

UDA-POIG.01.03.01-14-136/08

Opracowanie metod monitorowania aktywności psychofizjologicznej z funkcją automatycznego wykrywania zagrożeń



**INNOWACYJNA
GOSPODARKA**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



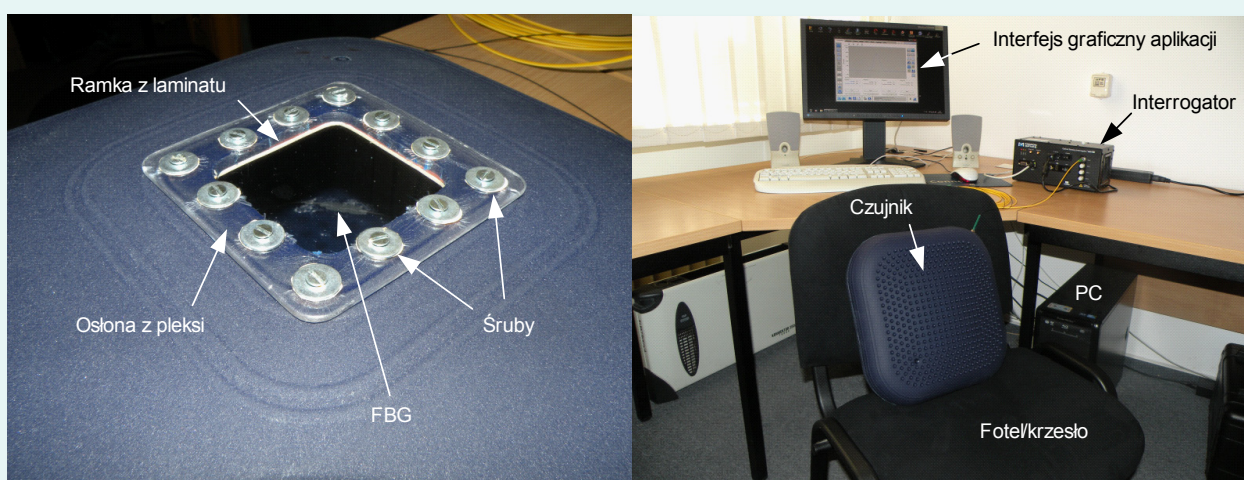
WOJSKOWY INSTYTUT MEDYCYNY LOTNICZEJ

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

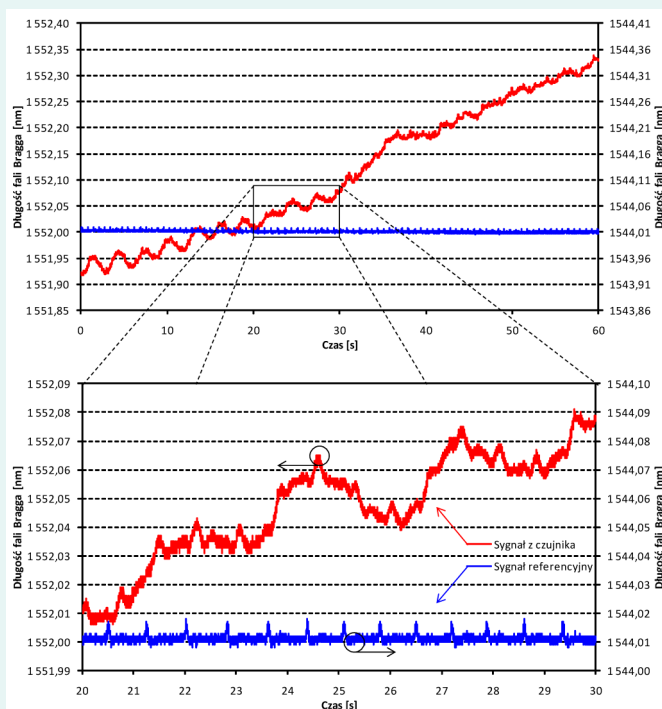


Czujnik bazujący na światłowodowych siatkach Bragga

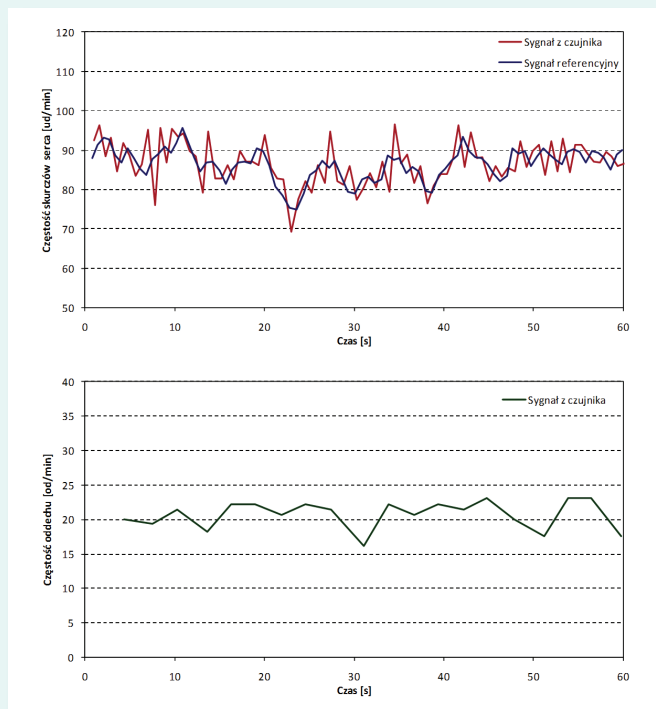
Idea czujnika oparta została na światłowodowych siatkach Bragga (FBG - ang. *fiber Bragg grating*), znanych przede wszystkim jako tensometry optyczne wykorzystywane do precyzyjnych pomiarów naprężeń występujących w strukturach skrzydeł samolotów lub masztów statków - konstrukcjach szczególnie narażonych na niebezpieczne oddziaływania sił zewnętrznych. Zdolności pomiarowe FBG zaadoptowano w obszarze medycyny poprzez skonstruowanie urządzenia pozwalającego na monitorowanie drgań ciała powodowanych czynnościami życiowymi - pracą serca oraz oddychaniem. Urządzenie składa się z siatki Bragga wpisanej w światłowód jednomodowy i pracującej na centralnej długości fali o wartości ok. 1550 nm (III okno transmisyjne), wbudowanej wewnątrz pneumatycznej poduszki umieszczonej pomiędzy oparciem fotela a plecami monitorowanej osoby. Odształcania poduszki, stąd również siatki Bragga, są proporcjonalne do drgań ciała osoby opartej o poduszkę. Badania laboratoryjne wykazały, że czujnik umożliwia uzyskanie dynamicznych naprężeń na elemencie pomiarowym rzędu 12 μ strain wywołanych pracą serca oraz ok. 160 μ strain powodowanych oddychaniem, co jest w pełni mierzalne przez współczesne systemy interogacji FBG. Nieskomplikowana budowa czyni sensor łatwym w eksploatacji oraz implementacji, np. w fotelach lotniczych lub samochodowych dla celów monitorowania stanu psychofizjologicznego pilotów, kierowców, bądź operatorów maszyn.



Fotografia konstrukcji czujnika oraz stanowiska pomiarowego



1-minutowa rejestracja oraz 10-sekundowy powiększony fragment



Częstość skurczów serca oraz oddechu podczas 1-minutowej rejestracji

Czujniki oparte na interferometrach światłowodowych oraz układach modalometrycznych

Idea czujników oparta została na interferometrach światłowodowych oraz nowatorskim rozwiązaniu czujnika modalometrycznego. Interferometry znane są głównie jako czujniki parametrów fizycznych o największej znanej dokładności, dla których proces fizyczny można pomierzyć z rozdzielczością zmiany fazy fali optycznej. Czujnik modalometryczny jest czujnikiem natężeniowym, zbudowanym na bazie odcinka światłowodu wielomodowego zasilanego poprzez światłowód jednomodowy. Zdolności pomiarowe czujników zaadoptowano w obszarze medycyny poprzez skonstruowanie urządzenia pozwalającego na monitorowanie drgań powodowanych aktywnością oddechową. Urządzenie składa się z optoelektronicznego układu nadawczo-odbiorczego, do którego można podłączyć cztery różne konfiguracje czujników światłowodowych zbudowanych w oparciu o komercyjnie dostępne elementy techniki światłowodowej, wykorzystywane w telekomunikacji. Wszystkie czujniki zasilane są źródłem światła pracującym w III oknie transmisyjnym (telekomunikacyjnym). Głowica pomiarowa czujnika może zostać utworzona ze zwoju światłowodu jednomodowego dla czujników interferencyjnych i wielomodowego dla czujnika modalometrycznego. Odształcania głowicy pomiarowej, stąd również zmiana propagacji fali światła, są proporcjonalne do drgań ciała osoby opartej o głowicę. Badania laboratoryjne wykazały, że czujnik umożliwia uzyskanie napiężeń na elemencie pomiarowym - głównie powodowanych oddychaniem. Układ charakteryzuje się nieskomplikowaną budową i zadowalającą czułością.



Fotografia głowicy pomiarowej i stanowiska pomiarowego



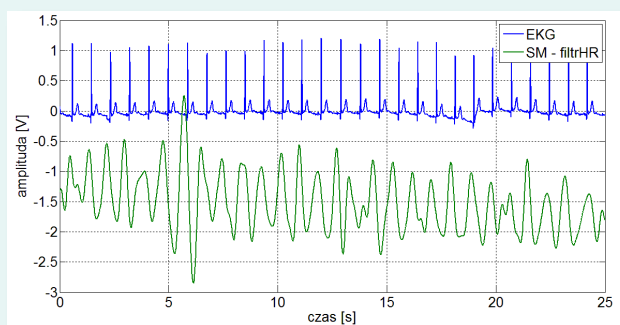
Częstość oddechu podczas 100- i 10-sekundowej rejestracji

Czujnik mikrofalowy

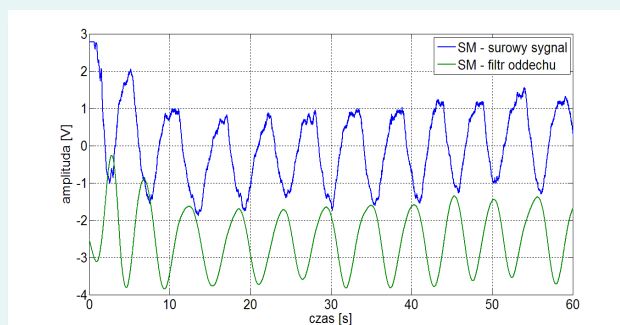
W wyniku realizacji projektu opracowano urządzenie przeznaczone do detekcji częstości oddechu oraz rytmu serca. Sensor składa się z mikrofalowego układu nadawczo-odbiorczego wraz z układem anten, układu akwizycji danych pomiarowych oraz modułu programowego realizującego algorytmy cyfrowego przetwarzania sygnałów. Urządzenie pracuje na zasadzie radaru dopplerowskiego, mierzącego zmianę fazy sygnału odbitego od obiektu poruszającego się, gdzie ruch związany jest z drganiami ciała powodowanymi oddechem i pracą serca. Sensor emituje sygnał na fali ciągłej o stałej częstotliwości w zakresie pasma ISM (2,4 GHz). Sygnał echa demodulowany w odbiorniku kwadraturowym przesyła informację o częstości oddechowej oraz rytmie serca monitorowanej osoby. Czujnik wykorzystano do monitorowania pacjenta z odległości do 50 cm (przy mocy sygnału wyjściowego 1 mW). W celu weryfikacji poprawności pracy sensora mikrofalowego wykorzystano sygnał porównawczy z pulsoksymetru oraz sygnał EKG.



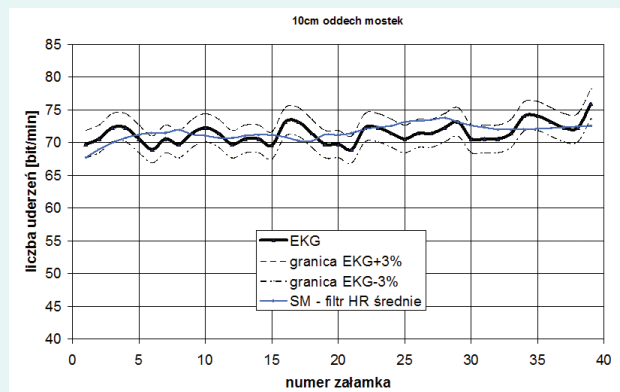
Widok ogólny sensora mikrofalowego oraz stanowiska pomiarowego



Przebiegi sygnałów pomiarowych: referencyjnego EKG (niebieski) oraz sensora mikrofalowego (zielony)



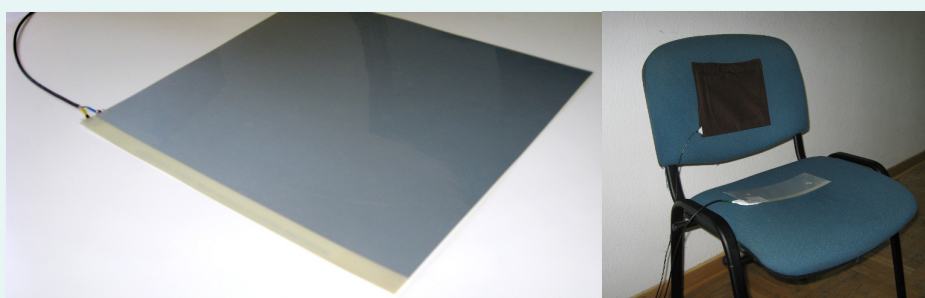
Porównanie sygnałów przenoszących informacje o oddechu (sygnał surowy oraz filtrowany)



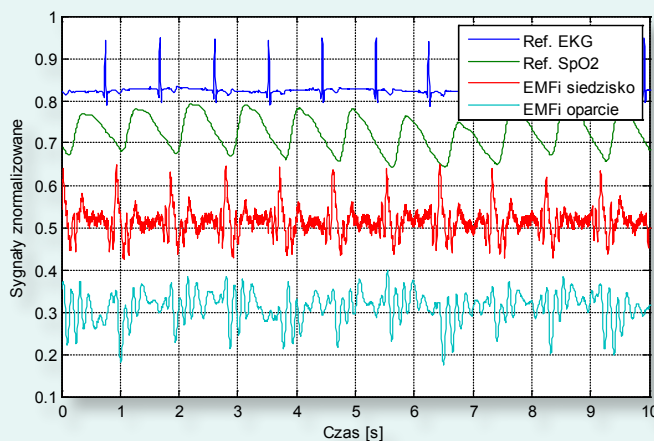
Częstość skurczów serca wyznaczana z sygnału EKG oraz sygnału z czujnika mikrofalowego

Czujnik bazujący na elektromechanicznej folii EMFi

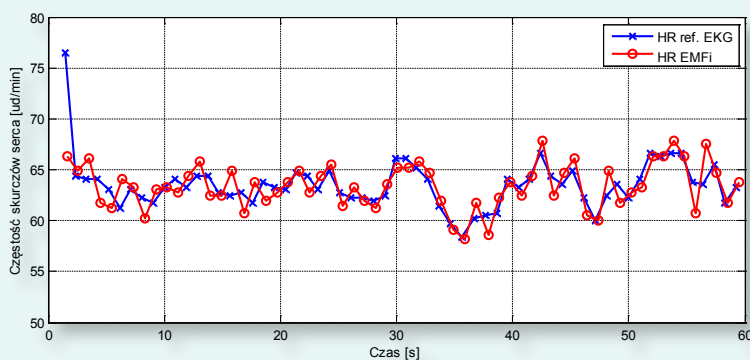
Idea czujnika oparta została na wykorzystaniu elektromechanicznej folii, określanej jako EMFi (ang. *ElectroMechanical Film*) i produkowanej przez firmę Emfit Ltd z siedzibą w Finlandii. EMFi to elastyczny i cienki (< 0,5 mm) materiał, który umożliwia zamianę mechanicznych naprężeń na zmiany ładunku elektrycznego oraz odwrotnie, zmienia się mechanicznie w zależności od polaryzacji przyłożonego napięcia. Stosując odpowiednie obwody wejściowe można uzyskać proporcjonalną zmianę napięcia elektrycznego w zależności od naprężeń mechanicznych. Wysoka czułość i wytrzymałość folii EMFi, umożliwiła skonstruowanie urządzenia pozwalającego na monitorowanie drgań ciała powodowanych czynnościami życiowymi - pracą serca oraz oddychaniem. Urządzenie złożone jest z jednego lub dwóch sensorów, wykonanych z folii EMFi serii L o powierzchni (10x25) cm i (15x20) cm, toru kształtowania sygnału analogowego, toru przetwarzania analogowo-cyfrowego oraz wizualizacji danych. Sensory umieszczone są na siedzisku i oparciu typowego krzesła lub fotela gabinetowego. Napięcie otrzymywane na wyjściu toru pomiarowego jest proporcjonalne do drgań ciała osoby siedzącej na krześle. Sygnały otrzymywane z obydwu sensorów mogą być traktowane niezależnie lub mogą się uzupełniać. Zaletą takiego układu pomiarowego jest bardzo prosta budowa, niewielkie wymiary, duża odporność mechaniczna i łatwość zastosowania w praktyce.



Widok sensora EMFi oraz sposób umieszczenia na typowym krześle laboratoryjnym



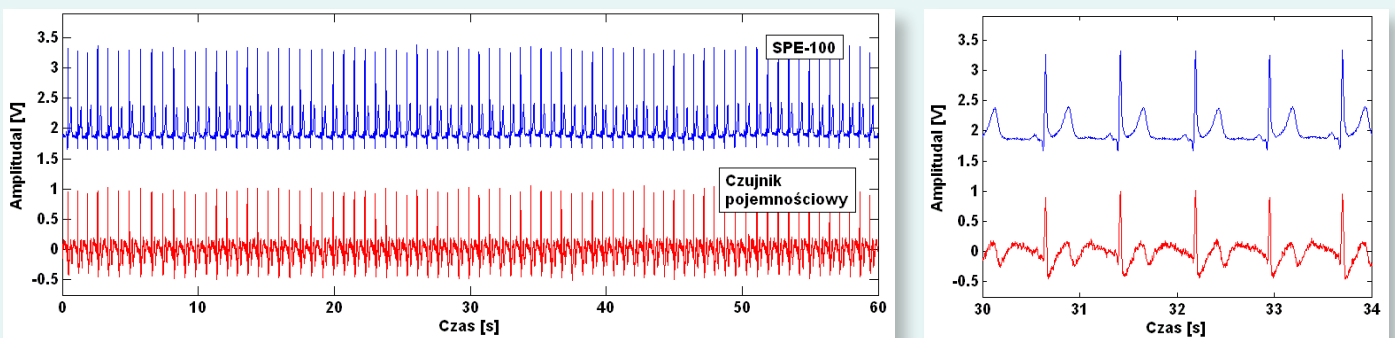
Przebiegi sygnałów pomiarowych: referencyjnego EKG i SpO2 oraz sensora EMFi, umieszczonego na siedzisku i oparciu krzesła



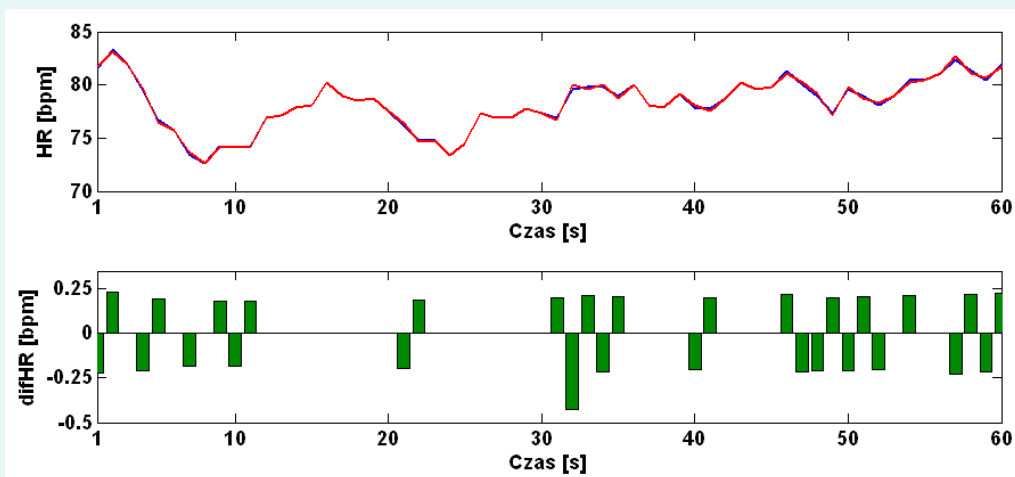
Częstość skurczów serca podczas 1-minutowej rejestracji, wyznaczona dla sygnału referencyjnego EKG i sygnału z czujnika EMFi

Czujnik pojemnościowy

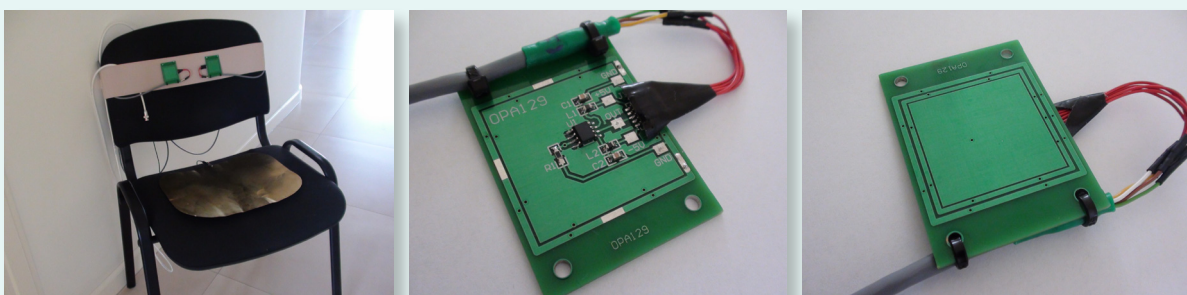
Obecnie zauważalny jest wzrost badań nad czujnikami pojemnościowymi w zastosowaniach medycznych. Ich główną zaletą jest brak wymogu bezpośredniego kontaktu elektrycznego z punktem pomiarowym. Opracowany czujnik wykorzystuje taką metodę do pomiaru potencjałów na skórze badanej osoby. Przy użyciu dwóch takich czujników dokonano pomiaru akcji serca umieszczając je na oparciu krzesła. Sygnały z czujników podawane są na wejścia dedykowanego wzmacniacza bioelektrycznego, którego podstawowymi zadaniami są: odpowiednie wzmocnienie sygnału różnicowego, filtracja dla wyodrębnienia odpowiedniego zakresu częstotliwości mierzonego sygnału oraz tłumienie zakłóceń zewnętrznych. Ponadto dla zmniejszenia wpływu zakłóceń zastosowano elektrodę zwrotną (referencyjną) również ze sprzężeniem pojemnościowym, w postaci przewodzącej powierzchni, na której siedzi badana osoba. Badania laboratoryjne wykazały poprawną pracę opracowanego systemu pomiarowego oraz możliwość wyznaczenia tętna i charakteru jego zmian. Przykładowe obszary zastosowań to monitorowanie stanu psychofizjologicznego pracowników w czasie wykonywania czynności w pozycji siedzącej oraz samokontrola pracy serca bez potrzeby angażowania odpowiedniego personelu.



Wynik pomiaru poprzez bawełniany T-shirt oraz jego powiększony fragment



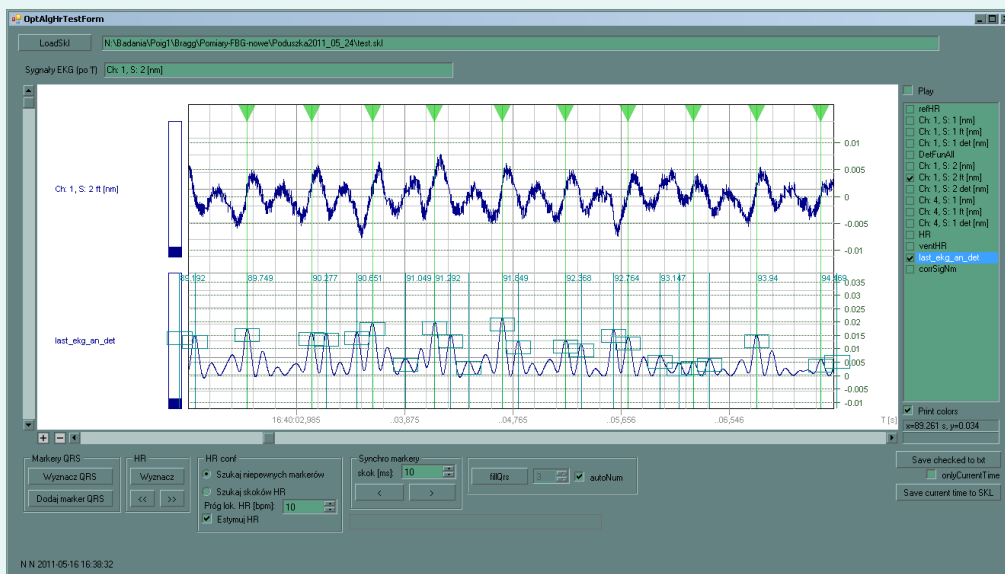
Przebiegi wartości HR oraz błędu różnicowego pomiędzy pomiarami standardowym EKG i bezkontaktowym



Stanowisko pomiarowe oraz sensor pojemnościowy

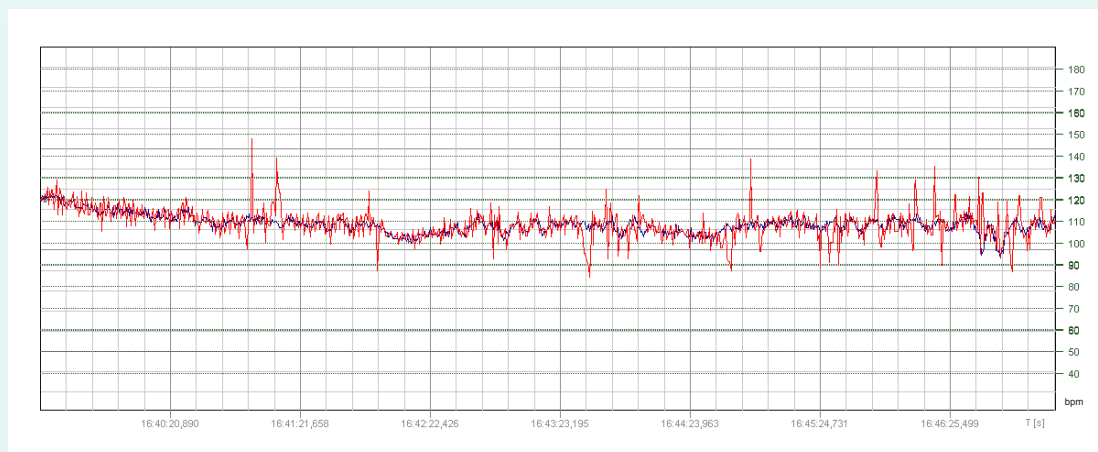
Oprogramowanie do detekcji częstości rytmu serca

Oprogramowanie do parametryzacji sygnałów z czujników oparte zostało na procedurze polegającej na wyznaczeniu ciągu odległości między charakterystycznymi momentami pochodzącymi od tych samych faz pracy serca. Do celów detekcji momentów uderzeń serca zastosowano algorytm, który nie analizuje bezpośrednio sygnału źródłowego czujnika, a specjalnie spreparowany sygnał funkcji detekcyjnej. Prezentowane podejście pozwala na dopasowanie charakterystyk filtrów do kształtu momentów charakterystycznych sygnału odpowiadających uderzeniom serca (a więc i widma sygnału). Zatem można ten sam algorytm przystosować do analizy sygnałów, w których zawarta jest informacja o częstości pracy serca, pochodzących z czujników o całkowicie odmiennym mechanizmie działania. Aplikacja pozwala na wczytywanie zarchiwizowanych sygnałów cyfrowych, a następnie na poddawanie ich analizie. Program prezentuje na wykresie przebiegi sygnałów oraz przedstawia w formie graficznej informacje o sposobie działania algorytmu, służące do weryfikacji poprawności jego działania. Aplikacja została wyposażona w wykres pozwalający na prezentację przebiegów grupy sygnałów. Wykres posiada bogate możliwości zarządzania układem sygnałów oraz zmiany zakresów przedstawianych wartości. Udostępnia on także opcje pomiaru kursorami graficznymi oraz prezentacji markerów pozwalających na manualną korektę wykrytych pozycji momentów charakterystycznych.



Okno główne aplikacji testującej moduł detekcji sygnału częstości rytmu serca

Parametry algorytmu detekcyjnego zostały poddane procesowi optymalizacji z zastosowaniem algorytmów genetycznych. Poniższy rysunek przedstawia przykładowy wynik analizy sygnału pochodzącego z czujnika opartego na światłowodowej siatce Bragg dla odcinka czasu o długości 470 s.



Porównanie sygnału referencyjnego (kolor niebieski) z sygnałem będącym wynikiem analizy sygnału czujnika FBG zoptymalizowanym algorytmem detekcji rytmu serca (kolor czerwony)

Informacje o projekcie

W krajach wysokorozwiniętych odsetek populacji cierpiący na dolegliwości związane z układem krążenia oraz różnego rodzaju dysfunkcjami układu oddechowego jest wciąż wysoki. Według Narodowego Programu Zdrowia na lata 2007-2015 choroby układu krążenia są przyczyną przedwczesnej umieralności - 52,6% wszystkich zgonów kobiet i 41,1% wszystkich zgonów mężczyzn. Dane WHO określają roczną umieralność na choroby układu oddechowego na ponad 10 mln. osób, co stanowi blisko 20% wszystkich zgonów na świecie. Szacuje się, że w ciągu najbliższych kilkunastu lat liczba ta przekroczy 12 mln. W Polsce z powodu chorób układu oddechowego umiera rocznie ponad 15 tys. osób. Koszty leczenia tych dolegliwości stanowią istotną część budżetu publicznej służby zdrowia. Sytuacja taka stwarza zapotrzebowanie społeczne na różnego rodzaju urządzenia wspomagające diagnostykę. Szczególnie pożądane są konstrukcje umożliwiające realizację zautomatyzowanych pomiarów bezinwazyjnych, nie wymagających fizycznego połączenia, np. za pomocą przewodu elektrodowego, pacjenta z urządzeniem.

Monitorowanie częstości skurczów serca oraz czynności oddechowej u pilotów, kierowców bądź operatorów maszyn w trakcie pracy może dostarczyć cennych informacji o ich stanie psychofizjologicznym. Wczesne wykrycie zaburzeń rytmu serca lub oddechu stanowiłoby podstawę do wykonania kompleksowych badań lekarskich. Od kondycji fizjologicznej pilota może zależeć nie tylko jego życie, ale także życie pasażerów, jakość wykonania misji lotniczej oraz stan techniczny samolotu i ładunku nim przewożonego. Wykrycie niepokojących objawów (zmęczenie, zasłabnięcie) u kierowców bądź operatorów maszyn, pozwoliłoby na niezwłoczną reakcję w postaci np. wygenerowania sygnału o konieczności zatrzymania pojazdu lub maszyny. Jednak użycie zarówno specjalistycznej aparatury wykorzystywanej w warunkach szpitalnych jak i powszechnie dostępnych urządzeń do zastosowań domowych wiąże się z koniecznością fizycznego połączenia monitorowanej osoby z aparatem pomiarowym, co jest niewygodne i zaburza normalny tryb pracy.

Wychodząc naprzeciw tym problemom wykonawcy Projektu skonstruowali urządzenia pomiarowe umożliwiające monitorowanie częstości skurczów serca oraz oddechu poprzez ubranie, bez konieczności kontaktu ze skórą badanego.

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Innowacyjna Gospodarka 2007-2013

Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej,
ul. Krasińskiego 54/56, 01-755 Warszawa,
<http://projektue.wiml.waw.pl/poig1/>

Kierownik Operacyjny Projektu:
dr inż. Krzysztof Różanowski
uekrozanowski@wiml.waw.pl

Kierownik Merytoryczny Projektu:
dr inż. Łukasz Dziuda
ueldziuda@wiml.waw.pl

Egzemplarz bezpłatny



**INNOWACYJNA
GOSPODARKA**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WOJSKOWY INSTYTUT MEDYCyny LOTNICZEJ

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

