

**Wiesław BICZ, Dariusz BANASIAK, Paweł BRUCIAK, Zbigniew GUMIENNY**  
**Stanisław GUMULIŃSKI, Dariusz KOSZ, Agnieszka KRYSIAK**  
**Władysław KUCZYŃSKI, Mieczysław PLUTA, Grzegorz RABIEJ**  
 PRZEDSIĘBIORSTWO BADAWCZO-PRODUKCYJNE OPTEL Sp. z o.o.  
 we WROCŁAWIU

## Odczytywanie struktury linii papilarnych za pomocą kamery ultradźwiękowej

Opisano konstrukcję kamery ultradźwiękowej o rozdzielczości ok. 0,1 mm, pozwalającej na obserwację stref przypowierzchniowych ciał stałych, nadającej się do obserwacji linii papilarnych (powodujących powstawanie odcisków palców). Urządzenie może być przydatne jako biometryczny identyfikator ludzi (do weryfikacji dostępu), może też służyć do badania wszelkich innych struktur cechujących się czystelnymi ultradźwiękowo zmianami w warstwie przypowierzchniowej zarówno naturalnych, jak i sztucznych (np. stworzonych w celu zapisania w nich informacji). Opisano istniejącą obecnie wersję takiej kamery i omówiono zjawisko leżące u podstaw jej działania. Przedstawiono też perspektywy dalszego rozwoju urządzenia.

### ABSTRACT

This paper describes the design of an ultrasound camera which has the resolution of 0.1 mm. The camera allows the observation of the near surface structures of solid objects and is suitable for the finger ridge pattern imaging (i.e. pattern which is reflected in a fingerprint). The device can be used for a biometric identification of individuals (for access verification). It can also be employed for all other sorts of structures which have ultrasound detectable changes in the near surface structure, both natural and artificial (e.g. created for information recording). The paper describes the current version of the camera and the physical phenomena behind its operation. Presented are also perspectives of further development of the device.

### Wprowadzenie

W ciągu ostatnich kilku lat można zauważyć powstawanie nowej branży. Ma ona nawet już swoją nazwę: „biometria”. Jej twórcy pragną skonstruować urządzenia, za pomocą których byłoby możliwe identyfikowanie ludzi na podstawie ich „biologicznych” cech: głosu, dynamiki ruchów, budowy twarzy lub innych części ciała, wzoru siatkówki lub tęczówki oka. Jednak bodajże największe nadzieje wiąże się z możliwością rozpoznawania struktury skóry opuszek palców, powodującej powstawanie odcisków palców. Niewątpliwie jest bowiem, że charakterystyczna struktura linii papilarnych jest inna u każdego człowieka, jak też to, że nie zmienia się ona w ciągu jego życia. Dotykanie palcem powierzchni sensora jest poza tym bardzo prostą czynnością. Pragnieniem niejednego wynalazcy urządzeń biometrycznych jest więc skonstruowanie klawisza, który „wie” kto go przycisną i jakim palcem to robi. Użyty do otwierania drzwi taki klawisz wpuszczałby oczywiście tylko „swoich”, a z tego właśnie chce żyć cała ta branża [13, 14, 15].

Od wielu już lat istnieją urządzenia optyczne, pozwalające na odczytywanie struktury linii papilarnych na żywo – wprost z palca – bez wykorzystywania tuszu i papieru – sprawdzonych, ale niezbyt wygodnych w użyciu narzędzi policjantów od czasów twórców daktyloskopii: Henry'ego, Herschela, Faulds'a i Galtona [6, 12]. Metody optyczne cechuje jednak wiele wad. Bezpośredni obraz palca ma znikomy kontrast, łatwiej na nim zobaczyć brud niż linie papilarnie; obraz trójwymiarowy jest trudno wykonalny i zawodzi w wypadku zniszczonych powierzchni palców [12]. Wykorzystanie odbicia światła od powierzchni, do której jest przyłożony palec, jest natomiast bardzo wrażliwe na tłuszcz, brud i wodę (i to zarówno na ich brak, jak też i nadmiar). Żadna metoda optyczna nie pozwala na łatwe stwierdzenie, czym naprawdę jest obserwowana struktura: czy jest to prawdziwy, żywy palec, jego atrapa, czy też może pozostałony na powierzchni sensora ślad tłuszczowy (klasyczny) lub odpowiednio spreparowany odcisk palca. (Opis działania typowych urządzeń tego rodzaju zawiera [1].)

Nic dziwnego więc, że pojawiły się też inne niż optyczne sposoby odczytywania struktury linii papilarnych, np. zaproponowana przez Constantine Tsikosa metoda pojemnościowa [16], rozwijana ostatnio przez firmy SGS-Thomson [5], Siemens [3, 14] oraz Veridicom. Ponieważ – jak na razie – zostały przedstawione tylko prototypy, niewiele jest wiadomości na temat praktycznych doświadczeń z tymi urządzeniami. Przeprowadzone przez autorów artykułu testy wskazują na to, że dają one efekty gorsze niż urządzenia optyczne.

### Możliwości przyrządów ultradźwiękowych

Członkowie zespołu firmy Optel są prekursorami metod wykorzystujących ultradźwięki do rozpoznawania palców (pierwsza propozycja [17] pochodzi z roku 1986; obecnie są już naśladowcy). Pozwalają one na łatwe odróżnianie prawdziwych, żywych palców od wszelkich innych rzeczy; nie są wrażliwe na brud, tłuszcz itp., nie przeszkadza im zniszczona powierzchnia palca, stwarzają poza tym dodatkowe perspektywy, niewyobrażalne dla innych metod: możliwe jest np. wykonanie urządzenia mającego dość dowolną wielkość i kształt powierzchni reagującą na dotyk (także wielu palców), mogącego stwierdzać ich położenie, identyfikować je, rejestrować ruch. Urządzenie takie nie miałoby żadnych części ruchomych i oczywiście byłoby w stanie zastąpić dzisiejsze klawiatury, myszy, urządzenia do identyfikacji palców, choć na tym jego możliwości bynajmniej się nie kończą. Ponieważ główną częścią urządzenia byłaby po prostu szklana płyta, zmodyfikowana jedynie na brzegach, łatwe byłoby umieszczenie pod nią jakiegokolwiek displeja. Dla uzupełnienia warto wiedzieć, że możliwe jest też zrobienie urządzenia, które będzie małe, tanie (rodzaj chipu) i rzeczywiście da się zainstalować w przycisku. Urządzenie takie może mieć jeszcze jedną ciekawą zaletę: jest możliwa taka jego wersja, która pozwala na zdalną identyfikację ludzi (np. przez sieć), i to takich, którzy dysponują dowolnymi możliwościami technicznymi; nie istnieje bowiem możliwość jego oszukania. Dokładne wyjaśnienie, dlaczego tak jest, byłoby zbyt obszernie jak na ramy tego artykułu. W skrócie można powiedzieć, że w urządzeniu tego typu palec i element, w którym propaguje się dźwięk, stanowią swego rodzaju analogowy komputer, który jest w stanie na różne zapytania (wysłane do niego sygnały) dać odpowiedzi, których cechy zdeterminowane są własnościami palca i urządzenia. Liczba możliwych pytań i pasujących do nich odpowiedzi jest praktycznie nieograniczona, natomiast czas reakcji układu tak krótki, że jakakolwiek symulacja układu za pomocą znanych lub też tylko obecnie wyobrażalnych komputerów praktycznie nie wchodzi w grę.

Na temat sposobu działania opracowanych urządzeń napisano artykuły [2, 7, 8, 9]; zgłoszono i udzielono też kilka patentów (m. in. [17, 18, 19]); ich właścicielem i posiadaczem praw komercyjnych do urządzenia jest firma Sonident, Vaduz). Prezentowane opracowanie ma na celu krótkie przedstawienie istotnych aspektów stosowanych przez nas metod, które nie zostały w znaczącym stopniu omówione w dotychczasowych publikacjach.

### Zasada działania przyrządu

Działanie naszych urządzeń jest możliwe dzięki zjawisku, którego najwyraźniej nikt wcześniej nie wykorzystał, a nawet chyba nie zauważył. Można je w skrócie opisać następująco.

Jeśli do powierzchni ciała stałego, do której dociera dźwięk, jest przyłożony obiekt i kontakt między nim a powierzchnią nie jest wszędzie jednakowy (idealny), lecz zawiera niejednorodności (krawędzie, punkty kontaktowe itp.), to w miejscach takich dojdzie nie tylko do opisanego klasycznymi wzorami przejścia dźwięku z jednego ośrodka do drugiego, jego odbicia oraz dyfrakcji na granicznych obszarach kontaktu, lecz także do dodatkowego rozproszenia i przemiany na inne rodzaje fal<sup>\*)</sup>. Jest ono wynikiem zmiany warunków propagacji dźwięku w pobliżu powierzchni ciała stałego, spowodowanej kontaktem z przyłożonym do niej obiektem, dlatego też będziemy nazywać je rozproszeniem kontaktowym. Jest rzeczą pewną, że wpływają na nie nie tylko same obszary styku obu ośrodków, lecz także zbliżona do nich część przyłożonego obiektu (w dalszym ciągu tego artykułu nazywana strukturą przypowierzchniową). Z tego też zapewne powodu zjawisko to jest silnie zależne od materiału, z którego jest wykonany przyłożony obiekt.

Doświadczenia pokazują, że przejście fali z jednego ośrodka do drugiego może praktycznie nie występować, lecz obserwowane jest jedynie rozproszenie i generacja innych rodzajów fal (szczególnie wyraźnie jest to dostrzegalne w przypadku fal poprzecznych). Uzasadnione wydaje się twierdzenie, że powstające w miejscach kontaktu z przyłożonym obiektem zaburzenia fali mają charakter głównie fazowy (jej czoło ulega przestrzennemu odkształceniu), i że właśnie takie zmiany frontu falowego są bezpośrednią przyczyną obserwowanego rozproszenia. Prowadzone są prace mające na celu stworzenie teorii opisującej to zjawisko. Tematowi temu zostaną poświęcone osobne publikacje.

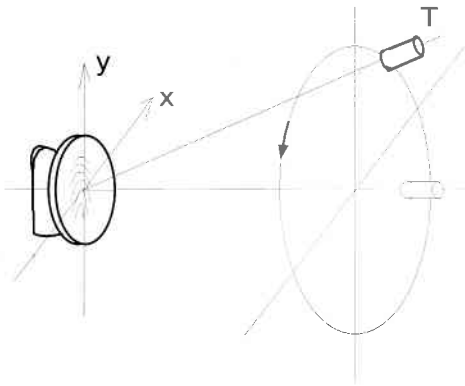
Kilka liczb obrazujących skalę zjawiska: stosując przetwornik, który – przy obserwacji bezpośredniego odbicia od powierzchni granicznej ciała stałego – daje sygnał na poziomie  $1\text{ V}$ , możemy – przykładając do tej powierzchni mosiężną kulkę o średnicy  $2\text{ mm}$  – odebrać pod kątem np.  $20$  stopni wynikający z rozproszenia na kulce sygnał ok.  $1\text{ mV}$ . Sygnały od struktur przypowierzchniowych opuszek palców będą na poziomie dziesięciu miliwoltów. Podane liczby dotyczą fal podłużnych, dla fal poprzecznych zjawisko jest znacznie silniejsze.

### Konstrukcja przyrządu

Zostały skonstruowane przyrządy, które wykorzystując omówione zjawisko pozwalają na pomiar i analizę sygnałów pochodzących od obiektów przyłożonych do powierzchni, na której zachodzi rozproszenie kontaktowe. Są one oczywiście dopasowane do potrzeb obserwacji przypowierzchniowych struktur palców. Opisy ich konstrukcji są zawarte we wspomnianych już pracach i patentach [2, 7, 8, 9, 17, 18, 19]. Dla wszystkich, którzy z tematem tym jeszcze się nie zetknęli, krótkie wyjaśnienie.

Na powierzchnię, do której jest przytknięty analizowany obiekt, jest od prawej strony kierowana fala dźwiękowa (rys. 1). Sygnały rozproszone kontaktowo przez obiekt są odbierane przez przetwornik (oznaczony literą T) wykonujący ruch po kole o osi prostopadłej do powierzchni kontaktu ( $x$ - $y$ ). Ten sam przetwornik może oczywiście służyć jako nadajnik. Zamiast jednego ruchomego przetwornika możliwe jest też zastosowanie wielu nieruchomych przetworników.

Do analizy struktury z rozdzielczością ok.  $0,1\text{ mm}$  konieczne jest zebranie informacji o sygnale rozproszonym z ok.  $256$  kierunków (inaczej mówiąc: punktów na okręgu, po którym porusza się przetwornik). W obecnej wersji urządzenia w każdym kierunku jest wysyłany krótki impuls i odbierany sygnał odpowiedzi impulsowej (w przypadku palca jej spektrum częstotliwości ma zakres ok.  $4$ – $16\text{ MHz}$  – wynika to z geometrii urządzenia). Na rys. 2 przedstawiono zestawy odpowiedzi impulsowych kulki, na rys. 4 palca (czas na osi poziomej, kąt na pionowej,

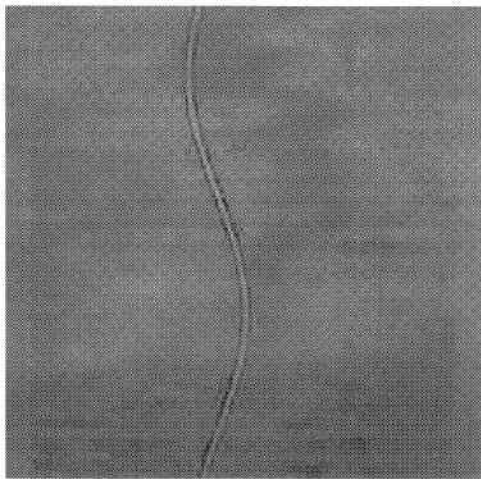


Rys. 1. Schemat urządzenia

amplitudę chwilową reprezentuje lokalne zaczerpienie obrazu, zero odpowiada przy tym średniej szarości). Dla uzyskania z tak otrzymanych danych odwzorowania obserwowanej struktury konieczne jest dokonanie rekonstrukcji, która dość dokładnie odpowiada procedurom stosowanym w ultradźwiękowej tomografii odbiciowej [4, 10, 11]. Aby osiągnąć dobrą jakość i krótki czas trwania tej operacji, konieczne było opracowanie odpowiednich programów. Stworzone w firmie Optel algorytmy umożliwiają rekonstrukcję obrazu z zestawu 180 odpowiedzi impulsowych (po 180 próbek każda) w czasie ok.  $20\text{ ms}$  (na standardowych komputerach klasy Intel Pentium  $200\text{ MHz}$ ). Rekonstrukcję dla odpowiedzi impulsowych z rys. 2 przedstawia rys. 3, rys. 5 odpowiednio dla rys. 4. Na rys. 6 widać odwzorowanie stempla przyłożonego do powierzchni kontaktowej urządzenia. Wygląd zewnętrzny obecnej wersji przyrządu pokazano na rys. 7.

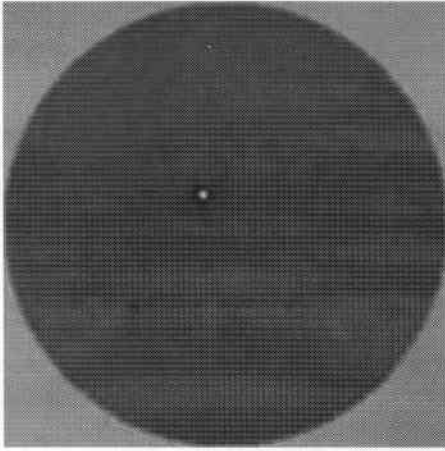
### Zastosowane rozwiązania

Wykorzystanie opisanego uprzednio, wykrytego przez nas zjawiska i znanych z tomografii metod analizy sygnału nie wystarczyło do zbudowania kamery. Konieczne było jeszcze rozwiązanie wielu innych problemów.

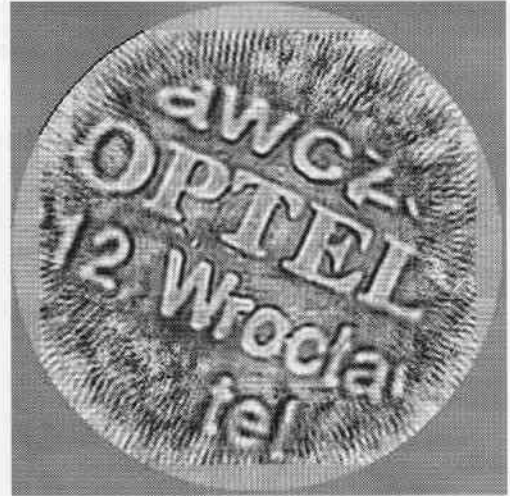


Rys. 2. Odpowiedź impulsowa kulki

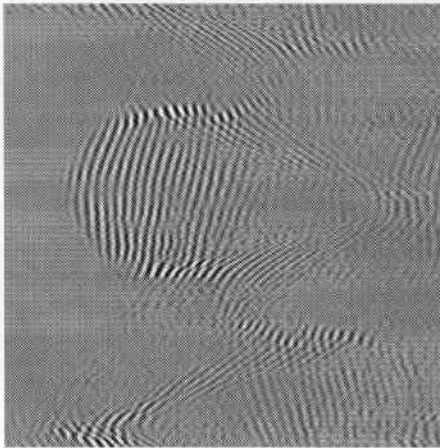
<sup>\*)</sup> W ciele stałym jest możliwe występowanie różnych rodzajów fal akustycznych: podłużnych, poprzecznych o różnej polaryzacji, powierzchniowych i jeszcze innych, występujących w szczególnych warunkach.



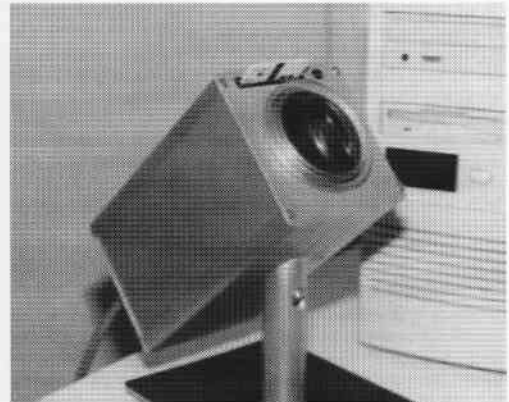
Rys. 3. Rekonstrukcja danych z rys. 2



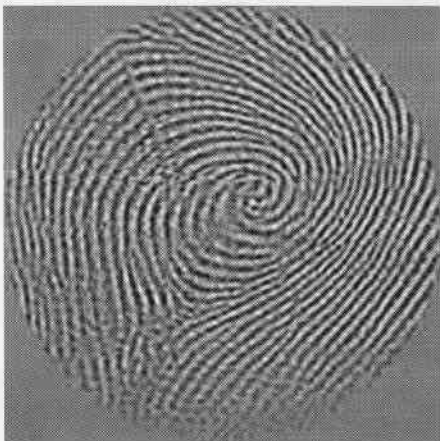
Rys. 6. Odzworowanie stempla



Rys. 4. Odpowiedź impulsowa palca



Rys. 7. Wygląd zewnętrzny kamery



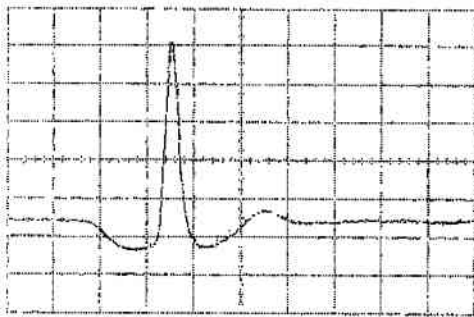
Rys. 5. Rekonstrukcja danych z rys. 4

Dla uzyskania wymaganej rozdzielczości trzeba było skonstruować układ, który posiadając niewielkie rozmiary emituje ultradźwiękową wiązkę gaussowską o znacznej amplitudzie i ma dużą czułość jako odbiornik. Układ taki został zrealizowany i opatentowany [19]; problemom związanym z jego konstrukcją chcemy poświęcić osobny artykuł.

Niecodzownie stało się też stworzenie przetworników, które są w stanie emitować odpowiednio krótki impuls i jako odbiorniki mieć pasmo przenoszenia odpowiadające przynajmniej pasmu odpowiedzi impulsowej palca (4–16 MHz). Wymagane było przy tym, żeby ich funkcja przenoszenia fazy wykazywała w tym zakresie możliwie małą zmienność. Niebłądą cechą takich przetworników musiał być też niski koszt ich wytwarzania i znaczna powtarzalność parametrów. Efektem końcowym tych prac ma być przecież produkowane masowo urządzenie, którego cena nie może być duża. Zespołowi firmy Optel udało się zbudować przetworniki o całkowicie oryginalnej konstrukcji (zgłoszonej do opatentowania), które są w stanie emitować bardzo krótkie sygnały (o czasie trwania ok. 20 ns – rys. 8) i mają bardzo szerokie pasmo przenoszenia jako odbiorniki (ok. 4–25 MHz). Amplituda emitowanego sygnału jest ok. 2 razy większa niż w przypadku klasycznych przetworników

impulsowych. Ich czułość jest natomiast nieco mniejsza, co w trybie pracy nadawanie-odbioru daje efekt porównywalny. Ponieważ jednak ich zasada działania otworzyła nową drogę w konstrukcji przetworników ultradźwiękowych, spodziewamy się, że uda się znacznie ulepszyć ich parametry.

Konstrukcja naszej kamery ultradźwiękowej nie byłaby możliwa, gdyby nie powstała własna elektronika: przede wszystkim układ nadawczo-odbiorczy i karta oscyloskopowa. Także te urządzenia cechują się oryginalnymi rozwiązaniami. Nadajnik pozwala pobudzać przetworniki ultradźwiękowe impulsami elektrycznymi o minimalnym czasie trwania ok. 20 ns z amplitudą do ok. 600 V; odbiornik umożliwia analizę sygnałów o minimalnym poziomie ok. 5 mV w paśmie 4–16 MHz, dynamika wzmacniacza wynosi 60 dB. Karta oscyloskopowa próbkuje do 200 MSPS i jest przystosowana specjalnie do zbierania zestawów powiązanych ze sobą sygnałów ultradźwiękowych (chodzi tu głównie o parametry czasowe, które w ramach takiego zestawu sygnałów muszą zachowywać bardzo wąskie tolerancje).



Rys. 8. Impuls przetwornika skonstruowanego w firmie Optel

Dla uzupełnienia należy wspomnieć o tym, że urządzenie takie nie miałoby sensu w zastosowaniu do odcisków palców, gdyby nie powstały programy mogące analizować zebrane obrazy linii papilarnych. Także w tym zakresie możemy pochwalić się oryginalnymi rozwiązaniami, ale rozważenie tego tematu wykracza poza ramy artykułu. Warto jednak zaznaczyć, że stworzone w tym celu algorytmy umożliwiają nie tylko rozpoznawanie palców, lecz także bardzo znaczną kompresję danych, pozwalających na syntezę wzroku palca z zestawu informacji, którego wielkość nie przekracza 100 bajtów.

### Obserwacje za pomocą kamery

Obiekty o podobnej strukturze, lecz wykonane z różnych materiałów dają wyraźnie różne sygnały (różni się zarówno ich amplituda, jak i kształt). Struktura jest natomiast czytelna. Można jest dzięki temu odróżnić palców od ich imitacji.

Posmarowanie badanego przedmiotu tłuszczem, żelem, zamoczenie go w wodzie lub zabrudzenie nie powoduje istotnych zmian sygnału.

Ślad (odcisk) palca jest dostrzegalny z dużym trudem, bowiem poziom sygnału, który on powoduje, jest przynajmniej 30 dB niższy od sygnału pochodzącego od przyłożonego palca (dla porównania: w urządzeniach optycznych bywa on porównywalny). Utrwalenie go przy użyciu sadzy lub proszku metalowego nie zmienia tego w stopniu zauważalnym.

Zostawiony przez palec na grubej (ok. 0,5 mm) warstwie galarety lub tłuszczu odcisk jest co prawda dostrzegalny lepiej, ale różni się bardzo od obrazu palca.

Także palce o zniszczonej powierzchni dają dość czytelny obraz. Ich struktura wewnętrzna jest jeszcze wyraźna, a zjawisko, które wykorzystujemy, reaguje przecież na warstwę podpowierzchniową.

### Plany dalszego rozwoju urządzenia

W najbliższym czasie planuje się stworzenie wersji urządzenia, które wykorzystując nieruchome przetworniki będzie mogło pokazywać obraz przyłożonego przedmiotu „na żywo”, tzn. w tempie ok. 25 obrazów na sekundę. Będzie to swego rodzaju kamera ultradźwiękowa, „widząca” struktury powierzchniowe przyłożonych do jej czułej powierzchni obiektów. Ponieważ będzie ona zawierać elektronikę dokonującą rekonstrukcji, będzie ją można podłączyć do standardowego monitora. Działająca już dzisiaj kamera używa jednego ruchomego przetwornika i jest w stanie prezentować kilka obrazów na sekundę, musi ona jednak współpracować z komputerem, który dokonuje przetworzenia sygnału i pokazuje obraz na swoim monitorze. W 1998 roku powstaje zwrata wersja tego urządzenia, której dalsza miniaturyzacja powinna zaowocować układem wielkości chipu, który rzeczywiście będzie można zamontować w przycisku.

### LITERATURA

- [1] L. H. ANDERSEN, P. JÜRGENSEN: Fingerprint Verification – for use in Identity Verification Systems. Master Degree Work. Aalborg University 1993.
- [2] W. BICZ, Z. GUMIENNY, M. PLUTA: Ultrasonic Sensor for Fingerprint Recognition. SPIE, vol. 2634.
- [3] Der Fingertip-Sensor. FAZ Verlag, Frankfurt am Main *Blick durch die Wirtschaft* 18.12.97, s. 6.
- [4] B. FAY: Strukturuntersuchungen mit Hilfe der Ultraschallrückstreuung. In: K. Brendel (Ed.) Stand und Entwicklungstendenzen der Ultraschallmeßtechnik (Vorträge des 64. PTB-Seminars am 23./24.04.1986), ISBN 3-88314-684-6.
- [5] Fingerprint-Chips. Magna Media Verlag, D-85531 Haar, *Markt&Technik* 1997, nr 50, s. 46.
- [6] F. GALTON: Finger Prints. Macmillan and Co., London i New York 1892; reprint. Da Capo Press, New York 1965.
- [7] Z. GUMIENNY, M. PLUTA, W. BICZ, D. KOSZ: Rekonstrukcja struktur dwuwymiarowych z zastosowaniem algorytmu FFT. *Akustyka Molekularna i Kwantowa*. Tom 15. 1994.
- [8] Z. GUMIENNY, M. PLUTA, W. BICZ, D. KOSZ: Synthetic aperture acoustic microscope for evaluation of fingertip peripheral skin structure. SPIE, vol. 2390.
- [9] Z. GUMIENNY, M. PLUTA, W. BICZ, D. KOSZ: Ultrasonic Setup for Fingerprint Patterns Detection and Evaluation. *Acoustical Imaging*, vol. 22. Plenum Press, 1996.
- [10] G. T. HERMAN, A. K. LOUIS, F. NATERRER (Eds.): *Mathematical Methods in Tomography*, Proceedings, Springer Verlag, Oberwolfach 1990, ISBN 3-540-54970-6.
- [11] A. C. KAK, M. SLANEY: Principles of Computerized Tomographic Imaging. IEEE Press, ISBN 0-7803 0447-0.
- [12] H. C. LEE, R. E. GAENSLEN: *Advances in Fingerprint Technology*. Elsevier 1991, ISBN 0-444-01579.
- [13] D. MOHRMANN: Biometric als Quantensprung? Hüthig Verlag, Heidelberg *W&S* 1997, nr 7, s. 28.
- [14] H. MÜLLER: Der Körper als Passwort. DMV Verlag, D-85622 Feldkirchen *PC Magazin* Januar 1998, s. 256.
- [15] E. NEWHAM: *The Biometrics Report*. SJB Services, ISBN 1-900-18009.
- [16] Siemens AG: EP 0 041 693 A1, 1981.
- [17] Sonident: World Patent WO-A-8 705 790.
- [18] Sonident: US Patent nr 5258922.
- [19] Sonident: US Patent nr 5515298.