

Wprowadzenie do Informatyki Biomedycznej

Wykład 13:

Przetwarzanie i analiza biosygnalów

Marek Krętowski
pokój 206
e-mail: m.kretowski@pb.edu.pl
http://aragorn.pb.bialystok.pl/~mkret

Wersja 1.12

Wprowadzenie

- Pod pojęciem **sygnału** rozumiemy pewną wielkość, która na ogół ulega zmianom w czasie
 - przykłady biosygnalów (sygnalów biomedycznych): temperatura ciała pacjenta, poziom hormonów we krwi, ciśnienie skurczowe, częstość uderzeń serca, ...
 - sygnał może ulegać szybkim zmianom (np. sygnał elektrokardiograficzny) lub też zmiany są widoczne w dłużym horyzoncie czasowym (np. temperatura)
- Rozpatrywana wielkość ma najczęściej naturę ciągłą i związany z nimi s. analogowy dostarcza informacji o czasowym przebiegu tej wielkości
- Sygnał cyfrowy (dyskretny):
 - sygnał, którego amplituda jest zdefiniowana wyłącznie w pewnych określonych chwilach i przedstawiona w postaci liczb
 - istnieją metody matematyczne pozwalające przechodzić pomiędzy reprezentacjami
- Biosygnale są wykorzystywane m.in. w diagnostyce, monitorowaniu stanu pacjenta oraz pracach naukowych z zakresu biomedycyny

Informatyka Biomedyczna Wyk. 13

Slajd 2 z 20

Źródła biosygnalów

- **Bioelektryczne** - generowane przez komórki nerwowe lub mięśniowe (np. serce);
 - źródłem jest potencjał błony, który pod pewnymi warunkami może przetrzącać się w potencjał związany z działaniem
 - pole elektryczne przenika przez tkankę, co pozwala na relatywnie dogodną powierzchnię akwizycję sygnału (nieinwazyjność pomiaru)
 - zapewne najistotniejszy z biosygnalów
- **Bioopornościowe** - impedancja tkanki może być źródłem informacji o jej budowie (składzie), zawartości i rozprowadzeniu krwi, ...
 - zwykle uzyskiwane poprzez pomiar podczas przepuszczania mikroprądów
- **Bioakustyczne** - z wieloma zjawiskami związane są odgłosy, których pomiar może zapewniać informację o samym zjawisku
 - przepływ krwi w sercu lub w naczyniach czy przepływ powietrza podczas oddychania generują typowe odgłosy akustyczne
 - energia akustyczna może być mierzona na powierzchni (mikrofony)
- **Biomechaniczne** - pochodzące od mechanicznych funkcji systemu (ruch, ciśnienie i napięcie, ...);
 - nie zawsze łatwe i nieinwazyjne
- **Biochemiczne** - pomiary żywej tkanki lub próbek w laboratorium; np. pomiar sp. jonów w pobliżu i wewnątrz komórki; dwutl. węgla we krwi lub sys. oddechowym

Informatyka Biomedyczna Wyk. 13

Slajd 3 z 20

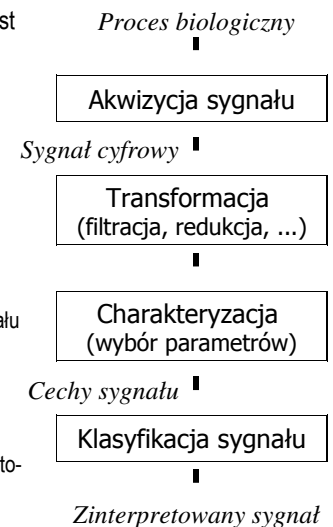
Fazy przetwarzania i analizy biosygnalów

- Głównym celem przetwarzania i analizy sygnałów jest wydobywanie interesujących sygnałów z zaszumionego ła i redukcja uzyskanego strumienia danych do możliwie niewielkiej liczby istotnych parametrów
 - otrzymane charakterystyki => wspomaganie podejmowania decyzji medycznych lub lepsze zrozumienie obserwowanego procesu biologicznego

I. Akwizycja sygnału:

- wykorzystywane są elektrody w celu uzyskania sygnału elektrycznego oraz przetworniki (ang. transducers) w celu przetworzenia sygnałów nieelektrycznych (chemicznych, mechanicznych) na elektryczny
- możliwie niski stopień zniekształceń => wysoki stosunek właściwego sygnału do szumu (ang. signal-to-noise ratio)
- przetworzenie do postaci cyfrowej

Informatyka Biomedyczna Wyk. 13



Slajd 4 z 20

Fazy przetwarzania i analizy (2)

II. Transformacja (ang. transformation, preprocessing)

- zmiana kształtu umożliwiająca wyliczenie charakterystyk (najczęściej redukcja zniekształceń)
- redukcja danych (wykorzystanie redundancji informacji)
- np. aby zdiagnozować blok lewej odnogi pęczka Hisa na podstawie elektrokardiogramu (EKG) lekarz potrzebuje jedynie 1-3 zespoły z typowego EKG
- w innych sytuacja np. podczas diagnoz arytmii serca niezbędne mogą być wielogodzinne obserwacje EKG (tzw. monitorowanie Holter)

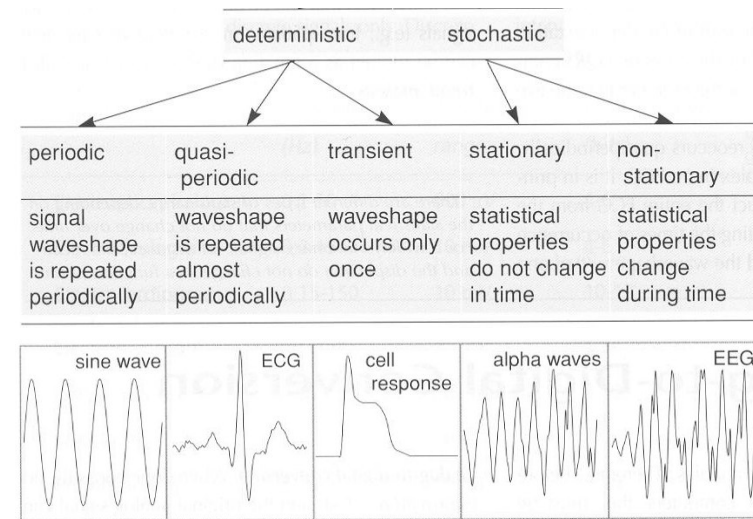
III. Charakteryzacja - wyliczenie semantycznie istotnych cech (parametrów), które mogą zostać wykorzystane jako dane wejściowe podczas podejmowania dec.

- cechy są wyliczane na bazie (czasami dość złożonych) metod przet. sygnałów => analogia z przetwarzaniem obrazów
- własności dyskryminacyjne parametrów

IV. Klasyfikacja (interpretacja)

- wykonywana przez człowieka lub wspomagana komputerowo
- wykorzystywane metody nie różnią się znacząco od typowych metod wspomagania podejmowania decyzji (statystyka, rozpoznawanie wzorców, uczenie maszyn, ...)

Typy sygnałów



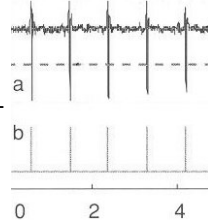
Typy sygnałów: sygnały deterministyczne

Powtarzalne procesy biologiczne (np. bicie serca, oddychanie) generują zwykle powtarzające się, mniej lub bardziej deterministyczne kształty fal

- **okresowe** (ang. periodic) - dokładnie periodyczne sygnały w zasadzie nie są obserwowane u żywych organizmów
- **prawie okresowe** (ang. quasi-periodic) lub aperiodyczne
 - np. sygnał z elektrookulogramu rejestrującego mrugające oko
- **jednokrotne** (ang. transient) - kształt fali pojawia się tylko raz
 - podczas depolaryzacji komórki (spowodowanej przez pewien bodziec) generowany jest sygnał elektryczny => fala depolaryzacyjna i repolaryzacyjna

Odrębną grupą sygnałów deterministycznych są procesy punktowe (ang. point process), które mogą być opisane jako seria impulsów

- sygnał binarny, który przez większą część czasu jest "0" i gdy następuje zdarzenie staje się "1"; kształt impulsu nie jest rozpatrywany
- raczej nie są generowane przez procesy biologiczne, ale np. impulsy stymulujące pracę serca w węzłach SA i AV mogą być tak traktowane



Typy sygnałów: sygnały stochastyczne (statystyczne)

- Generowane są np. przez grupy komórek, które podlegają depolaryzacji w mniej lub bardziej losowy sposób:
 - komórki mięśniowe - generujące elektromiogram (EMG)
 - komórki nerwowe w korze mózgu - elektroencefalogram (EEG)
- Kształty fal takich sygnałów wykazują charakter niedeterministyczny i mogą być opisane jedynie statystycznie
- **Stacjonarne** (ang. stationary) - statystyczne własności sygnału nie zmieniają się w czasie (np. pacjent w stanie stabilnym)
 - istnieją różne rodzaje stacjonarności w zależności od parametrów statystycznych, które nie ulegają zmianie
- **Niestacjonarne** (ang. nonstationary) - statystyczne własności sygnału ulegają zmianie w czasie
- Samo rozróżnienie między stacjonarnymi i niestacjonarnymi sygnałami może być istotne
 - jeżeli proces biologiczny jest w stanie dynamicznym, wówczas można spodziewać się, że generowane sygnały będą niestacjonarne
 - np. EEG zaobserwowane podczas napadu epilepsji
- Parametry wyliczane z niestacjonarnych sygnałów (np. pacjent na oddziale intensywnej terapii) mogą być przedstawiane w zależności od czasu => analiza trendu

Wybrane biosygnaly

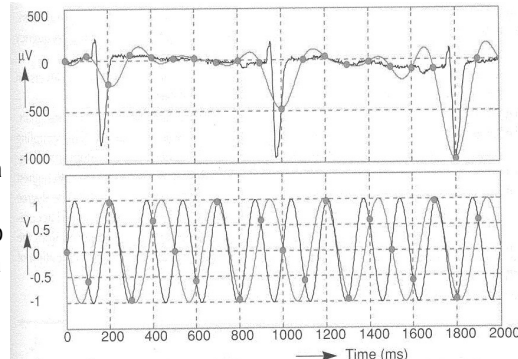
Sygnal	Zakres częstotliwości	Amplituda sygnału
Elektrokardiograficzny (ang. ECG)	0-500Hz (0.15-150Hz)	5-10mV (dorosły) 10μV (płód)
Elektroencefalograficzny (ang. EEG)	0-100Hz	600μV
Elektromiograficzny (ang. EMG)	10-200Hz (20-8000Hz)	silnie zależny od aktywności mięśniowej i umiejscowienia elektrod
Ciśnienie krwi	0-200Hz	300mmHg (tętnicze) 15mmHg (żylny)
Spirograficzny	0-40Hz	10L
Fonokardiograficzny (akustyczny)	5-2000Hz	80dB
Elektrookulograficzny	0.2-15Hz	10mV

Konwersja analogowo-cyfrowa (ang. analog-to-digital conversion)

- Wszystkie biosygnaly są z natury analogowe i aby je przetwarzać przy użyciu komputera potrzebna jest transformacja do postaci cyfrowej
 - jeżeli konwersja AD jest wykonana poprawnie => brak strat informacji => oryginalny sygnał może odtworzony (konwersja DA)
- Sygnał cyfrowy jest uzyskiwany z analogowego poprzez **próbkowanie** (ang. sampling) i **kwantyzację** (ang. quantization)
 - amplituda sygnału jest mierzona w równomiernie rozłożonych momentach i zapisywana w postaci dyskretnej wartości
- Częstotliwość próbkowania f_s i przedział próbkowania $\Delta T = 1/f_s$
 - im więcej zmian na sekundę występuje w sygnale (sygnał zawiera wyższe częstotliwości) tym większa musi być częstotliwość próbkowania
- Dwa podstawowe problemy muszą być rozstrzygnięte
 - jak często należy próbować (liczba próbek na sekundę)
 - jak dokładnie amplituda powinna być wyrażona (liczba bitów)

Jak często należy próbować sygnał?

- Twierdzenie o próbkowaniu Shannona-Nyquista: "sygnał powinien być próbkowany w tempie, które jest co najmniej 2-krotnością składnika sygnału charakteryzującego się najwyższą częstotliwością"
 - zbyt niskie tempo próbkowania prowadzi do zniekształcenia sygnału (strata informacji)
 - zbyt wysoka częstość nie wnosi dodatkowej informacji, ale wymaga dodatkowych zasobów
- Przykładowo EKG (zakres częst. do 150 Hz) typowa częst. próbkowania wynosi 500Hz (nieco powyżej zalecanej częstotliwości)

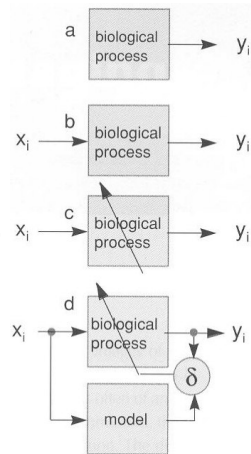


Jak dokładnie należy próbować sygnał?

- Dla pewnych sygnałów amplituda musi być mierzona z dokładnością do 1%, natomiast dla innych 10% rozdzielczość jest wystarczająca
 - w EKG amplituda odchylenia Q powinna być mierzona z rozdzielczością 20mV lub mniejszą, ponieważ jej występowanie może oznaczać zawał (ang. infarction)
 - w przypadku EEG sama amplituda generalnie nie jest interesująca, natomiast zmiany średnich amplitud w czasie mogą ujawniać zmiany obserwowanego procesu
- Poziom kwantyzacji wyrażany jest jako liczba kroków (zwykle potęga dwójki) na całym możliwym zakresie wartości amplitud
 - 10 bitów oznacza 1024 dopuszczalne poziomy amplitudy, czyli rozdzielczość rzędu 0.1%, wyrażoną jako procent zakresu sygnału (10-bit ADC)
 - dla większości biosygnali wystarczającą dokładność uzyskujemy od 6 do 12 bitów; 12-bitowy ADC pozwala na uzyskanie rozdzielczości 0.025%, w praktyce jest to nawet zbyt dużo w kontekście osiąganych stosunków sygnału do szumu dla większości przetworników

Kategorie analizy sygnałów

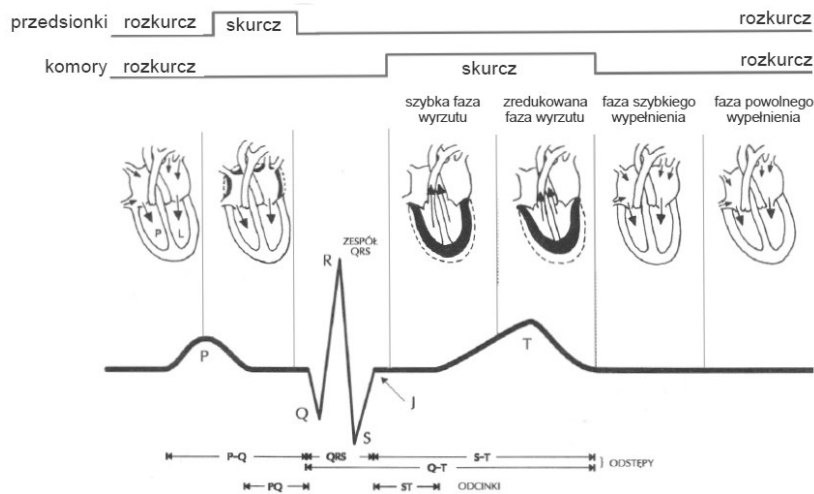
- **Jedynie sygnały wyjściowe** - najbardziej typowa sytuacja, obserwujemy badany proces, nie mamy żadnej wiedzy (lub marginalną) na temat procesu
 - reprezentatywny przykład to analiza EEG
- **Wywołane sygnały** (ang. evoked signals) - pewne wejścia badanego procesu są znane; lub nawet dostarczamy s. wejściowy (bodziec); w ten sposób uzyskujemy wgląd w stan procesu biologicznego
 - mechaniczna lub elektryczna stymulacja komórek, nerwów lub mięśni; evoked responses in EEG
- **Testy prowokacyjne** (ang. provocative tests) - sytuacja w której testujemy zachowanie procesu w wymuszonych lub znanych warunkach, co jest połączone z znanym bodźcem wejściowym
 - test wysiłkowy, podczas którego mierzymy parametry ST-T w EKG lub parametry sygnałów spirotegraficznych
- **Modelowanie** - w sytuacji, gdy dysponujemy wystarczającą wiedzą o procesie, może być stworzony model (cel: badania i nauka lub estymacja parametrów sygnałów)
 - modelowanie części krążenia lub depolaryzacji serca



Przykład: elektrokardiogram (EKG)

- Obserwacja zmian w czasie potencjału pola elektrycznego generowanego przez mięsień sercowy mierzone na powierzchni ciała
 - typowe badanie przesiewowe, mające na celu potwierdzenie ogólnej poprawności pracy serca, wykonywane w pozycji leżącej, w ustalonej temp. (22 st. C), czas: kilkanaście sekund
 - elektrody przytwierdzone w ustalonych miejscach (odprowadzenia kończynowe oraz z klatki piersiowej, standardowo 12 odrowadzeń)
- EKG jest quasi-periodyczny sygnałem (częstość powtórzeń 30-300 zdarzeń na minutę), który może zawierać losowe składowe związane z migotaniem przedsionków czy komór
- Zwykle ma jeden dominujący kształt fali
 - może zawierać dodatkowe formy związane z dodatkowymi skurczami
 - pewne aspekty procesu punktowego
- Przetwarzanie sygnału EKG obejmuje analizę wzorców sygnału i klasyfikację sygnału

Wzorcowy przebieg elektrokardiogramu



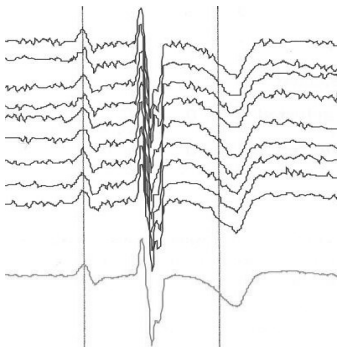
[P. Augustyniak, Przetwarzanie sygnałów elektrodiagnostycznych]

Analiza wzorców sygnału

- Analiza wzorców sygnału:
 - detekcję sygnału - znajduje położenie zdarzeń (np. zespołów komorowych - QRS), estymacja i lokalizacja szumu oraz zakłóceń
 - przypisanie rodzajów zdarzeń na podstawie kształtów (ang. waveform typification) - (np. rozróżnienie dominujących zespołów QRS-T od przedwczesnych dodatkowych skurczy)
 - estymacja granic - możliwie dokładne wyznaczenie początku i końca poszczególnych zdarzeń => cechy charakterystyczne

Klasyfikacja sygnału EKG

- Selekcja uderzeń serca - dominujące uderzenia są wybierane i przeprowadzane jest spójne uśrednianie (ang. coherent averaging) w celu poprawy signal-to-noise ratio (SNR)
- Estymacja parametrów - wyliczane są czasowe i amplitudowe parametry dla wszystkich odprowadzeń i relacje pomiędzy tymi parametrami
- Klasyfikacja kształtu falek - rozpoznawanie zniekształceń kształtów odpowiadających typowym kategoriom diagnostycznym (np. zawał przedniej ściany serca)
- Klasyfikacja niemierności (arytmii) - na podstawie informacji o procesie punktowym zdarzeń przedsionkowych i komorowych (np. interwał RR) oraz kształcie falek



Inne warianty EKG: Elektrokardiografia próby wysiłkowej

- Cel: rejestracja pracy serca w czasie obciążenia organizmu pracą fizyczną (spacer po bieżni ruchomej lub ergometr rowerowy)
- Częstość akcji serca rośnie wraz z zapotrzebowaniem mięśni szkieletowych na tlen aż do osiągnięcia granicy (wysiłek maksymalny) powyżej której wysiłek kosztem procesów beztlenowych
- Próby z wysiłkiem submaksymalny (np. do 85% tętna) lub maksymalny ze stałym obciążeniem

Całodobowa rejestracja elektrokardiogramu metodą Holtera

- Monitorowanie w naturalnych warunkach życia osoby badanej
 - Wykonywana za pomocą przenośnych rejestratorów ze zmodyfikowanymi odprowadzeniami dwubiegunowymi
- Umożliwia m. in.:
 - poznanie zmienności rytmu serca i współzależności neurologiczno-kardiologicznych pobudzających i hamujących akcję serca (czuwanie, sen)
 - detekcję arytmii oraz ocenę zagrożenia migotaniem komór czy ocenę podatności na spontaniczną tachykardię (częstoskurcz) komorową
 - analizę prawidłowej pracy kardiostymulatora



HR-300 Welch Allyn
[www.welchallyn.com]



[www.wikipedia.org]

Przykład oprogramowania wspomagającego interpretację EKG

