

System zdalnego monitorowania medycznego osób starszych i niepełnosprawnych – EDFAS

Janusz Granat

Edward Klimasara

W artykule przedstawiono wyniki prac projektu EDFAS, realizowanego w ramach międzynarodowego programu EUREKA, obejmującego zdalne monitorowanie parametrów życiowych osób starszych i niepełnosprawnych za pomocą specjalizowanego systemu komputerowego.

e-health, telemedycyna, zdalne monitorowanie

Wprowadzenie

W latach 2009–2013 Instytut Łączności brał udział w projekcie EDFAS (*Functional state evaluation system with distributed intellect for elderly and disabled population*), który był realizowany w ramach programu EUREKA. Inicjatywa EUREKA to zdecentralizowana sieć 40 państw europejskich oraz Unii Europejskiej powołana w celu wspierania międzynarodowej współpracy w badaniach i rozwoju. Projekty EUREKI muszą być realizowane we współpracy międzynarodowej oraz mają ukierunkowanie rynkowe. W projekcie EDFAS uczestniczyli partnerzy z trzech krajów tj. z Litwy, Polski i Niemiec:

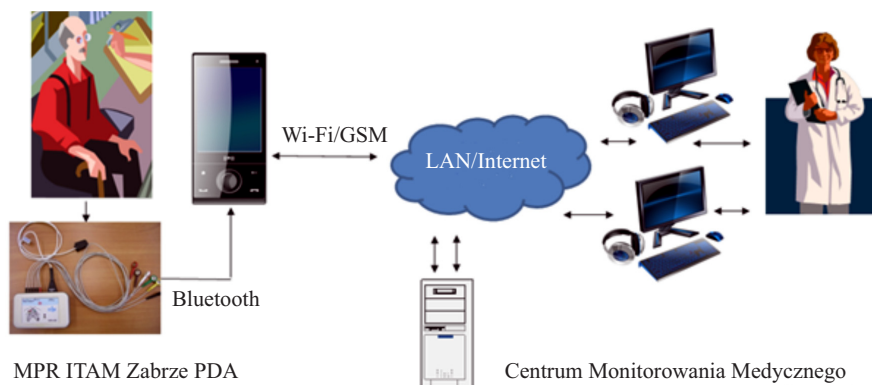
- Institute of Cardiology at Lithuanian University of Health Science – Litwa (lider projektu),
- Geriatric Clinic at Lithuanian University of Health Sciences – Litwa,
- UAB Kardiosignalas – Litwa,
- Instytut Łączności, Zakład Zaawansowanych Technik Informacyjnych – Polska,
- Instytut Techniki i Aparatury Medycznej (ITAM) Zabrze – Polska,
- PicoMed Medizintechnik GmbH – Niemcy.

Celem projektu było opracowanie systemu służącego do zdalnego monitorowania parametrów życiowych pacjenta. W projekcie przyjęto, że będą monitorowane następujące parametry: zmienność rytmu serca (ECG), wysycenie krwi tlenem (SpO₂) i puls (pulsoksymetr), ruch i położenie pacjenta w przestrzeni 3D (akcelerometr) oraz impedancja klatki piersiowej. Głównym zadaniem Instytutu Łączności było opracowanie architektury systemu, wybór technik transmisji i wymaganego sprzętu komputerowego, wybór oprogramowania narzędziowego i systemowego oraz opracowanie oprogramowania aplikacyjnego dla urządzeń PDA (*Personal Digital Assistant*) i MMC (*Medical Monitoring Centre*), wykonanie i testowanie prototypu oraz przygotowanie odpowiedniej dokumentacji.

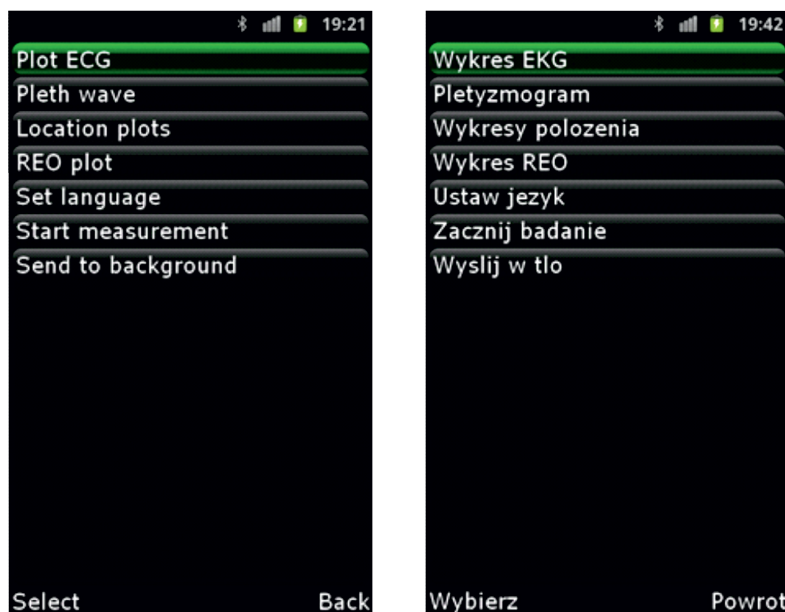
W wyniku prac powstały dwa rozwiązania: litewskie i polskie, które różnią się szczegółami technicznymi, mają jednak wspólne ramy rozwiązań. W artykule przedstawiono system, który został opracowany przez IŁ i ITAM Zabrze.

2. Architektura systemu

Ogólna architektura systemu została przedstawiona na rys 1. Natomiast rys. 2 prezentuje menu główne aplikacji EDFAS uruchomionej na PDA.



Rys.1. Ogólna architektura systemu



Rys. 2. Menu główne aplikacji EDFAS uruchomionej na PDA

System składa się z trzech zasadniczych elementów:

- MPR (*Mobile Personal Recorder*), który jest odrębnym urządzeniem pozwalającym na zbieranie danych pomiarowych. Jest ono wyposażone w czujniki, kartę pamięci oraz moduł komunikacji bezprzewodowej (Bluetooth). MPR został opracowany przez ITAM Zabrze;

- PDA (*Personal Digital Assistant*), który wstępnie analizuje dane, generuje alarmy on-line oraz komunikaty wizualno-dźwiękowe. Jako PDA w zaprojektowanej architekturze wykorzystano smartfon;
- MMC – Centrum Monitorowania Medycznego (*Medical Monitoring Centre*), który wykonuje zaawansowane analizy danych *on-line* i *off-line*, generuje alarmy w oparciu o dane bieżące i historyczne, tworzy raporty statystyczne. MMC składa się z serwera oraz terminali.

Wyróżniono następujące tryby monitorowania pacjenta:

- *Holter* – dane pomiarowe są zapisywane do pamięci MPR, maksymalny czas pomiaru to około 24 godziny (zależny od pojemności akumulatorów MPR). PDA i Centrum nie otrzymuje tych danych na bieżąco;
- *Emergency situation* – dane są analizowane przez MPR i PDA. W przypadku wykrycia zagrożenia dane są natychmiast przekazywane do Centrum. Wynikowa ocena stanu zdrowia pacjenta jest sygnalizowana na PDA trójkolorowym semaforem (zielony – stan w normie, żółty – parametry przekroczone, czerwony – sytuacja alarmowa);
- *Full time* – dane pomiarowe są przekazywane do PDA i Centrum w odstępach pięciominutowych. W przypadku wykrycia sytuacji alarmowej przez MPR czy PDA są one przekazywane natychmiast na wyższy poziom. Maksymalny czas monitorowania wynosi około 8 godzin (zależnie od pojemności akumulatorów).

Przy projektowaniu systemu przyjęto następujące założenia:

- komunikacja pomiędzy MPR a PDA odbywa się z wykorzystaniem protokołu *Bluetooth*,
- komunikacja pomiędzy PDA a MMC jest realizowana z wykorzystaniem sieci Internet udostępnianej przez operatorów sieci komórkowych lub sieci lokalnych,
- jako platformy systemowe PDA przyjęto Microsoft Windows Mobile/Phone, Symbian S60, Android i iPhone OS,
- jako platformy implementacji MMC przyjęto Linux i PostgreSQL.

3. Możliwości funkcjonalne aplikacji mobilnej instalowanej w urządzeniu PDA

Urządzenie PDA otrzymuje z urządzenia MPR następujące sygnały: dwa sygnały ECG, jeden sygnał impedancji klatki piersiowej, jeden fali tętna, wynik pomiaru wysycenia krwi tlenem (SpO_2) oraz sygnały przyspieszenia ruchu pacjenta w trzech osiach. Ponadto wysyłane są do PDA kody pozycji pacjenta (tułowia na którym umocowano MPR). W PDA są realizowane podstawowe analizy zbieranych danych obejmujące porównanie uzyskanych wartości z wartościami progowymi oraz proste algorytmy wykrywania sytuacji nietypowych. Dane pomiarowe mogą być przekazywane przez PDA do Centrum Monitorowania Medycznego, gdzie są poddawane bardziej zaawansowanej analizie. Aplikację PDA systemu EDFAS opracowano i testowano w środowisku MoSync, co pozwoliło na szybkie dostosowanie aplikacji do różnych typów telefonów.

Można wyróżnić następujące funkcje PDA:

- odbieranie danych z MPR za pośrednictwem protokołu *Bluetooth*,
- analiza danych strumieniowych w trybie on-line,
- prezentacja wyników pomiarów w formie liczbowej i wykresów,
- prezentacja wynikowej oceny stanu pacjenta w postaci trójkolorowego semafora,
- prezentacja alarmów fizjologicznych i technicznych w formie tekstu, grafiki i dźwięku,

- transmisja danych i alarmów do MMC za pośrednictwem sieci Internet (Wi-Fi, GSM),
- odbieranie alarmu wymuszonego przez pacjenta.

PDA jest wyposażony w prosty i funkcjonalny interfejs użytkownika w kilku językach.

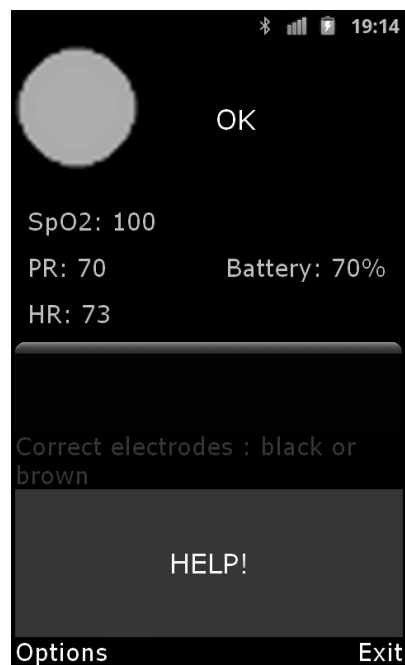
Po prawidłowym nawiązaniu komunikacji z MPR PDA otrzymuje dane pomiarowe. Transmisja jest sygnalizowana przez MPR przez miganie zielonej LED. MPR analizuje w sposób automatyczny otrzymane dane w oparciu o zaimplementowane algorytmy. Wyniki z analizy są przedstawiane w postaci komunikatów i wykresów na ekranie PDA. Dane otrzymane z PDA są również równolegle przekazywane do serwera MMC, gdzie są rejestrowane w bazie danych oraz gdzie są powtórnie analizowane pod nadzorem personelu medycznego. W przypadku wystąpienia alarmu uruchamiana jest procedura udzielenia pomocy osobie monitorowanej przez MMC.

Przycisk „Help” umożliwia wymuszenie alarmu przez użytkownika. Alarm jest natychmiast przekazywany do MMC. Istnieją dwie kategorie alarmów: alarmy fizjologiczne i techniczne. Alarmy fizjologiczne informują o wypadkowym stanie monitorowanych parametrów życiowych pacjenta i są przedstawiane za pomocą figur geometrycznych:

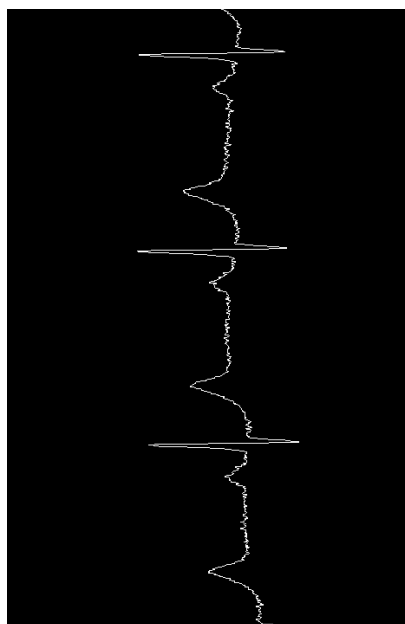
- zielone koło oznacza wypadkowy stan poprawny,
- czerwony trójkąt oznacza wypadkowy stan zagrożenia zdrowia i życia,
- żółty romb oznacza, że wartość wynikowa niewiele odbiega od normy.

Natomiast alarmy techniczne informują o niesprawnościach technicznych np. odcepionej elektrodzie, obniżonym poziomie naładowania akumulatora w MPR.

Na ekranie PDA mogą być wyświetlane wykresy dla sygnałów: ECG (kanał 0 i 1), pulsoksymetru, impedancji klatki piersiowej, akcelerometru (osie X, Y i Z). Na rys. 3 i rys. 4 zostały przedstawione przykładowe ekrany PDA.



Rys. 3. Przykładowy ekran PDA



Rys. 4. Przykładowy wykres ECG kanał I

4. Centrum Monitorowania Medycznego

Do obsługi Centrum Monitorowania Medycznego MMC wykonano dedykowane oprogramowanie z wykorzystaniem języka Java i relacyjnej bazy danych PostgreSQL. Użytkownik może korzystać z zasobów stworzonej bazy danych za pomocą aplikacji dostępnej za pośrednictwem przeglądarki internetowej z sieci lokalnej lub sieci Internet. Dostęp do informacji jest zależny jest od kategorii użytkownika i jest chroniony loginem i hasłem. Zasadnicze funkcjonalności MMC to:

- rejestracja informacji administracyjnych i medycznych o pacjentach w systemie,
- rejestracja informacji o lekarzach, ich specjalnościach medycznych,
- rejestracja informacji o opiekunach,
- przypisanie pacjentów do lekarzy i opiekunów,
- rejestracja urządzeń MPR i PDA w systemie,
- przypisanie urządzeń MPR i PDA do pacjentów,
- zbieranie w czasie rzeczywistym danych pomiarowych uzyskanych z PDA,
- zbieranie danych dostarczonych na kartach pamięci,
- analiza zebranych danych pomiarowych,
- automatyczne powiadomienie o sytuacjach alarmowych,
- wspomaganie decyzji personelu medycznego,
- obsługa zdarzeń alarmowych (rejestracja, analiza, uruchamianie procedur udzielanie pomocy).

W zależności od roli użytkownika po zalogowaniu się do systemu uzyskuje on dostęp do dedykowanego interfejsu. W systemie zdefiniowano następujące role użytkowników: administrator, pielęgniarka, lekarz i opiekun.

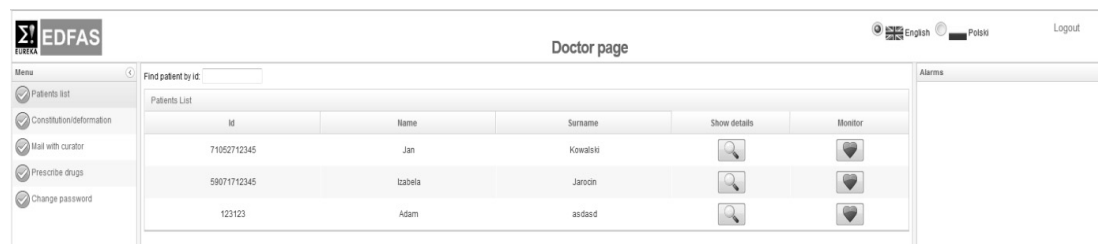
Pielęgniarka może wykonać następujące czynności:

- dodać pacjentów, lekarzy, opiekunów do bazy danych,
- przypisać pacjentów do lekarzy i opiekunów,
- wyświetlić listy pacjentów, lekarzy i opiekunów,
- wyświetlić listę pacjentów przypisanych do danego lekarza,
- wyświetlić listę pacjentów przypisanych do danego opiekuna.

Lekarz może wykonać następujące czynności:

- wyświetlić listę pacjentów,
- wprowadzić do systemu informacje o budowie i wadach wrodzonych pacjenta,
- zarejestrować w systemie przepisane leki,
- przeglądać dane z monitoringu pacjenta,
- przeglądać statystyki,
- komunikować się z opiekunem i pacjentem.

Opiekun może wyświetlić listę przypisanych do niego pacjentów, wysłać e-maila do lekarza i do pacjentów.



Rys. 5. Przykładowy ekran systemu MMC

W MMC zaimplementowano algorytmy umożliwiające:

- Analizy statystyczne opracowane na podstawie danych uzyskanych w dłuższym okresie czasu, a dotyczące wykrywania schorzeń serca:
 - liczba odstępów RR^①,
 - średnia długość odstępu RR,
 - odchylenie standardowe odstępów RR,
 - pierwiastek kwadratowy ze średniej kwadratów z sąsiednich odstępów RR,
 - liczba odstępów RR, których różnica przekracza 50 ms [%],
 - odchylenie standardowe różnic między sąsiednimi odstępami w 5 minutowych segmentach,
 - średnia z odchyleń standardowych odstępów RR w 5 minutowych segmentach,
 - pierwiastek kwadratowy ze średniej sumy kwadratów różnic między kolejnymi odstępami RR.
- Statystyki administracyjne: liczby osób monitorowanych z podziałem na kobiety i mężczyzn, przedziały wiekowe pacjentów, liczby alarmów itp.

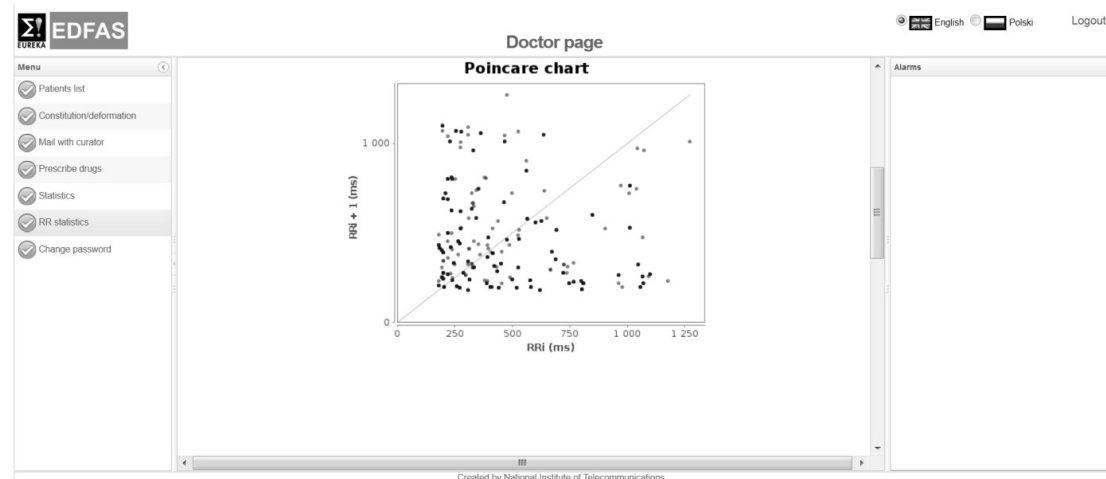
^① RR - odstęp pomiędzy dwoma kolejnymi załankami R w zapisie ECG. Prawidłowy rytm serca charakteryzuje się równymi odstępami RR (z tolerancją 160 ms).

Uzyskane od pacjentów dane pomiarowe są analizowane automatycznie zgodnie z zaimplementowanymi algorytmami oraz przez personel medyczny. Wyniki analiz są prezentowane w formie wykresów, a także w formie liczbowej. Przykładowe ekrany z wykresami ECG zostały przedstawione na rys. 6. Wykres górny i środkowy są generowane na podstawie danych pomiarowych. Trzeci wykres tworzony jest w oparciu o poprzednie dane i regułę Eithovena^①.



Rys. 6. Przykładowy ekran z wykresami ECG

Oprogramowanie pozwala ponadto na prezentację wyników pozostałych parametrów monitorowania: SpO₂, akcelerometru i pulsoksymetru oraz pomiaru impedancji klatki piersiowej. System umożliwia także generowanie innych wykresów. Przykładem pokazanym na rys. 7 jest wykres Poincaré dla odstępów RR.



Rys. 7. Wykres Poincaré RR

^① Reguła Eithovena związana jest ze sposobem odprowadzania sygnałów z ciała pacjenta – trzy spośród czterech elektrod tworzą trójkąt równoboczny.

Z kolei statystyki administracyjne są prezentowane w postaci wykresów i liczb. Obejmują one liczby monitorowanych pacjentów z podziałem na kobiety i mężczyzn, liczby monitorowanych pacjentów z podziałem na przedziały wiekowe, deformacje, zażywane leki, alarmy.

5. Testy funkcjonalności systemu

Testy funkcjonalności systemu przeprowadzone zostały przez wybranych pracowników Instytutu Łączności. Realizowane były z różnych miejsc w Polsce geograficznie odległych. Zbierano dane pomiarowe zarówno w trybie Holtera jak i on-line z zamocowanymi na ciele czujnikami urządzenia. Starano się zasymulować w warunkach rzeczywistych różne sytuacje alarmowe zarówno dotyczące akcelerometru (różne scenariusze upadków), jak i te dotyczące ECG (odpoczynek, wysiłek fizyczny), zmianę położenia z leżącej na siedzącą lub też stojącą oraz odłączenie się czujników. Testy były wykonywane wielokrotnie, aby wykluczyć przypadkowość wskazań. Badano również możliwość wezwania pomocy przez pacjenta poprzez uruchomienie przycisku Help na PDA. Osoba monitorowana oprócz informacji otrzymywanych na PDA miała możliwość podglądu na swoim komputerze analiz wykonywanych w MMC. Doświadczenia z testów i informacje zebrane podczas tego procesu pomogły wykryć różnego rodzaju błędy, które były na bieżąco usuwane głównie w oprogramowaniu. Testowano funkcjonalności zarówno PDA jak i MMC. Transmisja danych była realizowana poprzez sieci GSM Plus, Orange i Neostardę z szybkością 10 Mb/s.

6. Podsumowanie i wnioski

Rynek usług telemedycznych na świecie z każdym rokiem wykazuje dużą tendencję wzrostową i jest obecnie wart kilkanaście miliardów dolarów w skali świata. Coraz więcej firm produkuje sprzęt i oprogramowanie dla tego obszaru. W Polsce zainteresowanie telemedycyną jest coraz większe. Również Instytut w ramach programu EUREKA brał udział w projekcie związanym z monitorowaniem ludzi starszych i niepełnosprawnych. W ramach przeprowadzonych prac we współpracy z ITAM Zabrze opracowano prototyp systemu zbierającego i analizującego dane pomiarowe dotyczące parametrów życiowych pacjentów.

Budowa systemu jest otwarta tzn. można go rozbudować w miarę potrzeb o dodatkowe funkcje np. algorytmy analityczne, statystyczne czy współpracę z GPS.

Informacja

Realizacja projektu EDFAS (numer projektu E!4452) w ramach programu EUREKA była możliwa dzięki dofinansowaniu przez NCBR.

Bibliografia

- [1] Korsakas S., Vainoras A., Gargasas L., Ruseckas R., Jurkonis V., Miskinis V., Klimasara E., Granat J., Kostrzewa A., Pajer M., Gibiński P., Badura G.: *Functional state evaluation system with distributed intellect for elderly and disabled population*, Proceedings of International Conference “Biomedical Engineering – 2010”, Kaunas, Lithuania, 28 - 29 October 2010, Kaunas University of Technology, 2010, pp. 30–36
- [2] Terrance J. Dishongh and Michael McGrath: *Wireless Sensor Networks for Healthcare Application* wyd. Artech House 2010

- [3] Vainoras A.: *Cardiological telemonitoring in rehabilitation and sports medicine* Institute of Cardiology, Kaunas University of Medicine, Sukileliu av 17, 50167 Kaunas, Lithuania Stud Health Technol. Inform. 105:121–30, 2004

Janusz Granat



Dr inż. Janusz Granat – absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej (1987); nauczyciel akademicki i pracownik naukowy Politechniki Warszawskiej (od 1988); pracownik naukowy Instytutu Łączności (od 1997), kierownik Zakładu Zaawansowanych Technik Informacyjnych; przewodniczący grupy badawczej IFIP WG7.6, współpracownik IIASA w Austrii oraz JAIST w Japonii; współorganizator międzynarodowej konferencji *Decision Support for Telecommunications and Information Society (DSTIS)*; kierownik wielu projektów badawczych; autor i współautor wielu publikacji naukowych; zainteresowania naukowe: teoria i metodologia optymalizacji wektorowej, hurtownie danych, analiza danych, projektowanie komputerowych systemów wspomaganie decyzji.

e-mail: J.Granat@itl.waw.pl

Edward Klimasara



Mgr Edward Klimasara – absolwent Wydziału Matematyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego (1977); pracownik Instytutu Łączności w Warszawie (od 1984); główny specjalista w Zakładzie Zaawansowanych Technik Informacyjnych; autor i współautor prac z obszaru informatyki i telekomunikacji; zainteresowania zawodowe: zarządzanie wiedzą, zastosowanie technik informacyjnych w telekomunikacji, medycynie, transporcie, administracji i edukacji.

e-mail: E.Klimasara@itl.waw.pl