

## Ryszard TADEUSIEWICZ

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI, INFORMATYKI I ELEKTRONIKI, KATEDRA AUTOMATYKI

# Rozwój techniki komputerowego przetwarzania obrazów

Prof. dr hab. inż. Ryszard TADEUSIEWICZ

Pracownik AGH w Krakowie kierownik Katedry Automatyki. Rektor AGH (1998-2005); wiceprzewodniczący i przewodniczący Konferencji Rektorów Polskich Uczelni Technicznych (1999-2005). Członek korespondent PAN (od 2001 roku) i Polskiej Akademii Umiejętności (od 1999 roku), członek zagraniczny Rosyjskiej Akademii Nauk Przyrodniczych (od 1999 roku), członek tytułarny Europejskiej Akademii Nauk, Sztuki i Literatury (od 2001 roku) oraz członek Światowej Akademii Nauk i Umiejętności (od 2005 roku).



e-mail: rtad@agh.edu.pl

### Streszczenie

W pracy przedstawiono historię rozwoju badań związanych z komputerowym przetwarzaniem, analizą i rozpoznawaniem obrazów, jaka miała miejsce w Katedrze Automatyki AGH oraz w Instytutach ją poprzedzających, bowiem Katedra ta w kilkudziesięcioletnim okresie swego działania przechodziła różne metamorfozy organizacyjne, wzmiankowane w artykule. Z przebogatego i różnorodnego spektrum dorobku naukowego Katedry wybrano wyłącznie wątek związany z początkami komputerowej analizy i przetwarzania obrazów. Opisano, jak w latach 70. pracownicy Katedry własnoręcznie budowali zarówno przetworniki wprowadzające pierwsze obrazy do komputerów, jak i procesory przetwarzające te obrazy. Wzmiankowano o pierwszych systemach wieloprocesorowych do przetwarzania obrazów, które zbudowano na AGH w latach 80. oraz o poszukiwaniu zastosowań tych systemów w połączeniu z technikami opartymi na sieciach neuronowych na początku lat 90. Dzisiaj wszystkie te dokonania i związane z nimi, przywołane w artykule publikacje, mają wyłącznie historyczne znaczenie. Czasem warto jednak odwołać się do historii, żeby lepiej zrozumieć dzień dzisiejszy określonej dziedziny oraz trafniej przewidywać kierunki jej rozwoju.

**Słowa kluczowe:** Komputerowe przetwarzanie obrazów, historia informatyki, systemy wieloprocesorowe.

## Development of computer vision

### Abstract

In the paper is presented the brief history of research conducted at AGH Chair of Automatics in the area of image processing, analysis and recognition. The history is connected with changes of the Chairs name, because present state of the Chair of Automatics is result of many transformation and in the paper is described long chain of scientific institutes preceding it. Nevertheless in scientific group under consideration at 70th and 80th years of XX century was conducted pioneer works devoted to building of second in Poland and one of the first in Europe systems for computer processing of the images. At such early stage of development both electronics and computer science it was very challenging and very difficult task. In the paper was described way from the very beginning computer vision systems produced in Chair laboratories, next the development of such system is described and actual state of art is presented. The paper is presented for the anniversary of the Faculty of Electrotechnics, Automatics, Information Sciences, and Electronics in AGH University of Science and Technology and therefore is mainly oriented for presentation of historical events instead of actual achievements of Chair Staff.

**Keywords:** Computer vision, history of computer systems, multiprocessor systems.

## 1. Wprowadzenie

Problematyka cyfrowego przetwarzania obrazów stała się dziś techniką bardzo popularną i powszechnie wykorzystywaną. Wystarczy wspomnieć tylko o wszechobecnych cyfrowych aparatach fotograficznych oraz o cyfrowych kamerach video, które tak dalece zostały udoskonalone technicznie oraz dopracowane pod

względem ekonomicznego wytwarzania, że są nawet rutynowo wbudowywane jako swoisty *bonus* do telefonów komórkowych. Cyfrowe obrazy towarzyszą nam także stale przy różnych formach komunikacji multimedialnej (por. [1]) oraz stanowią coraz większą część zawartości różnych zasobów informacyjnych – na przykład Internetu, więc dla dzisiejszego użytkownika komputerów operowania obrazem jest czymś oczywistym i naturalnym.

Warto jednak uświadomić sobie, że nie zawsze tak było! Technika cyfrowa, jak sama nazwa wskazuje, została stworzona pierwotnie po to, by operować na liczbach, a nie na obrazach, zaś komputer – także zgodnie ze swoją nazwą – jest narzędziem do prowadzenia obliczeń, a nie na przykład do określania deformacji wątroby na ultrasonogramie. To, że dzisiaj z taką swobodą korzystamy z technik cyfrowego przetwarzania i rozpoznawania obrazów – jest wynikiem wieloletniego procesu rozwijania i doskonalenia tych technik, a w tym historycznym procesie pracownicy Katedry Automatyki AGH mieli swój udział. W artykule tym chciałbym przypomnieć niektóre osiągnięcia, jakie w tym zakresie udało się w naszej Katedrze uzyskać, pokazując, jak długą i krętą drogą dążyliśmy do naszego dzisiejszego poziomu kompetencji, związanego z metodami określanymi często angielskim terminem *computer vision*.

Na co dzień publikując prace dotyczące komputerowego przetwarzania obrazów w naszej Katedrze odwołujemy się do najnowszych osiągnięć, jakie udało się nam w tym zakresie uzyskać (patrz na przykład [2, 3, 4]), jednak ten numer PAK poświęcony jest Jubileuszowi Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, którego częścią jest Katedra – przeto w tym artykule, na zasadzie wyjątku od reguły, celowe będzie sięgnięcie do przeszłości. Spróbuję więc przedstawić, jak wyglądały początki rozwoju problematyki komputerowego przetwarzania obrazów w Katedrze Automatyki w „pionierskim” okresie rozwoju tej techniki, gdy naprawdę mało kto wiedział, o co właściwie chodzi w tym przetwarzaniu obrazów, a wiele autorytetów wypowiadało bardzo stanowcze opinie, że do takich celów komputerów się nie powinno stosować, bo nie takie jest ich przeznaczenie.

Dla poinformowania osób mniej zorientowanych w historii AGH odnotuję, że zespół badaczy, stanowiący obecnie kadre Katedry Automatyki, nie zmieniając swojej spoiowości i tożsamości, w rozważanym tu fragmencie przeszłości Wydziału należał do przeobrażających się i kolejno ewoluujących Instytutów o nazwach: Automatyki i Elektroniki Przemysłowej (w początkowych latach 70. do momentu utworzenia na bazie pracowników tego Instytutu oddzielnego Instytutu Elektroniki), następnie Informatyki i Automatyki (w późnych latach 70. i na początku lat 80. do momentu utworzenia przez część kadry tego Instytutu oddzielnego Instytutu Informatyki), a potem Automatyki, Inżynierii Systemów i Telekomunikacji (w późnych latach 80. do momentu utworzenia przez wydzieloną grupę pracowników tego Instytutu oddzielnej Katedry Telekomunikacji oraz firmy ComArch). Przedstawiając niżej rozwój techniki komputerowego przetwarzania obrazów w naszym zespole naukowym będę dla jednolitości pisał zawsze, że takie lub inne osiągnięcia miały miejsce w Katedrze Automatyki AGH, nie zaznaczając oddzielnie, że z punktu widzenia dokładnych nazw osiągnięcia te w istocie były uzyskiwane (przez tych samych ludzi) Instytutach historycznie ją poprzedzających.

## 2. Problem wprowadzania obrazu do komputera

Z punktu widzenia dzisiejszego użytkownika wszechobecnych i bardzo sprawnych urządzeń, pozwalających szybko i wygodnie pozyskiwać cyfrowe obrazy i wprowadzać je do komputerów, trudno wręcz sobie wyobrazić, jak wielki to stanowiło kiedyś

problem. Gdy zaczynaliśmy w Katedrze badania nad technikami automatycznego przetwarzania i analizy obrazów, podstawowym sposobem wprowadzania informacji do komputera były taśmy oraz karty dziurkowane (rys. 1).



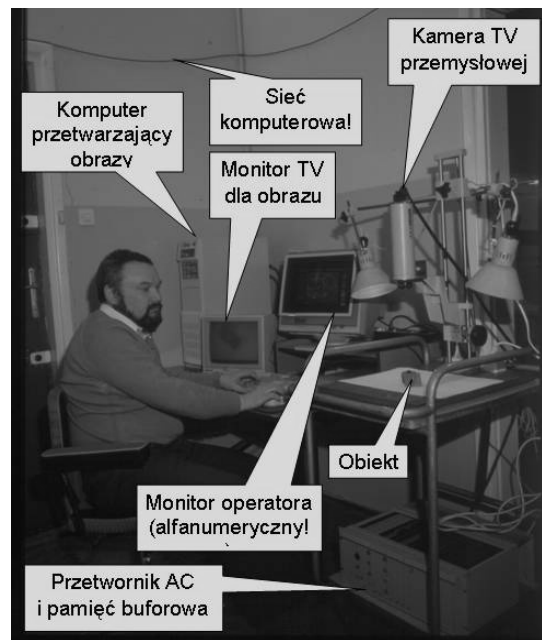
Rys. 1. Dawne metody wprowadzania informacji do komputerów nie sprzyjały technice przetwarzania obrazów

Fig. 1. Old methods of data input to computers was not suitable for image processing

Trzeba było najpierw opracować, a potem własnoręcznie zbudować i przetestować urządzenia elektroniczne pozwalające na wprowadzanie obrazów do komputerów, a potem na ich cyfrowe przetwarzanie. Pierwsze (jak się wydaje) prace poświęcone rozwiązanej tu problematyce powstały w połowie lat 70. i zaowocowały całym szeregiem publikacji, które ukazały się w 1978 roku (patrz [5, 6, 7, 8]). Jak wspominałem, głównym źródłem kłopotów był w tym czasie przetwornik pozwalający wprowadzić do powolnych ówczesnych komputerów obrazy dostarczane z dużą szybkością przez typowe (analogowe) kamery telewizyjne. Zbudowanie takiego przetwornika przy zastosowaniu układów elektronicznych dostępnych w latach 70. było bardzo trudne, co więcej – strumień informacji cyfrowej, który był produkowany przez taki przetwornik, był za duży i za szybki, jak na możliwości ówczesnych komputerów, konieczne więc było stosowanie pamięci buforowych przechwytyjących cyfrowy obraz – oczywiście pamięci także własnoręcznie budowanych z układów elektronicznych o bardzo małej (według dzisiejszych kryteriów) skali integracji. Mając jednak konkretnie nakreślony cel, jakim była automatyzacja procesu wzbogacania surowców w górnictwie (patrz [8]) oraz mając (dzięki współpracy z KGHM) praktycznie nieograniczone środki finansowe, z tytułu priorytetowego finansowania w połowie lat 70. prac badawczych dotyczących górnictwa, zbudowaliśmy system komputerowego przetwarzania obrazów, nazwany CESARO (Cyfrowy Eksperymentalny System Analizy i Rozpoznawania Obrazów – patrz rys. 2). Był to wtedy drugi w Polsce i jeden z pierwszych w Europie systemów tego typu. CESARO był wielokrotnie opisywany w literaturze [9, 10] oraz stał się od razu bazą do prowadzenia szeregu różnych badań w dziedzinie komputerowej analizy obrazów [11, 12].

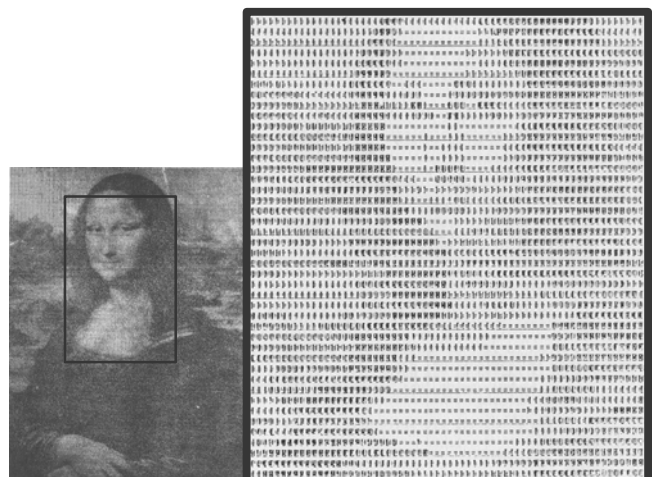
Warto podkreślić, że w pracach związanych z budową i oprogramowaniem pierwszych polskich systemów wizyjnych nie brakowało różnych trudności i kłopotów, o których współcześnie pracujący badacze *computer vision* nie mają pojęcia, że mogły kiedykolwiek występować. Obraz nie tylko trudno było wprowadzić do komputera, ale także bardzo trudno było go obejrzeć, gdy już tkwił w pamięci maszyny – na przykład po wykonaniu jakiejś operacji wchodzącej w skład jego przetwarzania oraz analizy. Dzisiaj trudno to sobie wyobrazić, ale używane w tamtych czasach monitory i drukarki nie miały możliwości wyświetlania czy drukowania obrazów, gdyż były to urządzenia w ścisłym tego słowa znaczeniu alfanumeryczne. Z wyświetleniem obrazu od biedy można sobie było poradzić w taki sposób, że do komputera dołą-

czano (poprzez przetwornik cyfrowo-analogowy) typowy monitor studyjny (używany w studio telewizyjnym do podglądania emitowanego programu). Stosowne oprogramowanie komputera skanowało jego pamięć, w której zawarty był interesujący nas obraz (na przykład będący wynikiem procesu przetwarzania) i wysyłało sygnały sterujące pracą przetwornika wyświetlającego obraz na ekranie. Było z tym oczywiście sporo kłopotów w szczególności (na przykład problem synchronizacji komputera z monitorem), ale dawało się to rozwiązać.



Rys. 2. Skonstruowany w AGH pierwszy cyfrowy system wizyjny CESARO  
Fig. 2. Build in AGH first computer vision system named CESARO

Prawdziwy kłopot pojawiał się w momencie, gdy trzeba było uzyskać trwałą kopię przetwarzanego albo analizowanego cyfrowego obrazu. W odróżnieniu od monitora, którego elektroniczna konstrukcja była w miarę przyjazna dla wszelkich przeróbek, drukarki zawierały całą masę nieodzownych elementów mechanicznych, których wykonanie albo przeróbka w warunkach Katedry były bardzo utrudnione. Mechanika precyzyjna (a raczej jej brak...) jest zresztą do dzisiaj czynnikiem limitującym możliwości Katedry w wielu ciekawych obszarach badawczych – na przykład mikro-robotów.



Rys. 3. Sposób przedstawiania obrazu cyfrowego z wykorzystaniem drukarki alfanumerycznej

Fig. 3. Methods for image output using alphanumerical line printer

Wracając do problemu drukowania obrazów okazało się, że jedną szansą uzyskania „obrazo-podobnego” zapisu na papierze jest technika nabijania na siebie znaków drukarskich w taki sposób, żeby łączny stopień zaciemnienia papieru osiągnął pożądaną wartość. Na rysunku 3 pokazano przykładowy wydruk obrazu uzyskany tą metodą. Dla osób zaniepokojonych treścią przykładowego obrazu spieszę wyjaśnić, że Katedra Automatyki NIE zajmowała się przetwarzaniem obrazów tego rodzaju, ale nie ostała się nam żadna próbka alfanumerycznie generowanych obrazów naukowych, natomiast udało się znaleźć przedstawiony wyżej przykład takiego wydruku innego (znanego) obrazu.

### 3. Dawne badania związane z przetwarzaniem obrazów

Ze względu na swoją unikatowość pod względem obszaru zastosowań (używano go m.in. do optymalizacji flotacji rud miedzi) CESARO był podstawą opracowań technologicznych, które były dosyć szeroko komentowane w środowisku specjalistów związanych z przeróbką surowców mineralnych [10, 13, 14]. Po kilku latach doświadczeń z eksploatacją (stałe rozbudowywanego) systemu CESARO, a także z projektowaniem nowych algorytmów przetwarzania obrazów oraz z programowaniem ich w sposób zapewniający dużą szybkość przetwarzania mimo ogromnego rozmiaru zbioru danych, jaki w systemie informatycznym reprezentuje każdy obraz – udało się w 1982 przedstawić pierwsze w Polsce obszerne opracowanie metodologiczne, opisujące możliwości i ograniczenia technik obrazowych, będących wtedy wciąż jeszcze mało znaną nowością [15]. Popularna wersja tego opracowania, opublikowana w branżowym czasopiśmie Informatyka [16] była przez kilka następnych lat źródłem inspiracji dla wielu prób budowy systemów wizyjnych w różnych ośrodkach naukowych na terenie całej Polski (potwierdzają to cytowania wskazanego artykułu w pracach innych badaczy). Zaletą systemu CESARO było w pierwszym rzędzie to, że mimo bardzo wysokiego poziomu zaawansowania technicznego (oczywiście w stosunku do stanu nauki i techniki w czasach, w których powstał i był rozwijany), był on w całości budowany z łatwo dostępnych i relatywnie tanich elementów krajowych. Dzisiejszym badaczom kryterium takie wydaje się zapewne dziwaczne i bezsensowne, bo dzisiaj do budowy określonego stanowiska badawczego staramy się dobierać elementy według ich jakości („tylko najlepsze są wystarczająco dobre”) a nie według kryterium kraju produkcji. Rynek stał się rynkiem globalnym. W latach 80. było jednak inaczej. Elementy i podzespoły pochodzące z importu były trudno osiągalne (czasem całkowicie nieosiągalne), a całkowicie „sufitowe” relacje kursów walut powodowały, że nawet najtańsze elementy pochodzące z Zachodu były znacznie droższe od takich samych wyprodukowanych w ramach Bloku Wschodniego. Dlatego prezentując system CESARO na różnych konferencjach eksponowano jego konstrukcję opartą na podzespołach krajowych, bo to **wtedy** miało istotne znaczenie [17], zwłaszcza że porównanie możliwości funkcjonalnych i sprawności działania naszego systemu ze znanymi z literatury systemami innych badaczy dawało raczej zachęcające wyniki [18].

Zbudowawszy system CESARO nie poprzestawiliśmy na samym tylko jego uruchomieniu i zastosowaniu do różnych zagadnień praktycznych. Poszukiwaliśmy także metod pozwalających na zwiększenie szybkości przetwarzania obrazów metodą wykorzystania faktu, że w spakowanej postaci obraz był rozmieszczony w pamięci komputera w taki sposób, że w jednej komórce pamięci mieściło się kilka pikseli (patrz [19]). Tu znowu krótki komentarz: w tamtych czasach struktura bajtowa nie była jedyną stosowaną, jak to ma miejsce dzisiaj, i używano także pojęcia komórki pamięci jako jednostki przetwarzanej w jednym cyklu pracy procesora. Ta nieco egzotyczna z dzisiejszego punktu widzenia technika przyspieszania obliczeń okazywała się niekiedy nadszpiegowaniem skuteczną, co pozwalało na wzrosty wydajności przetwarzania bez konieczności sięgania do architektur wieloprocesorowych – w tamtych czasach trudno osiągalnych i bardzo drogich. Kolejne

korzyści w zakresie oprogramowania naszego systemu wizyjnego udało się osiągnąć wprowadzając nową i oryginalną architekturę oprogramowania wykorzystującą hierarchiczne zależności między operacjami wykonywanymi na obrazie przy różnym poziomie szczegółowości jego opisu [20]. Dzisiaj te pomysły mogą budzić zainteresowanie jedynie jako ciekawostki, kiedyś jednak była to realna i ważna droga uzyskiwania zwiększonej wydajności procesu przetwarzania przy bardzo powolnych dostępnych wtedy komputerach.



Rys. 4. Wieloprocesorowy system wizyjny CESARO2  
Fig. 4. Multiprocessor computer vision system CESARO2

Zbudowany system wizyjny zachęcał do prowadzenia badań nad różnymi obszarami jego zastosowań. Ponieważ prace prowadzone były głównie w Katedrze Automatyki – obszarem pierwszych zastosowań stały się oczywiście zastosowania w automatyce [21] (na przykład w procesie ciągnięcia szkła okiennego w hucie [22]), potem przyszła pora na próby zastosowań w robotyce [23, 24, 25]. Potem sięgnęliśmy do zastosowań telekomunikacyjnych [26] oraz medycznych [27], które na długo stały się głównym wątkiem rozwijanych w Katedrze prac.

### 4. Systemy wieloprocesorowe CESARO2

Coraz poważniejsze zadania, powierzone systemom przetwarzania obrazów, spowodowały, że mający już 10 lat system CESARO, mimo jego modyfikacji i stałego doskonalenia, przestał spełniać wymagania – zwłaszcza czasowe, związane z wykorzystaniem techniki obrazowej w systemach sterowania i w innych aplikacjach uwarunkowanych czasowo. W związku z tym pod koniec lat 80. przystąpiono w Katedrze Automatyki AGH do budowy systemu CESARO2, którego cechą wyróżniającą była wieloprocesorowość [28, 29]. Nowy system w dużej mierze oparty był na przesłankach biocybernetycznych i wykorzystywał rozwijaną w Katedrze od wielu wcześniejszych lat teorię i praktykę systemów neuropodobnych [30]. Dzięki popularyzacji idei budowy wieloprocesorowego systemu wizyjnego dla potrzeb robotyki [31] udało się zdobyć potrzebne środki i wieloprocesorowy system wizyjny CESARO2 został zbudowany (rys. 4 pokazuje jego wersję znajdującą się obecnie w Muzeum Historii Techniki AGH).

System ten był wykorzystywany eksperymentalnie jako wizyjne sprzężenie zwrotne dla robota przemysłowego typu IRb6 (ASEA-PIAP), co stało się podstawą do napisania książki „Systemy wizyjne robotów przemysłowych” [32], będącej pierwszą polską ogólnie dostępną monografią, w której przedstawiono zasady komputerowej analizy, przetwarzania i rozpoznawania obrazów wraz z ich praktyczną realizacją w postaci specjalizowanych układów elektronicznych. Wydana rok wcześniej książka „Rozpoznawanie obrazów” [33] koncentrowała się bowiem na podejściach teoretycznych i algorytmicznych.

Bogate możliwości prowadzenia z użyciem systemu CESARO2 badań różnych metod przetwarzania i rozpoznawania obrazów skierowały na początku lat 90. uwagę badaczy z Katedry Automatyki na możliwości, jakie w tym zakresie dawała technika sieci neuronowych, które właśnie w tym czasie zaczęły zyskiwać rosnącą popularność. Powstała wtedy praca [34] stanowiła pierwszy (jak się wydaje) polski przegląd możliwości, jakie w tym zakresie dają się wskazać, zaś kolejna praca [35] proponowała konkretną metodologię wiązania techniki komputerowej analizy i przetwarzania obrazów z metodami i technikami sieci neuronowych. Rozwijanie tej idei i tej drogi postępowania doprowadziło do powstania w całej Polsce przynajmniej tuzina bardzo ciekawych prac doktorskich, bowiem połączenie techniki przetwarzania obrazów i sieci neuronowych okazało się wyjątkowo użytecznym narzędziem w niespodziewanie szerokim zakresie różnych zagadnień i problemów wynikających z potrzeb praktyki [36, 37]. Przykładem dosyć nieoczekiwanego zastosowania połączonych technik obrazowych i neuronowych może być praca [38], pokazująca możliwości tych technik w zagadnieniach technologii żywności. W związku z tą szeroko potwierdzoną użytecznością praktyczną narzędzie będące połączeniem technik obrazowych i sieci neuronowych było także przedmiotem dosyć rozległych badań podstawowych prowadzonych w Katedrze Automatyki od 1992 roku, a ukoronowanych między innymi publikacją [39].

Z wykorzystaniem systemu CESARO2 wykonywano różne prace, między innymi podjęto jedno z pierwszych w Polsce badania możliwości wykorzystania komputerowego rozpoznawania obrazów do odczytywania tekstów drukowanych i pisanych ręcznie. Wyniki tych prac były podstawą zarówno prac naukowych jak i serii opracowań popularnych [40, 41], przedstawiających możliwości tej (mało znanej wówczas) techniki szerokiej społeczności polskich informatyków. Badania te później zaowocowały między innymi praktycznym rozwiązaniem wykorzystującym technikę optycznego czytania dokumentów do szybkiego wprowadzania do komputerowego systemu rekrutacyjnego ręcznie wypełnianych ankiet kandydatów na studia w AGH oraz ciekawymi wynikami naukowymi [42].

## 5. A potem ruszyła lawina...

Opis prac pionierskich prac badawczych i konstrukcyjnych, dotyczących komputerowego przetwarzania obrazów, prowadzonych w Katedrze Automatyki AGH od lat 70. XX wieku wypada zakończyć na granicy połowy lat 90. Nie dlatego, żeby później dalszych prac w tej dziedzinie w Katedrze nie prowadzono. Przeciwnie, w latach 90. oraz na początku XXI stulecia we wspomnianej Katedrze powstawało (i powstaje nadal) bardzo wiele bardzo ciekawych prac, poświęconych problematyce przetwarzania i rozpoznawania obrazów. Rozpoczęto bardzo zaawansowane badania dotyczące rozpoznawania i rozumienia obrazów medycznych (prof. Marek Ogiela). Podjęto ciekawy temat wideo-detektorów ruchu drogowego, wykorzystywanych przy systemach automatycznego monitoringu i sterowania ruchem drogowym (prof. Andrzej Adamski, dr Zbigniew Mikrut). Prowadzone są prace zmierzające do realizacji coraz większej liczby zadań przypisanych do wizji komputerowej za pomocą specjalizowanych procesorów wykonanych w technologii FPGA (dr Marek Gorgoń). Podjęto i rozwiązano szereg ciekawych zadań związanych z wykorzystaniem techniki przetwarzania obrazów do różnych problemów automatyki przemysłowej (dr Zbigniew Bubliski i dr Piotr

Pawlik). Pewien przegląd tych późniejszych prac znaleźć można w publikacjach [43, 44, 45, 46] a także w podręczniku, który powstał na ich bazie [47].

Jednak mimo intensywnego rozwoju problematyki komputerowego przetwarzania, analizy, rozpoznawania i rozumienia obrazów w Katedrze Automatyki – dziedzina ta przestała być unikatowym wyróżnikiem tej właśnie naszej Katedry, gdyż obecnie problematyką obrazową zajmują się nieomal wszyscy. By pozostać tylko przy naszym Wydziale (obchodzącym wszak Jubileusz!) to warto wskazać, że od pewnego czasu bardzo ciekawe badania związane z przetwarzaniem obrazów prowadzą prof. Kazimierz Wiatr i prof. Mariusz Ziółko a także Doktorzy: Przemysław Korohoda i Bogusław Cyganek (w Katedrze Elektroniki) oraz prof. Tomasz Zieliński (w Katedrze Metrologii).

Dookoła także wszyscy pracują intensywnie w tej dziedzinie i mają bardzo ciekawe rezultaty (na przykład prof. Leszek Wojnar na Politechnice Krakowskiej, prof. Konrad Wojciechowski na Politechnice Śląskiej, prof. Marek Kurzyński na Politechnice Wrocławskiej, prof. Andrzej Materka na Politechnice Łódzkiej, prof. Witold Malina na Politechnice Gdańskiej, prof. Adam Dąbrowski na Politechnice Poznańskiej – no i oczywiście ośrodek Warszawski z nestorem tej dziedziny, prof. Juliuszem Lechem Kulikowskim na czele i z wieloma badaczami młodego pokolenia, wnoszącymi do tej dziedziny wiedzę, talent i entuzjazm (na przykład prof. Artur Przelaskowski z Politechniki Warszawskiej). Wobec tego o **przyszłość** dyscypliny komputerowej analizy, przetwarzania i rozpoznawania obrazów martwić się nie musimy, bo trudzą się nad nią najlepsze umysły i najsilniejsze ośrodki badawcze w całej Polsce. W związku tym od czasu do czasu, nie za często, ale na przykład z okazji jubileuszu, warto wspomnieć także o **przeszłości** tej dziedziny – i to właśnie było celem tego artykułu.

## 6. Literatura

- [1] Tadeusiewicz R.: Rola technik cyfrowych w komunikacji społecznej oraz w kulturze i edukacji. W pracy zbiorowej: Handzelewicz M. (red.): Cyfrowy świat bibliotek – problemy techniczne, prawne, wdrożeniowe. CPI Warszawa, 2006, ss. 7 – 78
- [2] Tadeusiewicz R., Ogiela M. R.: Intelligent Recognition in Medical Pattern Understanding and Cognitive Analysis. Chapter in book: Muhammad Sarfraz (ed.): Computer-Aided Intelligent Recognition Techniques and Applications, John Wiley & Sons, Ltd., Hoboken, New Jersey, 2005, pp. 257-274
- [3] Tadeusiewicz R., Ogiela M. R.: Picture Languages in Automatic Radiological Palm Interpretation, International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, vol. 15, nr. 2, 2005, pp. 305-312
- [4] Tadeusiewicz R., Ogiela M. R.: New Proposition for Intelligent Systems Design: Artificial Understanding of the Images as the Next Step of Advanced Data Analysis After Automatic Classification and Pattern Recognition. In: Kwasnicka H., Paprzycki M. (eds.): Intelligent Systems Design and Applications, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, Washington, Brussels, Tokyo, 2005, pp. 297-300
- [5] Tadeusiewicz R.: Rozpoznawanie obrazów. Informatyka, nr 12, 1978, ss. 15-18.
- [6] Tadeusiewicz R.: Komputerowa analiza przydatności wybranych metod rozpoznawania obrazów w diagnostyce neuroinfekcji. W mat. II Krajowej Konferencji Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna, Gliwice 1978, ss. 63-64
- [7] Tadeusiewicz R.: Cyfrowe przetwarzanie obrazów telewizyjnych w celu ich analizy i rozpoznawania. W mat. IV Symp. MPN WEAE AGH, 1978, ss. 5-8
- [8] Kordek J., Nipl R., Nowikow P., Romanowski J., Szuba T., Tadeusiewicz R.: Rozpoznawanie obrazów optycznych w przeróbce surowców mineralnych. W mat. Symp.: Automatykacja Procesów Przeróbki Węgla, Katowice 1978, ss. 148-154
- [9] Tadeusiewicz R., Kordek J., Nipl R.: Cyfrowy eksperymentalny system analizy i rozpoznawania obrazów CESARO. Zeszyty Naukowe AGH, 1979, ss. 347-355

- [10] Kordek J., Nipl R., Sztaba K., Tadeusiewicz R.: CESARO - the digital experimental system of analysis and recognition of images. 17-th International Symposium on the Application of Computer and Mathematics in the Mineral Industries, Moskwa 1980, ss. 393-398
- [11] Tadeusiewicz R.: Programy analizy składu ziarnowego materiałów sypkich w systemie CESARO. Zeszyty Naukowe AGH, 1979, ss. 367-375.
- [12] Tadeusiewicz R., Mikrut Z.: Komputerowa analiza współczynników kształtu ziaren z wykorzystaniem systemu CESARO. Zeszyty Naukowe AGH, 1979, ss. 356-365
- [13] Sztaba K., Nipl R., Kordek J., Tadeusiewicz R., Romanowski J., Nowikow P.: Auswertung optischer Aufnahmen bei der Aufbereitung mineralischer Rohstoffe. Physikalische Eigenschaften von Kornmengen und Korngeschüttungen, Leipzig 1980, pp. 227-235
- [14] J. Kordek, R. Nipl, K. Sztaba, Tadeusiewicz R.: Eksperymentalna cyfrowa systema CESARO analiza i rozpoznawania obrazów. Primienienie EWM i matematycznych metod w gornom dielie - Trudy 17-go międzynarodowego sympozjuma, Moskwa, 1982, ss. 452 - 456
- [15] Tadeusiewicz R.: Komputerowa analiza obrazów i jej zastosowania. Elektrotechnika, tom I, zeszyt 2 (1982), ss. 85 - 94
- [16] Tadeusiewicz R., Pachowicz P.: CESARO - system analizy i rozpoznawania obrazów wizualnych. Informatyka nr 7/8, 1983, ss. 27-29
- [17] Pachowicz P., Tadeusiewicz R.: System CESARO jako propozycja wykorzystania krajowego sprzętu informatycznego do analizy i przetwarzania obrazów. VI Ogólnopolska Konferencja Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej, Warszawa, 1983, ss. 415 - 417
- [18] Pachowicz P., Tadeusiewicz R.: Porównanie systemu CESARO z wybranymi systemami analizy i rozpoznawania obrazów Elektrotechnika, tom 3, zeszyt 2, 1984, ss. 173 - 182
- [19] Pachowicz P., Tadeusiewicz R.: Efektywność zastosowania przetwarzania pół-równoległego w sekwencyjnych systemach obrazowych. I Krajowa Konferencja "Przetwarzanie sygnałów w telekomunikacji, sterowaniu i kontroli", 1984, ss. 216 - 219
- [20] Tadeusiewicz R.: Hierarchiczny system oprogramowania systemu analizy i rozpoznawania obrazów. I Krajowa Konferencja "Przetwarzanie sygnałów w telekomunikacji, sterowaniu i kontroli", 1984, ss. 220 - 224
- [21] Pachowicz P., Tadeusiewicz R.: Zadania, metody i zastosowania w automatyzacji procesów produkcyjnych komputerowej analizy obrazów. Zastosowania Komputerów w Przemysle, Szczecin 1983, ss. 103 - 114
- [22] Skowiniak A., Tadeusiewicz R.: Eine Konzeption des Visionssystems für die Automatisierung der Ziehmaschinen. 14 Glastechnikertagung der DDR, pp. 42-44, Berlin 1987, pp. 198-203
- [23] Tadeusiewicz R.: Rola podsystemu wizyjnego w systemie sterowania robota. Prace Naukowe Instytutu Cybernetyki Technicznej PW, nr 75, Wrocław 1988, ss. 249 - 256
- [24] Tadeusiewicz R.: Systemy wizyjne robotów przemysłowych. Materiały III Krajowej Konferencji Naukowo - Technicznej "Przetwarzanie sygnałów w telekomunikacji, sterowaniu i kontroli", Bydgoszcz 1988, ss. 1 - 25
- [25] Tadeusiewicz R.: Systemy wizyjne dla robotów przemysłowych: rola, budowa, zastosowanie, Zeszyty Naukowe AGH nr 1260, Automatyka, nr 47, 1989, ss. 9 - 46
- [26] Tadeusiewicz R., Pachowicz P.: CESARO - nowy system automatycznej analizy obrazów. Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 5 - 6, 1984, ss. 27 - 28
- [27] Tadeusiewicz R.: Metody rozpoznawania obrazów i ich medyczne zastosowania. Jubileuszowy Zjazd Towarzystwa Chirurgów Polskich, Kraków, 1989, ss.90-93
- [28] Tadeusiewicz R.: Wieloprocessorowe przetwarzanie obrazów. Szkoła Wzrostu Komputerowej i Sztucznej Inteligencji, Polska Akademia Nauk, IPPT, Mądralin, 1989, ss. 24-36
- [29] Tadeusiewicz R.: The Multiprocessor Architectures for Image Processing. Lecture Notes on Computer Vision and Artificial Intelligence, Ossolineum, Wrocław 1990, pp. 223 - 269
- [30] Tadeusiewicz R.: Modele sieci neuropodobnych i przetwarzania informacji w biologicznych systemach percepcyjnych. IV Ogólnopolskie konsersatorium: Cybernetyka- inteligencja- rozwój, PTC, Siedlce 1989, ss. 119 - 152
- [31] Tadeusiewicz R.: Inteligentne oko robota, Sprawy Nauki, nr 5, 1992, ss. 20-21
- [32] Tadeusiewicz R.: Systemy wizyjne robotów przemysłowych, WNT, Warszawa 1992
- [33] Tadeusiewicz R., Flasiński M.: Rozpoznawanie obrazów, PWN, Warszawa, 1991
- [34] Tadeusiewicz R.: Sieci neuronowe w rozpoznawaniu obrazów. Mat. konf. "Uniwersalność cybernetyki", Kraków, 1993, ss. 17-18
- [35] Mikrut Z., Tadeusiewicz R.: Metodyka eksperymentów z sieciami neuronowymi rozpoznającymi obrazy, Zeszyty Naukowe AGH, "Automatyka", nr 66, 1993, ss. 7-30
- [36] Tadeusiewicz R.: Komputerowe systemy przetwarzania obrazów, Rozdział w pracy zbiorowej "Nowoczesna Technika w Kulturze, Nauce i Oświacie - komputery, audio, video, TVSat, Multimedia, Infostrady", WOK Tarnów, 1995, ss. 281-298
- [37] Tadeusiewicz R., Mikrut Z.: Pattern Recognition Using Neural Networks, Proc. of the 8-th International Conference "System-Modeling-Control", vol. 3 "Artificial Neural Networks and their Applications", Łódź 1995, pp. 136-144
- [38] Tadeusiewicz R.: Sieci neuronowe w przetwarzaniu i rozpoznawaniu obrazów, Seminarium "Komputerowa analiza obrazu w technologii żywności", ART, Olsztyn 1994, ss. 4 - 33
- [39] Tadeusiewicz R.: Finding of Optimal Structure of the Neural Network for Image Processing and Pattern Recognition, Invited Session on Neural Networks for Signal Processing, IEEE Signal Processing Symposium, Warsaw, 1996, pp. 39-46
- [40] Tadeusiewicz R.: Optyczne czytniki (I), Magazyn Komputerowy ENTER, nr 6, 1992, ss. 22 -24
- [41] Tadeusiewicz R.: Optyczne czytniki (II), Magazyn Komputerowy ENTER, nr 7, 1992, ss. 22 -23
- [42] Mikrut Z.: Estimation of the hidden layer size based on analysis of neural networks for handwritten digit recognition, Appl. Math. and Comp. Sci., vol. 4, No. 3, pp. 343-352, 1994a
- [43] Gorgon M., Mikrut Z., Tadeusiewicz R.: Image Processing Systems at Biocybernetic Lab of AGH: from TTL to Modern FPGA. In: Colnarić M., Adamski M., Węgrzyn M.: Real-Time Programming, IFAC Publications, Elsevier 2003, pp. 189-194
- [44] Gorgoń M., Wiatr K., Mikrut Z., Tadeusiewicz R.: Rekonfigurowalne architektury systemów sprzętowych do przetwarzania i analizy obrazów w pracach AGH, Elektronizacja - podzespoły i zastosowania elektroniki, nr 7-8, 2003, ss. 29-33
- [45] Tadeusiewicz R., Gorgon M., Wiatr K., Mikrut Z.: Reconfigurable Image Processing Architectures - Research and Current State of Art at the AGH Technical University, in: Plaks T. P., Athanas P.M. (eds.): Proceedings of the International Conference on Engineering of Reconfigurable Systems and Algorithms ERSA'02, Las Vegas 2002, pp. 160-166
- [46] Gorgoń M., Tadeusiewicz R.: Hardware Based Image Processing Library for Virtex FPGA, in Schewel J., Athanas P.M., Dick Ch. H., McHenry J. T.: Reconfigurable Technology - FPGAs for Computing and Applications II, Proceedings of SPIE, vol. 4212, Boston 2000, pp. 1-10
- [47] Tadeusiewicz R., Korohoda P.: Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów, Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków, 1997