

Rewolucja informatyczna w medycynie

Włodzisław Duch

Katedra Metod Komputerowych, Uniwersytet Mikołaja Kopernika,
ul. Grudziądzka 5, 87-100 Toruń
duch@phys.uni.torun.pl, witryna WWW: <http://www.phys.uni.torun.pl/~duch>

Abstrakt: Komputery wkraczają coraz szybciej do wszystkich dziedzin życia. W jaki sposób zmieniają one medycynę? W tym artykule próbuję spojrzeć na to zagadnienie w miarę szeroko, pokazując zarówno proste jak i bardzo wyrafinowane możliwości zastosowań komputerów.

Abstract: Computers are used everywhere. How are they going to change medicine? In this article simple and sophisticated applications of computers in medicine are discussed, with particular emphasis on Artificial Intelligence.

Stan obecny i najbliższa przyszłość

Do niedawna komputery były egzotycznymi urządzeniami obsługiwanymi przez specjalistów posiadających wiedzę niemal tajemną. Szybkość zmian w tej dziedzinie zaskoczyła wszystkich. Wprowadzenie komputerów osobistych a następnie komputerów przenośnych wywołało lawinę nowych zastosowań. Ceny sprzętu komputerowego ciągle spadają a możliwości komputerów szybko rosną. Miliony potencjalnych użytkowników zachęcają do tworzenia nowego oprogramowania i udoskonalania już istniejących programów. Tania pamięć i szybkie mikroprocesory umożliwiają tworzenie coraz bardziej wygodnych systemów dialogu użytkownika z komputerem. Obsługa programów komputerowych staje się coraz łatwiejsza, chociaż daleko im jeszcze do doskonałości. W ciągu najbliższych paru lat należy się spodziewać upowszechnienia systemów operacyjnych komputerów reagujących na polecenia głosowe oraz programów, pozwalających na dyktowanie tekstu. Niezwykle szybko rozwija się komunikacja i udostępnianie informacji przez Internet. Obserwujemy prawdziwą eksplozję zarówno zastosowań komputerów jak i różnych gałęzi nauk związanych z informatyką [1]. Co przyniesie ona medycynie?

Istnieje wiele urządzeń do diagnostyki medycznej wykorzystujących wyrafinowane metody komputerowe. Najlepszym przykładem jest tomograf komputerowy: bez komputerowej syntezy obrazu i analizy sygnałów nie da się zbudować takiego urządzenia. Techniki komputerowe staną się wkrótce podstawą działania wszelkiej aparatury medycznej. Komputery uległy już ogromnej miniaturyzacji i wbudowywane są obecnie w różne urządzenia domowego użytku (telefony, maszyny do szycia czy pralki). W postaci mikrochipów komputery przenikają nawet do wnętrza organizmu człowieka. Dzieje się tak za sprawą urządzeń cybernetycznych, komputerowo sterowanych protez kończyn, protez narządów zmysłów, rozruszników serca lub urządzeń zapobiegających atakom szału przez drażnienie pewnych obszarów mózgu. Nawet tak beznadziejne przypadki jak całkowita utrata wzroku da się pewnego dnia uleczyć dzięki miniaturowym kamerom i mikroskopijnym

komputerom, przetwarzającym sygnały wizyjne do postaci zrozumiałej przez mózg człowieka. Komputer może również bezustannie czuwać nad stanem zdrowia pacjenta, wzywając odpowiednio wcześniej pomocy.

Zastosowania komputerów w medycynie podzielić można na kilka grup tematycznych. Zastosowania do aparatury medycznej i konstrukcji protez w naturalny sposób wyrosły z tendencji do komputeryzacji wszelkiej aparatury pomiarowej i sterującej. Drugi ważny obszar zastosowań wiąże się z możliwościami przechowywania dużych ilości danych i szybkiego dostępu do tych danych. Trywialne zastosowania to komputeryzacja administracji placówek medycznych, bazy danych o lekach czy dostęp do historii chorób pacjentów. Tworzenie baz danych dotyczących chorób (opisy objawów, wyniki testów) i przebiegu terapii jest na razie w powijakach. Trzeci obszar związany jest z komunikacją przy pomocy komputerów, zdalnego dostępu do medycznych baz danych, możliwości przesyłania danych i zdalnego zasięgania opinii ekspertów. Czwarty obszar to teleobecność i wirtualna rzeczywistość, a więc nie tylko komunikacja lecz również kontrolowanie lub sterowanie odległymi procesami i aktywne zdobywanie danych. Przy końcu 1995 roku doniesiono o pierwszych operacjach prowadzonych na odległość przy pomocy wirtualnej rzeczywistości: chirurg z Holandii sterował robotem dokonującym operacji w szpitalu w Brugie, w Belgii. Wirtualna rzeczywistość stosowana jest do leczenia niektórych problemów psychiatrycznych i psychologicznych, np. klaustrofobii, lęku wysokości, strachu przed lataniem samolotem lub jeżdżeniem windą. Piąty obszar to inteligentna analiza danych medycznych i wspomaganie podejmowania decyzji. Edukacja medyczna i wspomaganie badań naukowych to kolejne dwa obszary zastosowań komputerów.

Poniżej wymieniłem niektóre technologie komputerowe, które moim zdaniem będą miały największy wpływ na medycynę w najbliższej przyszłości.

Inteligentne karty (smart cards) służyć mogą do zapisu informacji o pacjentach. Plany masowego wprowadzenia „kart zdrowia” (health cards), określanych również jako „inteligentne karty”, ma kilka krajów europejskich. Już w 1987 roku rozpoczęto we Francji (w regionie Saint-Nazaire) pilotowy projekt kart SANTAL; w pierwszej fazie projektu wydano 38 tysięcy kart. Ten wstępny projekt uznano za bardzo udany i w latach 1992-95 zrealizowano drugą fazę, w której unowocześniono karty i zrezygnowano ze specjalnych terminali do ich czytania na rzecz przystawek do typowych komputerów osobistych. KVK, czyli Krankenversicherungskarte miały zawierać całą historię przebytych chorób i przebieg leczenia każdego obywatela RFN. Lekarze posługiwać się będą specjalnymi czytnikami pozwalającymi również na uaktualnienie zawartych tam danych. Istnieje możliwość traktowania takiej karty jako recepty, którą farmaceuta mógłby odczytywać za pomocą specjalnego czytnika. Informacja może być przechowywana na karcie lub w centralnym banku danych, do którego karta mogłaby stanowić klucz. Szczególnie dyskutowana jest kwestia odpowiednich zabezpieczeń przed możliwością dotarcia do informacji o zdrowiu przez osoby niepowołane. Przewiduje się, że dzięki skróceniu czasu wypisywania papierów, studiowania i szukania informacji o pacjencie a także uniknięcia problemów związanych z mylnym lub niedokładnym podawaniem informacji przez pacjenta, wprowadzenie magnetycznych kart zdrowia pozwoli na znaczne oszczędności. Podobne karty mogą znaleźć zastosowanie jako uzupełnienie dokumentów (np. prawa jazdy), gdyż łatwo można zabezpieczyć je przed sfałszowaniem.

Elektroniczne karty zdrowia pozwolą uniknąć pomyłek przy odczytywaniu recept przez farmaceutę a w połączeniu z programami sprawdzającymi poprawność zalecanej terapii - np.

zalecane dawki leków, możliwe skutki uboczne lub skutki wynikające z interakcji leków - również niektórych pomyłek lekarzy. Technologia „inteligentnych kart” stosowana jest coraz szerzej przez banki wydające karty kredytowe; wkrótce karty takie powinny pojawić się w roli „elektronicznych portmonetek”.

Komputery przenośne mogą stać się użytecznym źródłem szybko dostępnej informacji dzięki literaturze fachowej na CD-ROMach (a wkrótce bardziej pojemnych dyskach DVD), możliwościom podłączenia się do wyspecjalizowanych źródeł informacji w Internecie za pomocą lokalnych linii telefonicznych, a nawet kart wspomagających analizę danych z aparatury pomiarowej. **PDA** (Personal Digital Assistant, czyli „osobisty asystent cyfrowy”) to niewielkie, trzymane w dłoni notesy wyposażone w stosunkowo duży, wrażliwy na dotyk ekran. Pozbawione klawiatury sterowane są rysikiem, rozpoznając pismo ręczne. Są one przydatne do zbierania danych, wypełniania kwestionariuszy, mogą również zawierać podręczne bazy danych a nawet łączyć się przy pomocy wbudowanego łącza na podczerwień z komputerami osobistymi, lub przy pomocy radiowego modemu czy współpracując przez telefon komórkowy z centralnym systemem informatycznym czy Internetem.

Telemedycyna ma wiele aspektów. **Wideotelefony** umożliwiające udzielanie porad w domu pacjenta możliwa jest już obecnie przy wykorzystaniu łącz telefonicznych w standardzie ISDN (dostępnych w większości miast Polski). Przystawka do komputera realizująca usługi wideotelefonii jest dość tania. Niektóre komputery przenośne (np. lepsze modele notebooków Toshiba) przystosowane są przez producenta do prowadzenia wideokonferencji. Jednakże w najbliższych kilku latach coraz bardziej rosnąć będzie rola medycznych baz danych oraz dostęp do specjalistycznej informacji przez Internet.

Modelowanie struktur i procesów biologicznych w coraz większym stopniu opiera się na symulacjach komputerowych. Wyniki takich symulacji mogą być również przydatne w edukacji pozwalając np. bawiąc się modelem rozchodzenia się wapnia w organizmie zrozumieć złożone procesy fizjologiczne. Coraz częściej powstają multimedialne programy edukacyjne na potrzeby wyższego kształcenia medycznego. Powstał szereg programów przydatnych w nauczaniu anatomii, np. w ramach Visible Human Project (National Library of Medicine), program Complete Visible Human Male, pozwalający użytkownikom oglądać różne przekroje 2,500 struktur anatomicznych. PrimePractice to multimedialny program do nauczania hematologii i onkologii, zawierający dokładny opis kilku przypadków i testy egzaminacyjne. Warto też wspomnieć o programach komputerowych wspomagającym profilaktykę, typu poradników domowych.

Znaczny postęp osiągnięto w konstrukcji programów do inteligentnego wspomaganie nauczania (tutorial programs), chociaż na razie niewiele z nich stosuje się w praktyce codziennej. Jednym z takich wyjątków jest PAT (Practical Algebra Tutor), program do nauki praktycznej matematyki opracowany na Carnegie Mellon University. Program ten używany jest przez 6 szkół oraz dwa college w Pittsburgu, a oparty jest na teorii działania umysłu opracowanej przez Johna Andersona. Uczniowie korzystający z PAT uzyskali aż dwukrotnie więcej punktów niż uczniowie z grup kontrolnych nauczanych tradycyjnymi metodami. Niestety nie ma jeszcze tego typu programów dla edukacji medycznej.

Warto również wspomnieć o możliwościach pracy ludzi niepełnosprawnych z komputerami. Systemy rozpoznawania mowy pozwalają osobom z niedowładem kończyn wydawać polecenia głosem. Specjalna przystawka umieszczana na czole niewidomego pozwala na

czytanie z ekranu lub na zamianę tekstu na znaki alfabetu Braille'a. Istnieją też klawiatury w systemie Braille'a sprzedawane przez firmę IBM. Komunikacja komputerowa, a zwłaszcza czynny udział w komputerowych grupach dyskusyjnych stwarzają niepełnosprawnym całkiem nowe możliwości życia społecznego. W wirtualnej rzeczywistości nie liczą się wady fizyczne, liczy się jedynie wyrafinowanie umysłu. Komputery pozwalają osobom niewidzącym na szerszy dostęp do informacji, np. do prasy rozpowszechnianej obecnie w elektronicznej formie przez Internet. W Warszawie już w 1991 roku powstało „Centrum Komputerowe dla Studentów Niewidomych i Niedowidzących”.

Są to stosunkowo proste zastosowania technik informatycznych. Trudności we wprowadzaniu tych technologii dotyczą przede wszystkim kosztów, kwestii organizacyjnych oraz problemów odpowiedzialności prawnej.

Sztuczna inteligencja

Dziedzina nauki określana nazwą „sztuczna inteligencja” zajmuje się rozwiązywaniem problemów, dla których nie znamy algorytmu, pozwalającego na ich rozwiązanie, a więc problemów wymagających inteligencji a nie tylko rutynowego postępowania. Jeszcze w latach 60. zaczęły powstawać pierwsze systemy eksperckie, mające na celu wspomaganie stawiania diagnoz w medycynie. W odróżnieniu od innych podejść do wspomaganie decyzji, takich jak podejścia statystyczne czy probabilistyczne, systemy eksperckie zawierały wiedzę w postaci symbolicznych reguł. System MYCIN, do wspomaganie diagnostyki i terapii zakażeń bakteryjnych, wymieniany jest we wszystkich książkach na temat systemów eksperckich. Już w 1974 roku testy systemu MYCIN na realnych przypadkach pokazały jego użyteczność. W 1979 roku porównano w serii testów diagnozy i zalecenia MYCIN z zaleceniami 5 specjalistów z kliniki w Stanfordzie. Oceny dokonało 8 ekspertów nie wiedząc, czy zalecenia pochodzą od programu czy ludzi. MYCIN zdobył 52 punkty, specjaliści od 34 do 50, student medycyny uzyskał 24 punkty. Jednakże tylko nieliczne tego typu systemy znalazły zastosowanie w praktyce klinicznej. Przyczyny są wielorakie: do niedawna w szpitalach brak było komputerów, informacje o pacjentach nie były dostępne w elektronicznej formie, wiele systemów eksperckich wymagało znacznej wprawy w obsłudze, kwestie odpowiedzialności prawnej za pomyłki wynikłe ze stosowania takich systemów są zagmatwane. Ważną przyczyną niewielkiego wpływu metod sztucznej inteligencji na praktykę medyczną były również ograniczenia wynikłe z przyjętej technologii: nie zawsze intuicja lekarza da się przełożyć na logiczne reguły. Kwestie automatycznego wydobywania wiedzy z danych (Knowledge Data Mining, KDD) wysunęły się na centralne miejsce dopiero w ostatnich kilku latach.

Analiza baz danych metodami uczenia maszynowego lub za pomocą sieci neuronowych przynieść może zaskakujące rezultaty, dając niewielką liczbę reguł o wysokiej wartości diagnostycznej. Dobrym przykładem jest tu doniesienie z grudnia 1997 roku [2], iż prosta kombinacja symptomów (gorączka, ból stawów, pocenie w nocy) pozwala na wcześniejsze wykrycie zarażenia się wirusem HIV niż badania krwi. Wykrycie takich zależności możliwe jest w automatyczny sposób, jeśli tylko dostępne są dane. Niestety z dostępnością danych w medycynie nie jest najlepiej. Niewiele jest publicznie dostępnych baz danych zawierających wyniki testów czy opis symptomów, nadających się do analizy metodami uczenia maszynowego, sieci neuronowych lub metod statystycznych. Brak danych uniemożliwia konstruowanie bardziej wyrafinowanych systemów, posługujących się nie tyle regułami

logicznymi, co usiłujących nabyć doświadczenia doszukując się podobieństw lub różnic w stosunku do przypadków znanych.

Pomimo tych trudności w praktyce medycznej znajduje się sporo systemów eksperckich a niektóre z nich osiągnęły w testach porównawczych dużo lepsze wyniki niż lekarze, włączając w to wysokiej klasy specjalistów [3]. Sztuczna inteligencja wykorzystywana jest nie tylko w systemach do wspomagania diagnostyki czy planowania terapii, ale również do analizy i interpretacji obrazów czy sygnałów z aparatury medycznej, czuwania nad pacjentami na oddziałach intensywnej terapii, w edukacji oraz przy poszukiwaniu informacji. Prawdopodobnie najbardziej zintegrowanym, całościowym systemem informatyki medycznej jest rozwijany od 1980 roku i stosowany w wielu szpitalach stanu Utah system HELP. System ten obsługuje administrację szpitala, udostępnia dokumentację poszczególnym oddziałom, jest odpowiedzialny za monitoring pacjentów, przypominanie o czasach zabiegów, przestrzeganie procedur postępowania klinicznego, jak i wspomaganie podejmowania decyzji. Ta ostatnia funkcja dostępna jest w interaktywny sposób i aktywowana w czasie zapisu nowych danych o pacjencie lub w określonych interwałach czasowych. System wspomagania diagnostyki DXplain [4], którego właścicielem jest Massachusetts General Hospital, dostępny jest (dla wykwalifikowanych osób) przez WWW. Baza wiedzy tego systemu (jest nią sieć Bayes'owska) zawiera opis ponad 2000 chorób, łącznie z objawami, etiologią, patologią i rokowaniami oraz odnośnikami do literatury. System dostarcza listę prawdopodobnych chorób pasujących do ponad 5000 objawów i testów klinicznych. Jest wykorzystywany nie tylko do wspomagania decyzji lecz również edukacji studentów medycyny i jako podręczne źródło wiedzy. Niestety nie istnieje polskojęzyczna wersja tego programu.

Perspektywy

Nie ma odwrotu od komputerów, ani w medycynie ani w żadnej innej gałęzi życia. Obecne pokolenie przyzwyczajone jest już do komputerów niemal od kołyski. Dostęp do encyklopedycznych baz danych, zarówno przechowywanych w lokalnych komputerach jak i specjalistycznych baz danych dostępnych przez sieci komputerowe, w połączeniu z możliwością analizy głosu i syntezy mowy oraz postępami w zakresie analizy semantycznej (wydobywanie sensu z zapytań) spowoduje w ciągu następnych 5-10 lat pojawienie się systemów doradczych, zdolnych do kompetentnej odpowiedzi na prawie każde pytanie. Całkowita automatyzacja procesów zbierania danych o pacjentach umożliwi wspomaganie procesów diagnostycznych i planowania terapii na wszystkich etapach. Paradoksalnie rozwój technik komputerowych powinien spowodować odciążenie lekarzy od wielu czasochłonnych zajęć i przyczynić się do humanizacji medycyny. Zastosowanie techniki komputerowych w zminiaturyzowanej aparaturze medycznej przeznaczonej dla domowego użytku - na przykład wmontowanej w ubikacjach do analizy moczu (urządzenia takie dostępne są obecnie w Japonii) czy łóżkach do obserwacji snu, analizy oddechu lub potu - pozwoli na wykrywanie pewnych chorób we wczesnych stadiach i automatycznie zawiadamianie służb medycznych.

W ciągu następnych 10 lat spodziewać się można bardzo dużego postępu w ułatwianiu komunikacji człowiek-maszyna, a w szczególności stworzenia oprogramowania wykazującego „zdrowy rozsądek” i zdolnego do dialogu z człowiekiem w języku naturalnym. Jest to celem realizowanego od kilkunastu lat w Stanach Zjednoczonych projektu CYC, który wszedł obecnie w fazę komercjalizacji. Dwa systemy CYC wyposażone we wspólną bazę wiedzy lecz różniące się wiedzą specjalistyczną są zdolne wspólnie rozumować dochodząc do

wniosków, których żaden z nich nie byłby w stanie osiągnąć. Komputery oraz sieci neuronowe oparte na zjawiskach kwantowych (kropkach kwantowych) powinny się upowszechnić przy końcu pierwszej dekady przyszłego wieku. W nieco dalszej perspektywie spodziewać się można bezpośredniego sprzężenia urządzeń komputerowych z systemem nerwowym. Już obecnie można hodować pojedyncze neurony lub niewielkie grupy, wpływać na ich rozwój i przyłączać je do mikroprocesorów - układy takie powinny wkrótce znaleźć zastosowanie jako sensory chemiczne. Bardzo zaawansowany jest też program budowy sztucznej siatkówki.

Powszechna komputeryzacja i dostęp do informacji mają też swoje negatywne strony. Wirusy komputerowe lub też pomyłka użytkownika może doprowadzić do zniszczenia cennych danych. Prawidłowo zorganizowany system komputerowy powinien automatycznie tworzyć kopie zapasowe wszystkich ważnych danych. W Internecie to, co bierzemy za informację, jest często dezinformacją, mogącą często uczynić nieobliczalne szkody. Problem wiarygodności informacji nie dotyczy jednak tylko Internetu, gdyż pseudonaukowych książek i pism w tradycyjnej formie również nie brakuje. Ośrodki medyczne będą musiały poświęcić więcej uwagi ocenie dostępnej w Internecie informacji tworząc swoje własne serwisy informacyjne. Włamania do sieci komputerowych i możliwość dostępu do danych pacjentów np. przez firmy ubezpieczeniowe stanowią również pewne niebezpieczeństwo od dawna szczegółowo dyskutowane. Wszystkie problemy można jednak przezwyciężyć w stosunkowo łatwy sposób.

Literatura

- [1] O wszystkim, co wiąże się z komputerami przeczytać można w dwóch ostatnio wydanych książkach: W. Duch, *Fascynujący świat komputerów* (Nakom, Poznań, Maj 1997; 444 str.); W. Duch, *Fascynujący świat programów komputerowych*. (Nakom, Poznań, listopad 1997, 456 str.)
- [2] R. C. Bollinger *et al.* Risk Factors and Clinical Presentation of Acute Primary HIV Infection in India, *Journal of the American Medical Association*, <http://www.ama-assn.org/public/journals/jama/jamahome.htm>
- [3] Krótki artykuł L.E. Widmana, „Expert Systems in Medicine”, znajduje się pod adresem <http://amplatz.uokhsc.edu/acc95-expert-systems.html>
- [4] System DXplain opisany jest pod adresem: <http://www.lcs.mgh.harvard.edu/lcshome/dxplain.htm>