

System pomiarowy do rejestracji drze parkinsonowskich

Streszczenie. W pracy zaprezentowano system pomiarowy umoliwiajy dokładny i powtarzalny pomiar drze parkinsonowskich kończyn gornych. Prawidłowe rozpoznanie choroby Parkinsona jest kluczowe dla wyboru właściwego sposobu leczenia pacjenta. Niestety wikszo klinicznych kryteriów diagnostycznych wymaga szczegolowej historii choroby oraz dugiego czasu obserwacji pacjenta. Dostepne obecnie specjalistyczne metody bada, s oc rogie i nie nadajce si do powszechnego zastosowania. Zaproponowane rozwiazanie, oparte na trosiowym czujniku przypieszenia moe zapewni stosunkowo szybki i dokadn diagnoz.

Abstract. In this paper, the authors present the hand tremor measurement system. The correct diagnosis of Parkinson's disease is crucial for the selection of proper treatment and future prognosis. Unfortunately most of clinical diagnostic criteria require a detailed patient history and long observation time. There are also available specialist survey methods, but they are quite expensive and not suitable for general diagnosis. The proposed solution is to use acceleration sensor can provide possibly fast and accurate diagnosis. (**Parkinson hand tremors measurement system**).

Sowa kluczowe: choroba Parkinsona, drzenia doni, pomiar przypieszenia, czujnik przypieszenia .

Keywords: Parkinson's disease, hand tremor, measurement of acceleration, acceleration sensor.

doi:10.12915/pe.2014.05.30

Wstp

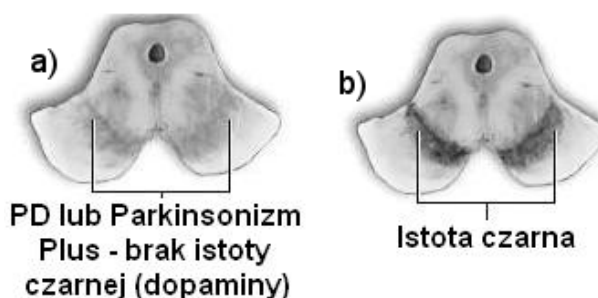
Szacuje się, że obecnie z powodu choroby Parkinsona (PD – *Parkinson's disease*) na świecie cierpi ponad 6,3 miliona osób [1], a w związku ze starzejącymi si społeczeństwami krajów rozwiniętych liczba ta ciągle rośnie powodują ogromne obciazenie dla systemów opieki zdrowotnej. Do końca ubieglego roku Państwa Wspolnoty Europejskiej wydały na diagnoz i leczenie chorób neurodegeneracyjnych (w tym choroby Parkinsona) ponad 770 miliardów euro [2]. PD jest nieuleczalną, postępującą chorob ukladu nerwowego człowieka o nieznaną etiologii. Zazwyczaj rozwój choroby jest powolny niemniej powoduje szereg objawów neurologicznych takich jak drzenia kończyn i głowy, sztywno misni, zaburzenia rownowagi oraz wiele innych objawów neurologicznych. Objawy te powodują powolną utrat samodzielności chorego, a wiadomo braku skutecznej terapii stanowi ogromne obciazenie psychiczne dla osoby chorej i jej najbliższego otoczenia [3].

Wczesne rozpoznanie PD jest szczegolnie istotne, ponieważ pozwala na dobranie skutecznej metody leczenia mogącej spowolni przebieg choroby, a także łagodzi jej objawy. Pomimo dostepnoi bardzo zaawansowanych narzędzi diagnostycznych (PET – Pozytronowa tomografia emisyjna, SPECT - Tomografia emisyjna pojedynczych fotonów, MRI – Magnetyczny rezonans jadrowy) rozpoznanie choroby jest długotrwałe i wymaga od lekarza sporego doświadczenia. Jednym z glwnych kryteriów diagnostycznych wskazywanych przez wytyczne *UK Parkinson's Disease Society Brain Bank Criteria* jest obecno drzenia spoczynkowego o czestotliwoi 4-6 Hz. Obecno drzenia jest także jednym z najczeszych objawów PD [4]. Niestety pomimo, że drzenie Parkinsonowskie zostało oc dobrze scharakteryzowane przez badaczy często nie wykorzystuje się jego potencjału diagnostycznego.

Choroba Parkinsona

Choroba Parkinsona należy do grupy chorób neurodegeneracyjnych co oznacza, że w jej przebiegu dochodzi do degeneracji neuronów. Najczeiej obszarem degeneracji są regiony istoty czarnej oraz innych obszarów barwnikononych mozgu (Rys.1). Istota czarna jest bardzo waznym elementem ukladu pozapiramidowego odpowiedzialnego między innymi za utrzymanie odpowiedniej sylwetki ciała, rownowag, powstawanie ruchów mimowolnych i wiele innych. Utrata neuronów istoty

czarnej prowadzi do obnizonej produkcji neuroprzekaźnika dopaminy, co z kolei skutkuje jej niedoborem w prazkowiu. Brak tej rownowagi prowadzi ostatecznie do powstania widocznych objawów neurologicznych. Diagnostyka PD prowadzona jest glwnie na podstawie szczegolowego wywiadu, w którym chory przedstawia historiq choroby oraz wszystkie objawy. Z tego względu okres pomiędzy wystąpieniem pierwszych objawów, a postawieniem podejrzenia diagnozy jest stosunkowo długi.

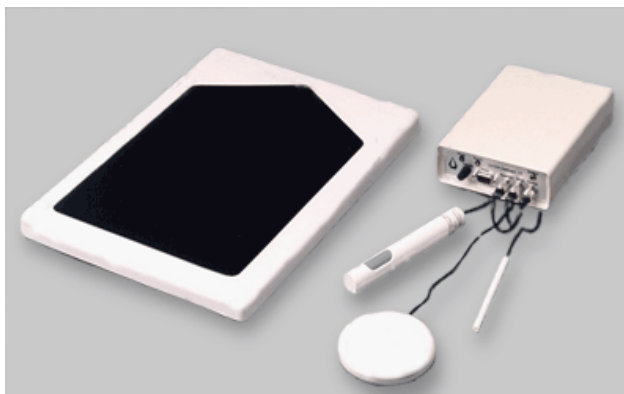


Rys.1. Porównanie obrazów MRI mozgu osoby a) chorej na PD i b) zdrowej

Niestety ze względu na degeneracyjny charakter choroby uszkodzenia zaistniały w czasie pomiędzy wystąpieniem pierwszych objawów, a poprawną diagnoz powodują nieodwracalne zmiany w mozgu chorego.

Dostepne rozwiazania

System obiektywnej oceny drze patologicznych dla pacjentów cierpiących na Chorob Parkinsona to nowy temat w dziedzinie rozwoju aparatury medycznej, dlatego wikszo opisywanych dzis rozwiaza to projekty uniwersyteckie, często będące jeszcze w fazie badań. Największe z nich to system CATSYS [5] (Rys.2) rozwijany wspolnie przez Uniwersytety: Miami Miller School of Medicine, Stanford University School of Medicine, University of Miami przy wspolpracy z Sierra-Pacific Mental Illness Research, Education, and Clinical Center w Stanach Zjednoczonych oraz projekt NeuroTREMOR rozwijany przez: Consejo Superior de Investigaciones Cientficas, University of Maribor, Universitaetsmedizin Goettingen, Fraunhofer, Sermas, ssur hf oraz Columbia University jako wspolpraca międzynarodowa Hiszpanii, Słowenii, Niemiec, Islandii i Stanów Zjednoczonych.



Rys.2. System CATSYS

Najpopularniejszy obecnie system komercyjny to Kinesia w wersjach HomeView oraz ProView) amerykańskiej firmy Great Lakes Neurotechnologies [6].

Każde ze wspomnianych rozwiązań różni się docelowym zastosowaniem (badania poznawcze, diagnostyka szpitalna, system telemedyczny) oraz metodami akwizycji sygnałów. Najbardziej skomplikowane systemy korzystają jednocześnie z EEG (badanie bioelektrycznej czynności mózgu), EMG (diagnostyka czynności elektrycznej mięśni i nerwów obwodowych), MEG (obrazowanie elektrycznej czynności mózgu za pomocą rejestracji pola magnetycznego wytworzonego przez mózg), akcelerometrów oraz żyroskopów. Mimo to, najbardziej uznany dziś system Kinesia ProView opiera się jedynie na pierścinkowym sensorze z akcelerometrem i żyroskopem, a kluczem jego sukcesu jest prostota użytkowania i rozbudowane oprogramowanie telemedyczne. Aplikacja systemu Kinesia do użytku domowego wymaga od badanego pacjenta wykonywania konkretnych czynności i na ich podstawie określany jest stopień zaawansowania choroby, lub postępy w leczeniu. Okazuje się zatem, iż postawienie nacisku na zaawansowane oprogramowanie pozwala na uzyskanie zadowalających wyników automatycznej analizy diagnostycznej bez używania skomplikowanych systemów akwizycji danych.

System pomiarowy drżeń parkinsonowskich

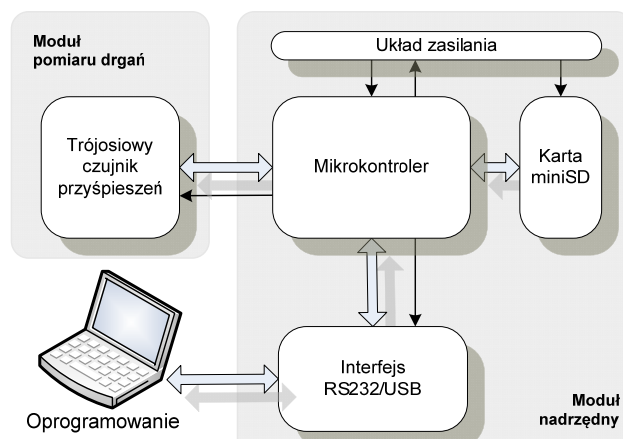
Głównym celem budowy systemu było zbudowanie kompletnego prostego i stosunkowo taniego urządzenia przeznaczonego do przeprowadzenia dokładnego i powtarzalnego badania drżeń patologicznych kończyny górnej spowodowanych chorobą Parkinsona lub pokrewnymi schorzeniami. Dane uzyskane w ten sposób mogą posłużyć do wspomagania diagnozy, kontroli leczenia i rozwoju wiedzy o PD. W skład systemu wchodzi specjalnie zaprojektowana część sprzętowa służąca do akwizycji danych pomiarowych oraz dedykowane oprogramowanie do wizualizacji, przetwarzania i archiwizacji zebranych danych.

Część sprzętowa systemu składa się z dwóch części: modułu pomiaru drgań oraz modułu nadrzędnego (Rys.3).

Moduł pomiaru drgań ma wymiary 18x35x12 mm. Jego głównym elementem jest układ ADXL345 firmy Analog Devices. Jest to trójosiowy czujnik przyspieszenia o dużej dokładności i niskim poborze energii. Odbiór danych z czujnika odbywa się za pomocą jednego z dwóch interfejsów komunikacyjnych (I^2C – *Inter-Integrated Circuit*, SPI – *Serial Peripheral Interface*). Dodatkowo przy pomocy powyższych interfejsów możliwa jest kontrola pracy i konfiguracja czujnika.

Czujnik umożliwia rejestrację sygnału z częstotliwością do 3200 Hz w trybie SPI oraz do 800 Hz w trybie I^2C . Wybór wyższej częstotliwości próbkowania w przypadku czujnika ADXL345 wiąże się jednak z większym poziomem szumów w sygnale pomiarowym oraz zwiększonym poborem mocy. W związku z tym częstotliwość próbkowania pracy systemu została ustalona na 200 Hz co umożliwia rejestrację wszystkich niezbędnych sygnałów przy niskim poziomie zakłuceń oraz niewielkim zużyciu energii. Kolejnym ważnym parametrem układu jest rozdzielczość pomiarowa. Układ ADXL345 umożliwia pomiar w czterech zakresach: ± 2 g, ± 4 g, ± 8 g, ± 16 g przy stałej czułości na poziomie 4 mg (g – przyspieszenie ziemskie równe 9.81 m/s^2). Jest to spowodowane zmienną rozdzielczością przetwornika ADC który w trybie "full resolution" [11] dostosowuje swoją rozdzielczość do zakresu pomiarowego. Dodatkowo ADXL345 umożliwia skonfigurowanie dwóch linii przerwań (INT1, INT2) mogących generować sygnały związane z pracą czujnika.

Moduł pomiaru drgań połączony jest z płytą modułu nadrzędnego za pomocą złącza z kluczem, który uniemożliwia odwrotne podłączenie.



Rys.3 Schemat blokowy systemu do rejestracji drżeń parkinsonowskich

Moduł nadrzędny ma wymiary 68x76x26mm. Moduł ten został zbudowany z wykorzystaniem ośmiobitowego kontrolera ATmega, który zarządza pracą całego systemu. W module nadrzędnym umieszczono kartę mikro SD, służącą do gromadzenia rejestrowanych sygnałów oraz interfejs szeregowy USB do komunikacji systemu z komputerem. System zasilany jest z zewnętrznego źródła poprzez interfejs USB lub z baterii umieszczonej na module nadrzędnym.

Po załączeniu zasilania mikrokontroler sprawdza łączność z poszczególnymi elementami systemu. Jeżeli zostanie wykryty brak łączności pomiędzy czujnikiem a modulem nadrzędnym, mikrokontroler sygnalizuje to zaświeceniem diody w kolorze czerwonym sprawdzając jednocześnie co 250 ms czy łączność jest już przywrócona. Braku podłączonego czujnika lub jego uszkodzenie moduł nadrzędny sygnalizuje w ten sam sposób.

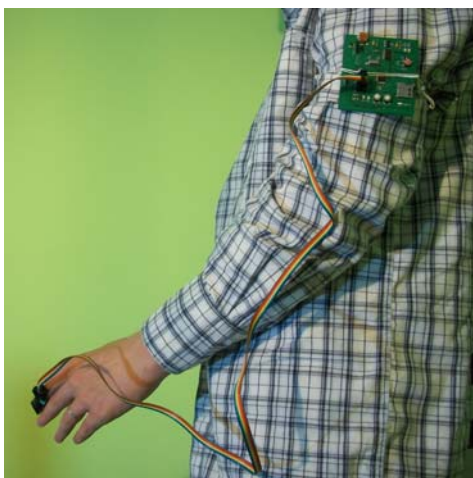
System umożliwia pracę w dwóch trybach pomiarowych: mobilnym - z zapisem danych na kartę SD oraz stacjonarnym - z obsługą systemu za pomocą dedykowanej aplikacji zainstalowanej na urządzeniu zewnętrznym.

Wykonanie pomiaru w trybie mobilnym

W przypadku pomiaru w trybie mobilnym, konfiguracja systemu odbywa się za pomocą komputera zewnętrznego i dowolnego oprogramowania do obsługi terminalu. Obsługa

polega na przyciskaniu odpowiednich klawiszy wskazanych w menu wysyłanym przez terminal i stosowaniu się do wyświetlanych instrukcji.

Po przeprowadzeniu konfiguracji wprowadzana jest nazwa (numer) pacjenta, co skutkuje utworzeniem na karcie SD dedykowanego folderu, a w nim pliku z wybraną nazwą. Potwierdzenie przejścia w tryb mobilny z zapisem na kartę SD sygnalizowane jest za pomocą diody migającej w kolorze żółtym. Następnie urządzenie zewnętrzne odłącza się, a system pracuje na zasilaniu bateryjnym zapisując rejestrowane sygnały na karcie SD. Procedurę pomiaru aktywuje się poprzez wciśnięcie dedykowanego przycisku (START). Poprawny zapis na kartę SD jest potwierdzany zaświeceniem diody. W przypadku błędu np. złym styku karty, niepoprawnym skonfigurowaniu pomiaru dioda sygnalizuje ten stan światłem ciągłym. Podczas badania możliwe jest dodanie kolejnych plików z pomiarami. Kolejne pliki umieszczane są w tym samym katalogu co pierwotny pomiar. Każde dodanie kolejnego pliku jest potwierdzane półsekundowym zaświeceniem diody.



Rys.4 Rozmieszczenie elementów systemu na ciele badanego w trakcie pomiaru w trybie mobilnym

Zakończenia pomiaru dokonuje się dedykowanym przyciskiem STOP. Czas pracy na zasilaniu bateryjnym jest niestety trudny do dokładnego oszacowania. Rozmiar pliku zawierając godzinną rejestrację danych wynosi 27 MB, co przy pojemności karty pamięci 4 GB pozwala na przeprowadzenie sześciogodzinnego pomiaru. Pomiar taki byłby możliwy przy zastosowaniu zewnętrznego źródła zasilania o dużej pojemności. np. zewnętrznych akumulatorów USB. Rozmieszczenie elementów systemu na ciele badanego w trakcie pomiaru w trybie mobilnym, przedstawiono na rysunku 4.

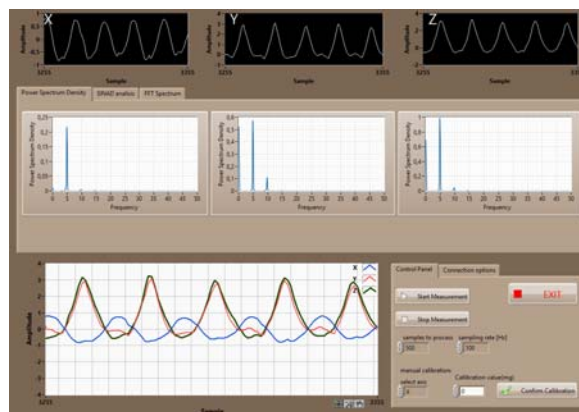
Praca w trybie stacjonarnym

W trybie stacjonarnym dane uzyskane podczas badania są wizualizowane w czasie rzeczywistym na ekranie komputera podłączonego do systemu poprzez port USB. Dzięki tej funkcji osoba prowadząca badanie może stwierdzić jak zachowanie badanego, jest reprezentowane w danych pomiarowych.

Do obsługi systemu w trybie pomiaru stacjonarnego wykorzystano dedykowane oprogramowanie napisane w języku graficznym LabView. Oprogramowanie składa się z trzech głównych aplikacji. Są one zaprojektowane tak, aby każda dostosowana była do sprzętu, na jakim pracuje i oferowała maksimum użyteczności dla obsługujących je osób, przy jednoczesnym zapewnieniu, że wszystkie części będą ze sobą współpracowały. Całe oprogramowanie jest w

pełni skalowalne, co znaczy, że może być bardzo szybko przekonfigurowane do współpracy z nowym sprzętem, lub zaktualizowane oferując nowe funkcjonalności.

Pierwsza z aplikacji (Rys.5) służy do wizualizacji pomiaru w czasie rzeczywistym. Uruchamiana jest w celu przeprowadzenia badania; steruje pracą części sprzętowej, na bieżąco wyświetla dane pomiarowe w postaci wykresów zależności przyspieszenia od czasu, na konkretnej osi. Ponadto umożliwia ona dokonanie kalibracji sprzętu, czy zmian podstawowych ustawień takich jak częstotliwość próbkowania sygnału. Dzięki zaimplementowanej podstawowej funkcjonalności przetwarzania, już podczas wykonywania badania można odczytać pierwsze informacje diagnostyczne mogące naprowadzić lekarza obserwującego chorego na właściwą diagnozę. Wszystkie pomiary rejestrowane i przetwarzane przez aplikację zapisywane są jako popularnie używane typy plików oraz archiwizowane z wykorzystaniem bazy danych SQL, co pozwala na importowanie ich do innego oprogramowania, jeżeli zaistnieje taka potrzeba. Takie rozwiązanie to odpowiedź na problemy ze standaryzacją, które często przytaczane są w najnowszych publikacjach dotyczących systemów analizy drzeń. [3].



Rys.5. Panel frontowy aplikacji do wizualizacji pomiaru drzeń

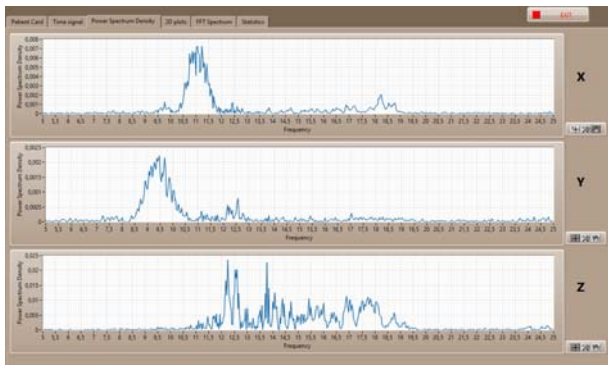
Druga aplikacja służy do przetworzenia, analizy i archiwizacji wcześniej zarejestrowanego sygnału. Jej działanie oparte jest na algorytmach cyfrowego przetwarzania sygnałów oraz metodach statystycznych i chemometrycznych [9] (Rys.6).

Time Frequency Analysis	Statistical Analysis	Feature Extraction
Power Spectrum Density	Mean and Median	Mean Instantaneous Frequency
2D plots	Deviation and Variance	Mean Instantaneous Bandwidth
FFT Spectrum	Skewness and Kurtosis	Group Delay
SINAD	Mode and RMS	Marginal Integration
STFT Spectrogram	Covariance	Denoise
Fast Gabor Spectrogram	Principal Component Analysis	Detrend
Adaptive Spectrogram	Independent Component Analysis	Multiscale Peak Detection
Wigner-Ville Distribution	Confidence Limits	Multiscale Ridge Detection
Choi-Williams Distribution	Whiteness Test	Multiscale Edge Detection
Cone-Shaped Distribution	Stationarity Test	Wavelet Denoise
Cohen's class Distribution	Entropy	Probability Density Function Est.

Rys.6. Lista dostępnych analiz sygnału

Przetwarzanie danych odbywa się automatycznie, lecz gdy wystąpi taka potrzeba, możliwe jest wprowadzenie modyfikacji lub ręcznej weryfikacji działania algorytmów. Gdy dane pomiarowe zostaną z powodzeniem przetworzone i zanalizowane, wysyłane są do bazy danych pacjentów i stają się natychmiast dostępne dla upoważnionego lekarza na jego osobistym komputerze. Umożliwia ona lekarzowi przeglądanie, interpretację i komentowanie wyników badania akcelerometrycznego wszystkich pacjentów z bazy danych oraz śledzenie historii zmian u konkretnego pacjenta, co pomaga w prawidłowym

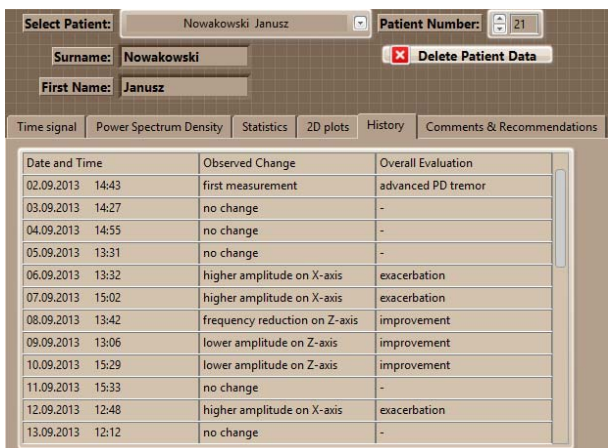
zaplanowaniu procesu leczenia. Główną zaletą tak zaprojektowanego systemu jest prostota jego obsługi, co pozwala na wykorzystywanie go w warunkach domowych i realizację nadzoru choroby w toku telemedycznym. Na rysunku 6 przedstawiono panel zawierający dostępne analizy sygnałów, natomiast na rysunku 7 przykładowy wynik analizy gęstości widmowej mocy.



Rys.7. Analiza PSD (Widmowa Gęstość Mocy)

Aplikacja do zarządzania Bazą Danych Pacjentów zbudowana została specjalnie z myślą o jej obsłudze przez lekarzy prowadzących leczenie osób chorych. Umożliwia ona lekarzowi przeglądanie Karty Pacjenta wraz ze wszystkimi pomiarami oraz wynikami przetwarzania sygnału, jak również udostępnia dodatkowe funkcje, takie jak obserwacja historii zmian objawowych, czy dodawanie komentarzy i zaleceń.

Uruchomienie aplikacji powoduje każdorazowo wywołanie okna obowiązkowego logowania się do systemu bazodanowego. Aby przejść do aplikacji należy podać nazwę użytkownika i hasło. Jeśli logowanie zakończy się powodzeniem, wyświetlony zostanie panel frontowy aplikacji (Rys.8).



Rys.8. Panel do zarządzania Bazą Danych Pacjentów z zakładką historii

W jego górnej części dostępne jest menu z rozwijaną listą pacjentów. Lista ta pobierana jest z Bazy Danych Pacjentów i aktualizuje się samoczynnie bez potrzeby ponownego uruchamiania programu. Pacjenci na liście wyświetlani są w kolejności alfabetycznej, dodatkowo każdemu choremu przypisywany jest numer identyfikacyjny. Po wyborze pacjenta z listy, wyświetlona zostanie jego Karta Pacjenta oraz lista wszystkich badań. Wybranie konkretnego badania spowoduje załadowanie z bazy wyników analizy pomiaru. Lekarz przeglądający wyniki

analizy może dodawać do Karty Pacjenta swoje komentarze i zalecenia.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono system pomiarowy przeznaczony do badania drżeń patologicznych kończyny górnej spowodowanych Chorobą Parkinsona lub pokrewnymi schorzeniami. W jego skład wchodzi specjalnie zaprojektowana część sprzętowa służąca do akwizycji danych pomiarowych oraz dedykowane oprogramowanie do wizualizacji, przetwarzania i archiwizacji zebranych danych. Część sprzętowa oparta jest na czułym i precyzyjnym akcelerometrze trójosiowym ADXL345 oraz mikrokontrolerze serii AVR, zaprogramowanym w języku C w sposób gwarantujący poprawną akwizycję sygnałów i maksymalizację stosunku uzyskiwanego sygnału do szumu. Pomiaru można dokonać w trybie mobilnym z zasilaniem wewnętrznym i zapisem na kartę SD, lub trybie stacjonarnym przy użyciu specjalnego dedykowanego oprogramowania umożliwiającego również pełną analizę zapisanych sygnałów wraz z obliczeniami chemometrycznymi, a jej wyniki dostępne są w zdalnej Bazie Danych Pacjentów. Ilość dostępnych analiz sygnału pozwala na dokładne poznanie charakterystyki badanych drżeń i opisanie ich metodami statystycznymi. Oprogramowanie umożliwia poprawne określenie podstawowych cech drżenia już podczas badania, co niezwykle ułatwia wnioskowanie o wstępnej diagnozie nowych pacjentów.

LITERATURA

- [1] Lingor Paul, Liman Jan, Kallenberg Kai, Sahlmann Carsten-Oliver Mathias: Diagnosis and Differential Diagnosis of Parkinson's Disease. ISBN 978-953-307-465-8, (2011)
- [2] <http://www.europeanbraincouncil.org/> - dostęp grudzień 2013
- [3] Baumann Christian R. (2012): Epidemiology, diagnosis and differential diagnosis in Parkinson's disease tremor. Parkinsonism and Related Disorders 18S1 2012 S90-S92.
- [4] Das Resul (2010): A comparison of multiple classification methods for diagnosis of Parkinson disease. Expert Systems with Applications 2010, 37; 1568-1572.
- [5] <http://www.catsys.dk/>
- [6] <http://www.globalkineticscorporation.com> - dostęp grudzień 2013
- [7] Brooks David J. (2012): Parkinson's disease: Diagnosis. Parkinsonism and Related Disorders 18S1 2012 S31-S33.
- [8] Smith Stephen L., Gaughan Patrick, Halliday David M., Ju Quan, Aly Nabil M., Playfer Jeremy R. (2007): Diagnosis of Parkinson's disease using evolutionary algorithms. Genet Program Evolvable Mach 2007; 8:433-447.
- [9] Machowska-Majchrzak Agnieszka, Pierzchała Krystyna, Pietraszek Stanisław (2007): Analysis of selected parameters of tremor recorded by a biaxial accelerometer in patients with parkinsonian tremor, essential tremor and cerebellar tremor. Neurologia i Neurochirurgia Polska 2007; 41, 3: 241-250.
- [10] Banu Ozen Barut, Dilek Ince Gunal, Cigdem Turkmen, Aynur Mollahasanoglu, Handan Ankaralı (2013): Clinical and cognitive profiles of patients with both Parkinson's disease and essential tremor. Acta Neurol Belg 2013 113:117-125.
- [11] http://www.analog.com/static/importedfiles/data_sheets/ADXL345.pdf

Autorzy: dr inż. Piotr Piwowar, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Metrologii i Elektroniki, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: ppiwowar@agh.edu.pl; inż. Tomasz Ćwik, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Interdyscyplinarne Koło Naukowe "BioMetr" przy Katedrze Metrologii i Elektroniki, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: tomekzsch@gmail.com, inż. Cezary Cianciara, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Interdyscyplinarne Koło Naukowe "BioMetr" przy Katedrze Metrologii i Elektroniki, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: cezary.cianciara@gmail.com