

APLIKACJA MOBILNA WSPOMAGAJĄCA BADANIA ULTRASONOGRAFICZNE DOPPLERA

Michał Michalski, Marcin Bąkała, Rafał Wojciechowski

Politechnika Łódzka, Instytut Informatyki Stosowanej

Streszczenie. Ultrasonografia Dopplerowska jest jednym z najlepszych sposobów diagnozy zmian miażdżycowych oraz szczegółowej kontroli patologii zmian ścian naczyń krwionośnych. Wykonanie badania wymaga szeregu czynności wykonywanych współbieżnie, m.in. analizy obrazów USG oraz ręcznego sporządzania notatek na potrzeby podsumowania badania. Analiza problemu wykazała, że przebieg badań ultrasonograficznych może zostać częściowo zautomatyzowany przez dedykowane oprogramowanie, co przedstawia niniejszy artykuł.

Słowa kluczowe: ultrasonografia, diagnostyka, aplikacje mobilne

MOBILE APPLICATION SUPPORTING DOPPLER ULTRASOUND EXAMINATION

Abstract. Doppler ultrasonography is one of the best ways of diagnosing the atherosclerosis and inspecting the details of the vessel wall pathology. Carrying out the examination requires plenty of activities that have to be done simultaneously, i.e. analysing the USG images and manually taking notes to the examination report. The analysis of the problem enables stating that the Doppler ultrasound examination can be partially automated with the aid of dedicated software system, what is the point of the article.

Keywords: ultrasonography, diagnostics, mobile applications

Wprowadzenie

Ilość specjalistycznych badań wykonywanych przez personel medyczny jest obecnie bardzo duża. Część wyżej wymienionych badań wykonywana jest za pomocą urządzeń nie wymagających dużej interakcji z człowiekiem, inne z kolei powiązane są w dużej mierze z aktywnością lekarza. Czas badania może być mocno zróżnicowany – od sekund po godziny, czy wręcz dni.

Przedmiotem niniejszego artykułu jest proces wspomaganie badania ultrasonograficznego Dopplera. Jest to nieinwazyjna procedura testowa umożliwiająca diagnozowanie skrzepów krwi, zablokowanych tętnic, defektów zastawek serca, problemów obiegu krwi, wypukłości i przewężenia tętnic. Badanie wykorzystuje efekt Dopplera – fale dźwiękowe wysokiej częstotliwości (2–20 MHz) są wykorzystywane do utworzenia cyfrowego obrazu w czasie rzeczywistym, będącego efektem odbicia fal od krążących czerwonych krwinek.

W praktyce badanie wygląda następująco:

- operator ultrasonografu ręcznie przesuwa głowicę transduktora po skórze pacjenta,
- urządzenie jest połączone z komputerem, który przetwarza sygnał i prezentuje na bieżąco obraz wnętrza ciała pacjenta,
- na podstawie analizy obrazu, lekarz wysnuwa wnioski dotyczące oceny zdrowia pacjenta i ewentualnych patologii.

Zwykle wyróżnia się krótką listę żył oraz tętnic badanych z wykorzystaniem ultrasonografii Dopplera. Czas trwania takiego badania jest zazwyczaj dłuższy niż 15 minut. Lekarz wykonuje szereg ruchów urządzeniem, manipulując ciałem pacjenta, analizuje na bieżąco obrazy na ekranie i sporządza notatki, które stanowią podstawę raportu z badania przygotowywanego na samym końcu. Lekarz wykonuje wiele wyżej wymienionych czynności współbieżnie, część z nich wymaga siły fizycznej (głównie z powodu konieczności manipulowania ciałem pacjenta – ucisku naczyń krwionośnych, podnoszenia kończyn, etc.).

W zakresie organizacji badań medycznych i wymiany danych dotyczących pacjentów pomiędzy placówkami medycznymi istnieją odpowiednie standardy (PACS, HL7, DICOM) [4, 5, 6]. Wykorzystanie ich wymaga jednak zapewnienia infrastruktury sieciowej oraz serwerowej pozwalającej na przechowywanie i przetwarzanie dużej ilości danych. Zaletą takiego podejścia jest możliwość utworzenia repozytorium informacji medycznych o pacjentach, umożliwiającego kompleksową analizę danych przez specjalistów z różnych dziedzin przebywających w różnych placówkach [13, 14, 15, 16]. Na rynku dostępne są urządzenia do badań USG wyposażone w moduły sieciowe zgodne z podanymi standardami, zapewniające komunikację i przesyłanie danych pomiarowych do centrów danych medycznych [7, 8]. Obecnie

sytuacja na rynku medycznym w Polsce, w szczególności w małych placówkach medycznych, utrudnia zastosowanie wyżej wymienionej technologii. Wdrożenie odpowiedniej infrastruktury IT oraz zakup sprzętu medycznego wspierającego wyżej wymienione mechanizmy, oznaczają konieczność reorganizacji placówki oraz generują duże koszty ekonomiczne.

Niniejszy artykuł poświęcony jest możliwości wsparcia badań ultrasonograficznych poprzez dedykowane oprogramowanie, gdzie głównym problemem jest opracowanie raportu z przeprowadzonego badania. Projekt zakłada wykorzystanie ogólnodostępnych technologii informatycznych. Przygotowanie dokumentacji oraz uwag wykonywane jest obecnie w sposób manualny, możliwe jest zautomatyzowanie procesu opracowania dokumentacji medycznej.

1. Aplikacja mobilna wspierająca badania ultrasonograficzne Dopplera

W ostatnich latach obserwuje się znaczący rozwój rynku urządzeń mobilnych. W ramach opisywanego projektu postanowiono wykorzystać wyżej wymienione urządzenia do obsługi badań ultrasonograficznych Dopplera. W następstwie konsultacji z personelem medycznym, uzgodniono następujące wymagania dla systemu ułatwiającego pracę lekarza:

- zarządzanie danymi (wprowadzanie wyników badań medycznych oraz odczyt uprzednio wykonanych poprzez przyjazny użytkownikowi graficzny interfejs),
- przechowywanie danych (wyniki badań, dane pacjentów),
- komunikacja poprzez sieć komputerową,
- możliwość komunikacji z zewnętrznymi urządzeniami (np. drukarkami).

Komputery PC nie stanowią rozwiązania ani kompaktowego, ani mobilnego. Nie spełniają wymogu mobilności, lekarz nie ma możliwości skorzystania z nich w wielu lokalizacjach. Laptopy spełniają wprawdzie kryterium mobilności, niemniej stanowią mało poręczne i kompaktowe rozwiązanie. Urządzenia mobilne, tj. tablety, spełniają wymagania mobilności oraz poręczności, a ich możliwości obliczeniowe i konfiguracyjne (dostęp do sieci WiFi, 3G) są wystarczające na potrzeby realizacji projektu.

Głównym zadaniem aplikacji mobilnej wspierającej badanie ultrasonograficzne Dopplera jest umożliwienie wprowadzania oraz prezentacji wyników badań pacjentów. Zamiast sporządzania papierowej dokumentacji, notatek, lekarz wykorzystuje graficzny interfejs aplikacji w celu uzupełnienia odpowiednich danych. Rozwiązanie powinno skrócić czas badania i pozwolić operatorowi ultrasonografu skoncentrować się na analizie obrazu USG ciała pacjenta.

1.1. Techniczne aspekty aplikacji mobilnej

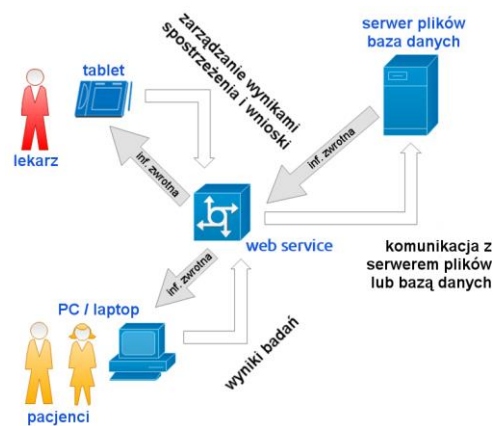
Z listy dostępnych platform dla urządzeń mobilnych, wybrano system Android, jako docelowy system operacyjny dla wersji testowej aplikacji mobilnej wspierającej badania USG. System wyróżniający się dużą popularnością wśród użytkowników, oferuje szerokie wsparcie programistyczne umożliwiające tworzenie użytecznych aplikacji [1, 13, 14].

Założeniem aplikacji mobilnej jest zapewnienie przyjaznego, intuicyjnego interfejsu użytkownika umożliwiającego dodawanie oraz prezentację wyników badań w sposób zautomatyzowany, który to proces do tej pory wykonywany był w sposób ręczny. Zamiast wielu opisów gromadzonych na kartach papieru, lekarz uzupełnia wyniki w odpowiednich formatach na urządzeniu mobilnym. Na podstawie opcji wybranych w określonych krokach badania tworzony jest raport z przeprowadzonych testów. Powyższe założenie w sposób znaczący zmienia proces diagnozy pacjenta. Lekarz może poświęcić zdecydowanie więcej czasu pacjentowi – obiektowi jego analizy. Większe zaangażowanie lekarza w procedurę badania skutkuje poprawą jakości wyników, co w przypadku badań zdrowotnych powinno zawsze stanowić priorytet.

Przy projektowaniu aplikacji mobilnych należy zwrócić szczególną uwagę na wsparcie dla różnych rozdzielczości ekranów urządzeń mobilnych. Obecnie dostępnych jest na rynku wiele urządzeń, nowe rozwiązania i produkty pojawiają się niemalże każdego dnia, dlatego też należy zapewnić możliwie szeroki zakres kompatybilności. Kolejnym zagadnieniem jest wsparcie językowe, lokalizacja oprogramowania jest konieczna w przypadku dostarczania systemu do odbiorców z różnych krajach. Ważną kwestią jest również minimalizacja zapotrzebowania na zasoby sprzętowe / systemowe – zadaniem programisty jest optymalizacja oprogramowania celem zapewnienia stabilności oraz wydajności projektowanego systemu.

1.2. Architektura systemu

Na rys. 1 zaprezentowano architekturę systemu wspierającego badania ultrasonograficzne. Centralnym punktem systemu jest usługa sieciowa (Web Service) będąca pośrednikiem pomiędzy serwerem plików / bazą danych, przechowującym dane badań medycznych, a aplikacjami klienckimi. Aplikacje klienckie, zarówno mobilna dedykowana dla platformy Android, jak i stacjonarna, przeznaczone są do pobierania danych zakończonych już badań oraz przekazywania bieżących danych medycznych do archiwizacji z wykorzystaniem protokołu SOAP / HTTP poprzez usługę sieciową (Web Service) [9]. Dane badań medycznych przechowywane są w relacyjnej bazie danych SQL oraz na serwerze plików. Wykorzystana rozproszona architektura gwarantuje niezależność poszczególnych komponentów systemu, zwiększa bezpieczeństwo i wydajność rozwiązania. Umożliwia również prezentację tych samych danych na różnych urządzeniach w wielu lokalizacjach. Z wyżej wymienionych założeń konfiguracyjnych wynika konieczność stałego dostępu do sieci komputerowej. W celu polepszenia niezawodności rozwiązania, przewidziano tryb offline umożliwiający synchronizację danych w momencie ponownego nawiązania połączenia z siecią. Aplikacje klienckie zostały zaimplementowane w języku Java [10]. Usługę sieciową zrealizowano w technologii JAX-WS, komunikację z bazą danych zapewniono poprzez framework Hibernate [11, 12]. Przetwarzanie informacji z bazy danych wykonywane jest w postaci zapytań SQL. Dla różnych rodzajów badań wprowadzono parametryzację wskaźników medycznych, odzwierciedlających oceniane w badaniu medycznym wielkości (zweżenia tętnic, szybkość przepływu, itp.). Lista wskaźników jest otwarta, możliwe jest dodanie nowych parametrów oceny. W bazie danych przechowywane są powiązania pomiędzy wyżej wymienionymi parametrami a wartościami stanowiącymi wynik badania dla określonego pacjenta.



Rys. 1. Architektura systemu

1.3. Interfejs użytkownika

Graficzny interfejs użytkownika aplikacji mobilnej jest dopasowany do wymogów wynikających z badanych typów naczyń krwionośnych oraz przyjętego algorytmu testującego. Na rys. 2 widoczny jest ekran powitalny aplikacji wdrożonej na tablecie z systemem Android. Aplikacja umożliwia dostęp do danych pacjenta, urządzenia, instytucji, jak również modyfikacji ustawień. W dolnej części ekranu możliwy jest wybór badania z listy dostępnych typów badań.



Rys. 2. Ekran startowy aplikacji mobilnej asystenta badań USG

Zgodnie z powyższym ekranem, zdefiniowano podstawowe typy badań powiązane z różnymi typami naczyń krwionośnych:

- tętnice mózgowe,
- tętnice krańcowe dolne,
- żyły krańcowe dolne.

Podczas przeprowadzania testu, lekarz bada naczynia krwionośne oraz przepływ krwi dążąc do wykrycia zagrożeń dla zdrowia. Zależnie od typu naczynia krwionośnego, gromadzeniu i analizie podlegają różne wskaźniki, przykładami sprawdzanych charakterystyk są:

- przenikalność naczyń krwionośnych,
- grubość naczynia,
- kierunek przepływu krwi,
- prędkość przepływu krwi,
- powierzchnia ścianek naczynia,
- rozkład oraz typ płytek miażdżycowych,
- etc.

Gromadzenie danych z wykorzystaniem wyżej wymienionych aplikacji rozpoczyna się od wyboru odpowiedniego typu badania zlokalizowanego w centralnej części interfejsu użytkownika. Ekran prezentujący funkcjonalności gromadzenia danych przedstawiono na rys. 3.

Zakładki po obydwu stronach ekranu symbolizują określone sekcje naczyń krwionośnych, są przełączane automatycznie jedna po drugiej w określonej kolejności w momencie zakończenia badania aktywnej sekcji. Wyżej wymieniona funkcjonalność jest powiązana z rzeczywistym działaniem operatora ultrasonografu w momencie wykonywania badania.



Rys. 3. Szczegóły badania tętnic mózgowych prezentowane i uzupełniane w aplikacji mobilnej asystenta badań USG

Całkowite badanie określonej części ciała składa się z dużej ilości kroków, podczas których kolekcjonowane są wskaźniki zawierające szczegółowe informacje, jak przykładowe podane powyżej. Proces ręcznego gromadzenia danych jest niezwykle uciążliwy, dlatego też automatyzacja procesu jest jak najbardziej celowa.

2. Zalety i wady rozwiązania

Niezależnie od rozwoju aplikacji mobilnej, doświadczenie użytkownika stanowi podstawę poprawnego diagnozowania pacjentów. Celem projektu jest ułatwienie procesu badania, rozwiązanie programowe odzwierciedla działanie, zachowanie i nawyki lekarza. Niemożliwym jest utworzenie aplikacji w pełni satysfakcjonującej wszystkich użytkowników, niemniej zgromadzona wiedza umożliwia wprowadzenie opcji dostosowujących aplikację do potrzeb użytkowników odbiegających od standardowych ustawień.

Istotną cechą jest inteligencja systemu. Aplikacja mobilna pozostaje w tle w trakcie wykonywania badania. Jedyna aktywność skojarzona jest z wprowadzaniem wyników w interfejsie użytkownika w przypadku wartości różnych od domyślnych.

Z technicznego punktu widzenia, cechą wartą podkreślenia jest mobilność systemu. Wynika ona nie tylko z wykorzystanych urządzeń końcowych, jest uzupełniana odpowiednią architekturą systemu oraz projektem oprogramowania. Przeprowadzanie badań oraz udostępnianie danych z dowolnego miejsca i w dowolnym czasie stanowi duże ułatwienie w sposobie diagnostyki i analizy wyników badań.

Pomysł utworzenia aplikacji wspierającej badania ultrasonograficzne powstał w wyniku obserwacji procesu przeprowadzania badania w jednostkach służby zdrowia. Informacje zwrotne pozyskane od lekarzy pracujących w różnych

sektorach służby zdrowia wykazały, że konieczna i możliwa jest automatyzacja części procesu diagnostyki. Pomijając fakt, że lista zalet wynikających z implementacji niniejszego rozwiązania jest długa, istnieją pewne wady rozwiązania. Najważniejszą jest uzależnienie wdrożenia systemu od realizacji innowacji w jednostce medycznej, w szczególności wykonania inwestycji finansowych powiązanych z modernizacją sprzętu i infrastruktury sieciowej. Poniżej wypunktowano wymagania wynikające i powiązane z wdrożeniem systemu wspierającego badania ultrasonograficzne Dopplera:

- konieczność wyposażenia operatorów ultrasonografów w urządzenia przenośne wykorzystywane jako podstawowe narzędzia przeprowadzania badań medycznych,
- finansowy wkład w rozwój oraz zarządzanie systemem (w przypadku małych firm realizujących projekt, koszt utrzymania może być relatywnie niski),
- obsługa urządzeń elektronicznych oraz nowego systemu może sprawić trudności dla części lekarzy, szczególnie starszego pokolenia (w Polsce ilość dokumentów papierowych jest przeważająca).

Korzyści wynikające z wdrożenia systemu wspomaganego badań ultrasonograficznych Dopplera:

- ułatwienie (przyspieszenie) wykonywania badań medycznych opartych o ultrasonografię Dopplera,
- redukcja obciążenia pracą lekarza (łatwiejszy i szybszy sposób wprowadzania danych pomiarowych),
- poprawa jakości badań USG (korzystanie z aplikacji wymusza na lekarzach wprowadzenie wszystkich wymaganych wskaźników i pomiarów na etapie wykonywania badania),
- ujednolicenie procedury przeprowadzania badań medycznych oraz formatu prezentacji wyników,
- wprowadzenie elektronicznego systemu przechowywania danych umożliwia łatwy dostęp do dokumentacji medycznej zainteresowanym stronom,
- możliwość gromadzenia oraz udostępniania wiedzy w środowisku lekarskim (wsparcie rozwoju sektorów służby zdrowia).

Z powyższej analizy zalet oraz wad wynikających z opracowania i wdrożenia systemu wspierającego badania USG wynika, że wykorzystanie współczesnych technologii może znacząco wpłynąć na poprawę jakości wykonywanych badań zarówno dla środowiska lekarskiego, jak również pacjentów.

3. Perspektywy dalszego rozwoju

Dalszy rozwój aplikacji mobilnej wspierającej badania ultrasonograficzne Dopplera jest wskazany i możliwy. Opracowanie uniwersalnego, dopasowanego do potrzeb produktu wymaga aktywnego udziału beneficjentów przedsięwzięcia (zarówno lekarzy, jak i pacjentów) zgłaszających uwagi i propozycje zmian.

Mimo iż możliwości przetwarzania ostatnich technologii są satysfakcjonujące, bez wątpienia dążenie do zwiększenia szybkości oraz poprawy jakości rozwiązań będzie kontynuowane. Przewiduje się, iż dalsze zmiany mające na celu przyspieszenie oraz poprawę wydajności aplikacji mobilnej są nieuniknione.

Potentaci branży IT rywalizują ze sobą w zakresie opracowania systemów operacyjnych dla urządzeń mobilnych. Obecnie jedną z czołowych platform jest system Android. Próba przekonania lekarzy do wyboru określonej platformy jest jednak bezcelowa. Koniecznym jest opracowanie aplikacji mobilnej docelowo dla różnych systemów operacyjnych, w tym iOS oraz Windows Phone [1, 2, 3].

Podczas badania ultrasonograficznego ciała pacjenta, obraz USG jest analizowany przez lekarza na bieżąco. Niektóre wskaźniki, jak prędkość przepływu krwi, muszą być policzone z wykorzystaniem oprogramowania ultrasonografu. Ponieważ dane tego typu są również częścią wyniku badania medycznego,

warto rozważyć możliwości integracji aplikacji mobilnej z dedykowanym oprogramowaniem ultrasonografu. Jakkolwiek istnieją standardy dotyczące formatu i sposobu przekazywania danych medycznych, w tym wyników obrazowych (PACS, DICOM), oraz urządzenia wspierające wyżej wymienione standardy, problem jest złożony z uwagi na stan i wyposażenie jednostek służby zdrowia [4, 6, 7, 8]. Zastosowanie wyżej wymienionej technologii jest wielokrotnie związane z koniecznością inwestycji w modernizację sprzętu medycznego.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania oraz analiza problemu wykazały, że przebieg badań ultrasonograficznych może zostać zautomatyzowany. Pomimo ogólnej dostępności i wykorzystania technicznie zaawansowanego sprzętowego wyposażenia diagnostycznego, brak jest jednolitego oprogramowania oraz infrastruktury informatycznej wspierającej ten typ badań. Celowym jest opracowanie oprogramowania i systemu informatycznego ułatwiającego wyżej wymieniony proces badawczy, występujący w większości gałęzi sektora ochrony zdrowia, szczególnie w Polsce.

Przedsięwzięcia rządowe w niedostatecznej skali gwarantują dostęp do specjalizowanego i stosownego oprogramowania, które dostarcza profesjonalnego rozwiązania o wymaganym komforcie użytkowania, przy jednocześnie satysfakcjonujących kosztach ekonomicznych. Stanowi to pole do zaistnienia mniejszych firm oferujących wyżej wymienione rozwiązania. Niewątpliwie powstanie systemu wspierającego diagnozowanie ultrasonograficzne pozwoli usprawnić funkcjonowanie części sektorów służby zdrowia.

Wersja testowa aplikacji mobilnej utworzona w ramach projektu będącego przedmiotem niniejszego artykułu, stanowi odpowiedź na potrzeby lekarzy, świadomych konieczności wprowadzenia innowacyjnych zmian w procesach diagnozy pacjentów.

Literatura

- [1] Strona systemu operacyjnego Android: <http://www.android.com> (dostęp: 08.02.2017).
- [2] Strona producenta urządzeń mobilnych Apple: <http://www.apple.com> (dostęp: 08.02.2017).
- [3] Strona systemu operacyjnego Windows Phone: <http://www.windowsphone.com> (dostęp: 08.02.2017).
- [4] Strona standardu DICOM: <http://dicom.nema.org> (dostęp: 08.02.2017).
- [5] Strona standardu HL7: <http://hl7.org> (dostęp: 08.02.2017).
- [6] Strona standardu PACS: <http://www.pacsgroup.org.uk> (dostęp: 08.02.2017).
- [7] Strona producenta urządzeń USG Hitachi: <http://www.hitachi-aloka.com> (dostęp: 08.02.2017).
- [8] Strona producenta urządzeń USG Philips: <http://www.philips.pl> (dostęp: 08.02.2017).
- [9] Specyfikacja protokołu SOAP: <http://www.w3.org>, dostęp: (08.02.2017)
- [10] Strona języka programowania Java: <http://www.oracle.com> (dostęp: 08.02.2017).
- [11] Strona projektu JAX-WS: <http://jax-ws.java.net> (dostęp: 08.02.2017).
- [12] Strona projektu Hibernate: <http://hibernate.org> (dostęp: 08.02.2017).
- [13] Bąkała A., Korczak K.: Accessibility of e-health services for people with disabilities. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Informatyka Ekonomiczna* 18(119)/2010, 31–41.
- [14] Korczak K.: Ocena przydatności internetowych narzędzi wspomagających system opieki zdrowotnej. *Zeszyty naukowe wydziałowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach nr 199. Technologie wiedzy w zarządzaniu publicznym*, Katowice 2014.
- [15] Pearce Ch.: The many faces of the computer: An analysis of clinical software in the primary care consultation. *International Journal of Medical Informatics*, 81(7)/2012, 475–484.
- [16] Watkins Ch. i inni: General practitioners' use of computers during the consultation. *British Journal of General Practice*, 06/1999, 381–383.

Mgr inż. Michał Michalski
e-mail: michalskim@op.pl

Absolwent studiów pierwszego stopnia na kierunku Elektronika i Telekomunikacja przy Centrum Kształcenia Międzynarodowego Politechniki Łódzkiej oraz studiów drugiego stopnia na kierunku Informatyka na tym samym wydziale. Obecnie pracownik działu Research & Development firmy Fujitsu Technology Solutions Sp. z o.o. w Łodzi. Prywatnie aktywny sportowiec-amator, poświęcający część wolnego czasu na inną pasję – genealogię.



Dr inż. Marcin Bąkała
e-mail: mbakala@kis.p.lodz.pl

Ukończył w 2001 studia magisterskie na Wydziale Mechanicznym Politechniki Łódzkiej. Tytuł doktora uzyskał w dyscyplinie Inżynierii Materiałowej w 2007. Pracuje jako adiunkt w Instytucie Informatyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej, członek Polskiego Stowarzyszenia Wynalazców i Racjonalizatorów. Interesuje się inżynierią materiałową, informatyką, kolarstwem oraz podróżami.



Dr inż. Rafał Wojciechowski
e-mail: r.wojciechowski@kis.p.lodz.pl

Ukończył w 2001 studia magisterskie na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej. Tytuł doktora uzyskał w dyscyplinie Informatyka w 2008. Pracuje jako adiunkt w Instytucie Informatyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej, jest członkiem Polskiego Stowarzyszenia Wynalazców i Racjonalizatorów. Interesuje się informatyką stosowaną oraz inżynierią oprogramowania, w szczególności integracją procesów przemysłowych z oprogramowaniem kontrolno – pomiarowym.



otrzymano/received: 15.06.2016

przyjęto do druku/accepted: 14.08.2017