

MARCIN MARUSZEWSKI, TOMASZ HRAPKOWICZ

CompassMedica Sp. z o.o.

ANNA KEMPA, KRZYSZTOF MICHALIK, BOGNA ZACNY

Wydział Informatyki i Komunikacji
Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach

Koncepcja bazy wiedzy systemu ekspertowego dla kardiologii

1. Wstęp

Tworzenie maszyn zdolnych do naśladowania naturalnej ludzkiej inteligencji można traktować jako jedno z najpoważniejszych wyzwań współczesnej nauki i techniki. W ostatnich latach systemy ekspertowe przestały być wyłącznie domeną naukowców i laboratoriów naukowych zajmujących się badaniami w dziedzinie sztucznej inteligencji. Możliwości zastosowań tej nowoczesnej technologii informatycznej obejmują szereg dziedzin nauki i wiedzy: od medycyny poprzez geologię, technikę aż do zastosowań w dziedzinie wspomaganie podejmowania decyzji gospodarczych i finansowych¹.

Motorem wzrostu wielu specjalności medycznych jest m.in. działalność naukowo-badawcza ukierunkowana na wytworzenie i skomercjalizowanie specjalnych programów komputerowych, które mają pomagać lekarzowi w wyborze optymalnego rodzaju operacji². Z punktu widzenia standaryzacji procedur oraz zastosowania nowoczesnych technologii kardiologia jest jedną z najbardziej rozwiniętych specjalności medycznych. Jest to dziedzina medycyny zabiegowej zajmująca się interwencyjnym (operacyjnym) leczeniem chorób serca i układu

¹ K. Michalik, *PC-Shell – szkieletowy system ekspertowy. Zintegrowany pakiet sztucznej inteligencji SPHINX*, AITECH, Katowice 2006.

² A. Treptow, *Medyczna strefa Schengen nadzieją dla szpitali*, „Puls Biznesu” 2012, nr 123.

krążenia. Pomimo to, iż pod względem anatomii kardiologii można ograniczyć do stosunkowo wąskiego obszaru ludzkiego ciała, lekarze uprawiający tę specjalność muszą wykazać się biegłością m.in. w zakresie torakochirurgii (chirurgii klatki piersiowej), chirurgii naczyniowej, kardiologii, intensywnej terapii, medycyny ratunkowej i innych. Jest to również dziedzina medycyny bardzo silnie powiązana z czynnikami ekonomiczno-społecznymi: choroby układu krążenia są najpowszechniejszą (po nowotworach) przyczyną zachorowań i umieralności w Polsce; koszty leczenia kardiologicznego (wynikające m.in. z zastosowania dużej liczby drogiego sprzętu jednorazowego) są jednymi z najwyższych, a ryzyko wystąpienia powikłań pooperacyjnych, choć stale maleje, jest stosunkowo wysokie (w porównaniu do innych rodzajów operacji).

Celem opisywanego projektu jest zgromadzenie rozproszonych źródeł wiedzy z zakresu kardiologii oraz jej formalizacja na potrzeby opracowania bazy wiedzy umożliwiającej wspomaganie decyzji medycznych. Wspomaganie decyzji w medycynie (w tym w kardiologii) jest mniej powszechne niż w dziedzinie zarządzania³. Wśród najważniejszych przyczyn takiego stanu rzeczy należy wymienić m.in. brak usystematyzowanej komunikacji pomiędzy potencjalnymi interesariuszami oraz użytkownikami systemu wspomaganie decyzji (personel medyczny, pacjenci, płatnicy), zróżnicowany zakres oczekiwań poszczególnych grup użytkowników wobec narzędzi eksperckich, stały postęp technologiczny, jak również odmienności rasowe oraz epidemiologiczne ludzi na świecie.

W przedstawionej pracy w pierwszej kolejności omówiono najważniejsze źródła informacji w kardiologii, których znajomość pozwoli zasilać projektowany system. W dalszej części autorzy przedstawiają poszczególne fazy projektu i zależności pomiędzy kolejnymi etapami prac: formalizację wiedzy kardiologicznej oraz wzbogacanie i uzupełnianie bazy wiedzy systemu ekspertowego. W zasadniczej części artykułu przedstawiono zarys metodyki prowadzonych prac, zastosowane narzędzia (w tym projektowane) oraz wstępne wyniki – prototyp systemu eksperckiego. W podsumowaniu autorzy przedstawiają zarówno potencjalne zagrożenia realizacji projektu, korzyści wynikające z jego realizacji, jak i możliwości rozwoju i dalszych zastosowań.

³ Jest to o tyle zaskakujące, że pierwsze aplikacje systemów ekspertowych dotyczyły m.in. medycyny (np. MYCIN, Internist, CASNET/GLAUCOMA). Były one jednak odległe od zagadnień chorób serca i układu krążenia.

2. Założenia i cele pracy

2.1. Przedstawienie źródeł informacji w kardiochirurgii

Podstawowymi narzędziami, jakimi posługują się kardiochirurdzy w podejmowaniu decyzji klinicznych, są wytyczne i standardy postępowania, rejestry, doświadczenia własne (określonego ośrodka lub opinie ekspertów) oraz skale ryzyka, które wspierają informacje pochodzące z wytycznych w odniesieniu do konkretnego przypadku, ale także pozwalają ocenić zasadność leczenia, szczególnie gdy istnieją wskazania do takiego leczenia, ale ryzyko jego przeprowadzenia jest zbyt wysokie.

Źródła informacji w kardiochirurgii, które stanowią podstawę opracowania wytycznych, są ograniczone, ponieważ pochodzą w całości z danych historycznych (opublikowanych), a tym samym nie odzwierciedlają stałego postępu medycyny lub są opóźnione w stosunku do niego⁴. Zalicza się do nich m.in.: wyniki randomizowanych, prospektywnych, wieloośrodkowych badań klinicznych, analiz retrospektywnych i innych z metaanalizami włącznie, a także opinie ekspertów powołanych w skład grup roboczych w celu ustalenia zasad postępowania w określonych przypadkach medycznych. Na podstawie wyżej wymienionych źródeł wiedzy są opracowywane wytyczne (zalecenia) postępowania w poszczególnych sytuacjach klinicznych, które nie zawsze są w stanie objąć wszystkie scenariusze diagnostyczno-terapeutyczne⁵. Istotnym ograniczeniem wytycznych jest ekstrapolowanie założeń leczniczych na całą populację pacjentów na podstawie danych, które zostały sprawdzone na wybranych grupach przygotowanych pod kątem przeprowadzenia odpowiedniego badania randomizowanego. W przypadku kardiochirurgii wytyczne są opracowywane przez szereg interdyscyplinarnych towarzystw naukowych, tj.: Europejskie Towarzystwo Chirurgii Serca i Naczyń, Europejskie Towarzystwo Chirurgii Serca i Klatki Piersiowej, Amerykańskie Stowarzyszenie Chirurgii Naczyniowej, Amerykańskie Towarzystwo Kardiologiczne, Europejskie Towarzystwo Kardiologiczne i inne.

Poza wytycznymi lekarze posługują się danymi pochodzącymi z rejestrów medycznych gromadzących udokumentowane w usystematyzowany sposób faktyczne zdarzenia, które mają miejsce w codziennej praktyce klinicznej

⁴ B. Osswald, *The meaning of early mortality after CABG*, „European Journal of Cardio-thoracic Surgery” 1999, vol. 15.

⁵ P. Sergeant, *EuroSCORE II, illum qui est gravitates magni observe*, „European Journal of Cardiac Surgery” 2012, vol. 41.

i obejmują zarówno przypadki, w których postępowanie medyczne było zgodne z wytycznymi, jak i te, których wytyczne nie przewidziały i w przypadku których sposób leczenia został wybrany na podstawie doświadczeń własnych danego ośrodka lub lekarzy.

Skale ryzyka opracowywane są z kolei na podstawie wyników leczenia poszczególnej populacji i pozwalają ustalić ryzyko leczenia operacyjnego dla konkretnego pacjenta. Najpowszechniej stosowanymi skalami ryzyka leczenia w kardiochirurgii są EuroSCORE oraz STS⁶.

2.2. Założenia pracy

Istotą problemu badawczego projektu jest zlokalizowanie i uporządkowanie rozproszonych źródeł wiedzy oraz formalizacja wiedzy niezbędnej dla lekarza, który zamierza podjąć najlepszą decyzję w zakresie diagnozy, kwalifikacji i postępowania medycznego u określonego pacjenta oraz ocenić wynik leczenia. Lekarz ten powinien w każdym przypadku biegłe wykorzystać obowiązujące wytyczne i standardy postępowania, posłużyć się dostępnymi skalami ryzyka, jak również opierać się na swoim doświadczeniu zawodowym. Możliwość wykorzystania wiedzy lekarza w trakcie podejmowania decyzji, nawet jeśli wiedza ta obejmuje wszystkie aktualne procedury postępowania medycznego, mogą zostać ograniczone na skutek negatywnego oddziaływania zmęczenia, presji czasu oraz stresu⁷. Zgromadzenie wiedzy w uporządkowany sposób w jednej bazie – poza wspomaganie decyzji lekarza – otwiera możliwości prowadzenia badań nad procesami decyzyjnymi w medycynie, pozwala przeprowadzać symulacje, szkolenia i eksperymenty badawcze. Tak powstała baza wiedzy stanowi rozległy warsztat naukowy dla uczestników projektu, umożliwiając im wykorzystanie specjalistycznej wiedzy i doświadczenia.

W pierwszej kolejności zostanie dokonana ocena możliwości formalizacji wiedzy kardiochirurgów, która pozwoli w sposób zobjektywizowany przeprowadzić metaanalizę dostępnych wytycznych i standardów medycznych, a następnie – na podstawie obliczonego ryzyka postępowania – wspomagać decyzje związane z wybraną procedurą leczniczą. Na dalszym etapie zostaną podjęte działania mające na celu wzbogacenie początkowej wiedzy pozyskanej od kardiochirurgów

⁶ B. Szafron, *Modyfikacja własna Europejskiego Systemu Oceny Ryzyka Zgonu w chirurgii serca*, rozprawa doktorska, Śląski Uniwersytet Medyczny, Zabrze 2007.

⁷ A. Gawande, *Potęga checklisty*, Znak, Kraków 2012.

gów o dane pochodzące z rejestrów medycznych, przy pomocy których możliwa będzie konfrontacja tego, co mówią standardy i zalecenia, z tym, co dzieje się w rzeczywistym świecie klinicznym. Im bardziej specyficzna, czyli ograniczona do kraju, regionu lub szpitala, jest baza danych rejestru, tym dokładniej można odpowiedzieć na pytanie, na jaki rodzaj leczenia może i powinien liczyć pacjent, który z powodu swoich dolegliwości zamierza się poddać terapii w określonym ośrodku medycznym.

Tak powstały system wiedzy mógłby z powodzeniem zostać wykorzystany do planowania i budżetowania oddziału kardiochirurgii. W tym celu konieczne będzie uzupełnienie źródeł dla tworzonej bazy wiedzy o dane ekonomiczne (koszt procedury medycznej, szacowany czas pobytu pacjenta w oddziale i inne), co może na dalszym etapie pozwolić na opracowanie narzędzia wspomagania decyzji z zakresu efektywności kosztów w medycynie i oceny tej efektywności⁸.

3. Materiał i metody badawcze

3.1. Metody badań

Planowany projekt powstaje na styku dwóch różnych dziedzin: kardiochirurgii i inżynierii wiedzy. W konsekwencji powoduje to konieczność stworzenia unikatowego warsztatu naukowego, w którym informatycy, będący specjalistami inżynierii wiedzy, zajmują się opracowaniem formalizmu dla poszczególnych źródeł wiedzy, a następnie uporządkowaniem i gromadzeniem pozyskiwanej wiedzy w sposób pozwalający później na jej wykorzystanie w procesie wspomagania decyzji w kardiochirurgii, natomiast kardiochirurdzy będą dostarczać wiedzę na podstawie medycznych wytycznych z uwzględnieniem składni opracowanych i dobranych metod formalizacji wiedzy.

Metodyka badań w zakresie możliwości formalizacji wiedzy kardiochirurgów czy też wzbogacenia bazy wiedzy o dane ekonomiczne będzie podobna i podporządkowana klasycznej metodyce konstruowania baz wiedzy, obejmującej fazy takie, jak: identyfikacja problemu, określenie reprezentacji wiedzy, formalizacja, czyli zaprojektowanie struktur organizujących wiedzę. Zakłada się w pierwszej kolejności wykonanie prac przez zespół inżynierów wiedzy w zakresie analizy

⁸ S. Morris, *Ekonomia w ochronie zdrowia*, Wolters Kluwer, Warszawa 2011.

źródeł wiedzy, a następnie opracowanie wzorca formalizmu, który zostanie użyty przez kardiochirurgów do zapisu specjalistycznych wytycznych.

Wiedza powinna być zapisywana w postaci regułowej. Ostateczna postać regułowej reprezentacji wiedzy (składnia) będzie opracowana tak, aby była w pełni czytelna dla wszystkich członków zespołu badawczego.

Istotnym elementem tworzenia systemu jest ustalenie stopnia szczegółowości pytań kierowanych w przyszłości do użytkowników budowanej bazy wiedzy, gdyż ma to wpływ na ostateczny kształt formalizmu. W tym celu zostanie opracowanych kilka wycinkowych prototypów systemów ekspertowych zasilanych próbnymi wersjami tworzonej bazy wiedzy w aktualnie badanym podobszarze. Prototypy będą opracowane przy pomocy dziedzinowo niezależnego narzędzia służącego do budowy systemów ekspertowych PC-Shell z pakietu Aitech Sphinx.

Metodyka badań wykorzystana w ramach drugiej hipotezy badawczej (możliwość wzbogacenia bazy wiedzy o wiedzę z rejestrów medycznych dokumentujących faktyczne zdarzenia medyczne) będzie podporządkowana regułom postępowania w trakcie wykonywania zadań z zakresu eksploracji danych, takich jak: klasyfikacja (ang. *classification*), analiza skupień (ang. *cluster analysis*) czy odkrywanie asocjacji (ang. *association rule learning*). Po szczegółowym rozpoznaniu charakteru danych, jakie mają zasilać bazę wiedzy, zostanie przeprowadzony dobór algorytmów *data mining* na podstawie weryfikacji, która będzie przebiegać na czterech etapach: (1) selekcja atrybutów, (2) przekształcanie danych, (3) wybór algorytmów z poszczególnych grup oraz (4) przeprowadzenie analizy porównawczej. Dobór optymalnego podzbioru zmiennych niezależnych, czyli selekcja atrybutów, jest jednym z ważniejszych zadań *data mining*, wchodzącym w zakres wstępnego przygotowania zbioru danych. Selekcji atrybutów dokonuje się w celu redukcji rozmiaru wektorów reprezentujących zbiór uczący. Nie wszystkie atrybuty charakteryzują się jednakową zdolnością predykcyjną, niektóre mogą wykazywać wzajemną korelację – optymalny podzbiór atrybutów powinien zawierać możliwie małą liczbę zmiennych dających wysoką jakość klasyfikacji. Etap przygotowania danych do weryfikacji wymaga oprócz selekcji atrybutów wielu innych zabiegów na danych, takich jak: czyszczenie, normalizacja czy standaryzacja. Wybór algorytmów umożliwia testowanie na zbiorach przykładów, które stanowią próbę losową pobraną z populacji wszystkich możliwych przykładów. Jeśli ten sam zbiór jest stosowany do treningu modelu oraz estymacji miar oceny modelu, otrzymane wyniki są obciążone błędem nadmiernego dopasowania modelu do danych, czyli przeuczeniem (ang. *overfitting*). W celu uniknięcia tego problemu autorzy planują zastosować metodę *k*-krotnej walidacji krzyżowej (ang. *k-fold cross-validation*). Decyzja o doborze algorytmu

będzie przeprowadzona na podstawie obliczanych w trakcie weryfikacji miar oraz wykorzystanych metod wizualizacji wyników.

3.2. Etapy prac badawczych

Z uwagi na rozproszenie źródeł wiedzy, złożony charakter gromadzenia wiedzy i jej reprezentację formalną w postaci regułowej bazy wiedzy przyjęto w projekcie trzy zasadnicze etapy prac badawczych: (1) wstępny, polegający na określeniu podstawowych źródeł informacji dla systemu w obszarze kardiochirurgii, (2) gromadzenia wiedzy oraz (3) formalizacji i weryfikacji zgromadzonej wiedzy.

Zadanie zgromadzenia wiedzy będzie obejmować zebranie obowiązujących standardów medycznych, wytycznych, skal ryzyka, baz danych i rejestrów. Wszystkie zgromadzone elementy bazy wiedzy będą w dalszej kolejności przetwarzane na sekwencje logiczne zapisów-reguł. Każdy wprowadzony w ten sposób element będzie kolejno weryfikowany w ramach modelu prototypowego.

Przy uwzględnieniu złożoności całego procesu decyzyjnego, pierwszym zadaniem jest ocena możliwości zgromadzenia wyczerpującej wiedzy użytecznej dla kardiochirurga podejmującego decyzje dotyczące przeprowadzenia zabiegu operacyjnego. Stworzone w dalszej kolejności narzędzie informatyczne w sposób zobjektywizowany przeprowadzi metaanalizę dostępnych wytycznych i standardów medycznych, a następnie obliczy ryzyko związane z wybraną procedurą. Powyższe założenie będzie weryfikowane przy pomocy prototypowego modelu komputerowego narzędzia ekspertowego, które w tej fazie badań będzie ogrywać rolę kalkulatora ryzyka operacyjnego wzbogaconego o znajomość wytycznych w kardiochirurgii. Prawidłowe funkcjonowanie prototypu pozwoli na określenie podstawowych funkcji systemu i jest warunkiem rozpoczęcia prac fazy zaawansowanej.

Dalsze założenia dotyczące wzbogacenia bazy wiedzy o dane pochodzące z aktualnych rejestrów medycznych oraz uzupełnienia źródeł wiedzy danymi ekonomicznymi będą realizowane na etapie badań zaawansowanych. Na początku tej fazy konieczne będzie stworzenie narzędzia pomocniczego, ułatwiającego zebranie danych zawartych w rejestrach medycznych i pobranie tych informacji do bazy wiedzy. Dane pochodzące z baz rejestrowych będą w dalszej kolejności przetworzone przy pomocy metod *data mining*, których celem będzie własna modyfikacja skal ryzyka leczenia. Możliwość zastosowania w procesie podejmowania decyzji skali ryzyka uwzględniającej specyfikę określonego kraju bądź ośrodka medycznego stanowi cechę wyróżniającą budowanej bazy wiedzy od dotychczas wykorzystywanych źródeł.

Baza wiedzy zostanie także rozbudowana o dane ekonomiczne, dzięki którym możliwe będzie stworzenie jej kolejnej funkcjonalności: wspomaganie decyzji o analizie efektywności kosztów procedur medycznych z uwzględnieniem specyfiki ośrodka medycznego. W tym celu zostaną wykorzystane dwa podstawowe źródła danych, po stronie przychodów – wartości kontraktowania dla jednorodnych grup pacjentów, po stronie kosztów – dane pozyskane od użytkowników, którzy wdrożyli metody budżetowania w jednostkach ochrony zdrowia. Podobne rozwiązania funkcjonują w wielu jednostkach medycznych, nie były jednak dotychczas wykorzystywane w procesie wspomaganie decyzji medycznych, zwłaszcza z zastosowaniem metod sztucznej inteligencji, w tym systemów ekspertowych i *data mining*⁹. Połączenie wiedzy medycznej z obiektywnymi danymi ekonomicznymi ma usprawnić proces planowania procedur wysokospecjalistycznych i kosztochłonnnych pod względem zarówno ekonomicznym, jak i organizacyjnym. Dzięki informacjom pochodzącym z tworzonej bazy wiedzy możliwa będzie m.in. optymalizacja ruchu chorych w oddziale, jak również efektywne zarządzanie poziomem obłożenia łóżek oraz obciążeniem pracy personelu medycznego¹⁰.

Zaplanowane w fazie zaawansowanej projektu hipotezy badawcze zostały tak zaprojektowane, aby mogły być realizowane niezależnie: rozbudowa systemu o dane rejestrowe lub ekonomiczne może odbywać się jednocześnie lub w naprzemiennej kolejności, gdyż żadna z funkcjonalności nie warunkuje działania drugiej.

3.3. Narzędzia

Jak już wskazano, prototypy realizowane w celu weryfikacji pierwszej i trzeciej hipotezy badawczej zostaną wykonane przy pomocy systemu PC-Shell z pakietu Aitech Sphinx¹¹. System ten nadaje się do budowy zarówno małych, średnich, jak i dużych aplikacji. PC-Shell jest szczególnie przydatny do rozwiązywania następujących klas problemów: analiza i interpretacja danych, klasyfikacja, diagnostyka.

⁹ *Strategia, finanse i koszty szpitala*, red. J. Stępniewski, Wolters Kluwer, Warszawa 2008.

¹⁰ E. Piętka, *Zintegrowany system informacyjny w pracy szpitala*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004.

¹¹ K. Michalik, *PC-Shell/SPHINX jako narzędzie tworzenia systemów ekspertowych*, w: *Systemy ekspertowe – wczoraj, dziś, jutro. Wiedza i komunikacja w innowacyjnych organizacjach*, red. J. Gołuchowski, B. Filipczyk, „Prace Naukowe” Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice 2010.

PC-Shell jest systemem o architekturze hybrydowej, tj. łączącej w sobie różne metody rozwiązywania problemów i reprezentacji wiedzy. Interesującą właściwością systemu PC-Shell jest m.in. wbudowany, w pełni zintegrowany, symulator sieci neuronowej¹². Inną istotną cechą systemu PC-Shell jest jego struktura tablicowa¹³, umożliwiającą podzielenie dużej bazy wiedzy na mniejsze moduły zorientowane tematycznie, co będzie szczególnie przydatne w projektowanym systemie, ze względu na spore rozproszenie źródeł wiedzy. Dzięki hybrydowej architekturze w systemie PC-Shell występują obok siebie różne metody reprezentowania wiedzy: deklaratywna w formie reguł i faktów, imperatywna w formie programu algorytmicznego, wiedza w formie tekstów oraz wiedza rozproszona w sieci neuronowej.

Niezwykle ważną cechą systemów ekspertowych są tzw. wyjaśnienia. System PC-Shell dostarcza szerokiego zakresu wyjaśnień spotykanych we współczesnych systemach ekspertowych. Należą do nich wyjaśnienia typu: jak, dlaczego, co to jest, metafory oraz opisy faktów. Pierwsze dwa wyjaśnienia mają charakter retrospektywny i informują o sposobie rozwiązania danego problemu. Uzasadniają też celowość pytań stawianych przez system ekspertowy, pozostałe wyjaśnienia są tekstowymi objaśnieniami wybranych pojęć w bazie wiedzy. Zastosowany system wyjaśnień przybliży program ekspercki do wymogów stawianych przed człowiekiem ekspertem w zakresie wyjaśniania swoich diagnoz i decyzji. Oprócz wyjaśnień pokazujących drogę wnioskowania (jak, dlaczego) cenna jest także możliwość wyjaśnień typu metafora, które dotyczą konkretnych reguł. Nie zawsze bowiem analiza danego obszaru pozwala na sformułowanie reguł akceptowanych jednomyślnie przez wszystkich ekspertów z danej dziedziny. Dla danej reguły można wskazać dokładnie autorytety (np. poprzez odniesienie do literatury), w odniesieniu do których zasadność tej reguły została zbudowana. Dla projektowanego systemu, który ma dokonać w sposób zobiektywizowany analizy dostępnych wytycznych i standardów medycznych, możliwość takiego wyjaśniania wątpliwych oraz bardzo złożonych reguł wydaje się szczególnie cenna. Zespół inżynierów wiedzy, wykorzystując omówiony szkieletowy system ekspertowy do prototypowania modeli i weryfikacji bazy wiedzy na poszczególnych etapach jej budowy, zamierza dokumentować wszystkie powstałe w trakcie współpracy z kardiochirurgami wykryte nieścisłości dotyczące źródeł wiedzy

¹² K. Michalik, *Systemy ekspertowe jako narzędzia wspomagające zarządzanie wiedzą*, w: *Komunikacja elektroniczna. Wiedza i komunikacja w innowacyjnych organizacjach*, red. M. Pańkowska, „Prace Naukowe” Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice 2011.

¹³ I. Craig, *Blackboard systems*, Ablex Publishing Co., Norwood (NJ) 1995.

przez użycie do tego m.in. wyjaśnienia typu metafora. System ekspertowy PC-Shell był już stosowany w medycynie, m.in. w dziedzinie psychiatrii do diagnostyki zaburzeń afektywnych, a prace w tej dziedzinie są kontynuowane¹⁴.

W celu weryfikacji drugiej hipotezy planuje się wykorzystać narzędzia dostarczane przez bibliotekę WEKA (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) opracowaną przez University of Waikato w Nowej Zelandii jako wolne oprogramowanie (ang. *open source*) na licencji GNU General Public License, stanowiące przydatne narzędzie dla kręgu badaczy zajmujących się maszynowym uczeniem, analizą danych i *data mining*. WEKA posiada interfejs graficzny, pozwala wizualizować dane i rozwiązania oraz porównywać różne algorytmy uczenia maszynowego. Poprzez możliwość zdefiniowania strumieni przepływu wiedzy można ustalić kolejne zadania procesu uczenia i analizy wyników. Ponadto przewiduje się korzystanie z narzędzi, takich jak program R – język programowania i środowisko programistyczne umożliwiające wykonywanie obliczeń statystycznych oraz wizualizację danych. Kod źródłowy R jest także opublikowany na zasadach licencji GNU GPL, a sam program dostarcza szeroką gamę technik statystycznych, pozwalając jednocześnie na samodzielną modyfikację stosowanych algorytmów, co przy tak nowatorskim projekcie stanowić będzie istotny atut.


4. Wyniki badań wstępnych

Stworzony przez autorów projektu w ramach badań wstępnych prototypowy model systemu ekspertowego rozpoczął prawidłową pracę po wprowadzeniu wzorca reguł na podstawie wytycznych Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego dotyczących zastawkowych chorób serca, w szczególności leczenia operacyjnego zastawki aortalnej. Na potrzeby systemu ekspertowego PC-Shell wydzielono sekcje: słownikową (fasety) i zasad postępowania (reguły). Fasety opisują atrybuty, możliwe wartości oraz opcjonalne brzmienia zapytania.

Przebieg konsultacji z użytkownikiem charakteryzuje stopień szczegółowości pytań, który zależy od sformułowania reguł. Przykładowo, w przypadku zapytania o zakres skurczowej dysfunkcji lewej komory serca reguła sprawdza

¹⁴ M. Kwiatkowska, K. Michalik, K. Kielan, *Computational Representation of Medical Concepts: A Semiotic and Fuzzy Logic Approach*, w: *Soft Computing in Humanities and Social Sciences*, Springer-Verlag, Heidelberg 2012.

wartość frakcji wyrzutowej lewej komory, co oznacza, że system pyta o dokładną wartość liczbową (rysunek 1).



Konsultacja

Problem: proponowane_postępowanie_w_leczeniu_AS=X

Pytanie:
Podaj poziom frakcji wyrzutowej lewej komory (%)

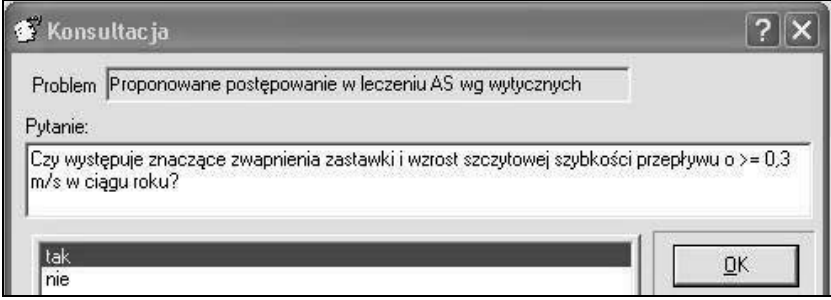
Zmienna: X
Relacja: =
Wartość: 60

OK
Dlaczego?
Co to?

Rysunek 1. Pytanie o wartość frakcji wyrzutowej lewej komory serca

Źródło: opracowanie własne.

Natomiast w przypadku oceny stopnia zwapnienia zastawki i wzrostu szczytowej szybkości przepływu reguła sprawdza jedynie, czy to ma miejsce: system pyta użytkownika, czy taka sytuacja w ogóle ma miejsce, i nie docieka dokładnej wartości szybkości przepływu (rysunek 2).



Konsultacja

Problem: Proponowane postępowanie w leczeniu AS wg wytycznych

Pytanie:
Czy występuje znaczące zwapnienia zastawki i wzrost szczytowej szybkości przepływu o $\geq 0,3$ m/s w ciągu roku?

tak
nie

OK

Rysunek 2. Pytanie o występowanie zwapnienia zastawki

Źródło: opracowanie własne.

Aby wyjść na przeciw potrzebom użytkownika systemu, konieczne jest praktyczne rozeznanie roli poszczególnych reguł w procesie podejmowania decyzji. Prototypowy model obejmuje bardzo mały podobszar zagadnień, jakie docelowo mają zostać przeanalizowane w ramach weryfikacji pierwszej hipotezy

badawczej. Z uwagi na wyodrębnione problemy, istotne z punktu widzenia formalizacji wiedzy w dziedzinie kardiochirurgii, planuje się w trakcie prac badawczych opracowanie kilku różnych prototypów pomagających w tworzeniu warsztatu współpracy zespołu inżynierów wiedzy i kardiochirurgów na rzecz budowy spójnej i rzetelnej bazy wiedzy.

Wynik przykładowej konsultacji przedstawia rysunek 3. Na podstawie wytycznych w sprawie leczenia operacyjnego zastawki aortalnej prototypowy system potwierdził dla zadanych podczas konsultacji danych wskazania do leczenia operacyjnego oraz przedstawił schemat wnioskowania.

proponowane_postepowanie_w_leczeniu_AS = "wskazania do zabiegu wymiany zastawki aortalnej"	
KONKLUZJA: proponowane_postepowanie_w_leczeniu_AS = "wskazania do zabiegu wymiany zastawki aortalnej"	
102: proponowane_postepowanie_w_leczeniu_AS = "wskazania do zabiegu wymiany zastawki aortalnej" JESI	objawy_kliniczne_AS = "nie" i skurczowa_dysfunkcja_LV = "nie" i znaczące_zwapnienia_zastawki_i_wzrost_szczytowej_szybkości_przepływu = "tak";
2* Fakt: objawy_kliniczne_AS = "nie"	109: skurczowa_dysfunkcja_LV = "nie" JESI frakcja_wyrzutowa_lewej_komory_LVEF = X i X >= #Prog_LVEF < 50.00 >;
4* Fakt: znaczące_zwapnienia_zastawki_i_wzrost_szczytowej_szybkości_przepływu = "tak"	
3* Fakt: frakcja_wyrzutowa_lewej_komory_LVEF = 60.00	

Rysunek 3. Wynik przykładowej konsultacji

Źródło: opracowanie własne.

5. Podsumowanie

Opisaną powyżej koncepcję budowy systemu wspomaganie decyzji medycznych poprzedzały już ciekawe, choć mało rozpowszechnione rozwiązania¹⁵. Stworzenie nowoczesnego systemu ekspertowego oznacza próbę konfrontacji ze stale rozwijającą się i aktualizowaną wiedzą kliniczną, rozwojem technologicznym oraz rozległym i złożonym zbiorem wiedzy medycznej, które to zjawiska stanowią potencjalne źródła zagrożeń dla realizacji projektu.

¹⁵ E. Shortliffe, *Medical expert systems – knowledge tools for physicians*, „The Western Journal of Medicine” 1986, vol. 145; D. Waterman, *A Guide to expert Systems*, Addison-Wesley, Reading (MA) 1985; Y.M. Chae, *Expert Systems in Medicine*, w: *The Handbook of Applied Expert Systems*, red. J. Liebowitz, CRC Press, London 1998.

Pozytywne wyniki prowadzonych badań pozwolą na wprowadzenie do użytkowania nowatorskiego narzędzia wspomagającego podejmowanie decyzji z dziedziny kardiochirurgii. Biorąc pod uwagę projektowane źródła wiedzy, które będą zasilać system ekspertowy, należy stwierdzić, że wiedza systemu będzie wystarczająco obszerna, aby przeprowadzone wnioskowanie było dokonywane w sposób dogłębny i obiektywny. Co więcej, dzięki zgromadzeniu wyczerpującej i aktualnej wiedzy medycznej w jednym systemie możliwe będzie przeprowadzenie w czasie rzeczywistym wirtualnego konsylium, w trakcie którego wybrany przypadek medyczny zostanie poddany obiektywnej ocenie światowych ekspertów z uwzględnieniem lokalnej specyfiki oraz możliwości ekonomicznych i technologicznych. Dzięki stworzonym szablonom system będzie mógł być zasilany odrębnymi bazami danych, w rezultacie tego wymiernym efektem badań będzie stworzenie unikatowego narzędzia ekspertowego dostępnego i dostosowywanego do potrzeb rozmaitych użytkowników (specjaliści różnych dziedzin, pacjenci, płatnicy i inni) na całym świecie.

Wśród potencjalnych końcowych użytkowników systemu należy wymienić w pierwszej kolejności personel medyczny (wspomaganie decyzji klinicznych), ale również zarządzających – zarówno jednostkami ochrony zdrowia (efektywność kosztowa, budżetowanie, gospodarka magazynowa, ruch chorych), jak i przedstawicieli płatników (efektywność wykorzystanych środków). Zmodyfikowana (ograniczona) wersja systemu powinna nie tylko wspomagać decyzje pacjentów (sposób i miejsce leczenia), ale również pełnić funkcję edukacyjno-szkoleniową (obiektywnie przedstawione ryzyko wybranego rodzaju terapii) wobec lekarzy i studentów.

Warto w tym miejscu rozważyć podkreślić fakt, że – chociaż kardiochirurgia jest wąską specjalnością medyczną (37 ośrodków w Polsce, ponad 20 tys. operacji rocznie) – jest zarazem jedną z najbardziej zestandaryzowanych specjalności zabiegowych na świecie, co stwarza realne możliwości translacji systemu dla użytkowników z innych ośrodków (w tym zagranicznych).

Założenie publikowania negatywnych wyników przeprowadzonych badań ma na celu dzielenie się doświadczeniem z zespołami próbującymi zmierzyć się z podobnym wyzwaniem badawczym – nie ulega bowiem wątpliwości, że stworzenie i wprowadzenie do powszechnego użytku systemów ekspertowych jako narzędzi wspomagających proces podejmowania decyzji w medycynie stało się krokiem warunkującym dalszy rozwój tych dziedzin naszego życia, których postęp mierzony jest przede wszystkim poprzez rosnącą skuteczność leczenia, malejącą liczbę powikłań i stale kontrolowany poziom kosztów społecznych i ekonomicznych. W przypadku powodzenia projektu pośrednio potwierdzi to również przydatność technologii systemów ekspertowych – i szerszej sztucznej

inteligencji – we wspomaganiu decyzji medycznych w kardiochirurgii i zarządzaniu wiedzą z tej dziedziny.

Bibliografia

1. Chae Y.M., *Expert Systems in Medicine*, w: *The Handbook of Applied Expert Systems*, red. J. Liebowitz, CRC Press, London 1998.
2. Craig I., *Blackboard systems*, Ablex Publishing Co., Norwood (NJ) 1995.
3. Gawande A., *Potęga checklisty*, Znak, Kraków 2012.
4. Kwiatkowska M., Michalik K., Kielan K., *Computational Representation of Medical Concepts: A Semiotic and Fuzzy Logic Approach*, w: *Soft Computing in Humanities and Social Sciences*, Springer-Verlag, Heidelberg 2012.
5. Michalik K., *PC-Shell/SPHINX jako narzędzie tworzenia systemów ekspertowych*, w: *Systemy ekspertowe – wczoraj, dziś, jutro. Wiedza i komunikacja w innowacyjnych organizacjach*, red. J. Gołuchowski, B. Filipczyk, „Prace Naukowe” Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice 2010.
6. Michalik K., *PC-Shell – szkieletowy system ekspertowy. Zintegrowany pakiet sztucznej inteligencji SPHINX*, AITECH, Katowice 2006.
7. Michalik K., *Systemy ekspertowe jako narzędzia wspomagające zarządzanie wiedzą*, w: *Komunikacja elektroniczna. Wiedza i komunikacja w innowacyjnych organizacjach*, red. M. Pańkowska, „Prace Naukowe” Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice 2011.
8. Morris S., *Ekonomia w ochronie zdrowia*, Wolters Kluwer, Warszawa 2011.
9. Osswald B., *The meaning of early mortality after CABG*, „European Journal of Cardio-thoracic Surgery” 1999, vol. 15.
10. Piętka E., *Zintegrowany system informacyjny w pracy szpitala*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004.
11. Sergeant P., *EuroSCORE II, illum qui est gravitates magni observe*, „European Journal of Cardiac Surgery” 2012, vol. 41.
12. Shortliffe E., *Medical expert systems – Knowledge tools for physicians*, „The Western Journal of Medicine” 1986, vol. 145.
13. *Strategia, finanse i koszty szpitala*, red. J. Stępniewski, Wolters Kluwer, Warszawa 2008.
14. Szafron B., *Modyfikacja własna Europejskiego Systemu Oceny Ryzyka Zgonu w chirurgii serca*, rozprawa doktorska, Śląski Uniwersytet Medyczny, Zabrze 2007.
15. Treptow A., *Medyczna strefa Schengen nadzieją dla szpitali*, „Puls Biznesu” 2012, nr 123.
16. Waterman D., *A Guide to expert Systems*, Addison-Wesley, Reading (MA) 1985.

* * *

The concept of expert system knowledge base for cardiac surgery

Summary

The fundamental goal of modern information technology is to support decision making process in organizations, for both routine and highly complex problems, based on heterogeneous data sources. The main objective of the paper is to present the construction concept of knowledge base for an expert system designed to support the decision making in cardiac surgery. Following a brief overview of cardiac surgery as a medical specialty, the issue of formal interpretation of various sources of information in cardiac surgery is discussed. The paper concludes with a prototype model of medical expert system and its potential development.

Keywords: medical expert system, decision support, knowledge base, data mining, cardiac surgery