

GENEROWANIE PRZESTRZENI CECH DIAGNOSTYCZNYCH SYGNAŁU EKG

Stanisław Płaska¹, Elżbieta Stążka², Piotr Wolszczak³

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiony został system informatyczny przeznaczony do odczytywania charakterystycznych punktów w zapisach EKG. Na tej podstawie generowana jest przestrzeń cech diagnostycznych wyrażona przez odcinki, amplitudy i pola, będąca podstawą do zautomatyzowanego diagnozowania choroby wieńcowej serca. W pracy zamieszczono przykładowe wyniki uzyskane podczas analizy zachowań serca w wyniku działania różnych czynników zewnętrznych.

1. WSTĘP

Podstawą analizy zapisów EKG są pomiary wielkości charakterystycznych. Zbiór uzyskanych wielkości tworzy tzw. przestrzeń cech diagnostycznych. Aktualnie prowadzone są poszukiwania nowych przestrzeni cech diagnostycznych, których zastosowanie zapewniałoby lepszą jednoznaczność diagnozy oraz pozwoliłoby na oznaczanie stanów serca niewykrywalnych w tradycyjnie stosowanej dziedzinie czasu.

W zadaniu diagnozy stanów choroby serca istotne jest zgromadzenie i przetworzenie odpowiednio dużej liczby zapisów EKG. Z tego powodu konieczne jest na każdym etapie wykorzystywanie narzędzi komputerowych [3, 4, 5]. Wymagane jest jednak, by niektóre czynności wykonywane były pod bezpośrednim nadzorem specjalistów. Wynika to z interpretacji EKG.

2. PRZESTRZEŃ CECH

Termin przestrzeń cech określa zbiór informacji charakteryzujący określony stan badanego zjawiska. Dla scharakteryzowania normalnego stanu zdrowia człowieka można określić przestrzeń składającą się z takich cech jak:

- temperatura ciała,
- kolor cery (zaczerwieniona, normalna, blada),
- samopoczucie (ocena według przyjętej skali jakościowej),
- inne wyniki specjalistycznych badań.

Informacje te, zakładając pewne uproszczenia, mogą wystarczyć np. do postawienia diagnozy dotyczącej przeziębienia. Dla potrzeb budowy systemu komputerowego wspomagającego proces diagnozowania należałoby wprowadzać wymienione cechy do przygotowanego algorytmu diagnozowania. Wówczas rozpatrywane cechy mogą być zapisane w formie skategoryzowanej wg przyjętej normy lub standardu opisu. Cechy zanotowane w sposób opisowy kodowane są w bazie danych jako wartości numeryczne.

2.1. Zmienne przestrzeni cech

Zmienne przestrzeni cech medycznego algorytmu rozpoznawania pochodzić mogą ze zbiorów danych:

- a) demograficznych (wiek, płeć),
- b) wyników badań medycznych,
- c) wywiadu przeprowadzonego przez lekarza.

Częścią przestrzeni cech opisującej stan serca jest między innymi wynik EKG. Zmienne, którymi są amplitudy i czasy trwania załamek, odstępów i odcinków dostarczają informacji o wielu stanach chorobowych.

Wymienione zmienne są zapisem parametrycznym przebiegu sygnału EKG w funkcji czasu i dlatego też tworzą pewien zbiór wyrażony w tzw. dziedzinie czasu. Innym sposobem jest tworzenie zbioru zmiennych uzyskanych po rozłożeniu czasowego przebiegu EKG w szereg Fouriera. Tak utworzony zbiór zapisany jest w tzw. dziedzinie częstotliwościowej. Forma ta szczególnie dobrze nadaje się do charakteryzowania przypadków chorobowych związanych z zaburzeniami rytmu serca różnego pochodzenia. Do uzyskania zapisu w dziedzinie częstotliwości stosuje się Szybką Transformację Fouriera [1, 2].

Z przeprowadzonych badań [2] wynika, że nie jest to przestrzeń wystarczająca do pełnego opisu, tak jak nie jest wystarczający tylko wynik EKG. Stanowi ona jednak ważne uzupełnienie, co potwierdzają również kierunki obecnie prowadzonych badań w innych ośrodkach na świecie [6, 7, 8].

Na rys. 1 przedstawiono w uogólniony sposób mechanizm działania (tworzenia) systemów diagnozowania EKG. Składają się na niego trzy główne etapy:

- tworzenie przestrzeni cech obejmujących parametryzację zapisu EKG, przetwarzanie i przygotowanie danych w odpowiednim składzie,
- uczenie, oznaczające zapamiętanie wiedzy o zgromadzonych przypadkach chorobowych,
- klasyfikację stanów chorobowych wykonywaną w trakcie działania opracowanego systemu polega na generowaniu odpowiedzi na wprowadzony wynik badania EKG.



Rys. 1. Uproszczony algorytm diagnozowania

W dalszej części pracy rozpatrywana jest pierwsza część algorytmu – tworzenie przestrzeni, w której stany chorobowe będą najlepiej rozróżnialne.

2.2. Parametryzacja zapisu EKG w dziedzinie czasu

Zapis elektrycznej aktywności serca przedstawiany jest tradycyjnie w formie elektrokardiogramu (zmiana napięcia w czasie). Pojedynczy cykl pracy serca wyodrębniony z EKG składa się charakterystycznych załamek o nazwach P, Q, R, S, T i U. Amplitudy i czasy trwania poszczególnych załamek, odstępy pomiędzy nimi oraz poziomy fragmentów linii izoelektrycznej, tworzą zbiór parametrów liczbowych zapisu EKG. Z pewnym przybliżeniem zbiór ten może odwzorować wygląd krzywej EKG.

2.3. Wybór elementów przestrzeni cech

Ze wstępnie przygotowanego zbioru cech wyodrębnić należy te, które mają związek z opisywanym stanem chorobowym. Wyodrębnione zmienne tworzą model opisujący dany stan chorobowy pacjenta.

Zdolność zmiennych do opisu stanów oceniana jest przy użyciu metod statystycznych. Ocena polega na ustaleniu, czy wartość zmiennej jest związana ze stanem chorobowym oraz ocenie wagi zawartej w niej informacji. Ocenę taką można przeprowadzić wykorzystując analizę dyskryminacyjną lub inne analizy statystyczne.

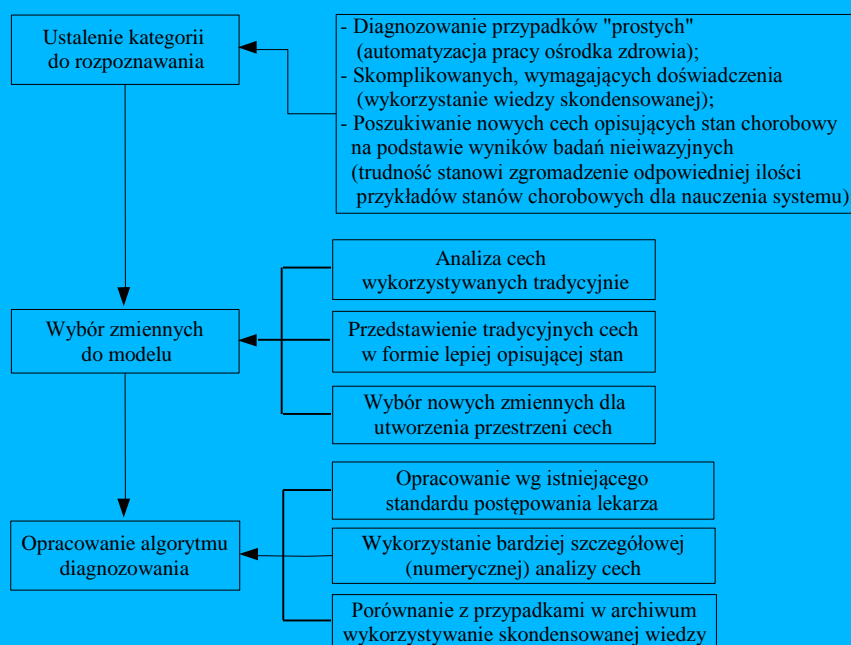
Zmienne włączone do modelu tworzą wielowymiarową przestrzeń cech, w której opisywany przypadek chorobowy stanowi jeden punkt o współrzędnych równych wartościom tych zmiennych. Wprowadzając do modelu kolejne przypadki chorobowe w przestrzeni tej umieszczane są kolejne punkty, które zaczynają tworzyć rozdzielne wg kategorii chorobowych skupiska. Obraz ten wyjaśnia dlaczego tak ważne jest pominięcie zmiennych, które mimo że istotnie dobrze charakteryzują stan chorego, jednak podczas konkretnej klasyfikacji zaciemniałyby analizowany podział.

Formalnie przez wybór cech do modelu tworzone są wektory charakteryzujące określone stany chorobowe. Model determinuje postać przestrzeni cech, w której umieszczane będą analizowane przypadki (pacjenci).

Przestrzeń taka jest N-wymiarową, gdzie N jest równe ilości zmiennych włączonych do modelu.

2.4. Algorytm budowy przestrzeni cech

Rys. 2 przedstawia ogólny algorytm opracowywania przestrzeni cech dla systemu diagnozowania oraz istotne czynności związane z jego realizacją. Sposób podejścia do budowy przestrzeni cech należy dostosować do konkretnego przypadku.



Rys. 2 Ogólny schemat opracowania przestrzeni cech dla systemu diagnozowania

Pierwszym krokiem jest ustalenie rodzajów schorzeń, które projektowany system powinien rozpoznawać. Nie wiąże się on bezpośrednio z zagadnieniem przestrzeni cech.

Opracowanie przestrzeni cech, w której umieszczane będą przypadki chorobowe, należy rozpocząć od selekcji zmiennych uzyskiwanych z zapisu EKG w dziedzinach czasu i częstotliwości, które różnicują grupy schorzeń od stanu normalnego.

Jeżeli takie zmienne uda się wyodrębnić można przystąpić do opracowywania systemu, który będzie rejestrował i przetwarzał sygnał EKG i na podstawie zmiennych zawartych w modelu diagnozował stan zdrowia pacjenta. Na schemacie (rys. 2) uwzględniono różne przykłady realizacji algorytmu diagnozowania w zależności od jego przeznaczenia, np. potrzeby opracowania systemu ekspertowego.

3. PROGRAM M_EKG

Dla potrzeb tworzenia przestrzeni cech diagnostycznych na podstawie sygnału EKG została zgromadzona specjalistyczna aparatura oraz opracowane oprogramowanie o nazwie M_EKG.

Sygnał EKG rejestrowany jest z rozdzielczością $2,2 \mu\text{V}$ i okresem próbkowania 2 ms. Możliwe dzięki temu jest zastosowanie sprzętu w elektrokardiografii wysokiej rozdzielczości (analiza późnych potencjałów).

Program komputerowy umożliwia szczegółową analizę zapisów EKG wykonanych za pomocą elektrokardiografu cyfrowego.

Program umożliwia:

- przeglądanie zapisów EKG,
- pomiary wielkości charakterystycznych (amplitudy, okresy oraz pola) (Rys. 3),
- obliczanie cykli uśrednionych,
- obliczanie rytmu serca w trakcie badania,
- zapis wyników.

Program może być wykorzystywany w różnego rodzaju zapisach i analizach bazujących na sygnale EKG, np. analiza późnych potencjałów.

Program M_EKG jest modułem układu mikroprocesorowego przeznaczonego do zapisów i analizy sygnałów EKG i wykorzystywany jest do wspomagania diagnostyki choroby wieńcowej serca, a w szczególności do:

- klasyfikacji zbiorów obserwacji w odniesieniu do grupy pacjentów wyróżnionych ze względu na określone kryterium intensywności choroby wieńcowej,
- poszukiwania nośników informacji zawartych w analizie krótko i długookresowej sygnału EKG (przeprowadzanych w dziedzinie czasu i częstotliwości), prognozujących intensywność choroby wieńcowej,
- analiz szczegółowych obejmujących:
 - kojarzenie wartości odstępu QT z intensywnością choroby wieńcowej,
 - kojarzenie przesunięcia odcinka ST (w stosunku do linii izoelektrycznej) z intensywnością choroby wieńcowej,
 - kojarzenie pola powierzchni pod krzywą EKG na długości załamka T z intensywnością choroby wieńcowej,

- kojarzenie zmienności rytmu pracy serca z intensywnością choroby wieńcowej,
- analiz zmienności rytmu serca.

3.1. Obliczenie cyklu średniego i szeregu cykli uśrednionych

Obliczenie cykli średnich wykonywane jest w celu zmniejszenia szumu oraz przygotowania danych do dalszych analiz, np. wykonywania szybkiej transformaty Fouriera. Wykonanie obliczeń może się odbywać na dwa sposoby:

- 1) Na podstawie wszystkich zarejestrowanych cykli. Wynikiem jest wówczas 12 cykli średnich (dla każdego odprowadzenia EKG oddzielnie).
- 2) Uśredniając grupy cykli wg zadanej liczby. Wówczas w wyniku otrzymuje się 12 szeregów (12 odprowadzeń EKG) złożonych z cykli uśrednionych w liczbie równej N , gdzie:

$$N = N_C / L \quad (1)$$

Oznaczenia (dla jednego odprowadzenia):

N – liczba średnich cykli,

N_C – liczba wszystkich zarejestrowanych odstępów R-R,

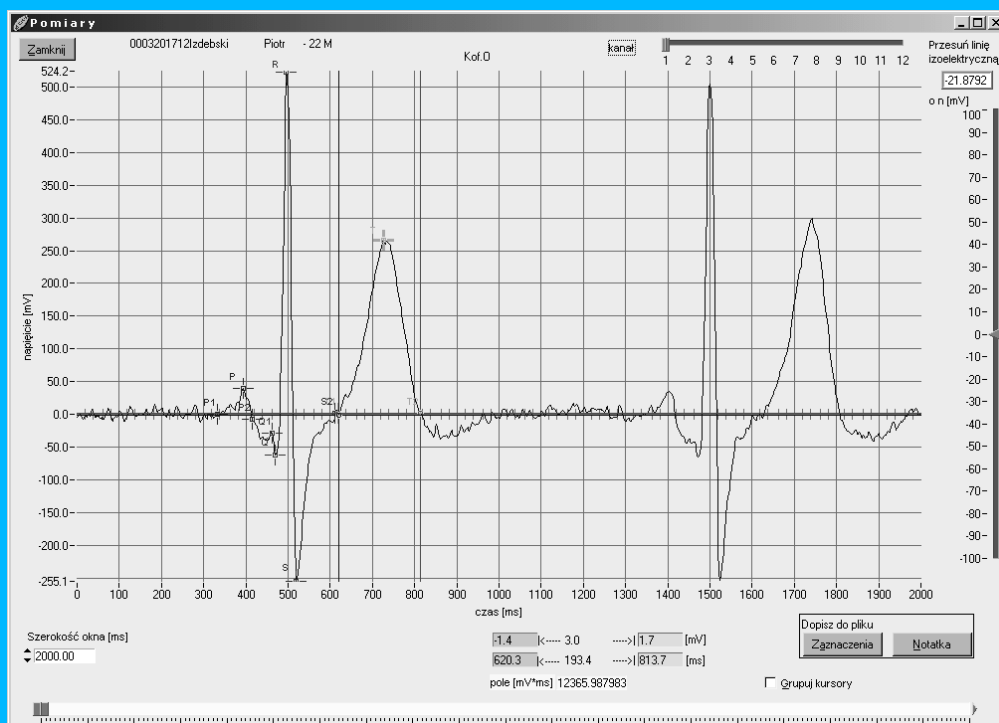
L – zadana liczba cykli użytych do obliczenia średniego.

Obliczenie cyklu średniego odbywa się w następujący sposób:

- 1) Selekcja pojedynczego cyklu.
Pojedynczy cykl identyfikowany jest jako fragment EKG zawarty pomiędzy szczytami dwu sąsiadujących załameków R. Przybliżone pozycje załameków R rejestrowane są automatycznie przez elektrokardiograf. Program wyszukuje szczyty załameków w otoczeniu pozycji zarejestrowanych.
- 2) Standaryzacja długości szeregu czasowego opisującego pojedynczy cykl
Zapisy próbkowane są z częstością 500 Hz. Średnia długość cyklu wynosi ok. 400 próbek. Pojedyncze cykle interpolowane są do długości 512 punktów. Czas trwania cyklu jest zachowywany.
- 3) Obliczenie wartości średnich
Wektory zawierające pojedyncze cykle o standaryzowanej długości są sumowane, a następnie wartości wynikowego wektora są dzielone przez liczbę zsumowanych cykli.

3.2. Pomiary EKG

Program M_EKG umożliwia dokonywanie szczegółowych pomiarów zapisów badań, uśrednionych cykli oraz rytmu. Rys. 3 przedstawia przykładowe okno pomiarów. Na formularzu pomiarów znajduje się pięć kursorów, które wykorzystywane są do dokładnych pomiarów geometrii zapisu, w szczególności amplitud, interwałów oraz pola zawartego między krzywą EKG i linią izoelektryczną.

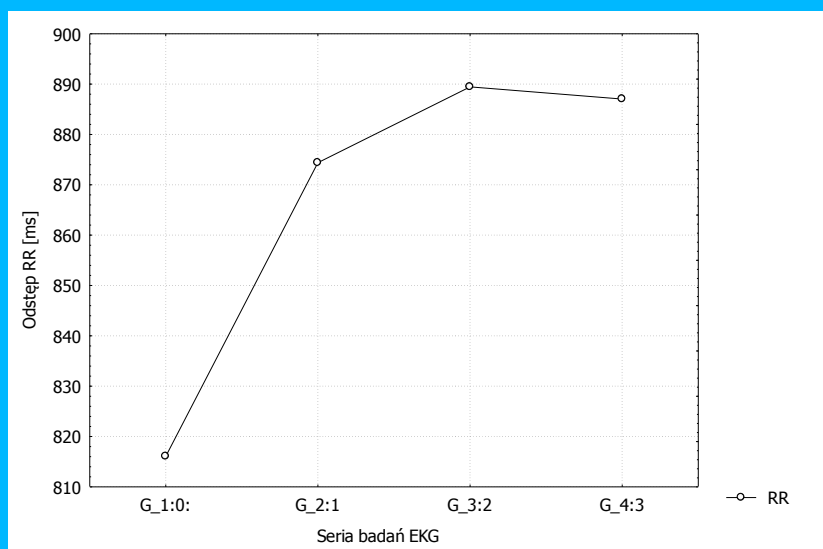


Rys. 3 Formularz pomiarów cykli EKG

Bieżące pozycje kursorów podawane są w polach liczbowych oznaczonych odpowiednio kolorami, umieszczonych poniżej wykresu. Prezentowane są również interwał, różnica amplitud oraz pole zawarte pod fragmentem krzywej.

4. PRZYKŁADOWE WYNIKI

System wykorzystywany jest m.in. w badaniach wpływu różnych czynników (np. kofeina, jednorazowe krwiodawstwo) na pracę serca osób zdrowych oraz możliwości automatycznego diagnozowania stanu pacjentów z chorobą niedokrwienną serca.



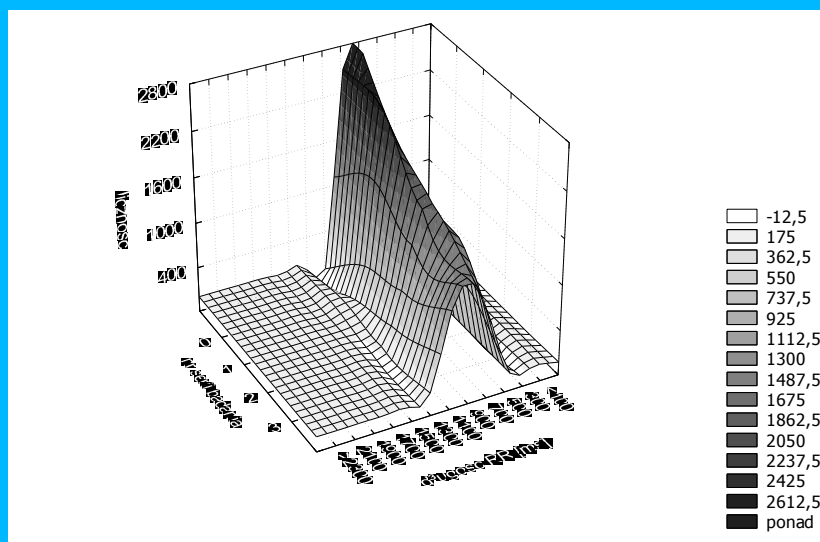
Rys. 4 Średnie odstępy RR w seriach pomiarów po podaniu kofeiny

Wpływ kofeiny na pracę serca młodych ludzi analizowano na podstawie wyników EKG, rejestrowanych przed podaniem dawki kofeiny oraz w określonych odstępach czasu po jej podaniu.

Rys. 4 przedstawia średnie okresy pojedynczych cykli pracy serca w kolejnych seriach badań EKG (jedno badanie przed podaniem dawki kofeiny, 3 badania po podaniu).

Na rys. 5 przedstawiono powierzchnię dopasowaną do rozkładów szeregów odstępow RR zarejestrowanych w 4 seriach badań w czasie działania kofeiny.

W tabeli 1 zaprezentowano wyniki oceny zmiany rytmu serca powodowane jednorazowym oddaniem krwi. Wpływ intensywności krwiodawstwa na pracę serca jest dyskutowany głównie w związku z przedoperacyjnym magazynowaniem krwi pacjenta.



Rys. 5 Rozkłady odstępu RR w kolejnych seriach badań w trakcie działania kofeiny

Tabela 1: Zmiana długości odstępu R-R w efekcie pobrania krwi u 16 osób

Osoba	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
ΔRR [%]	38,50	20,73	4,66	0,40	11,13	3,53	14,53	13,36	3,16	11,00	17,88	-3,26	7,33	-13,57

5. PODSUMOWANIE

Opracowanie przestrzeni cech, czyli wybór zmiennych do modelu rozpoznawania, jest jednym z najważniejszych elementów związanych z opracowywaniem systemu diagnozowania.

Podstawą tego przedsięwzięcia jest pomiar charakterystycznych wielkości opisujących sygnał EKG. Ze względu na ilość i złożoność wykonywanych pomiarów należy wykonywać je w sposób zautomatyzowany. W tym celu opracowany został program komputerowy M_EKG, który to zadanie wypełnia.

Na rynku znajduje się wiele urządzeń pozwalających uzyskiwać zapisy EKG przetworzone w różnorodny sposób. Istotny jest jednak ich dalszy rozwój umożliwiający przetwarzanie ilościowe danych. Zadanie takie spełnia przedstawione rozwiązanie.

6. LITERATURA

- [1]Pod red. Piotrowicz R.: *Zmienność rytmu serca*. Wydawnictwo Medyczne Via Medica, Gdańsk 1995
- [2]Płaska S., Stążka E. Wolszczak P.: *Komputerowe wspomaganie procesu diagnozowania choroby wieńcowej serca*. Forum Kardiologów, 2000/1, s. 19-23, Via Medica, Gdańsk
- [3]Bourlas P.: *A knowledge acquisition and management system for ECG diagnosis*. Warsztaty: Machine Learning in Medical Applications, Advance Course in Artificial Intelligence-ACAI99, s. 30-36, <http://www.CiteSeer.com>, Grecja 1999,
- [4]Magoulas G.: *Machine learning in medical applications*. Lecture Notes in Computer Science vol. 2049, <http://www.CiteSeer.com> , 2001
- [5]Wang F.: *Learning structural knowledge from the ECG*. Artificial Intelligence Planning Systems, s. 335-340, <http://www.CiteSeer.com>, 1994
- [6]Pitzalis M.V.: *Short- and long-term reproducibility of time and frequency domain heart rate variability measurement in normal subjects*. Cardiovascular Research 1996 32(2), s. 226-233
- [7]Fagard R.: *Power spectral analysis of heart rate variability by autogressive modelling and fast Fourier transform: a comparative study*. Acta Cardiologica, 1998, 53(4), s.211-218
- [8]Kellner B.: *Computerized classification of corpus cavernosum electromyogram signals by the use of discriminant analysis and artificial neural networks to support diagnosis of erectile dysfunction*. Urological Research, 2000, 28(1), s. 6-13

ECG SIGNAL DIAGNOSIS CHARACTER SPACE GENERATING

ABSTRACT

In this paper system for reading of ECG specific points is presented. Space of features is generated from these points. Segments, distances and areas makes the features space. The system is used for automation of heart states diagnosis. Text includes sample results.

¹ prof. dr hab. inż. Stanisław Płaska, Katedra Automatykacji Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, automat@lctt.pol.lublin.pl

² dr med. Elżbieta Stążka, Katedra i Klinika Kardiologii Akademii Medycznej w Lublinie, ul. Jaczewskiego 8, 20-954 Lublin, estazka@poczta.onet.pl

³ mgr inż. Piotr Wolszczak, Katedra Automatykacji Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, pwolszczak@lctt.pol.lublin.pl