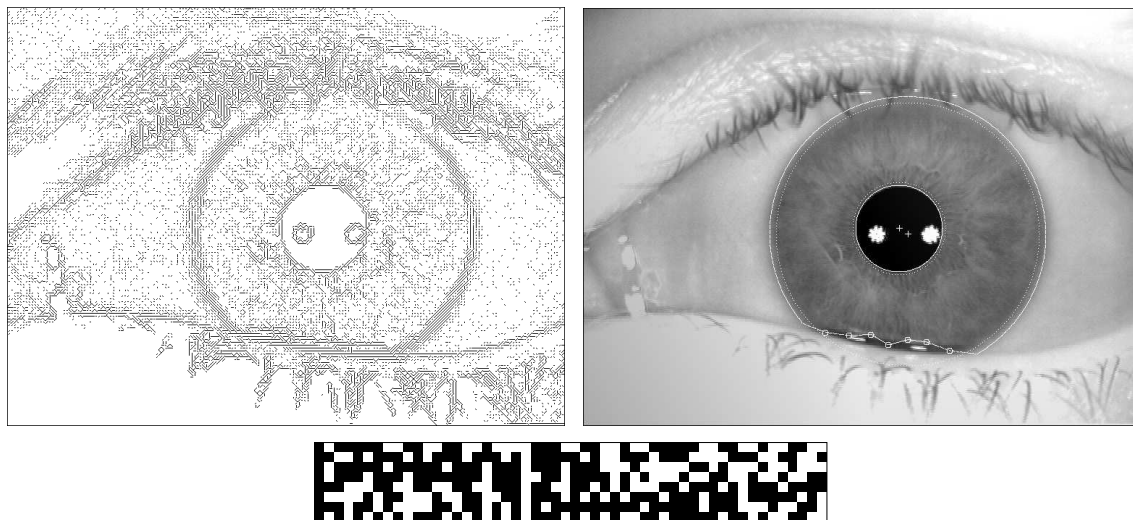


Rysunek 1: Idea (A) oraz schematyczny widok przedniej części (B) stanowiska automatycznego pobierania i weryfikacji wzoru tęczówki oka, zaprojektowanego i wykonanego w Pracowni Biometrii NASK/PW

Rysunek 1 prezentuje ideę rozwiązania. System składa się z dwóch kamer (The Imaging Source, rozdzielczość pionowa 570 linii, podwyższona czułość w zakresie światła podczerwonego), oświetlaczy podczerwieni ($\lambda = 850 \text{ nm}$), układów optycznych (Ernitec, Novus) oraz stacji roboczej z kartą akwizycji obrazu (DataTranslation DT 3155 o rozdzielczości 768×576 punktów). Obiektyw w układzie fotografującym tęczówkę wyposażony został dodatkowo w filtr podczerwieni, a cały układ w serwo mechanizm sterowany z poziomu oprogramowania pozwalający na automatyczną zmianę ostrości obrazu.

Proces weryfikacji tożsamości składa się z kilku etapów. System wymaga pewnej podstawowej współpracy użytkownika: musi on tak ustawić głowę, aby w odpowied-

nim zestawie luster widzieć odbicie oka, które będzie fotografowane. Dla ułatwienia, system w czasie rzeczywistym (w prędkością około 8 fps) śledzi tęczę i podpowiada poprawne położenie oka za pomocą zestawu diod LED, umieszczonych wokół obiektywu (rys. 1). Aby system automatycznie wykonał zdjęcie, oko musi pozostać w poprawnym położeniu przez około 0.5 sek. Po tym czasie wyzwalany jest mechanizm pobierania 20 klatek przy jednoczesnej zmianie ostrości obrazu, tak aby skompensować małą głębię ostrości obrazu (nie przekraczającą ok. 2cm). Do dalszej analizy wybierana jest klatka o najlepszym współczynniku ostrości wyznaczonym w obrębie tęczy. Na rysunku 2 przedstawione zostało przykładowe zdjęcie tęczy wykonane przez system.



Rysunek 2: Wynik działania systemu: zdjęcie oka (z prawej) z automatycznie wyznaczonymi granicami tęczy na bazie obrazu kierunkowego (z lewej) oraz eliminacją zakłóceń. Niżej kod Daugmana tęczy wyznaczony dla wyszukanego obszaru oka.

Dość poważnym problemem jest możliwy obrót gałki ocznej, który ma wpływ na jakość kodowania tekstury. Najprostsze podejście do tego problemu polega na wzajemnym obrocie obrazów prowadzącym do największego współczynnika dopasowania tęczy (np. przy użyciu dyskretnego splotu funkcji jasności). Takie rozwiązanie prowadzi jednak do obniżenia dokładności metody, gdyż równocześnie zwiększa ono stopień podobieństwa różnych obrazów tęczy poprzez dopasowanie ich obrazów. W proponowanym rozwiązaniu system wyposażono w drugą kamerę niskiej rozdzielczości (rys. 1A), która fotografując oko wraz z jego otoczeniem pozwala na automatyczną detekcję kąta nachylenia głowy poprzez dopasowanie pewnych punktów charakterystycznych.

Kolejnym etapem przetwarzania obrazu jest odseparowanie tęczy od białkówek, sąsiadującej z nią od zewnątrz, i źrenicy, sąsiadującej od wewnątrz. Zakładając, że granice tych obszarów są okręgami (niekoniecznie współśrodkowymi), można zadanie to rozwiązać stosując transformatę Hougha. Transformata Hougha wykorzystuje obraz kierunkowy (rys. 2), którego elementy reprezentują informację o lokalnym gradiencie funkcji jasności obrazu. Poruszając się po okręgach zdefiniowanych przez trójkę x, y, r , sumujemy wartości gradientu, jeśli lokalny kierunek w obrazie kierun-

kowym zgadza się z dyskretną aproksymacją kierunku stycznej do okręgu, a następnie wyznaczamy trójkę $x_{\max}, y_{\max}, r_{\max}$ dla której suma ta jest największa. Tym samym otrzymujemy środek x_{\max}, y_{\max} oraz promień źrenicy r_{\max} . Wykorzystanie tej samej metody do wyznaczenia środka i zewnętrznej granicy tęczówki nie daje już dobrych rezultatów ze względu na mniejsze różnice kontrastu na granicy tęczówki i białkówki, w porównaniu z wartościami na granicy tęczówki i źrenicy. Można jednak tutaj zastosować zaproponowaną przez Daugmana metodę wykorzystującą dla obrazu I operator różniczkowo-całkowy

$$J = \max_{r, x_0, y_0} \frac{\partial}{\partial r} \int \int_{x, y: (x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 = r^2} I(x, y) dx dy$$

Punkt r, x_0, y_0 dla maksymalnej wartości J jednoznacznie określa środek i zewnętrzny promień tęczówki.

Wyznaczenie promieni nie kończy problemu separacji obszaru tęczówki, bowiem oko jest zwykle częściowo zasłonięte przez powieki. Podczas badań stwierdziliśmy, że samo wyznaczenie powiek (np. model w postaci wycinków elips) nie rozwiązuje problemu, gdyż często w obszarze tęczówki znajdują się rzęsy, oprawki okularów czy też odbłaski światła od szklistej powierzchni rogówki oka. Proponowane przez nas rozwiązanie zadania separacji tęczówki polega na porównaniu charakteru zmian tekstury w części niezakłóconej w stosunku do całego obszaru tęczówki ograniczonego przez wcześniej wyznaczone promienie. Efektem jego działania jest niezakłócona część tęczówki wykorzystywana bezpośrednio do analizy, zob. rys. 2.

Kolejne etapy działania systemu związane są już z przetwarzaniem samego zdjęcia tęczówki i zależą od przyjętej metody kodowania obrazu tęczówki. Przykładowo, w celu wyznaczenia kodu Daugmana, wolny od zakłóceń obszar tęczówki poddawany jest kodowaniu z zastosowaniem falek Gabora [4]. Wykorzystujemy niewielką ilość informacji – jedynie znaki części rzeczywistej i urojonej odpowiednich wybranych współczynników przekształcenia, reprezentatywnych dla częstotliwości przestrzennych obrazu tęczówki. Ponieważ wyznaczenie współczynników rozwinięcia Gabora w przypadku ogólnym jest czynnością złożoną obliczeniowo, zostały poczynione pewne założenia co do wielkości obrazu tęczówki, które umożliwiają zastosowanie szybkich metod wyznaczania transformaty Gabora. Najszybszą i najdokładniejszą metodą jest zaproponowana przez J. Bastiaansa technika wykorzystująca transformatę Zaka (Zaka-Gabora) opartej na wielokrotnym wyznaczaniu FFT [3]. Czas wyznaczenia kodu tęczówki dla już odpowiednio przetworzonego obrazu wynosi ok. 10 ms dla maszyny z zegarem 1.8 GHz. Kod tęczówki (416 bitów) pokazany na rys. 2 wyznaczony został dla zdjęcia oka zaprezentowanego na tym samym rysunku. Tabela 1 stanowi podsumowanie czasów poszczególnych operacji dla systemu skonstruowanego w Pracowni Biometrii NASK/PW.

Jak widać całkowity czas weryfikacji tożsamości wynosi około 10 sek. Czas ten szacowaliśmy od momentu podejścia użytkownika do urządzenia. Większość tego czasu poświęcona jest na pozycjonowanie oka i wykonanie zdjęcia. Dla posiadanego już zdjęcia tęczówki sama weryfikacja trwa ok. 0.5 sek.

Właścicielem praw patentowych metody Daugmana jest firma Iridian Technologies, i to ona sprzedaje dalej licencje takim firmom jak OKI, Panasonic czy LG. Jedynym

Tabela 1: Czasy operacji dla automatycznej weryfikacji tęczówki oka w systemie skonstruowanym w Pracowni Biometrii NASK/PW dla maszyny z procesorem P4 1.8 GHz

operacja	średni czas
pozycjonowanie oka przez użytkownika	$\simeq 5$ sek.
oczekiwanie systemu na poprawną pozycję	0.5 sek.
wykonanie serii zdjęć	2.2 sek.
wyznaczenie najlepszej klatki	690 msek.
wyznaczenie obrazu kierunkowego	30 msek.
wyznaczenie granic tęczówki oraz eliminacja zakłóceń	270 msek.
transformacja obrazu do układu biegunowego	190 msek.
wyznaczenie uśrednionych 8 sygnałów na bazie tekstury tęczówki	20 msek.
wyznaczenie kodu tęczówki za pomocą transformaty Zaka-Gabora	< 10 msek.
porównanie kodu z kodem wzorcowym (XOR)	$\simeq 0$
całkowity czas weryfikacji	8.91 sek.

komercyjnym konkurentem Iridian jest obecnie amerykańska (a wcześniej koreańska) firma IriTech, której właściciel D. Kim posiada własny patent [5] kodowania cech tęczówki. Pozostałe ważne z punktu widzenia rozwoju tej biometrii opracowania (m.in. R.P. Wildes, B.B. Boles) nie doczekały się wersji komercyjnych.

2 Pomiar i weryfikacja linii papilarnych

Historia biometrii opartej na wzorze linii papilarnych sięga czasów starożytnego Babilonu. Brak jest jednak bezpośrednich dowodów na to, iż układ tych linii był w jakikolwiek sposób wykorzystywany w starożytności do weryfikacji tożsamości osoby. Postać współczesnych algorytmów weryfikacji linii papilarnych zawdzięczamy dopiero efektom prac brytyjskiego antropologa, Francisca Galtona. Pokazał on m.in. iż wzór linii papilarnych odznacza się znikomym współczynnikiem *penetracji genetycznej* (stopnia zależności danej cechy człowieka od jego genów), jest niezależny od inteligencji osobnika czy też jego pochodzenia oraz nie zmienia się podczas życia człowieka. Oszacował on prawdopodobieństwo znalezienia identycznych linii papilarnych jako 1 do 64 bilionów. Wyodrębnił również cechy charakterystyczne dla odcisków palców, określane dziś mianem *detali Galtona*, czy też *minucji*. Wyniki swoich badań opublikował w znanym dziele *Fingerprints* w roku 1882.

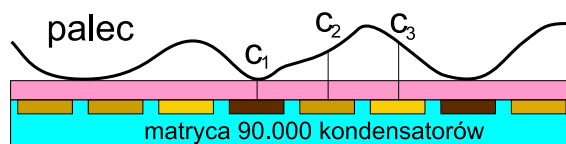
Technika identyfikacji linii papilarnych od czasów Galtona pozostała praktycznie niezmienniona. Obraz z czytnika linii papilarnych poddaje się przekształceniu w tzw. obraz szkieletowy, gdzie każde *wzgórze* ma szerokość jednego piksela. Na obrazie tym wyodrębnia się położenie podstawowych detali Galtona (początek, koniec, rozwidlenie, wyspa, most, itp.). Współczesne algorytmy przetwarzają obraz i wyznaczają pozycje minucji danego odcisku niemal natychmiast po przyłożeniu palca do czytnika. Sama metodyka wyznaczania detali Galtona jest więc – jak widać – dobrze opracowana. To na co obecnie zwracana jest uwaga, to odporność algorytmów na zakłócenia obrazów oraz wykonanie testu żywotności przyłożonego palca.

Sama technologia pomiaru odcisków palców dla celów biometrii rozwija się bardzo

dynamicznie. Przedstawimy krótko pięć stosowanych obecnie technik biometrycznego pomiaru linii papilarnych: pojemnościową, optyczną, naciskową, ultradźwiękową i termiczną.

2.1 Technika pojemnościowa

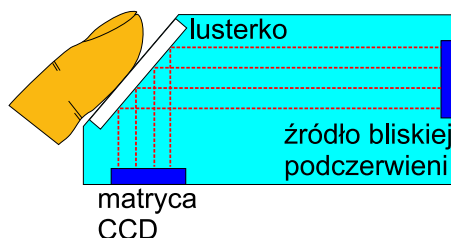
Jest to technika najstarsza, najtańsza ale najmniej odporna na zakłócenia. Idea polega na przetworzeniu wielkości ładunku zgromadzonego w matrycy kondensatorów, rys. 3. Stan naładowania poszczególnych elementów matrycy zależy od odległości struktury palca od sensora; w przykładzie pokazanym na rys. 3 największy ładunek zgromadzi kondensator C_1 , następnie C_2 i C_3 . Wielkość ładunku jest następnie zamieniana za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego w liczbę 8-bitową. Sensory są wrażliwe na stopień wilgotności palca, odczyt staje się ponadto mniej dokładny z czasem użytkowania ze względu na zanieczyszczenia związane z kontaktem ze skórą człowieka. Typowa rozdzielczość tych sensorów to 300 dpi.



Rysunek 3: Idea działania pojemnościowego czytnika linii papilarnych.

2.2 Technika optyczna

Optyczne skanowanie powierzchni palca polega na rejestracji lokalnych zaburzeń promieni świetlnych podczas całkowitego wewnętrznego odbicia, rys. 4. Światło skierowane pod odpowiednim kątem na granicę dwóch ośrodków (w kierunku od gęstszego do rzadszego optycznie) ulegnie całkowitemu wewnętrznemu odbiciu. Gdy do powierzchni ośrodka, przez które wędruje światło, przyłożymy palec, światło nie odbije się w miejscach bezpośredniego kontaktu struktury palca z ośrodkiem, czyli w miejscach wystąpienia wzgórz linii papilarnych. Odpowiednio czuła i dokładna matryca CCD jest w stanie zarejestrować te zmiany w postaci obrazu 8-bitowego. Rozdzielczość typowych czytników optycznych to około 400 dpi.

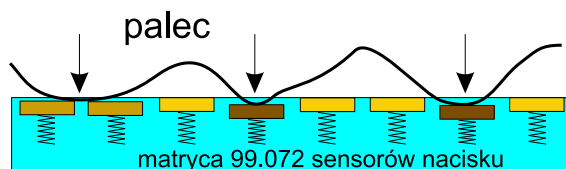


Rysunek 4: Idea działania optycznego czytnika linii papilarnych.

2.3 Technika naciskowa

Technika ta, podobnie jak dwie poprzednie, wykorzystuje matrycę czujników. Tutaj jednak zastosowano piezoelektryczne sensory czułe na nacisk, rys. 5. Siła nacisku

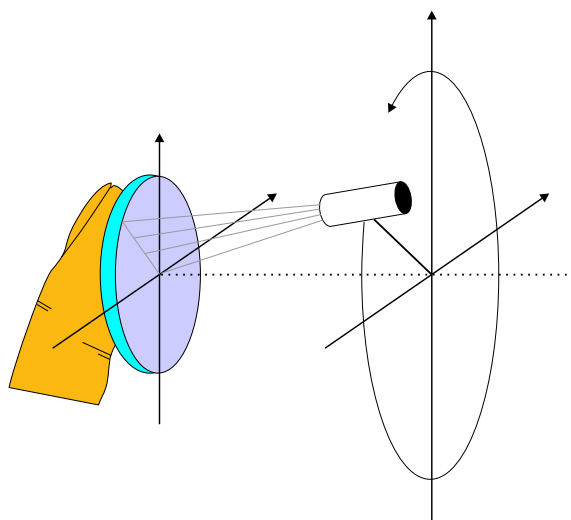
struktury palca jest przetwarzana niezależnie przez każdy element matrycy na liczbę 8-bitową. Technika ta ma ogromną zaletę: jest niewrażliwa na stopień wilgotności palca, obrazy dla zupełnie suchego i nawet mokrego palca są niemal identyczne. Znaczącej roli nie odgrywa również całkowita siła nacisku palca na czytnik, tak jak ma to miejsce w przypadku rozwiązań pojemnościowych i optycznych. Typowa rozdzielczość matryc piezoelektrycznych to 400 dpi.



Rysunek 5: Idea działania naciskowego czytnika linii papilarnych.

2.4 Technika ultradźwiękowa

Podczas przechodzenia fal dźwiękowych przez granicę dwóch ośrodków zauważymy efekty dyfrakcji i odbicia. W momencie gdy granica ośrodków nie jest jednorodna (np. po przyłożeniu palca do powierzchni materiału, w którym rozchodzi się dźwięk), następuje dodatkowo rozproszenie i przemiana fal dźwiękowych na fale o zmienionym charakterze fazowym [8]. Rysunek 6 przedstawia zasadę działania głowicy nadawczo-odbiorczej czytnika ultradźwiękowego Optel. Głowica odbiera sygnały rozproszone, które pojawią się w momencie przyłożenia palca do materiału. Urządzenie to wykonuje 256 pomiarów (pomiar polega na odczycie odpowiedzi impulsowej obiektu przyłożonego do powierzchni czytnika) za pomocą ruchomej głowicy, poruszającej się kółkiem w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny powierzchni palca. Taka liczba pomiarów daje rozdzielczość około 250 dpi. Sygnał z głowicy (w postaci rodziny



Rysunek 6: Idea działania głowicy ultradźwiękowej (rysunek na podstawie [8] za zgodą autora).

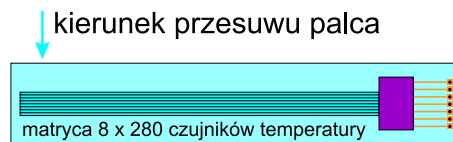
odpowiedzi impulsowych) musi następnie zostać przetworzony w sposób w jaki rekonstruuje się obrazy pochodzące z tomografów odbiciowych. Obecne algorytmy,

opracowywane we wrocławskim przedsiębiorstwie badawczo-produkcyjnym Optel, są w stanie zrekonstruować obraz z głowicy w około 30 ms (na stacji z procesorem P2 200 MHz).

Rozwiązanie jest droższe od pozostałych, i znacznie bardziej skomplikowane. Trudno też wyobrazić sobie miniaturyzację takiego systemu do rozmiarów osiąganych przez matryce pojemnościowe czy też piezoelektryczne. Za cenę tych niedogodności uzyskujemy jednak bardzo ważną cechę, o którą trudno w poprzednich rozwiązaniach, a mianowicie łatwą możliwość kontroli żywotności przyłożonego palca. Zjawisko rozproszenia fal dźwiękowych zachodzi nie tylko w miejscu bezpośredniego kontaktu powierzchni palca z urządzeniem, ale również w pewnej odległości od materiału, w którym rozchodzi się dźwięk, choć wówczas amplituda zjawiska jest mniejsza. Dlatego też dodatkowa analiza sygnału z głowicy pozwala na badanie faktu przepływu krwi w przyłożonym do czytnika obiekcie [8].

2.5 Technika termiczna

Technika termiczna jest najmniej znana, jak dotąd rzadko stosowana i wymaga przesuwania palca wzdłuż czytnika. Metoda bazuje na pomiarze temperatury palca przesuwanego w kierunku prostopadłym do matrycy sensorów temperatury, rys. 7. Matryca jest niewielka (8×280 sensorów), jednakże rozmiar pojedynczego elementu ($50\mu\text{m}$) powoduje, iż tego typu rozwiązanie cechuje największa rozdzielczość (500 dpi). Technika ta promowana jest przez firmę Atmel w postaci monolitycznego układu AT77C101B FingerChip z wbudowaną matrycą i 8-bitowym przetwornikiem analogowo-cyfrowym, [9].



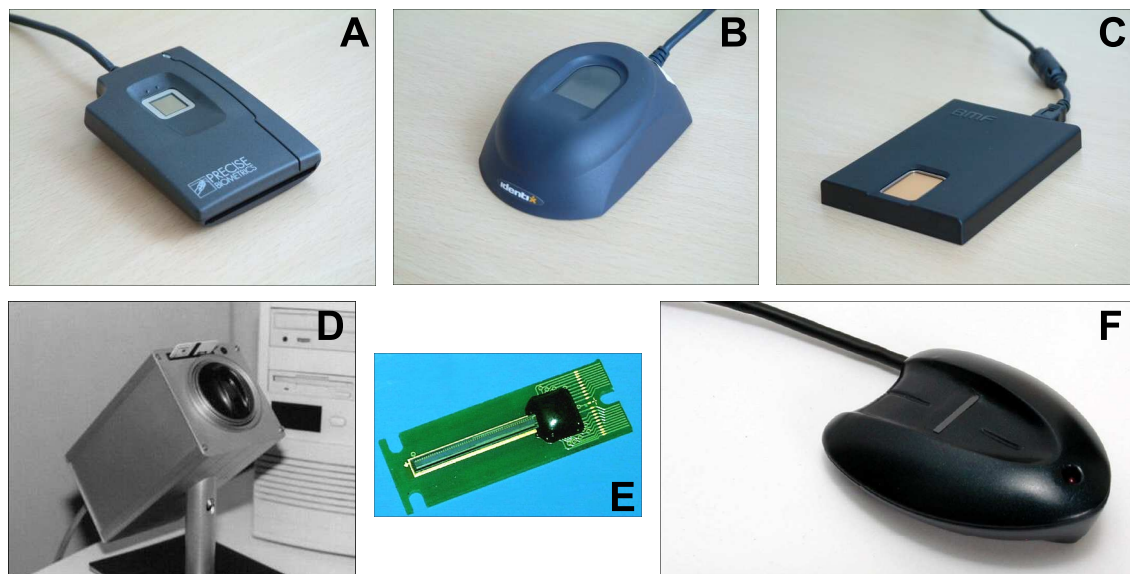
Rysunek 7: Schemat przetwornika termicznego Atmel AT77C101B FingerChip.

Układ może wykonywać do 1780 pomiarów na sekundę, przy czym dokładność odwzorowania struktury palca jest odwrotnie proporcjonalna do szybkości skanowania (dla przeciętnej szybkości przesuwu palca po czytniku wymagane jest co najmniej 500 pomiarów na sekundę). Każdy element matrycy to niezależny czujnik temperatury. Przetwornik A/D porównuje temperaturę zmierzoną w chwilach t i $t + \Delta t$ (gdzie Δt jest ustalane przez zewnętrzny zegar), i podaje ją jako wynik pomiaru. Dla jakości rekonstrukcji niebagatelne znaczenie ma stabilność Δt w czasie pomiaru. Ponadto, zbyt krótki czas Δt może w sposób oczywisty obniżyć dokładność pomiaru, chociaż pozwala na szybszy przesuw palca po czytniku.

Małe wymiary samego sensora ($0.4\text{mm} \times 14\text{mm}$, stąd m.in. niski koszt produkcji) pełna, profesjonalna i łatwo dostępna dokumentacja Atmela, darmowe oprogramowanie SDK dla zaproponowanej aplikacji układu to z pewnością spore atuty tego rozwiązania. Brak jest niestety wyników dotyczących odporności tej techniki na np. zmieniającą się temperaturę palca, zabrudzenia, wilgotność palca itp. Pozornie może się wydawać, iż jest to doskonała metoda mająca jakby od początku wpisany

test żywotności obiektu, jednakże pamiętać należy, iż każdy z sensorów mierzy temperaturę względną w krótkim odstępie czasu Δt , co oznacza, że czytnik jest czuły jedynie na rozkład temperatury związany z rozkładem dolin i wzgórz odcisku, a nie rozkładem np. punktów cieplnych w obrębie palca.

Zaprezentowane techniki pozyskiwania odcisku palca doczekały się licznych rozwiązań komercyjnych, zob. rys. 8.

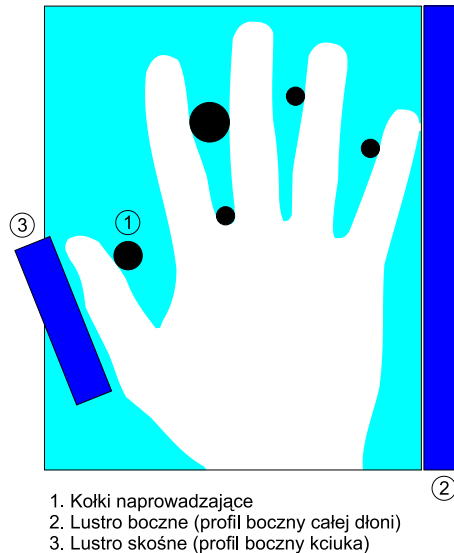


Rysunek 8: Przykłady czytników linii papilarnych reprezentujących pięć podstawowych technologii: (A) pojemnościowy czytnik Presice Biometrics, (B) optyczny czytnik Identix, (C) naciskowy czytnik BMF z głowicą Hitachi, (D) prototyp ultradźwiękowego czytnika wrocławskiej firmy Optel, (E) FingerChip z układem AT77C101B firmy Atmel i (F) czytnik termalny firmy BioKI na bazie głowicy FingerChip.

3 Pomiar i weryfikacja geometrii dłoni

Biometria bazująca na geometrii dłoni należy do technik najprostszych i najmniej kłopotliwych dla użytkowników. Przeciętna dokładność metody oraz wrażliwość na zmiany w geometrii dłoni zachodzące podczas życia człowieka powodują, iż metoda ta może być stosowana właściwie jedynie w środowisku nie wymagającym wyrafinowanego systemu kontroli dostępu. Ze względu na obrazowanie dużej powierzchni ciała, łatwiej tu o test żywotności (np. oparty na obrazie termicznym, analizie przepływu krwi itp.).

Dłoń oświetlana jest światłem podczerwonym, co przy zastosowaniu odpowiednich filtrów uniezależnia od zewnętrznych źródeł światła. W poprawnym ułożeniu dłoni w podstawie czytnika pomaga 5 kołków. Dodatkowo system śledzi w czasie rzeczywistym proces układania dłoni i sygnalizuje, które z palców ułożone są niepoprawnie. Po właściwym ułożeniu palców, wykonywane jest zdjęcie, przekształcane następnie na postać binarną. Obraz binarny jest podstawą do wyznaczenia cech geometrycznych, a mianowicie: długości czterech palców, szerokości każdego palca w czterech



Rysunek 9: Schemat prototypu systemu weryfikacji geometrii dłoni wykonanego w Pracowni Biometrii NASK/PW.

punktach oraz całkowitej szerokości dłoni, co łącznie daje 21 cech. Weryfikacja wektora cech odbywa się przy użyciu sieci neuronowych. Obecne prace prowadzone w Pracowni Biometrii związane z tą techniką dotyczą testu żywotności dłoni, oraz wzbogacenie cech geometrycznych, na podstawie których odbywa się testowanie, o cechy profilu bocznego dłoni oraz geometrii kciuka.

Metoda, głównie dzięki swej prostocie i szybkości działania, odniosła spory sukces komercyjny pomimo swych słabości. Rysunek 10 prezentuje czytnik HandKey II amerykańskiej firmy Recognition Systems, sprzedawany z powodzeniem na całym świecie.



Rysunek 10: Czytnik geometrii dłoni HandKey II firmy Recognition Systems, Inc.

Literatura

- [1] ADLER F. H.: *Physiology of the Eye*, St. Louis, MO: Mosby, 1965
- [2] GABOR Denis: *Theory of communication*, Proc. Inst. Electr. Eng., vol. 93 (III), str. 429-457, 1946
- [3] BASTIAANS Martin J.: *Gabor's Expansion and the Zak Transform for Continuous-Time and Discrete-Time Signals*, w Josh Zeevi and Ronald Coifman (Ed.), Signal and Image Representation in Combined Spaces, str. 1-43, Academic Press, Inc., 1995
- [4] DAUGMAN John: *Biometric identification system based on iris analysis*, United States Patent 5.291.560, March 1, 1994
- [5] KIM Daniel Daehoon *et al.*: *Iris identification system and method of identifying a person through iris recognition*, United States Patent 6.247.813, June 19, 2001
- [6] CZAJKA Adam, PACUT Andrzej: *Neural networks for signature classification and identity verification*, Materiały Konferencji SECURE 2002, 6-7 listopada 2002, Warszawa, vol. 1, str. 1-7, 2002
- [7] CZAJKA Adam, PACUT Andrzej: *Zak's transform for automatic identity verification*, Proceedings of the 4th International Conference on Recent Advances in Soft Computing RASC2002, 12-13 December 2002, Nottingham, United Kingdom, str. 374-379, 2002
- [8] GUMIENNY Zbigniew, PLUTA Mieczysław, BICZ Wiesław, KOSZ Dariusz: *Ultrasonic Setup for Fingerprint Patterns Detection and Evaluation*, Acoustical Imaging, Vol. 22, Plenum Press 1996, <http://www.optel.pl/article/english/article2.htm>
- [9] BISHOP Peter: *Atmel's FingerChipTM Technology for Biometric Security*, Atmel White Paper, <http://www.atmel.com>