

Katedra Biosensorów i Przetwarzania Sygnałów Biomedycznych

Wydział Inżynierii Biomedycznej

POLITECHNIKA ŚLĄSKA



Metody Inteligencji Obliczeniowej

Projekt

Projekt systemu uwierzytelnienia biometrycznego opartego o elektryczną aktywność serca

Kamil Suchanek, Edyta Piecuch

Kierunek studiów: *Inżynieria Biomedyczna*

Specjalność: *Przetwarzanie i Analiza Informacji Biomedycznej*

Prowadzący projekt: Mgr inż. Konrad Duraj

ZABRZE – 2020

Spis treści

Cel i założenia	3
Wprowadzenie do biometrii EKG	4
Przestrzenie cech	5
Klasyfikatory w biometrii EKG	6
Przetwarzanie wstępne	7
Przykładowe rozwiązanie	7
Rozwiązanie własne	9
Ekstrakcja danych biometrycznych	11
Segmentacja sygnału	11
Projekt systemu biometrii EKG	12
Projekt sieci neuronowej	12
Przebieg uczenia i skuteczność rozwiązania	13
Podsumowanie	15

1. Cel i założenia

Celem projektu jest zaprojektowanie elementu systemu uwierzytelnienia biometrycznego opiewającego o identyfikację na podstawie zarejestrowanej krzywej EKG.

W ramach projektu zakłada się wykonanie następujących zadań:

- ★ wykstrahowanie danych biometrycznych z przebiegów czasowych EKG,

Zakłada się zaprojektowanie metody ekstrakcji danych wrażliwych na podstawie wybranych publikacji i opracowań oraz inwencji własnej.

- ★ wybranie metody klasyfikacji danych,

Zakłada się dobór metody inteligencji obliczeniowej pozwalającej na sprawną klasyfikację przynależności badanego przebiegu EKG.

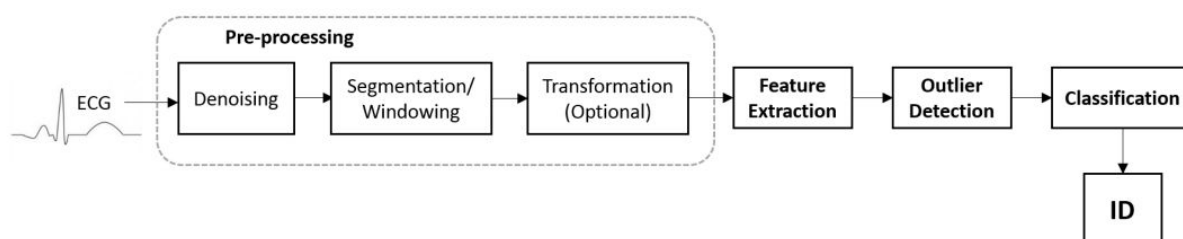
- ★ przetestowanie rozwiązania i ocena skuteczności identyfikacji.

Zakłada się zastosowanie zaprojektowanego rozwiązania i ocenę jego skuteczności zgodnie z ogólnie przyjętymi metodami oraz ewentualną próbę poprawy jakości uzyskanych wyników.

2. Wprowadzenie do biometrii EKG

Metodyka podejścia biometrycznego do sygnału EKG rodzi wyzwania z zakresu akwizycji sygnału, w tym technik generowania odprowadzeń i przetwarzania sygnału w celu niwelowania zakłóceń.

Wyelestrahowanie danych wrażliwych opiewa o dość czasochłonną analizę danych w stosunku do innych metod biometrycznych. Za cel uznaje się stworzenie algorytmów minimalizujących czas akwizycji sygnału potrzebny do wyodrębnienia wystarczająco dystynktywnych informacji [1].



Rys. 1. - Schemat systemu biometrii EKG [1].

Ogólnie system do biometrycznego uwierzytelnienia można podzielić na rejestrację sygnału i klasyfikację. Może on zostać zrealizowany jako poświadczenie, gdy osoba poddawana weryfikacji musi dowieść, że została zarejestrowana/zatwierdzona wcześniej i posiada własny identyfikator. Inną opcją jest identyfikacja, gdy dane pozyskane podczas procesu weryfikacji porównuje się z całą bazą danych zatwierdzonych użytkowników - to podejście jest bardziej podatne na błędy [1].

W celu utworzenia systemu należy zaprojektować kilka etapów obróbki danych (Rys. 1.). Rejestrowany sygnał podlega filtracji, w celu odsumowania oraz wykluczenia innych czynników nie będących składowymi pożądanego sygnału kosztem jak najmniejszej utraty informacji poświadczanych. Następnie sygnał podlega segmentacji - dzieli się go, rozdzielając poszczególne rejestrowane rezultaty cyklicznej pracy serca. Inną metodą przygotowania elementów reprezentatywnych sygnału jest okienkowanie, które również polega na podziale przebiegu czasowego, jednak na innych zasadach niż w przypadku segmentacji. Następujące transformacje na uzyskanych elementach będą miały istotny wpływ na rodzaj i jakość wyodrębnionych

cech, a co za tym idzie skuteczność systemu biometrycznego. Pozyskane zestawy danych należy przeanalizować w celu określenia właściwości oraz wykluczenia uszkodzonych /odstających segmentów. Pozostawione reprezentatywne szablony powinny być jak najbardziej zbliżone do siebie w grupach zebranych od jednej osoby oraz jak najbardziej różne pomiędzy zebranymi od różnych osób. Na etapie klasyfikacji należy ocenić wyodrębnione właściwości i porównać z posiadanymi informacjami [1].

2.1. Przestrzenie cech

Generowane przestrzenie cech zazwyczaj oparte są na cyklach pracy serca. Można je również uzyskiwać poprzez porównywanie cech uzyskanych z dwóch cykli EKG [1].

Można rozróżnić trzy rodzaje ekstrahowanych cech i towarzyszących im metod:

★ Punkty charakterystyczne/odniesienia i relacje pomiędzy nimi:

Metody oparte o charakterystyczne punkty bicia serca oraz relacje między nimi stanowią podstawę ekstrakcji cech z EKG. Charakterystyczny punkt może stanowić szczyt załamka R, a relacją między punktami może być czas trwania zespołu QRS [1, 2].

★ Cechy nieoparte o punkty charakterystyczne:

Pomimo faktu, iż większość z takich cech są w pewien sposób pochodne punktom charakterystycznym to metody zaliczone do tej kategorii po prostu tworzą okna zapisu EKG. Następnie owe okna są przekształcane w inną domenę, w celu wydobywania znaczących informacji. Punkty charakterystyczne mogą tutaj zostać wykorzystane do wykluczenia segmentów odstających [1, 2].

★ Podejście hybrydowe:

Metody i wykorzystywane cechy są dowolnie mieszane. Można wykorzystywać kombinację punktów charakterystycznych i pozostałych jako przestrzeń cech oraz dzieląc proces klasyfikacji na dwa kolejne, gdzie w pierwszym etapie zmniejsza się zestaw możliwych dopasowań wykorzystując cechy pochodne oraz dokonuje klasyfikacji za pomocą cech odniesienia [1].

Techniki stosujące punkty referencyjne są często prostsze, bardziej bezpośrednio, zrozumiałe oraz ogólnie skuteczne. Z drugiej strony są one wrażliwe na zmienność wewnątrzosobniczą i zmienne tętno (rytm serca pacjenta może różnić się po upływie określonego czasu, np.: na skutek zmiany stylu życia) [1]. Prawdopodobnie, opieranie klasyfikacji tylko na punktach charakterystycznych nie będzie sprzyjało skróceniu czasu potrzebnego do wiarygodnego uwierzytelnienia. Dodatkowa

złożoność rozwiązań dla cech pochodnych pozwala uniezależnić klasyfikację od wspomnianych rozbieżności, ostatecznie stosowane metody są często mieszane.

2.2. Klasyfikatory w biometrii EKG

Przykładem konkretnej metody jest podzielenie EKG na nie nakładające się okna i obliczenie ich autokorelacji. Następnie analiza liniowo-dyskryminacyjna zmniejsza rozmiar przestrzeni cech, a okna są klasyfikowane zgodnie z klasyfikatorem kNN na podstawie odległości euklidesowej [1, 2, 3].

W systemach biometrii EKG stosuje się przykładowo następujące klasyfikatory:

- ★ Klasyfikatory oparte o najbliższych sąsiadów w tym m.in.:
 - kNN (ang. k nearest neighbours) - K najbliższych sąsiadów,
 - klasyfikator najbliższego centroidu.
- ★ Maszyny wektorów wspierających,
- ★ Sztuczne sieci neuronowe.

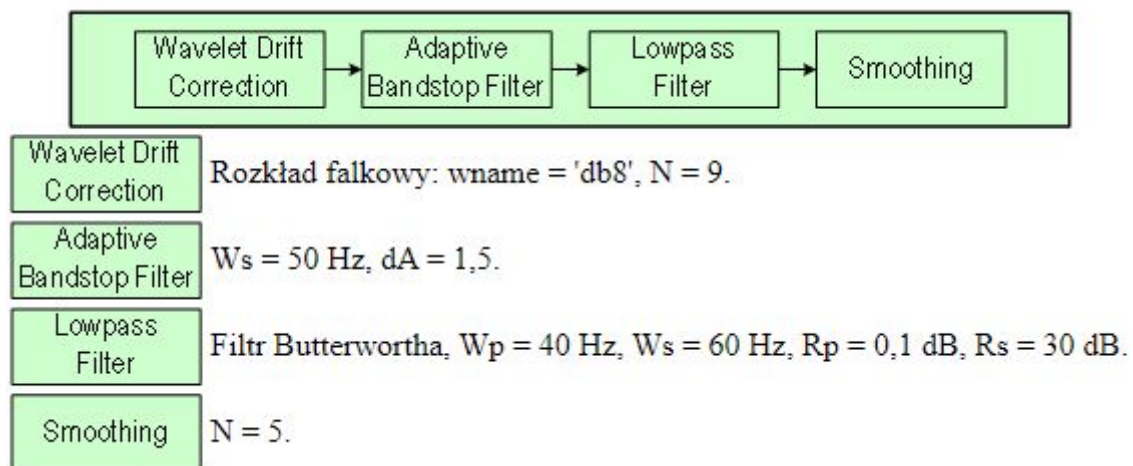
Ilość metod jest w rzeczywistości bardzo duża i zależy od indywidualnego podejścia do generowania danych wrażliwych, służących klasyfikacji oraz wiedzy i doświadczenia naukowca.

3. Przetwarzanie wstępne

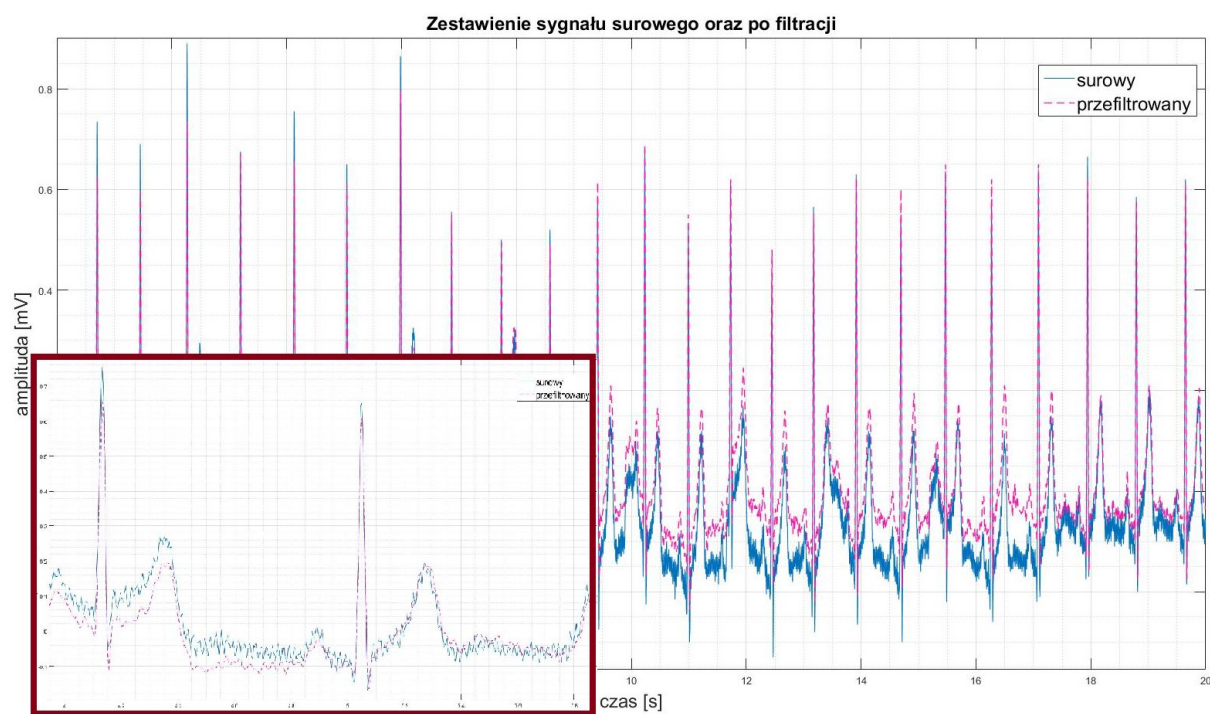
W celu efektywnego przetwarzania sygnału w celu ekstrakcji danych wrażliwych należy przeprowadzić przetwarzanie wstępne sygnału aby wykluczyć większość towarzyszących mu zakłóceń.

3.1. Przykładowe rozwiązanie

Filtracja zastosowana w publikacji wycina zakłócenia mięśniowe oraz w większości dryft izolinii. Zastosowano filtrację z pomocą falek, filtracji adaptacyjnej, dolnoprzepustowego filtra Butterwortha oraz wygładzania (Rys. 2.). Zestawienie wizualne wyników tego podejścia umieszczono na rysunku nr 3.



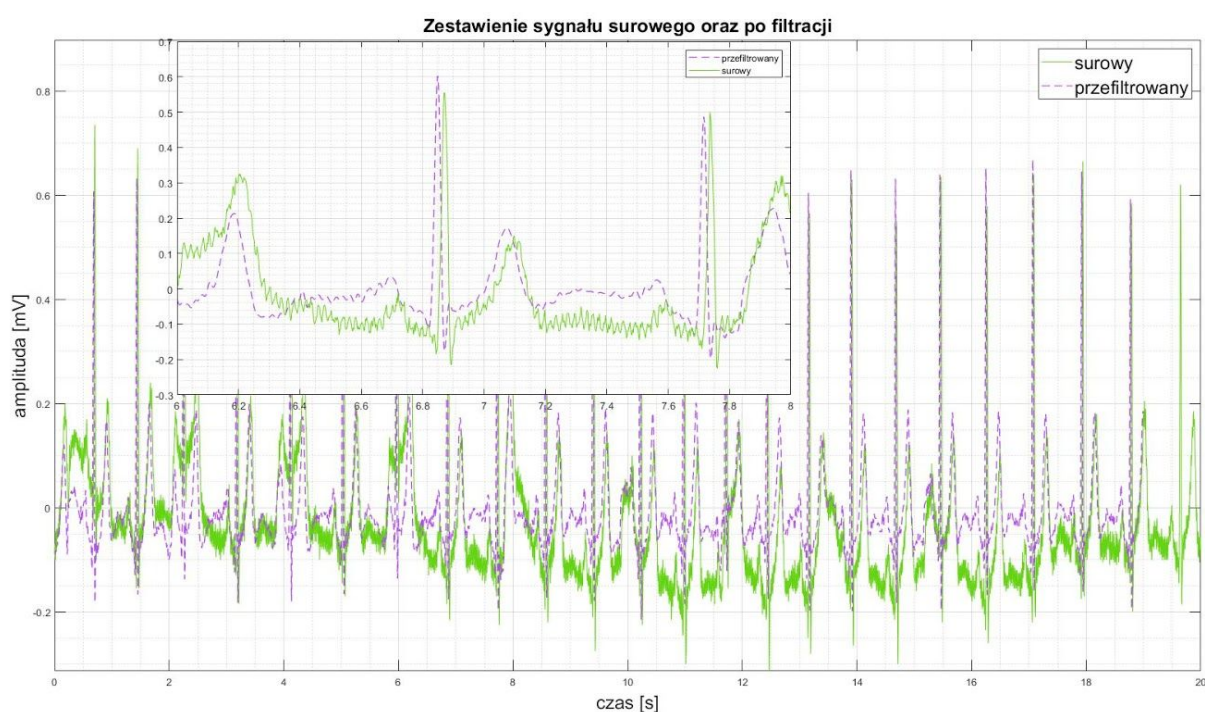
Rys. 2. - Proces przetwarzania wstępnego zaprojektowanego przez Tatianę S. Lugovaya [4].



Rys. 3. - Zestawienie sygnału surowego i przefiltrowanego przez autorów zasobu danych w serwisie PhysioNet. (opracowane na podstawie danych z [4])

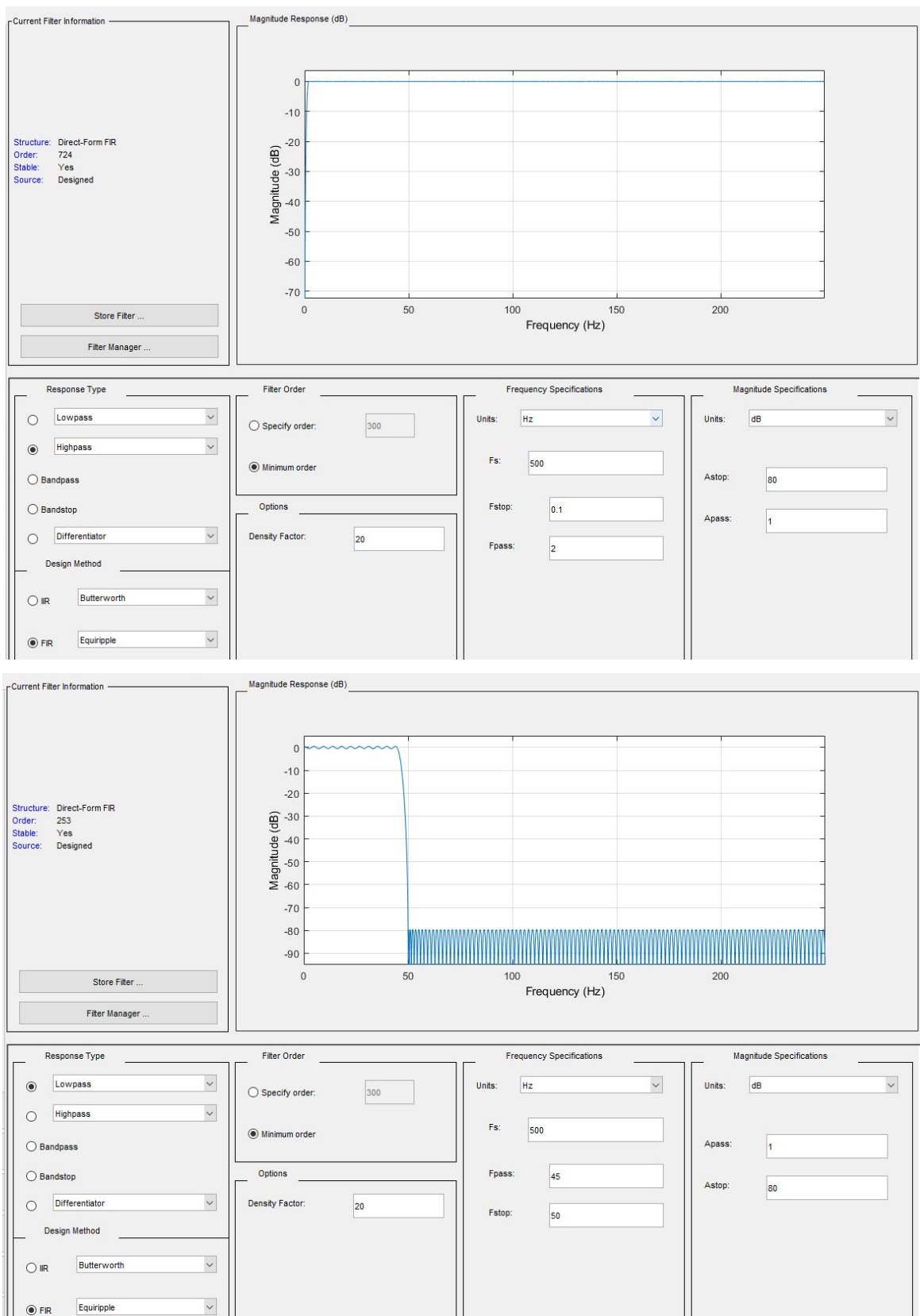
3.2. Rozwiązanie własne

W celu realizacji filtracji zaprojektowano oddzielnie filtry typu FIR, górno- i dolnoprzepustowy o charakterystykach widocznych na rysunku nr 5. Sugerując się literaturą [1] oraz własnym doświadczeniem, empirycznie wybrano częstotliwości odcięcia 2 i 50 Hz, dla odpowiednio filtru górno- i dolnoprzepustowego. Zestawienie dla zaprojektowanego rozwiązania przedstawiono na rysunku nr 4.



Rys. 4. - Zestawienie przebiegu surowego oraz po procesie filtracji w środowisku Matlab.

Dryft izolinii został widocznie wyeliminowany razem z zakłóceniami mięśniowymi. Występujące przesunięcie w fazie zostało w większości wycięte w celu prezentacji wyniku filtracji.



Rys. 5. Okna narzędzia Fdatool w środowisku Matlab z charakterystykami zaprojektowanych filtrów oraz ich nastawami.

4. Ekstrakcja danych biometrycznych

Wydobycie danych służących do uczenia i klasyfikacji jest kluczowym etapem mającym istotny wpływ na skuteczność projektowanego systemu biometrycznego.

4.1. Segmentacja sygnału

W celu ekstrakcji danych, należy w pewien sposób poukładać uzyskany przebieg czasowy poprzez podział na reprezentatywne elementy. Istnieją sposoby podziału zgodnie z punktami charakterystycznymi, np.: odcinki P-QRS-T, QRS, P-QRS [4], można również podzielić sygnał na kawałki o założonej z góry długości np.: 5 sekund [1, 2, 3]. Wzięte pod uwagę fragmenty mogą na siebie nachodzić lecz nie muszą.

Zastosowanie okienkowania ustalonego z góry umożliwi użycie funkcji autokorelacji w celu wydobywania cech. To metoda korzystna obliczeniowo, ponieważ nie wymaga detekcji punktów charakterystycznych. Skuteczność ich detekcji i zlokalizowania segmentów dokłada do systemu kolejny czynnik mogący wpłynąć negatywnie na skuteczność identyfikacji, ze względu na to, że nie będzie idealny. Z drugiej strony pobieranie wycinków o długości 5 sekund nie zważa na to, co dokładnie wytniemy, podejrzewamy że takie podejście wydłuży czas potrzebny do identyfikacji danej osoby. Istnieje wiele metod przekształcania przebiegów EKG na wektory cech, jak np.: transformata kosinusowa itd. [2, 3].

Zastosowanie sieci neuronowych stanowi wyjście mogące ułatwić ekstrakcję danych, pozostawiając ową algorytmowi przetwarzania danych zaprojektowanej sieci neuronowej, co nie wyklucza wstępnej obróbki danych EKG jak i ekstrakcji wedle własnego uznania.

5. Projekt systemu biometrii EKG

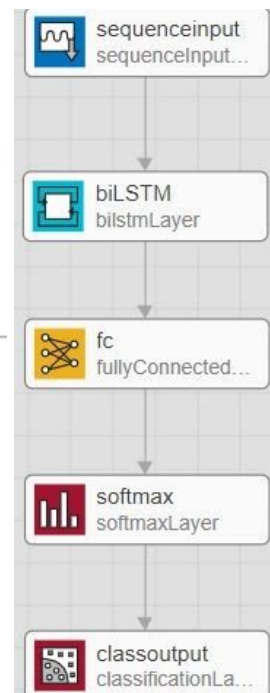
W ramach realizacji projektu zaproponowano sieć neuronową z warstwą typu LSTM. Dane zostaną podzielone na kawałki zawierające odcinki P-QRS-T zgodnie z [1]. Następnie odcinki te będą podawane na wejście zaprojektowanej sieci neuronowej. W celach testowych wykorzystano bazę danych zgromadzoną w ramach pracy Francisco A. [1].

5.1. Projekt sieci neuronowej

Zaprojektowana sieć składała się z kolejno:

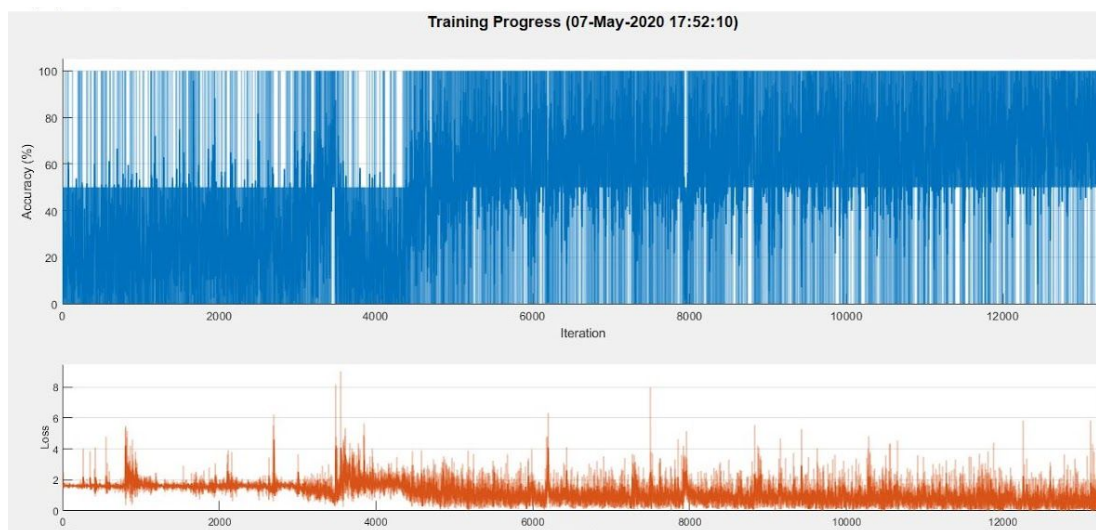
- ❖ warstwa wejściowa, przyjmująca sekwencje danych (dane 1D),
- ❖ warstwa biLSTM opiewającej o 100 pozycji przyjmowanej sekwencji danych,
- ❖ warstwa w pełni połączona o 5 neuronach (5 klas),
- ❖ warstwa z funkcją aktywacji softmax,
- ❖ warstwa klasyfikacyjna, wyjściowa.

```
layers = [ ...  
    sequenceInputLayer(1) % 1-D signal...  
    biLstmLayer(100,'OutputMode','last')  
    fullyConnectedLayer(5)  
    softmaxLayer  
    classificationLayer  
];  
  
%%  
options = trainingOptions('adam', ...  
    'MaxEpochs',10, ...  
    'MiniBatchSize', 2, ...  
    'InitialLearnRate', 0.01, ...  
    'SequenceLength', 251, ...  
    'GradientThreshold', 1, ...  
    'ExecutionEnvironment','gpu',...  
    'plots','training-progress', ...  
    'Verbose',true);
```

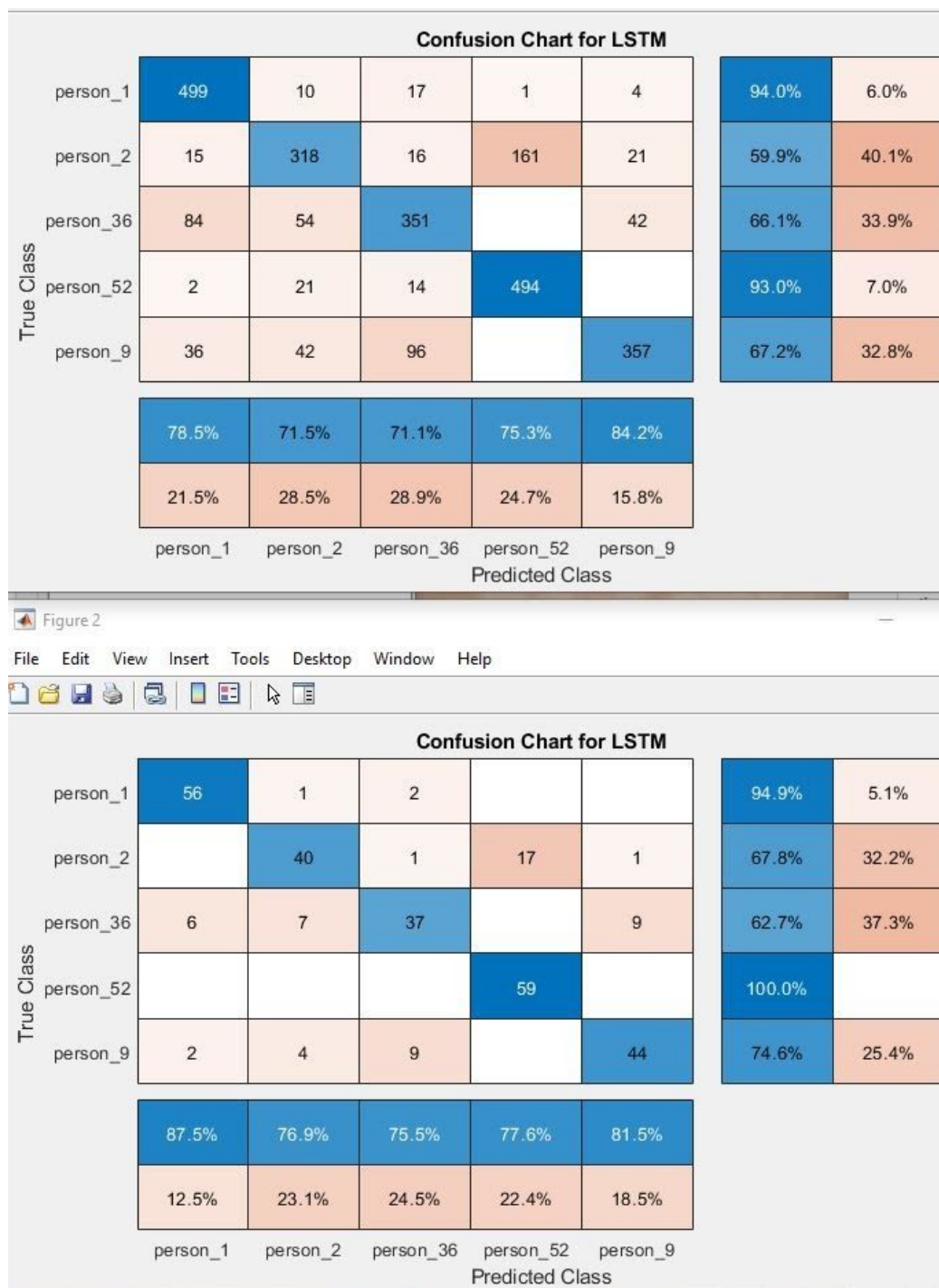


5.2. Przebieg uczenia i skuteczność rozwiązania

Proces uczenia się:



Macierze pomyłek odpowiednio dla procesu szkolenia oraz testowania:



6. Podsumowanie

Zaproponowano przykładowe rozwiązanie w postaci sieci neuronowej, zawierającej w swojej strukturze warstwę typu LSTM. Skuteczność wyszkolonego modelu jest dopuszczalna, oraz jest zależna od ewentualnego dalszego strojenia sieci. Możliwe jest również podawanie sygnału w trybie ciągłym, zamiast odpowiednio wysegmentowanych odcinków P-QRS-T.

Bibliografia

1. Francisco Armando David da Silva Marques, ECG Biometrics - A Dissimilarity Representation Approach, Thesis to obtain the Master of Science Degree in Electrical and Computer Engineering, Tecnico Lisboa, October 2014.
2. Mgr inż. Marcin Bugdol, Metoda multimodalnego wzmacniania kryptografii w aspekcie biometrii behawioralnej, Rozprawa doktorska, Politechnika Śląska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Gliwice 2011.
3. Dr inż. Marcin Bugdol, Instrukcja do laboratorium biometrii - Wykorzystanie sygnału EKG w biometrii, Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Katedra Informatyki i Aparatury Medycznej, Zabrze 2015.
4. Lugovaya T.S. Biometric human identification based on electrocardiogram. [Master's thesis] Faculty of Computing Technologies and Informatics, Electrotechnical University "LETI", Saint-Petersburg, Russian Federation; June 2005. [Cytowanie dla wykorzystanych podczas projektu danych]