آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز
National Brain Mapping Lab
NBML
آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز
وبینار
با موضوع
آشنایی با تئوری آشوب در
تحلیل سیگنال EEG
سخنران
دکتر قاسم صادقی بجستانی
مدیر گروه مهندسی پزشکی دانشگاه امام رضا(ع)
اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۹
۸
دوشنبه
ساعت: ۱۳ الی ۱۴

آشنایی با تئوری آشوب در تحلیل سیگنال EEG

مرکز تحقیقات فناوریهای زیستی و سلامت دانشگاه بین المللی امام رضا(ع)

گروه مهندسی پزشکی

ارایه دهنده: دکتر قاسم صادقی بجستانی

چند سوال مهم که در این وبینار به آنها پاسخ خواهیم داد

۱. منظور از رفتار آشوبی در سیستم چیست؟
۲. دینامیک های مهم رفتاری سیستم چیست؟
۳. چگونه می توان دانست سیگنال زمانی آشوبناک است؟
۴. آشوب با تصادفی چه فرقی میکند؟
۵. آشوب با قطعیت چه فرقی میکند؟
۶. معیارهای کمی سازی آشوب چیست؟
۷. بایوس چیست؟
۸. سیگنالهای الکتروانسفالوگرام از چه دسته سیگنال هستند؟
۹. تفاوت سیگنالهای کیاتیک و بابوتیک در چیست؟
۱۰. چگونه با نگرش مبتنی بر عدم قطعیت میتوان سیگنال های مغزی را تحلیل کرد؟ ابزارهای ما چیست؟

رویکردهای مختلف علمی

- **مبتنی بر قطعیت**

علوم نیوتنی که در آنها علت و معلول زنجیره ای هستند بر این رویکرد استوارند.

- **مبتنی بر عدم قطعیت**
  - **مبتنی بر شانس و احتمال**

علم احتمال وعلم کوانتوم بر این رویکرد علمی استوارند.

  - **مبتنی بر امکان**

علم سیستم و سایبرنتیک بر این رویکرد علمی استوار است. در این علم علت و معلول حلقوی هستند و اثر گذاری و اثر پذیری از مهمترین اصول آن است.

مفاهیم پایه

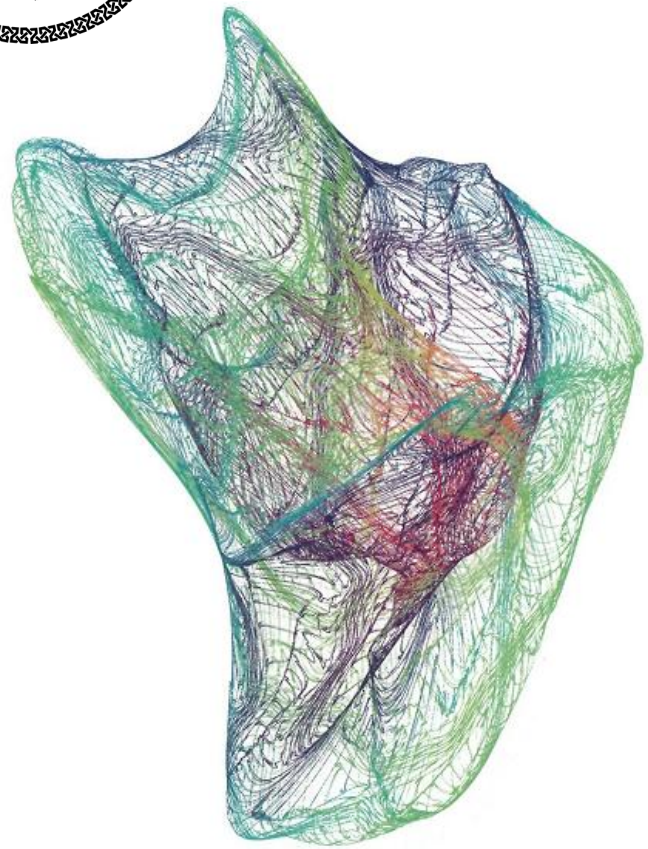
نظریه آشوب (Chaos Theory)

شاخه‌ای از ریاضیات است که به بررسی رفتار آن دسته از سیستم‌های دینامیکی می‌پردازد که به شرایط اولیه بسیار حساس هستند.
آشوب یک نظریه میان‌رشته‌ای است که بیان می‌کند: در تصادفی بودن سیستم‌های پیچیده آشوبناک(Chaotic) ، الگوهای اساسی، حلقه‌های فیدبک ثابت، تکرار، خودتشابهی، فراکتال‌ها و خودسازمان‌دهی وجود دارد.

مفاهیم پایه

سیستم دینامیک: دارای تغییرات زمانی در رفتار

- آغاز از یک شرط اولیه
- رسیدن به یک حالت ماندگار (پایدار) : غایت
- مدلسازی با معادلات دیفرانسیل یا دیفرنس



تظاهرات رفتاری یک سیستم دینامیک

- نقطه ثابت
- سیکل حدی (پریودیک)
- آپریودیک
- آشوب
- تصادفی

مفاهیم پایه

جاذب (Attractor)

جاذب مجموعه جواب های معادلات دینامیکی سیستم برای مدت زمان طولانی کار می کند.
جاذب ها به چهار دسته کلی تقسیم بندی میشوند:

۱- جاذب نقطه ای (Fixed Point)

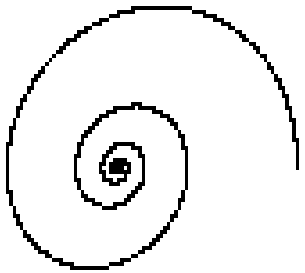
۲- جاذب سیکل حدی (Limit Cycle)

۳- جاذب سطحی مارپیچی (Torus)

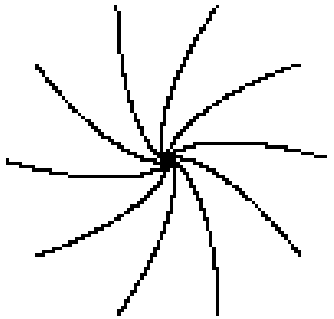
٤- جاذب عجیب (Strange Attractor)

انواع جاذب ها

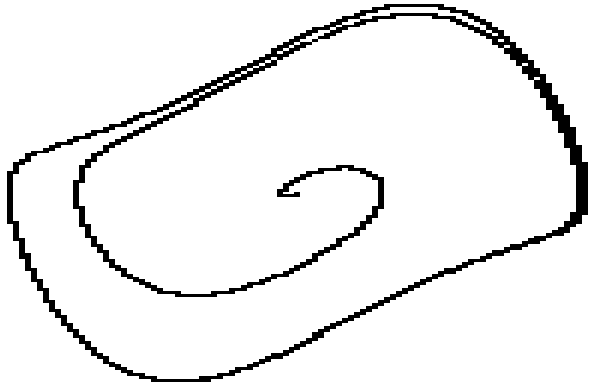
نقطه ثابت



چرخشی

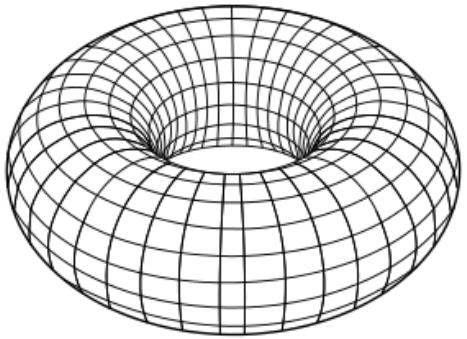


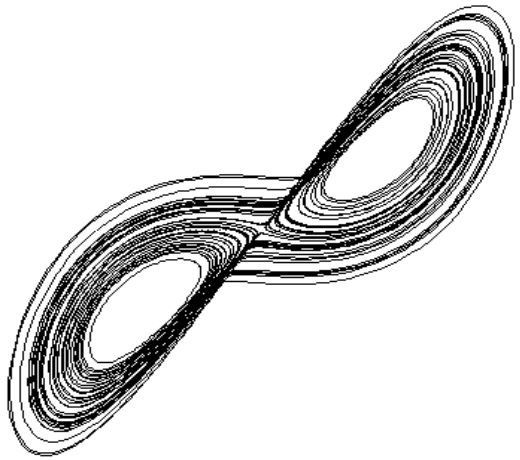
شعاعی



سیکل حدی

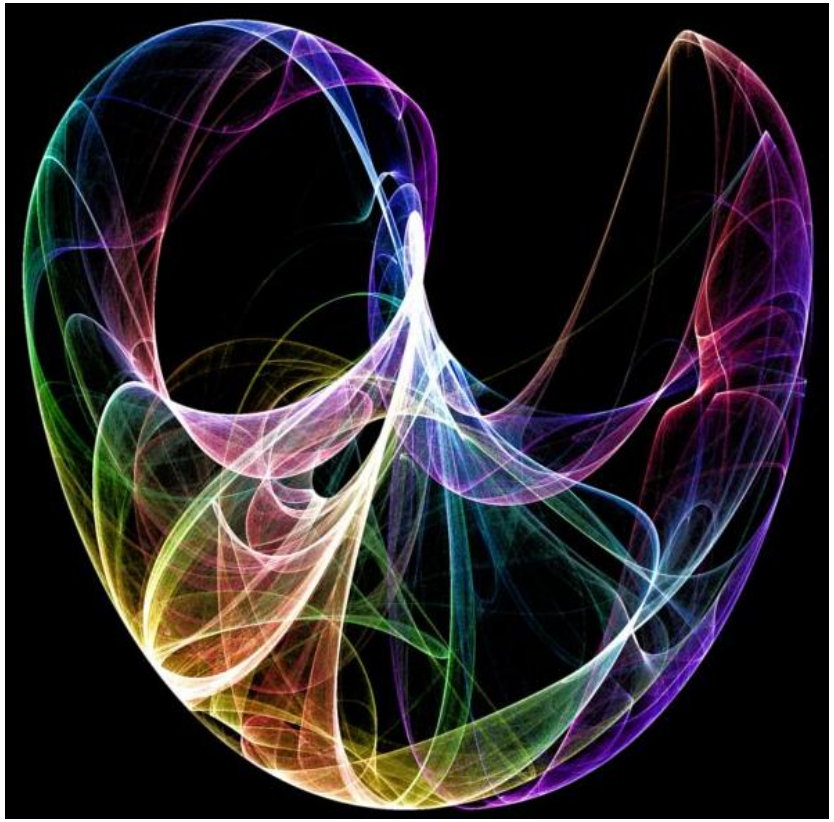
سطحی مارپیچی

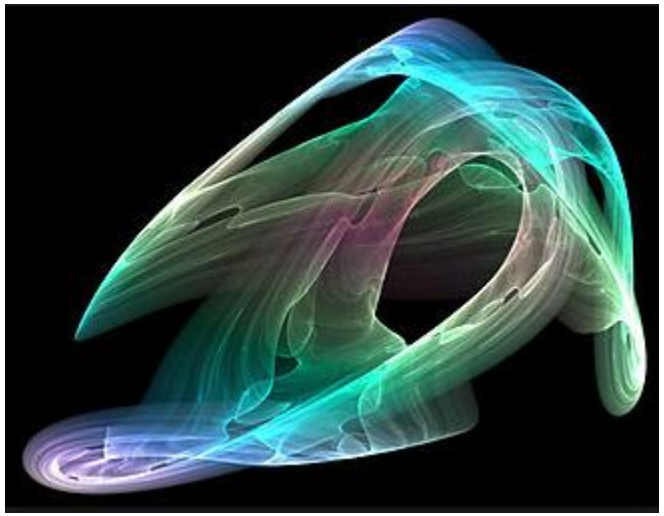


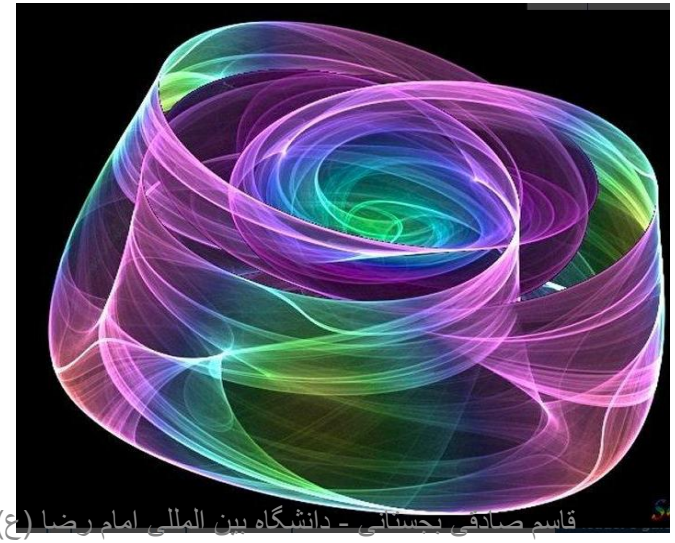


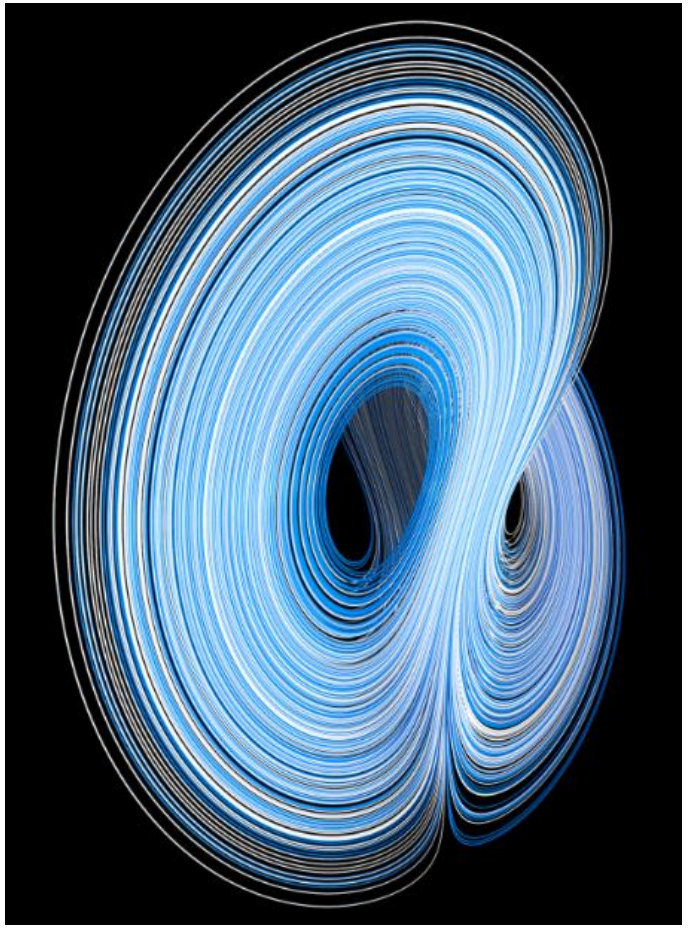
جاذب عجیب

جاذب عجیب









مفاهیم پایه

دوشاخگی یا بایفورکیشن (Bifurcation)

به بیان ساده همان تغییر در رفتار سیستم می باشد. در بررسی سیستم زمانی که اطلاعات جدیدی به سیستم وارد می شود بایفورکیشن رخ خواهد داد.

Sadeghi Bajestani G, Monzavi A, Hashemi Golpaygani SM. **Precisely chaotic models survey with Qualitative Bifurcation Diagram**. Signal and Data Processing. 2016 Dec 10;13(3):17-34.

سوال مهم

به چه سیستمی سیستم آشوبی گفته میشود؟

سیستمی که حساس به شرایط اولیه، دارای بستر جذب عجیب رفتارهای آن در عین تصادفی نبودن دارای عدم قطعیت است.

چگونه می توان دانست سیگنال زمانی آشوبی است؟

- سیگنال آشوبی **مکرر است اما تکرار نمی شود**
- سیگنال آشوبی بر خلاف رندم **اتفاقی نیست**
- سیگنال آشوبی **نه تصادفی است و نه قطعی**
- سیگنال آشوبی **قاعده دارد** اما تظاهرات غیر قابل پیش بینی رخ میدهد.
- در سیگنال آشوبی در بسیاری موارد نایقینیهای موجود **نویز** نامیده میشود در حالی که بخشی از دینامیک سیستم است. (اگر واقعا نویز است بایستی ناهمبسته باشد در حالی که همه جا همبسته با سیگنال اصلی است)

روشهای مدلسازی

- مدلسازی سیستمی ⟸ مبتنی بر معادلات پیوسته (فلو) یا گسسته (نگاشت)
- مدلسازی سیگنالی ⟸ مبتنی بر سیگنال بدست آمده از سیستم

سیگنال الکترو انسفالوگرام (EEG) بدست آمده از عملکرد الکتریکی **سیستم اعصاب مرکزی** یک سیگنال آشوبی که دارای **تظاهرات رندم گونه** است.

سیگنال الکتروانسفالوگرام علاوه بر آشوبی بودن **خلاق** نیز میباشد.

نکته در مورد دادگان ارایه شده

FlexComp Infiniti (SA7550)
512Hz 14bit

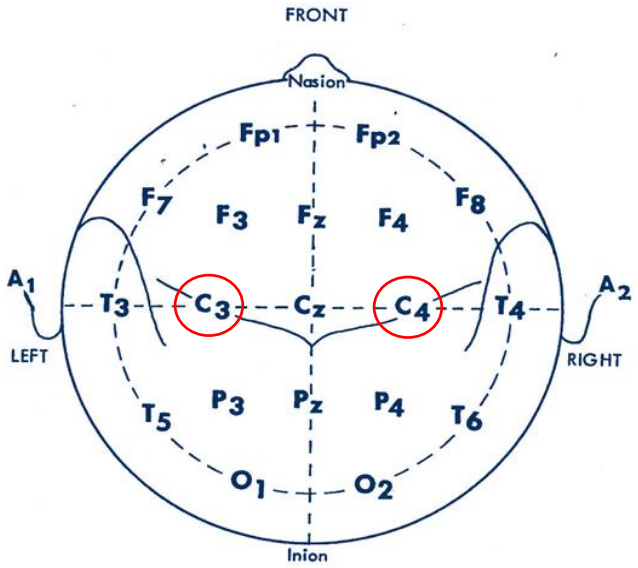
ثبتِ اتاق صدا و تصویر

ثبت در سه وضعیت متوالی :

۱- حالت اولیه(۲ دقیقه)

۲-کارتن با صدا(۵ دقیقه)

۳-همان کارتن بدون صدا(۵ دقیقه)



اهداف استفاده از این روش ثبت:

۱-همه به یک شرط اولیه نزدیک به هم بروند.

۲-اشکال در پردازش سنسوری های شنوایی تقریباً مورد اتفاق همه پزشکان است.

۳-تقریبا از همه طیف اُتیسم میتوان به این روش ثبت گرفت.

۴-امکان **مقایسه هر نفر با خودش** در حالات مختلف

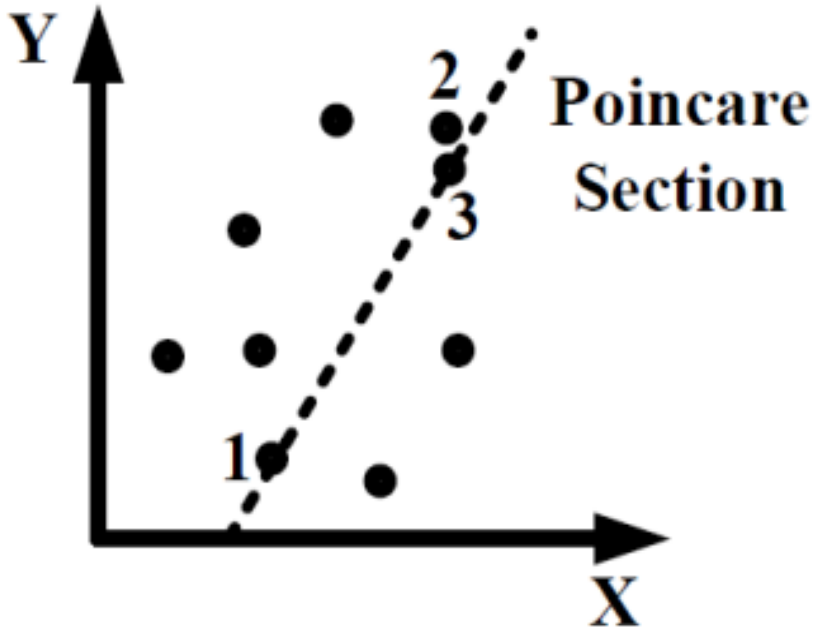
اصول مدلسازی سیگنال EEG مبتنی بر آشوب

- تمرکز بر **کیفیت** پدیده بجای تمرکز بر **کمیت** آن
- توجه به این مسئله که **نایقینی** سیگنال EEG ناشی از ماهیت آن است نه **نویز**
- سیگنال هرچه به سمت **دترمنیسم** برود و از آشوب دور شود به **بیماری** نزدیک شده ایم.
- تکنیک اصلی کمی کردن آشوب حقیقت **قبض و بسط های متوالی** سیگنال است.
- استفاده از **ابزار مناسب** برای کمی کردن یا سیگنال آشوبناک و دارای خلاقیت (بایوتیک)

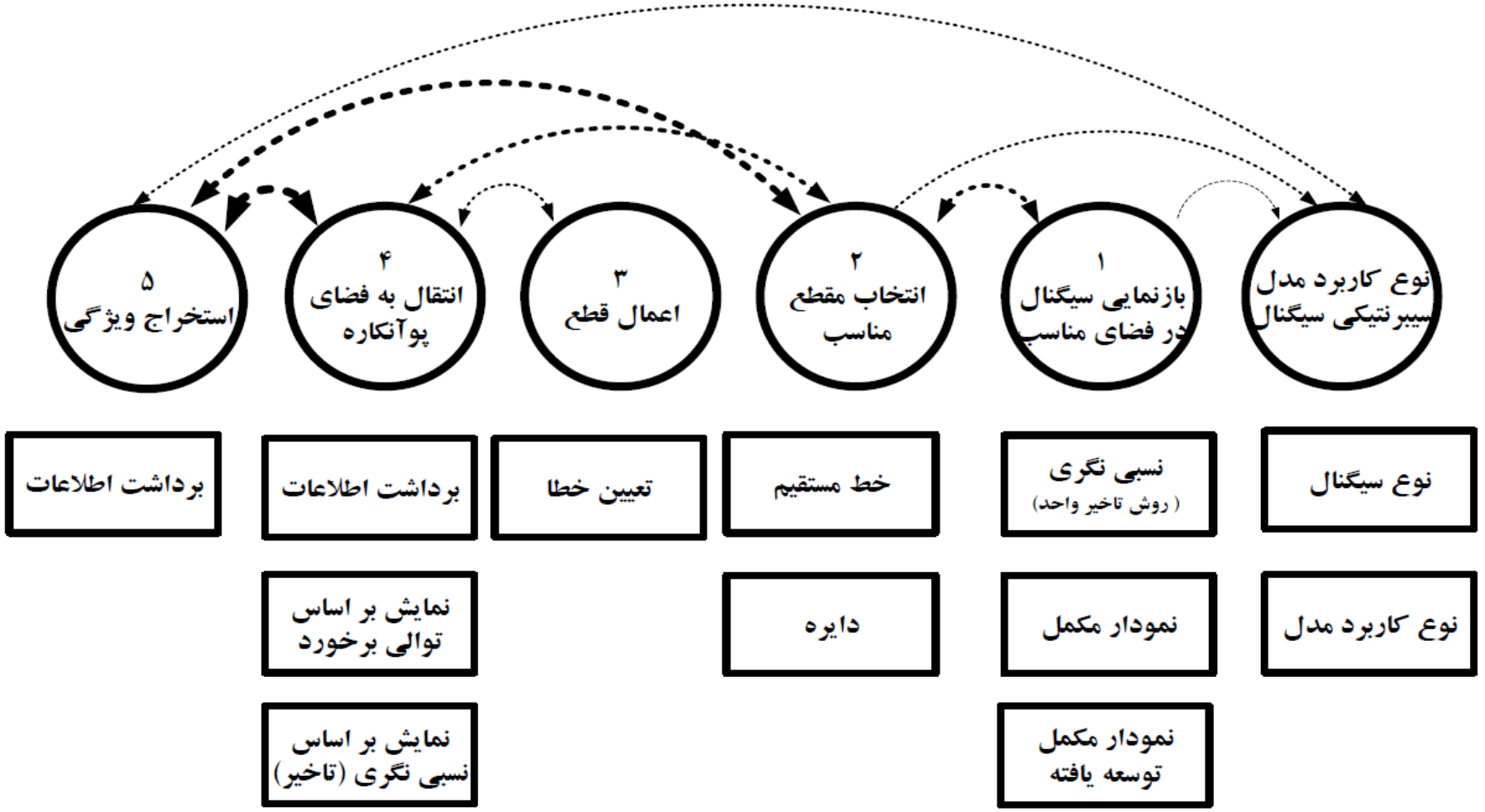
معیارهای کمی سازی آشوب چیست؟

- قطع پوآنکاره (Poincaré Section)
- بعد همبستگی (Correlation Dimension)
- بعد فرکتال (Fractal Dimension)
- نمای لیاپانوف (Lyapunov Exponent)

قطع پوآنکاره (Poincaré Section)



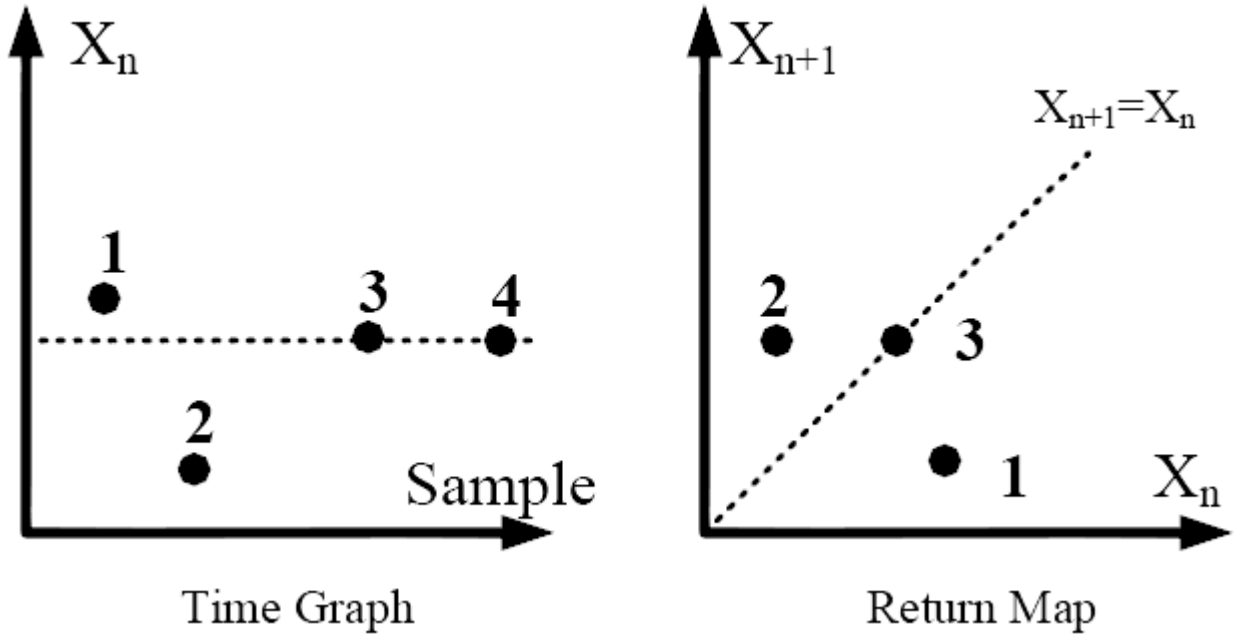
مراحل قطع سیبرنتیکی



Bajestani, Ghasem Sadeghi, et al. "CYBERNETIC APPROACHES IN DIAGNOSIS OF EEG PATTERN VARIATIONS IN AUTISM SPECTRUM DISORDER APPLYING POINCARE SECTION." . JoC. 2015; 9 (3) :59-72

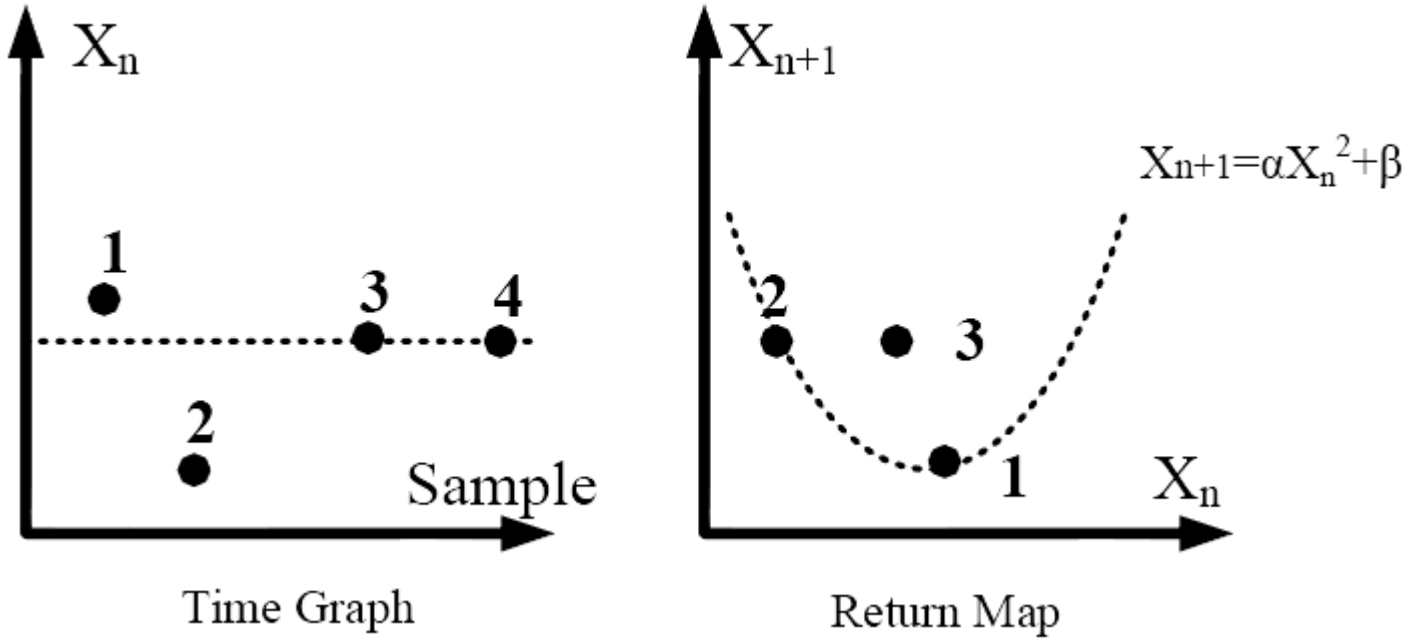
بازنمایی در فضای مناسب و انتخاب مقطع

(روش نسبی نگری- قطع درجه اول)

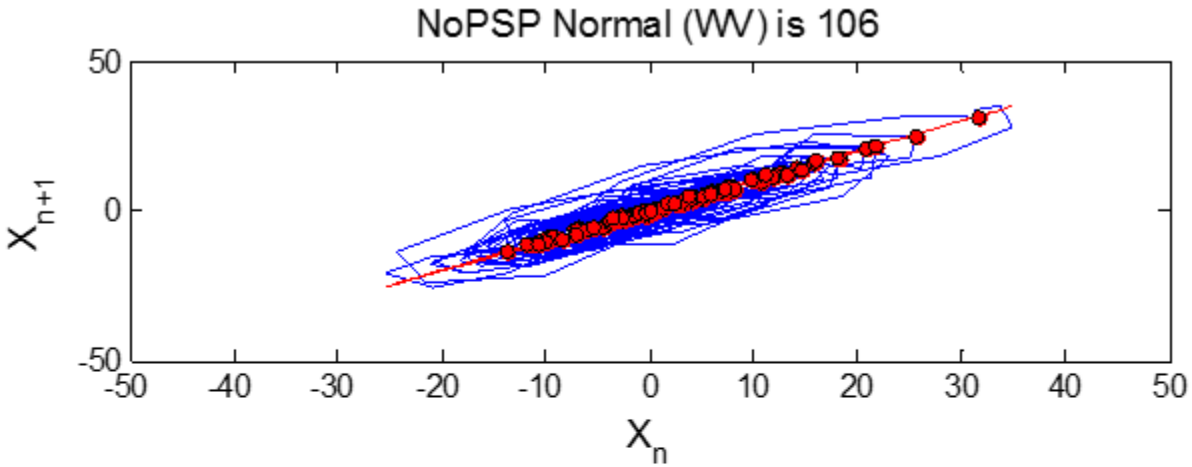


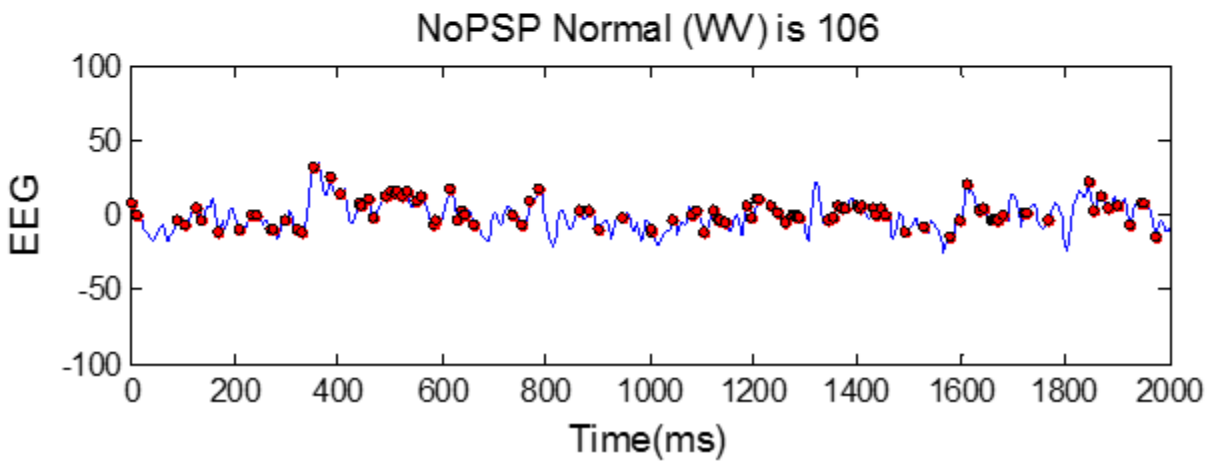
یک روش مناسب برای اندازه گیری تکرار (Measuring Repetition)

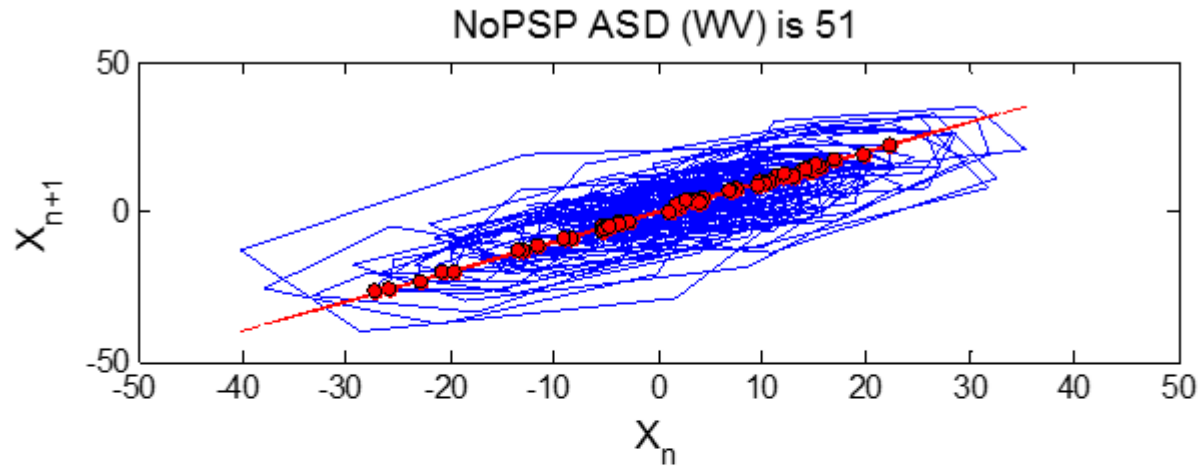
بازنمایی در فضای مناسب و انتخاب مقطع
(روش نسبی نگری– قطع درجه دوم)

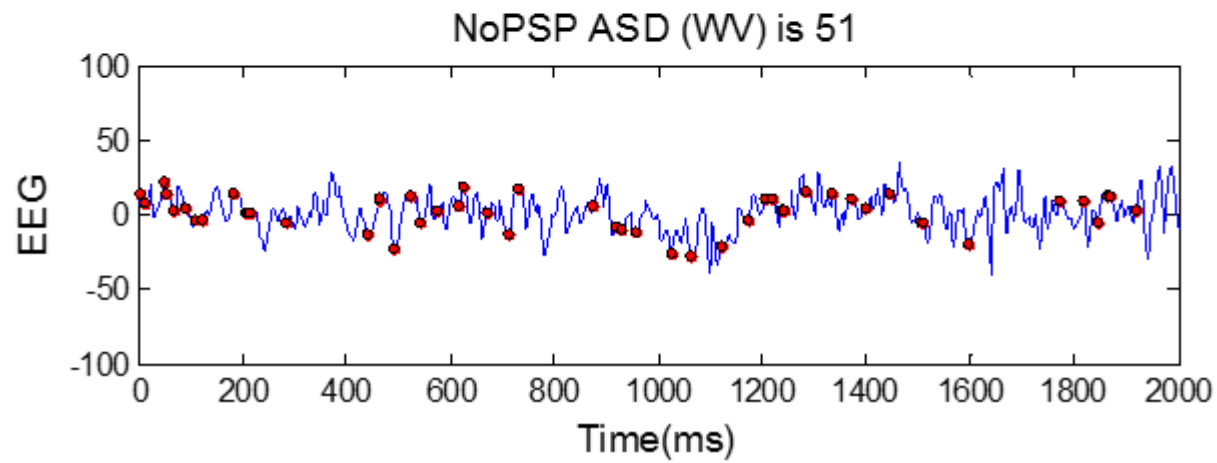


یک روش مناسب برای اندازه گیری تغییرات (Rise and Fall)


NoPSP Normal (WV) is 106
X_{n+1}
X_n


NoPSP Normal (WV) is 106
EEG
Time(ms)


NoPSP ASD (WV) is 51
X_{n+1}
X_n

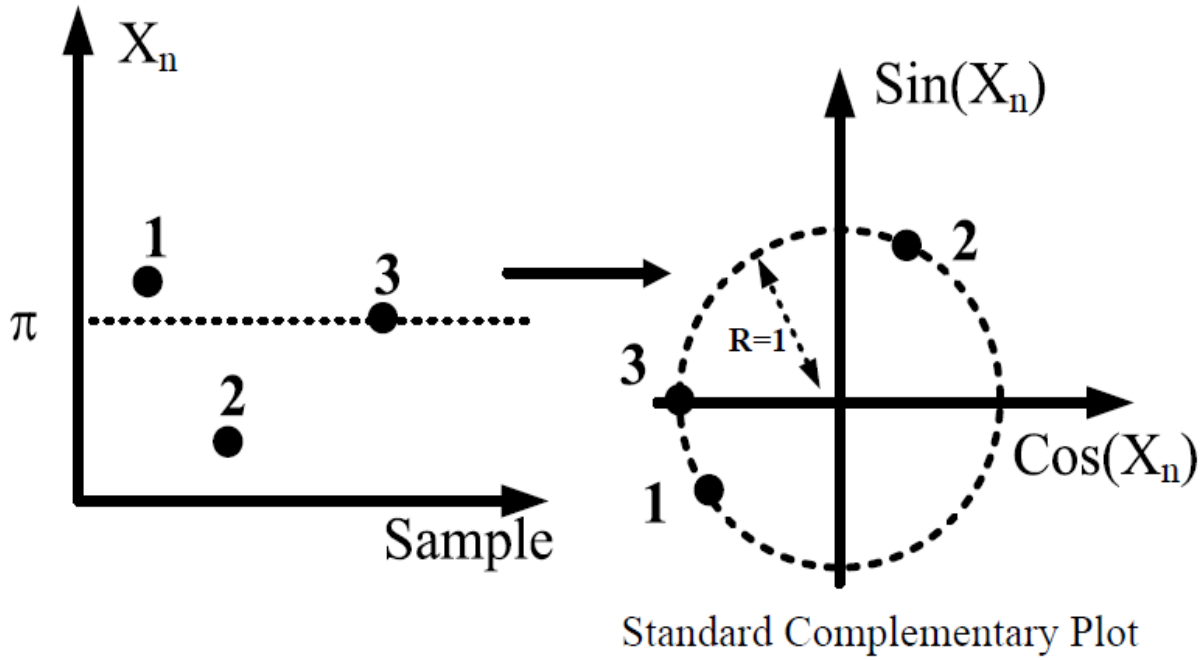

NoPSP ASD (WV) is 51
EEG
Time(ms)

بازنمایی در فضای مناسب و انتخاب مقطع
(روش نمودار مکمل استاندارد)

روشی برای بررسی دینامیک عناصر متضاد اما کامل کننده است

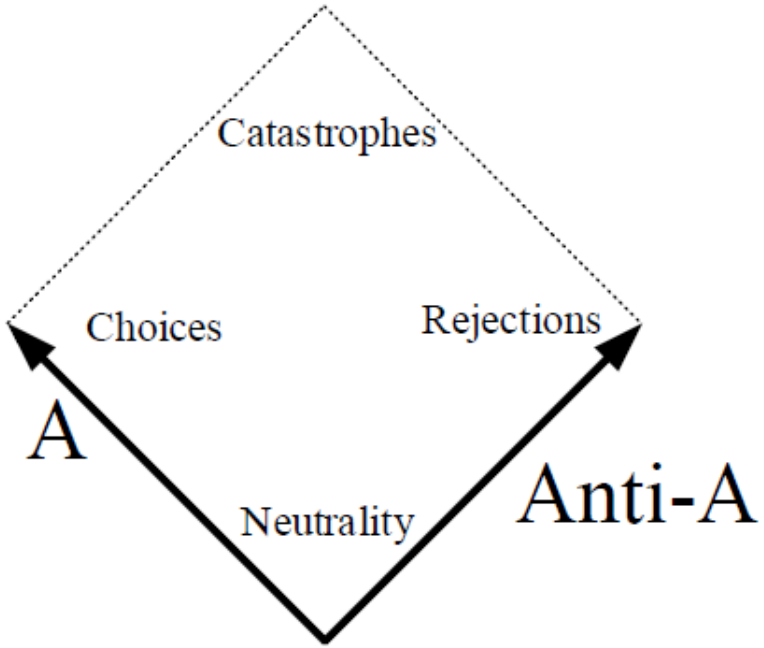
$$x(t) = x_1 x_2 x_3 \dots x_n$$

$$x_k \in x(t) \rightarrow Z_k = \cos(x_k) + i * \sin(x_k) \; k = 1, \dots, n \rightarrow |Z_k| < 1$$

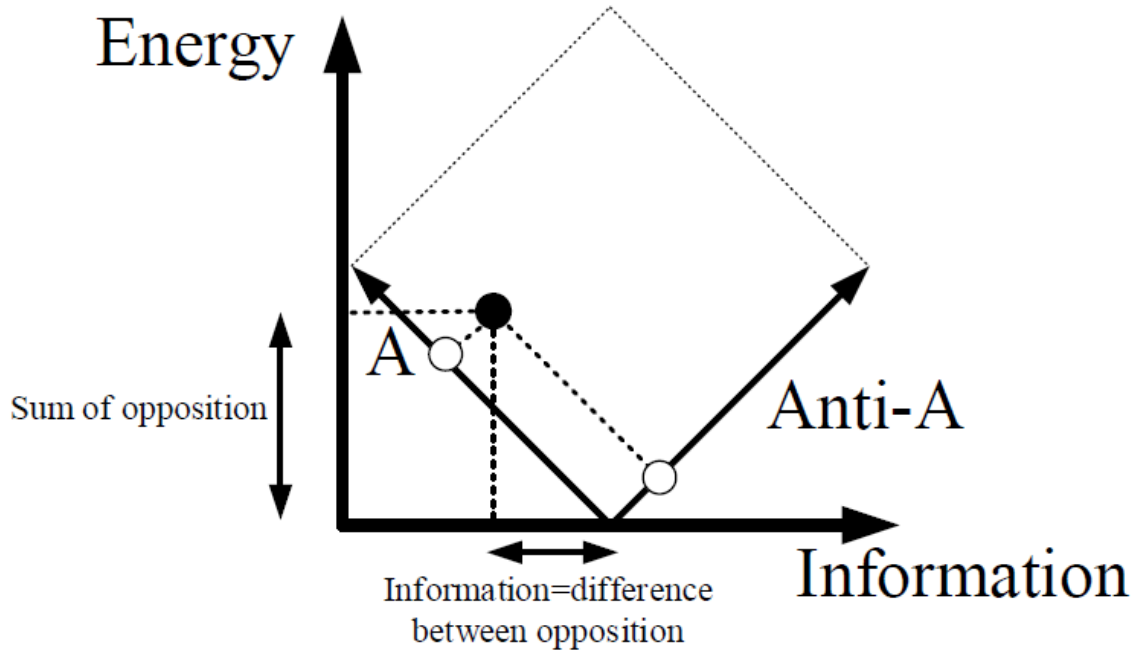


Standard Complementary Plot

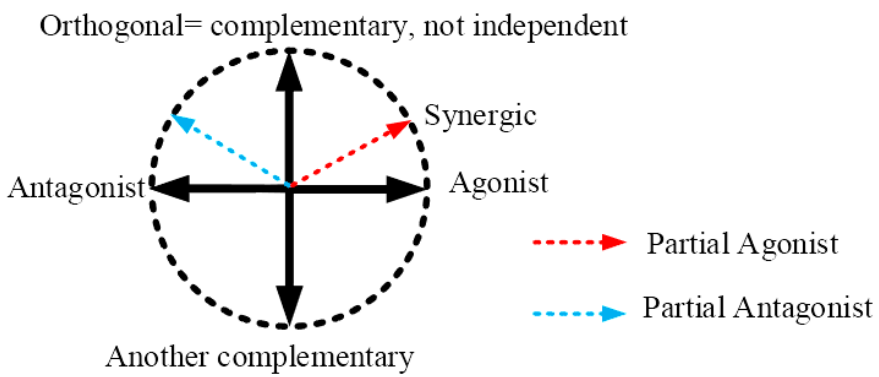
H. SABELLI, "COMPLEMENT PLOTS: ANALYZING OPPOSITES REVEALS MANDALA-LIKE PATTERNS IN HUMAN HEART BEATS," *International Journal of General Systems,* vol. 29, no. 5, pp. 799-830, 2000.



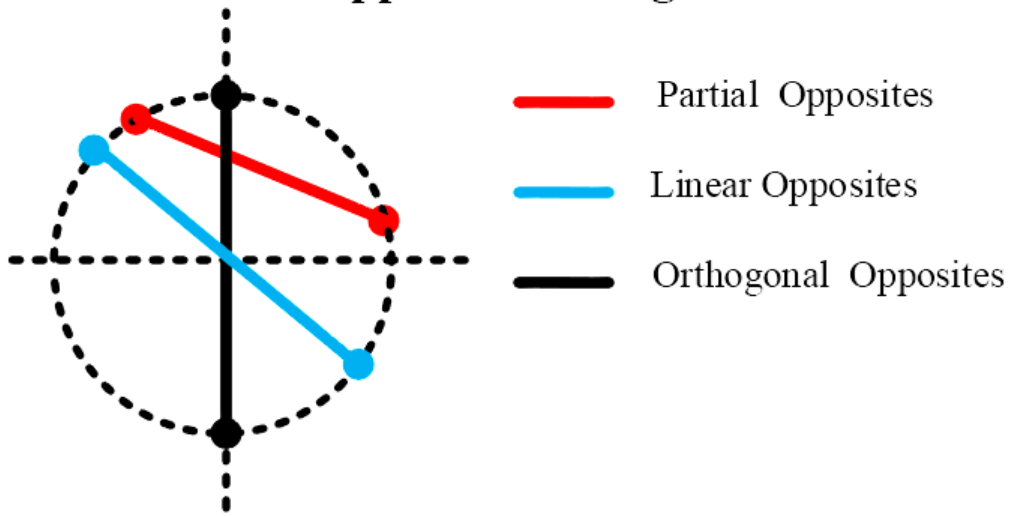
Diamond of Oppositions



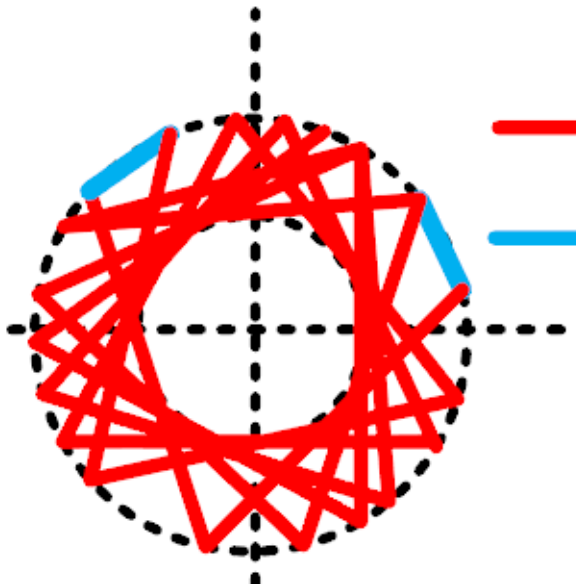
Trigonometric Circle



Different Kinds of Opposites in Trigonometric Circle



Concentric Rings

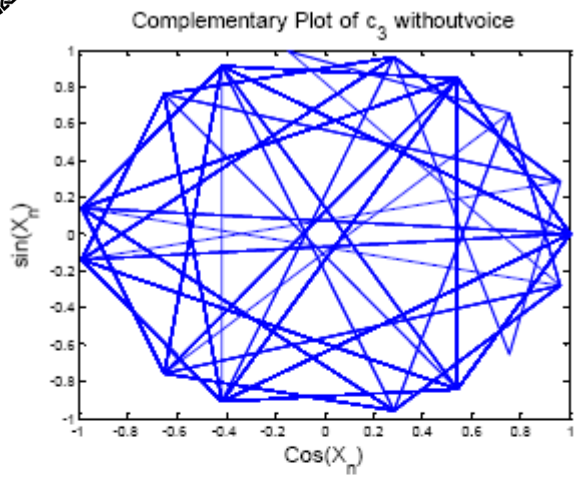


Partial Opposites (Partial Agonist-Partial Antagonist)

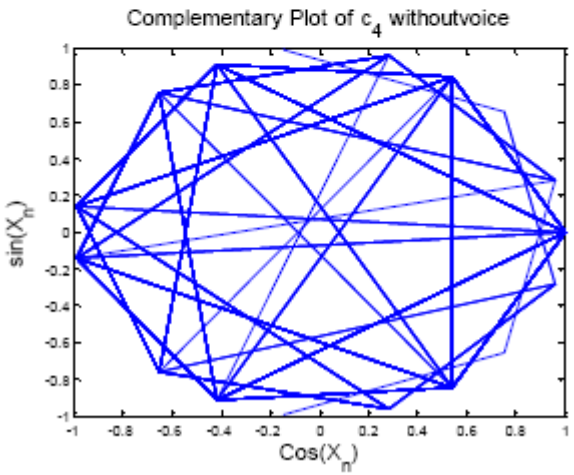
Partial Opposites (Partial Agonist-Partial Agonist)

کودکان نرمال

Without Voice

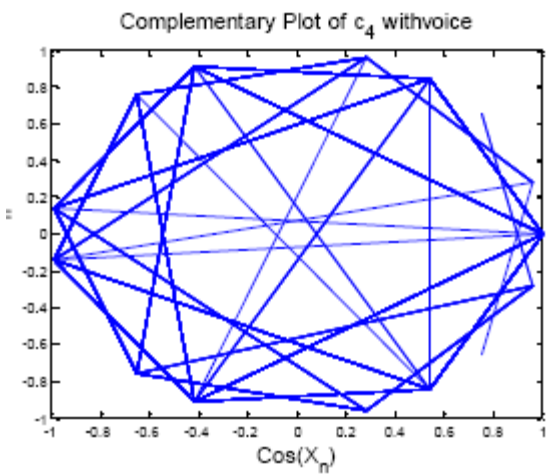


پ۱

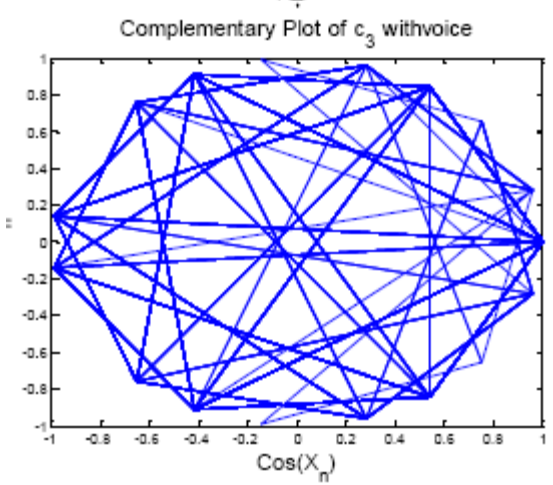


پ۲

With Voice

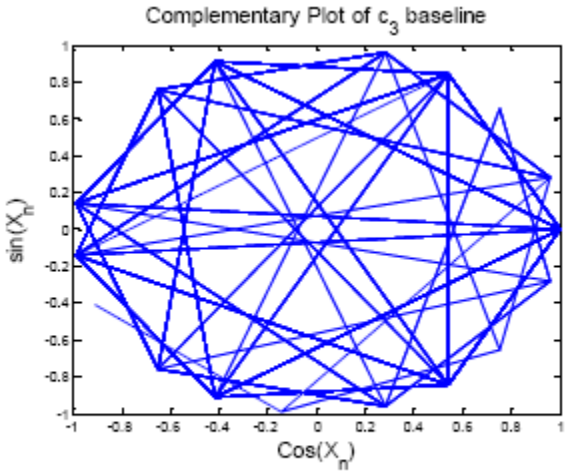


ب۱

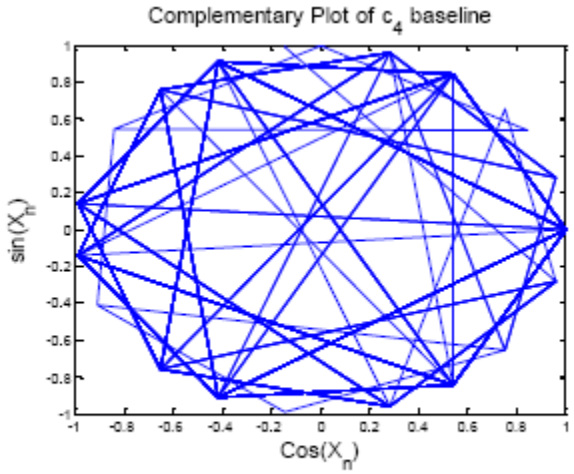


ب۲

Baseline



الف۱



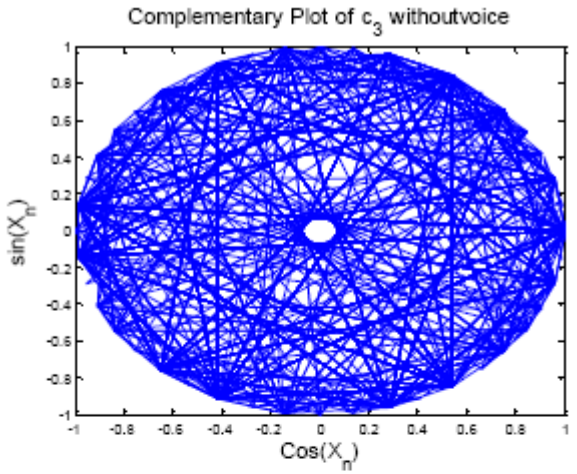
الف۲

کودکان مبتلا به اختلال طیف اتیسم

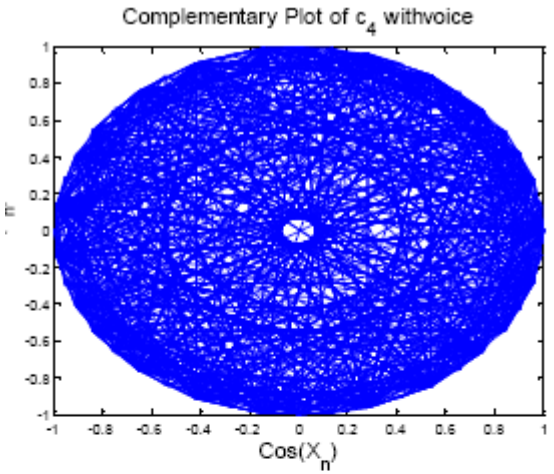
Without Voice

With Voice

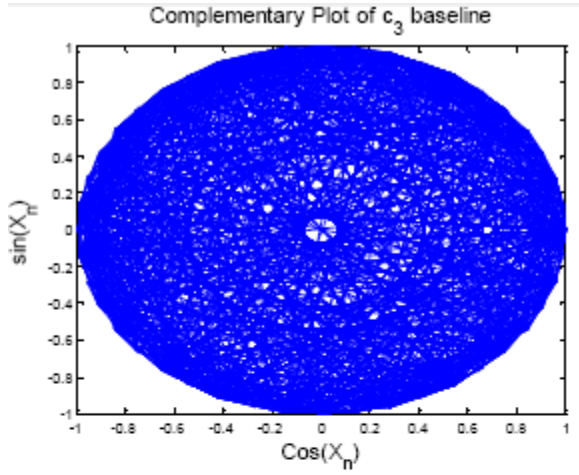
Baseline



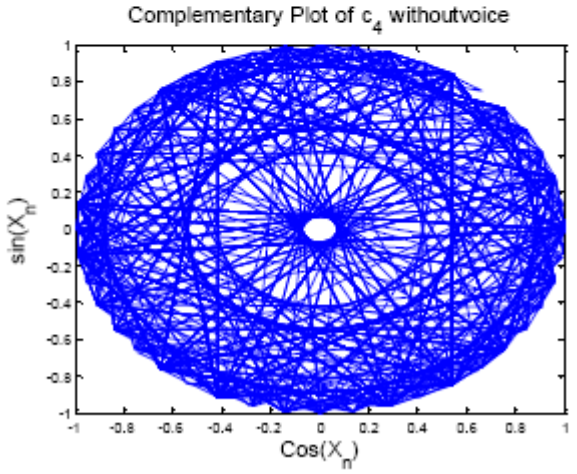
پ۱



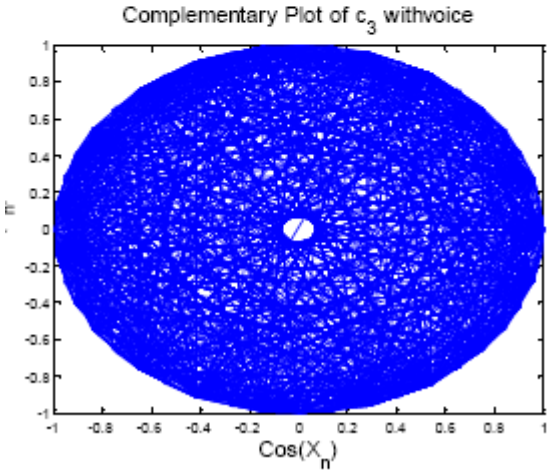
ب۱



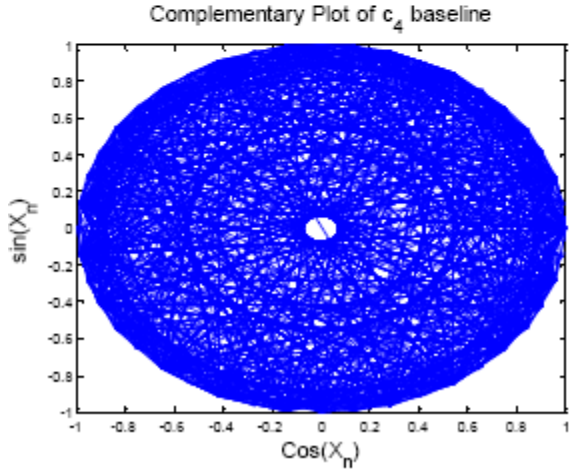
الف۱



پ۲

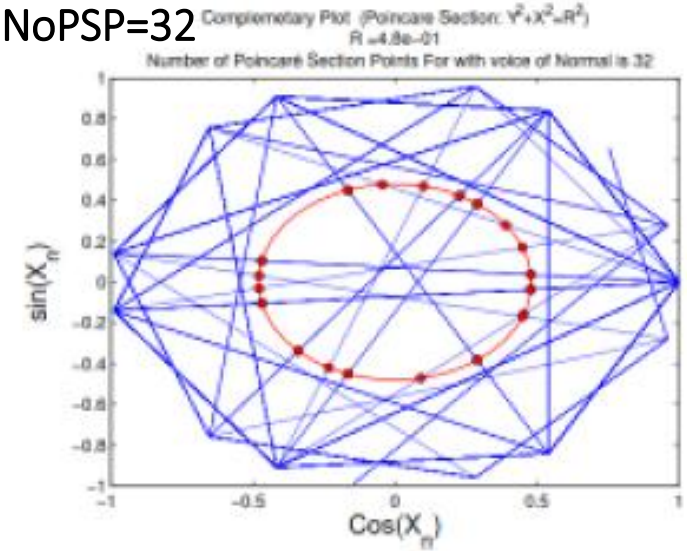


ب۲



الف۲

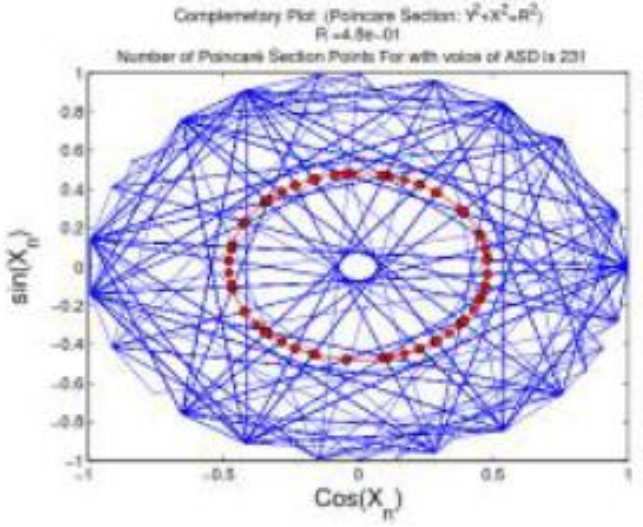
NoPSP=32



الف

کودکان نرمال

NoPSP=231



ب

کودکان مبتلا به اختلال طیف اتیسم

Bajestani GS, Golpayegani MR, Sheikhani A, Ashrafzadeh F. Poincaré section analysis of the electroencephalogram in autism spectrum disorder using complement plots. Kybernetes. 2017 Feb 6.

نمای لیاپانوف

- نمای لیاپانوف بر اصل Nearby Divergence در سیگنال های آشوبی استوار است
- **نمای لیاپانوف برای یک سیستم با رابطه معین**

$$d_n \equiv \left| f^{(n)}(x_0+\varepsilon) - f^{(n)}(x_0) \right|$$

$$\frac{d_n}{\varepsilon} = \frac{\left| f^{(n)}(x_0+\varepsilon) - f^{(n)}(x_0) \right|}{\varepsilon} \equiv e^{\lambda n}$$

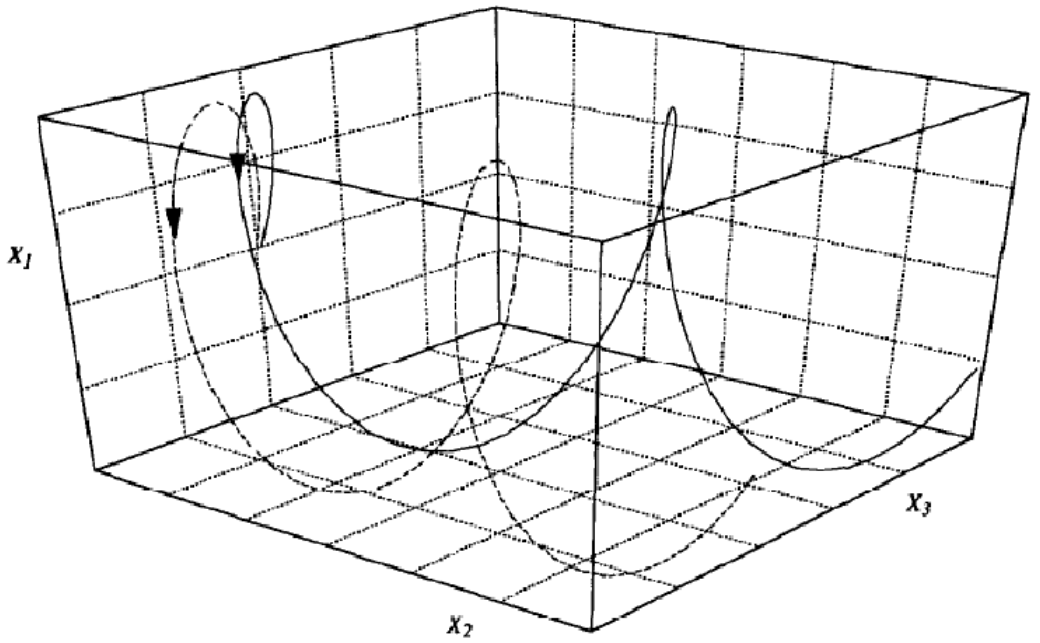
$$\lambda = \frac{1}{n} \ln \left(\frac{\left| f^{(n)}(x_0+\varepsilon) - f^{(n)}(x_0) \right|}{\varepsilon} \right)$$

g.sadeghi@imamreza.ac.ir

$$\lambda = \frac{1}{n} \ln \left(\left| f'(x_0) \right| \left| f'(x_1) \right| \ldots \left| f'(x_{n-1}) \right| \right)$$

$$\lambda = \frac{1}{n} \left(\ln \left| f'(x_0) \right| + \ln \left| f'(x_1) \right| + \ldots + \ln \left| f'(x_{n-1}) \right| \right)$$

Nearby Divergence



- نمای لیاپانوف برای یک سیگنال

$$d_0 = |x_j - x_i|$$
$$d_1 = |x_{j+1} - x_{i+1}|$$
$$d_2 = |x_{j+2} - x_{i+2}|$$
$$\vdots$$
$$d_n = |x_{j+n} - x_{i+n}|$$

$$d_N = d_0 e^{\lambda n}$$

$$\lambda = \frac{1}{n} \ln \frac{d_n}{d_0}$$

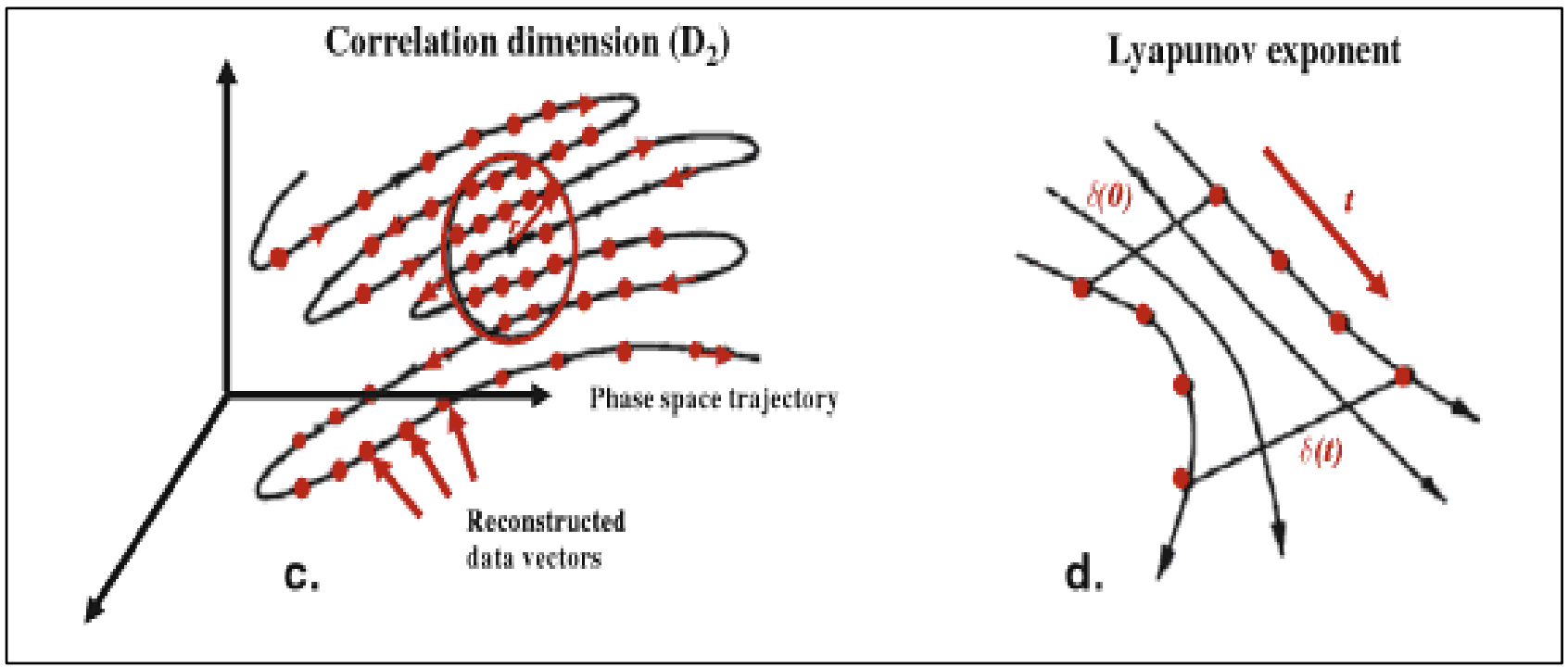
$$\lambda = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \lambda(x_i)$$

بعد همبستگی

$$C(R) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1, j\neq i}^{N} \Theta(R - |x_i - x_j|)$$

Heaviside step function Θ :

$$\Theta(x) = 0 \quad \text{if } x < 0$$
$$\Theta(x) = 1 \quad \text{if } x \geq 0$$



بعد فرکتال

- این معیار بر هندسه و چینش در سیستم و سیگنال توجه ویژه دارد.
- روشهای مختلفی برای اندازه گیری بعد فرکتال وجود دارد برخی از آنها که عبارتند از: روش شمارش جعبه، روش هیگوچی، پتروسین و ..
- روش شمارش جعبه

$$N(R) = \lim_{R \to 0} kR^{-D_b}$$

$$D_b = \lim_{R \to 0} \left\{ -\frac{\log N(R)}{\log R} + \frac{\log k}{\log R} \right\}$$

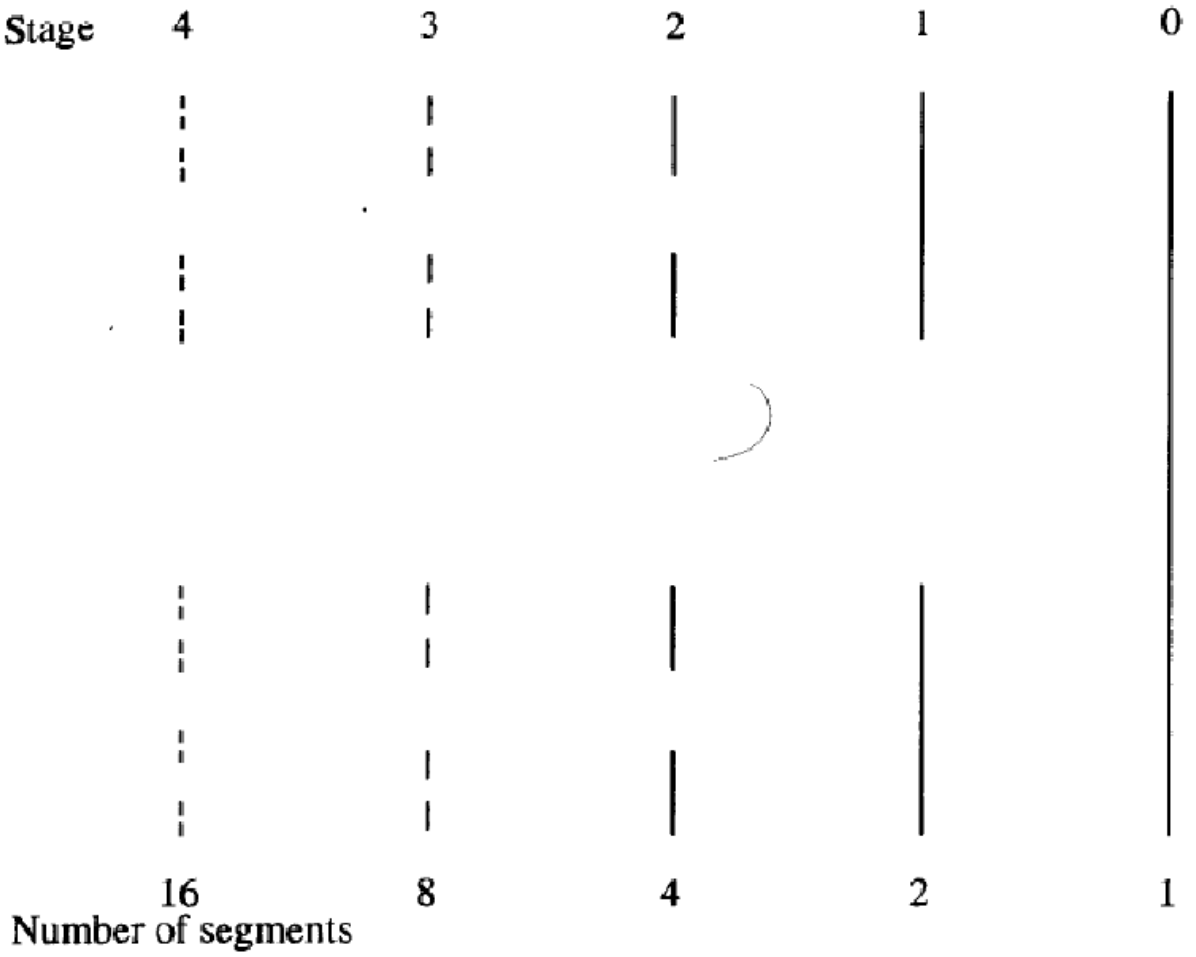
$$D_b = -\lim_{R \to 0} \frac{\log N(R)}{\log R}$$

فرض کنید خطی به طول L داریم و میخواهیم بعد آن را بدست آوریم:

$$N(R) = L / R$$

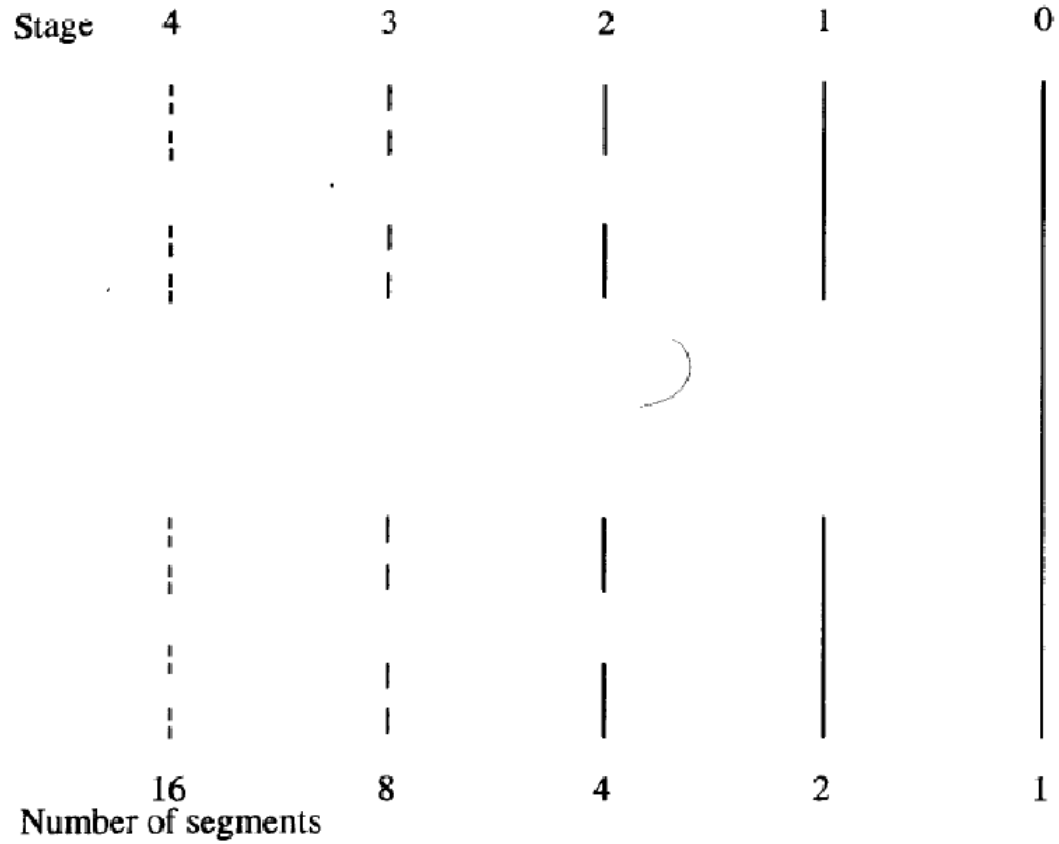
$$D_b = -\lim_{R \to 0} \frac{\log(L/R)}{\log R} = -\lim_{R \to 0} \frac{\log L - \log R}{\log R} = 1$$

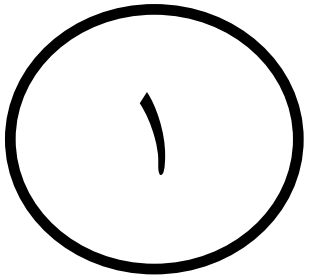
مثال: (کانتورست) مطلوبست محاسبه بعد هم بستگی بعد از تکرار بسیار مراحل؟



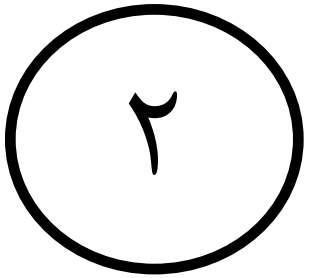
$$D_b = -\lim_{R \to 0} \frac{\log N(R)}{\log R}$$

$$D_b = -\frac{\log 2^M}{\log (1/3)^M} = \frac{\log 2}{\log 3} = 0.63\ldots$$





آیا سیگنال الکتروانسفالوگرام یک سیگنال آشوبناک است؟ چرا؟



تفاوت سیگنالهای کیاتیک و بابوتیک در چیست؟

عدم قطعیت درسیستمهای زیستی تصادفی نیست

کلیدهای غیب، تنها نزد اوست؛ و جز او، کسی آنها را نمی‌داند. او آنچه را در خشکی و دریاست می‌داند؛ هیچ برگی (از درختی) نمی‌افتد، مگر اینکه از آن آگاه است؛ و نه هیچ دانه‌ای در تاریکیهای زمین، و نه هیچ تر و خشکی وجود دارد، جز اینکه در کتابی آشکار [= در کتاب علم خدا] ثبت است.

(سوره انعام آیه ۵۹)

رفتار پدیده های زیستی قانون دارد ولی قانون آن را ما نمی دانیم به عبارت دیگر عدم قطعیت از نوع امکانی دارد.

معرفی دو کتاب مهم