CPSB 2020Z

Wykład 9 Tworzenie i analiza modeli systemu z zastosowaniem CPSB

dr hab. inż. Wojciech Zabołotny p. 225, W.Zabolotny@elka.pw.edu.pl (w temacie listu, na początku koniecznie "[CPSB]")

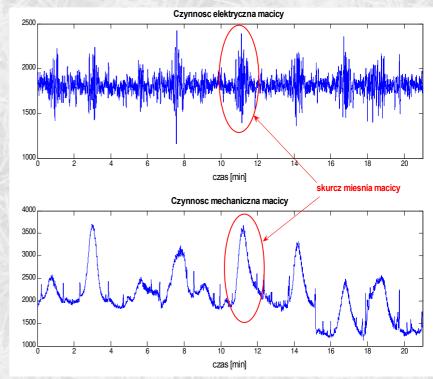
Elektrohysterografia badanie bioelektrycznej czynności skurczowej macicy

 Celem metody jest znalezienie metody pomiarowej pozwalającej na wczesną (przed skurczami mechanicznymi) diagnostykę zagrożenia porodem przedwczesnym



Widoczne 2 elektrody na skórze brzucha

Autor: dr inż. D.Radomski



Pasmo użyteczne dla EHG: 0.02-5Hz

Metody parametryzacji sygnałów EHG

• Liniowe:

 Wartość RMS, średnia częstotliwość w paśmie, częstoliwość dominująca w paśmie, itp.

Nieliniowe:

 Wymiar fraktalny, wykładnik Lyapunowa, entropia przybliżona, wielowymiarowa entropia przybliżona, współczynnik synchronizacji, modelowanie zależności między kanałami w języków grafów.

Nieliniowe układy dynamiczne

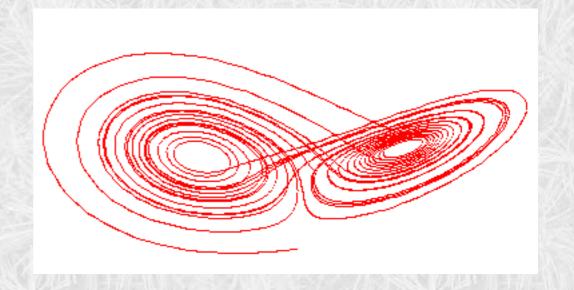
- W naturze obserwujemy wiele procesów, które na pozór są okresowe, ale nie jesteśmy w stanie ich przewidywać w dłuższej skali czasowej
- Z drugiej strony wiele procesów na pozór przypadkowych okazuje się wynikać ze ścisłych deterministycznych równań
- Zajmuje się tym teoria nieliniowych układów dynamicznych, często zwana teorią (deterministycznego) chaosu.

Wszystko zaczyna się od układu równań różniczkowych...

- Jak to wygląda w N-wymiarowej przestrzeni stanów?
- Dla N większego od 2 układ może zacząć zachowywać się chaotycznie.
- Dokładniej muszą być przynajmniej 3 równania różniczkowe, z których co najmniej jedno jest nieliniowe.

$$\left\{ egin{aligned} \dot{x} &= \sigma y - \sigma x \ \dot{y} &= -xz + rx - y \ \dot{z} &= xy - bz \end{aligned}
ight.$$

Równania atraktora Lorenza Źródło: Wikipedia



Problemy z analizą

- Nie jesteśmy w stanie obserwować wszystkich zmiennych stanu
- Floris Takens (1980) Twierdzenie o zanurzaniu możemy obserwować szereg czasowy jednej zmiennej i na tej podstawie odtworzyć atraktor!
- Musimy ustalić wymiar zanurzenia i opóźnienie
 - Zazwyczaj jako opóźnienie możemy przyjąć pozycję pierwszego minimum funkcji autokorelacji.
 - dla małego opóźnienia wartości próbek są zbliżone i atraktor jest rozciągnięty wokół jednej z przekątnych przestrzeni
 - Dla dużego opóźnienia, na skutek szumów gubiona jest korelacja.
 - Wymiar najczęściej ustalany jest eksperymentalnie, przez dodawanie kolejnych opóźnień

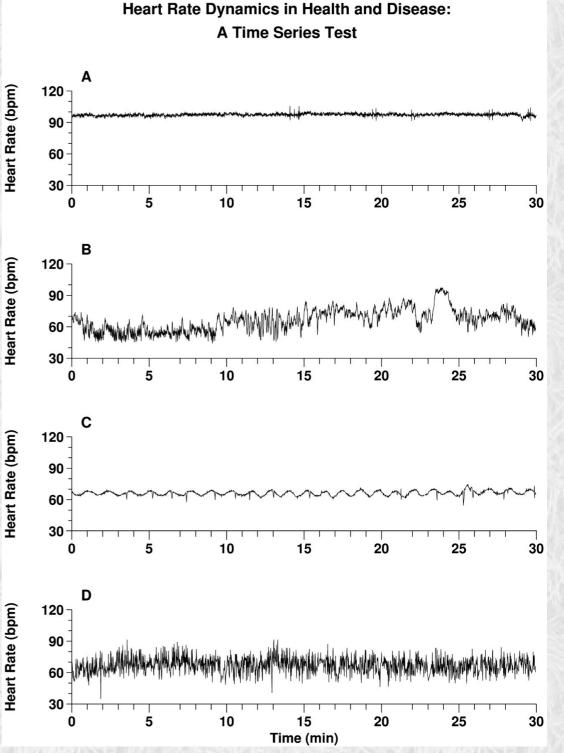
Teoria nieliniowych układów dynamicznych w CPSB

- Źródło: Ary Goldberger et al., "Fractal dynamics in physiology: Alterations with disease and aging", http://doi.org/10.1073/pnas.012579499
- Oraz: https://archive.physionet.org/tutorials/ndc/

Zapisy zmienności częstotliwości akcji serca

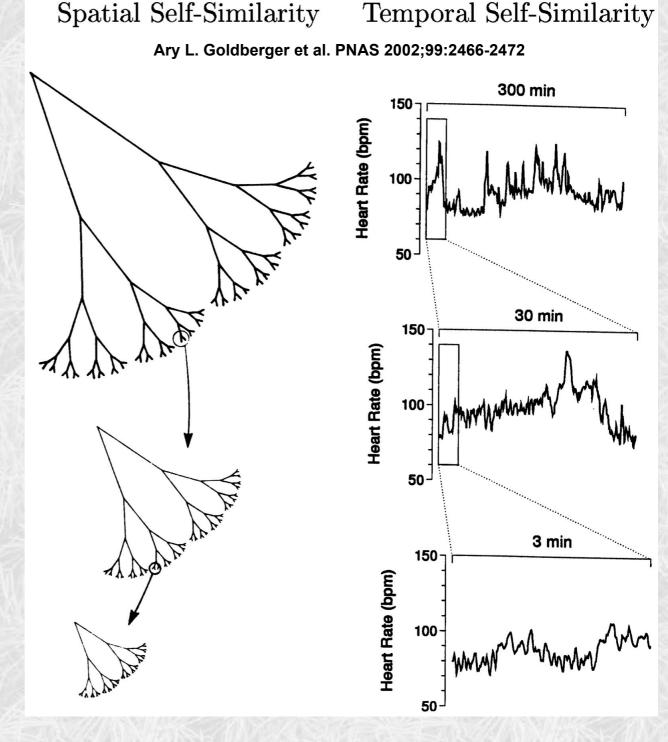
A i C - zapisy rytmu zatokowego u pacjentów z zastoinową niewydolnością serca D – arytmia serca, migotanie przedsionków

B – zapis prawidłowy



Ary L. Goldberger et al. PNAS 2002;99:2466-2472

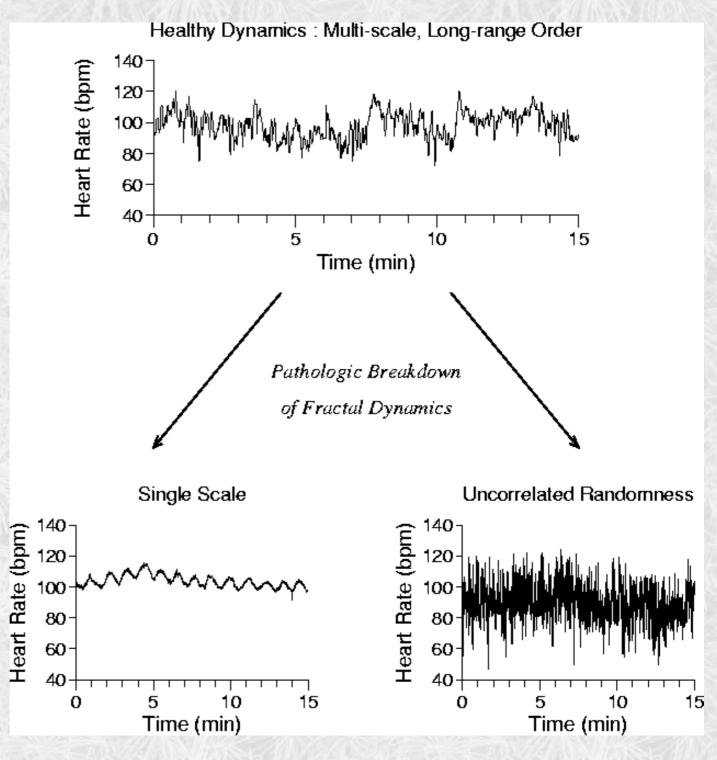
Fraktale w systemach biologicznych



Przebiegi prawidłowe i patologiczne

Źródo:

https://archive.physionet.org/tutorials/ndc/



Jak opisać zachowanie układu chaotycznego?

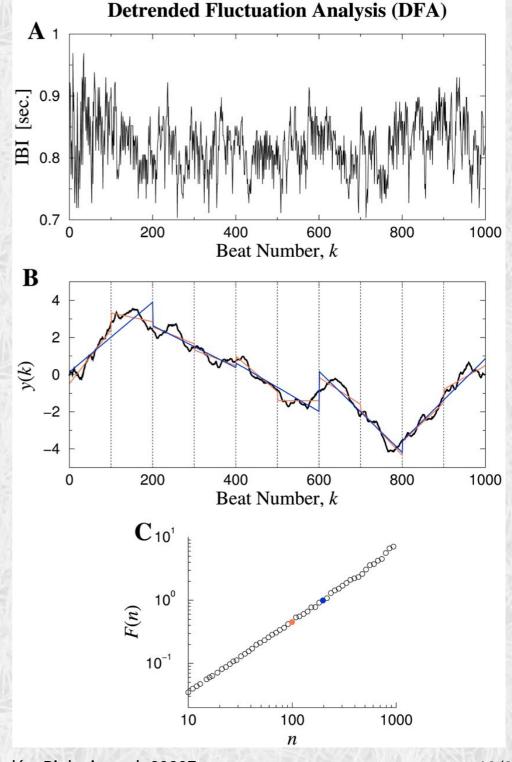
- Różne miary złożoności (complexity)
 - Wykładniki Lyapunowa
 - Są miarą tego, jak szybko trajektorie fazowe się rozbiegają. (dyskusja ich przydatności do analizy HRV http://doi.org/10.1371/journal.pone.0105622)
 - Wymiar korelacyjny (Correlation dimension) przybliżenie wymiaru fraktalnego
 - DFA Detrended Fluctuation Analysis (beztrendowa analiza fluktuacji) (WFDB) http://10.1016/S1297-9562(02)90002-1
 - Miary oparte na entropii sygnału
 - Approximate Entropy ApEn (przykład implementacji)
 - Sample Entropy SampEn
 - Multiscale Entropy MSE http://doi.org/10.3390/e17053110 (WFDB)

DFA

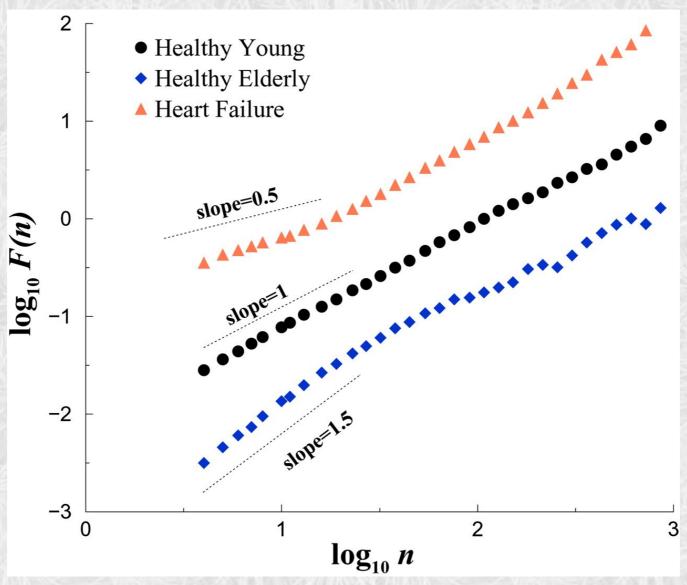
 Bada zależność błędu liniowej interpolacji od długości okna

$$y(k) = \sum_{i=1}^{k} [IBI(i) - IBI_{sr}]$$

- Współczynnik alfa nachylenie wykresu log(F(n)) względem log(n)
 - 0.5 szum biały
 - 1.0 szum 1/f
 - 1.5 błądzenie losowe



Przykład wyników DFA



Ary L. Goldberger et al. PNAS 2002;99:2466-2472

Odtwarzanie i śledzenie stanu systemu

 Jeśli znamy model systemu (opisany równaniami liniowymi), to możemy estymować jego stan na podstawie obserwowanych sygnałów wejściowych i wyjściowych

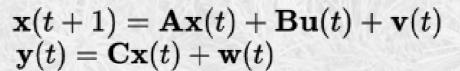
x - wektor stanu

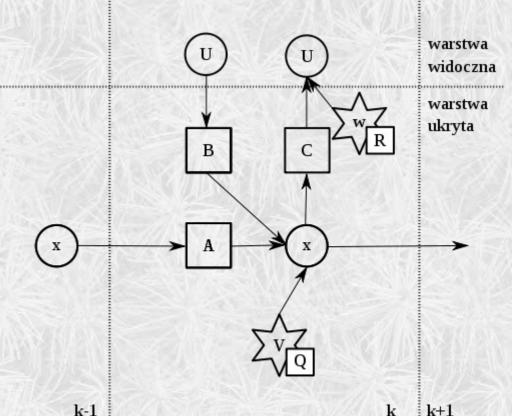
u – wektor wejściowy

v - szum przetwarzania

w - szum pomiarowy

 Narzędziem, które do tego służy jest filtr Kalmana





Źródło: Wikipedia

Odtwarzanie modelu systemu

- Jeśli wiemy, że system powinien być liniowy, możemy spróbować odtworzyć jego model AR lub ARMA
- Możliwe jest także tworzenie modeli adaptacyjnych
 - AR aar
 - ARMA ze średnią aarmam, amarma
 - Gdy mamy wejście i wyjście systemu arx

Dopasowanie modelu

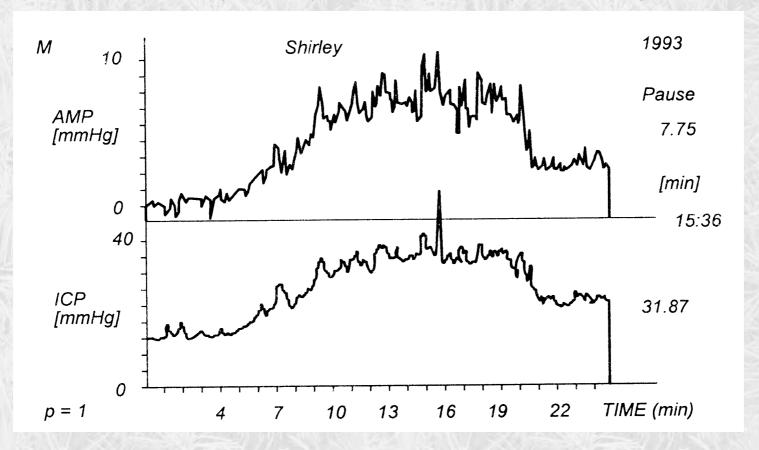
- · Co w przypadku modeli nieliniowych?
 - Jeśli znamy strukturę modelu, możemy próbować dopasować jego parametry za pomocą jednej z funkcji optymalizujących
 - Dopasowujemy parametry modelu tak, aby zminimalizować błąd najczęściej średniokwadratowy błąd wartości wyjściowej.
 - Rozwiązanie trywialne użycie algorytmu simplexu (Neldera i Meada) funkcje fminsearch, fmins lub nelder_mead_min
 - Rozwiązanie wykorzystujące gradient funkcji błędu podany analitycznie lub wyznaczany numerycznie – na przykład funkcja sqp.
 - Powyższe metody mogą być podatne na znajdywanie minimów lokalnych zamiast globalnych. Może to zależeć od wyboru punktu startowego.
 - Funkcje dopasowujące model na podstawie różnicy między wyjściem modelu a wynikami pomiaru - leasqr, nonlin_curvefit

Przykład

 Dobrym przykładem może być dopasowanie parametrów kompensacyjnych przestrzeni wewnątrzczaszkowej do wyników testu infuzyjnego

Test infuzyjny

Źródło: M. Czosnyka "Analiza dynamicznych procesów wewnątrzczaszkowej kompensacji objętościowej"



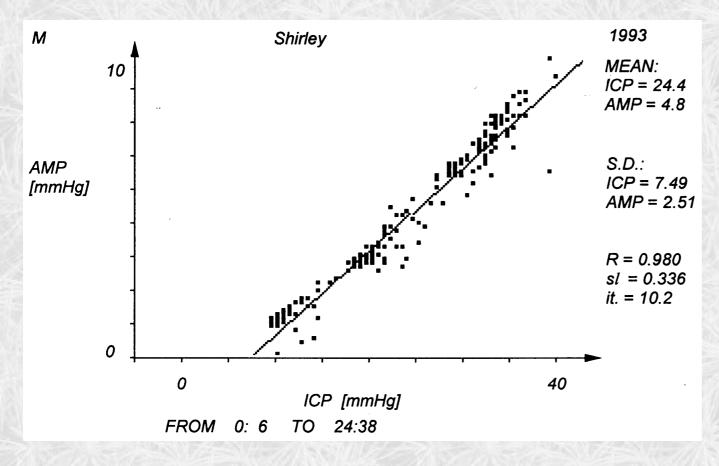
$$p = I_p R_{csf} + p_{ss}$$

$$p = (p_b - p_o) e^{E\Delta V} + p_o$$

Nie znamy wartości p_{ss} i p_0 (uznaje się je za zbliżone) Jak je wyznaczyć?

Test infuzyjny

Źródło: M. Czosnyka "Analiza dynamicznych procesów wewnątrzczaszkowej kompensacji objętościowej"



$$p = (p_b - p_o)e^{E\Delta V} + p_o$$

p₀ – punkt przecięcia prostej regresji z linią AMP=0

Jak wyznaczyć amplitudę składowej tętniczopo-chodnej?

$$p = I_p R_{csf} + p_{ss}$$

Jak oszacować E lub PVI (odwrotność E)

$$PVI_{s} = \frac{\Delta V_{eff}}{\log \frac{ICP_{e} - p_{os}}{ICP_{b} - p_{os}}}$$

$$I_{p} = \frac{ICP_{b} - p_{os}}{RCSF_{s}}$$

$$\Delta V_{eff} = \sum_{n=N_{d}}^{N_{e}} \left(I_{p} - \frac{ICP(n) - p_{os}}{RCSF_{s}} + I_{inf}\right) \Delta t = \sum_{n=N_{d}}^{N_{e}} \left(\frac{ICP_{b} - ICP(n)}{RCSF_{s}} + I_{inf}\right) \Delta t$$

Test infuzyjny

$$p(t) = p_0 + \frac{(I_{inf} + \frac{p_b - p_0}{R_{csf}})(p_b - p_0)}{\frac{p_b - p_0}{R_{csf}} + I_{inf} e^{-E(\frac{p_b - p_0}{R_{csf}} + I_{inf})t}}$$

• W obszarze infuzji dopasowujemy parametry: R_{csf} , E, p_o (czasem dodatkowo p_{ss} , zastępujące p_o we wzorze na odpływ płynu: $(p_b-p_o)/R_{csf}$) tak, aby uzyskać jak najlepsze dopasowanie wartości zmierzonych do wyznaczonego p(t)

Dziękuję za uwagę