

## تجزیه و تحلیل سریهای زمانی تصادفی به روش قطع تراز

مهدی بوربور و فرهاد شهبازی

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۸۵/۱۲/۲۸؛ دریافت نسخه نهایی: ۸۶/۷/۱۵)

### چکیده

روش قطع تراز<sup>۱</sup> یک راهکار بسیار سودمند جهت تجزیه و تحلیل سریهای زمانی تصادفی است. ما در این مقاله با معرفی این روش به تحقیق در مورد نوفه‌های بتا و سریهای زمانی فواصل ضربان قلب (RR)<sup>۲</sup> پرداخته و تمایز قابل توجهی را بین نوفه  $1/f$  و نوفه سفید و همچنین قلب سالم و بیماری نارسایی قلبی (CHF)<sup>۳</sup> نشان می‌دهیم.

واژه‌های کلیدی: قطع تراز، نارسایی قلبی، سری زمانی

### ۱. مقدمه

سیستم سمپاتیک و پاراسمپاتیک دستگاه عصبی خودکار را کنترل می‌کند [۳ و ۴]. بیماری قلبی باعث ایجاد اختلال در عملکرد این سیستم می‌شود. به همین دلیل دینامیک ضربان قلب فرد سالم و بیمار متفاوت است.

روشهایی نظیر آنتروپی چند مقیاسی (MSE)<sup>۴</sup>، آنالیز چند فرکتالی (MFA)<sup>۵</sup>، تحلیل موجک (WTMM)<sup>۶</sup> و حذف شیب (DFA)<sup>۷</sup> [۸] به بررسی این تفاوتها پرداخته‌اند. روش قطع تراز که بر پایه فرایندهای تصادفی بوده و حساسیت فراوانی به همبستگی دارد روشی بسیار ساده و کاربردی در تحلیل سریهای زمانی است خصوصاً آنکه برای این آنالیز نیاز به سری زمانی با طول بلند ندارد [۹ - ۱۷].

ما توانسته‌ایم با به کارگیری برخی نکات محاسباتی روش قطع تراز و اعمال برخی ملاحظات پیرامون آن،

در سالهای اخیر تلاشهای زیادی جهت طبقه‌بندی سریهای زمانی فیزیولوژیکی و شناخت خواص آنها از سوی دانشمندان صورت گرفته است. در اثر برهم‌کنش اجزای مختلف سیستم، سیگنال خروجی افت و خیزهای پیچیده‌ای دارد که خواص ناوردا مقیاس و غیر پایایی از خود نشان می‌دهد. چنین سیستمهایی را ممکن است بتوان از روی خواص ناوردامقیاسی آنها شناخت. یکی از مهمترین ساختارهای مقیاس - ناوردا به نام فرکتالها توصیف ساده‌ای از ساختارهای پیچیده فراهم می‌آورند [۱ و ۲].

قلب انسان نمونه‌ای از یک سیستم پیچیده است. سری زمانی فواصل ضربان قلب معمولاً طبق یک روال پیچیده و نامنظم نوسان می‌کند. این نوسانات می‌توانند به دلیل دینامیکهای خودکار داخلی و نیز محرکهای محیطی باشند. عملکرد متقابل

۴. Multiscale entropy

۵. Multifractality analysis

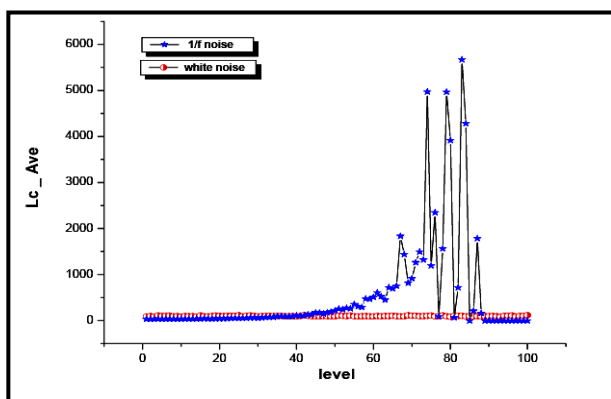
۶. Wavelet transform modulus maxima

۷. Detrended fluctuation analysis

۱. Level crossing

۲. Cardiac interbeat interval time series

۳. Congestive heart failure



شکل ۲. تغییرات  $Lc\_Ave$  برحسب تراز در نوفه‌های همبسته.

از فاصله‌ی ترتیبی دو داده‌ی جور شده متوالی. مثلاً در تراز پنجاه و چهارم یعنی  $(0.54 < u < 0.55)$  طول اولین قطع تراز برابر با  $(10 = 13 - 3)$ ، طول دومین قطع تراز برابر با  $(16 = 13 - 3)$  و طول سومین قطع تراز برابر با  $(11 = 29 - 40)$  است. بنابراین تعداد قطع ترازا در تراز پنجاه و چهارم برابر با عدد ۳ و فاصله میانگین قطع تراز در این تراز برابر با  $12/33$  می‌باشد:

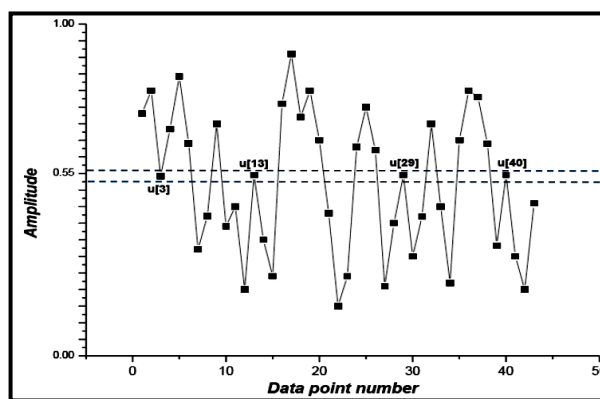
$$Lc\_Num = 3 \quad (\text{تعداد قطع ترازا در تراز پنجاه و چهارم})$$

$$Lc\_Ave = (11 + 16 + 10) / 3 = 12/33 \quad (\text{فاصله میانگین قطع تراز در تراز پنجاه و چهارم})$$

در نهایت فرایند بالا را برای تمام ترازهای موجود انجام داده و مقادیر  $Lc\_Ave$  و  $Lc\_Num$  به صورت تابعی از شماره‌ی تراز ترسیم می‌شود.

اولین سریهای زمانی که در اینجا بررسی می‌شود نوفه‌های  $1/f$  ( $\beta = 1$ ) و سفید ( $\beta = 0$ ) می‌باشد. طول سریهای استفاده شده  $3 \times 10^4$  داده و مقدار  $r$  برابر  $0.1$  (یعنی  $100$  تراز) است. در ضمن تعداد نمونه‌های آنالیز شده از هر مورد  $10$  مورد می‌باشد.

شکل ۲ تغییرات میانگین طول قطع تراز برحسب تراز را نشان می‌دهد. توجه کنید میانگین طول قطع تراز در نوفه سفید دارای افت و خیزهای بسیار آرامی حول و حوش مقدار  $20$



شکل ۱. انتخاب داده‌های جور شده در تراز پنجاه و چهارم.

به تجزیه و تحلیل نوفه‌های همبسته و سریهای زمانی فواصل ضربان قلب پردازیم.

## ۲. توصیف روش "قطع تراز" و نتایج حاصله از آن

روش قطع تراز شامل دو گام است:

### الف) بهنجار کردن سری زمانی

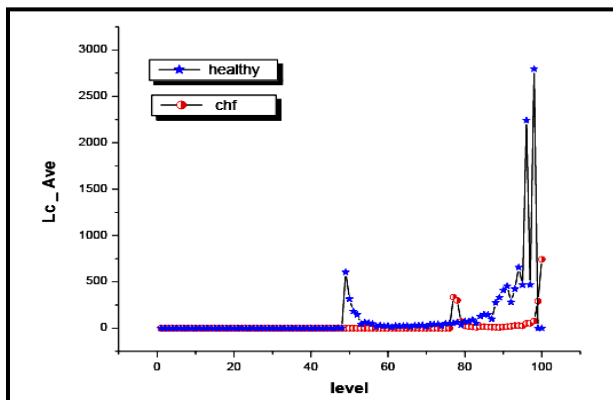
برای یک سری زمانی مفروض بهنجار کردن عبارت است از قدر مطلق حاصل تقسیم داده‌های سری زمانی بر بزرگترین داده آن سری. بنابراین هر عنصر از سری زمانی بهنجار شده بر طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$y_{Norm}(i) = \frac{y(i)}{y_{max}}$$

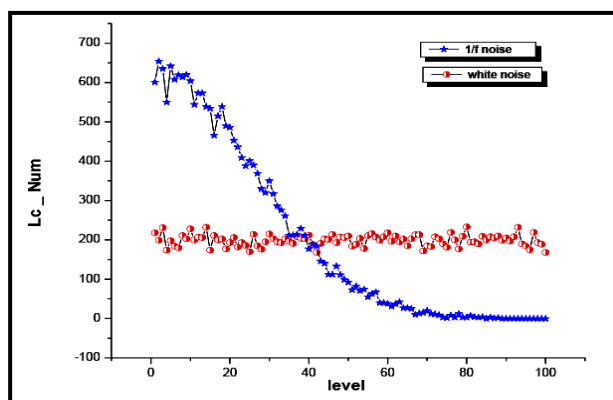
که  $y_{max}$  بزرگترین داده از لحاظ قدر مطلق مقداری می‌باشد.

### ب) محاسبه فاصله میانگین قطع تراز ( $Lc\_ave$ ) و تعداد قطع ترازا ( $Lc\_num$ )

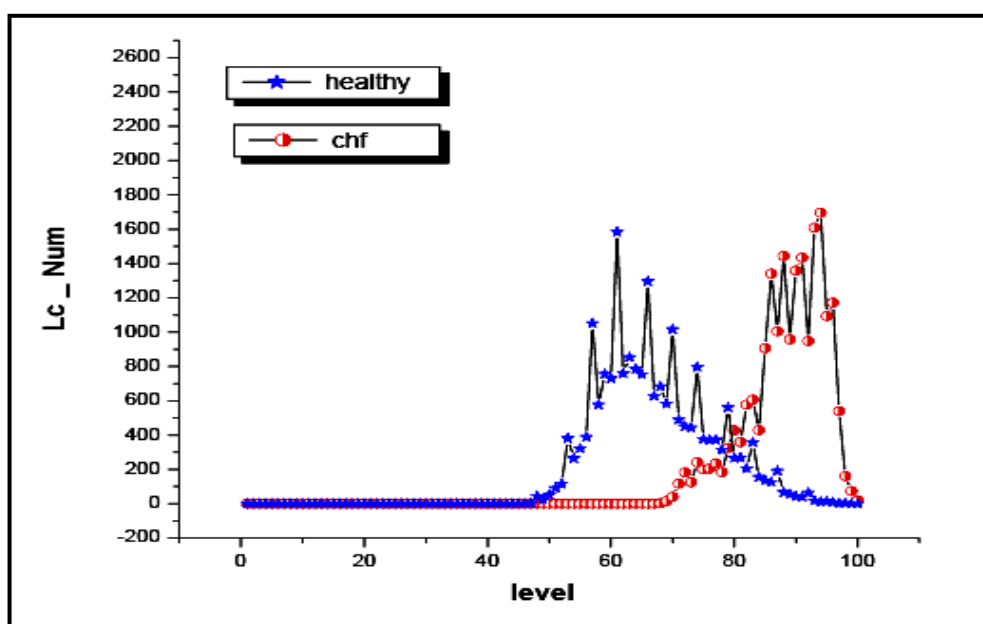
فرض کنید  $N$  طول سری زمانی و  $r$  پهنای هر تراز برای پذیرفتن یک عضو از سری زمانی و در نتیجه  $1/r$  تعداد ترازهای موجود باشد. در شکل ۱ سری زمانی  $\{u(1), u(2), \dots, u(43)\}$  به ازای  $r = 0.1$  نشان داده شده است. دو داده را با هم جور گوئیم هرگاه قدر مطلق اختلاف بین آنها کمتر یا مساوی  $r$  باشد. مثلاً  $u(3)$ ،  $u(13)$ ،  $u(29)$  و  $u(40)$  با هم جور هستند. طول قطع تراز عبارت است



شکل ۴. تغییرات Lc\_Ave در قلب سالم و Chf.



شکل ۳. تغییرات Lc\_Num برحسب تراز در نوفه‌های همبسته.



شکل ۵. تغییرات Lc\_Num قلب سالم و Chf.

ثبت شده است (شکل ۴). طول سری زمانی به کار گرفته شده در اینجا  $2 \times 10^4$  داده و مقدار  $r$  برابر  $0.1$  (یعنی  $100$  تراز) است. نمونه‌های قلبی آنالیز شده عبارتند از: قلب سالم (Healthy) و قلب سکته کرده (Chf).

شکل ۴ تغییرات فاصله میانگین قطع تراز بر حسب تراز را نشان می‌دهد. همان طور که می‌بینید در قلب سالم قله حدوداً در تراز  $50$  رخ داده حال آنکه در قلب Chf این قله در تراز تقریباً در  $75$  اتفاق افتاده است. همچنین ارتفاع قله‌ها در قلب سالم از قلب Chf بیشتر است. در شکل ۵ تغییرات تعداد قطع تراز بر حسب تراز نشان داده شده است. ملاحظه

می‌باشد، حال آنکه در نوفه  $1/f$  نوسانات شدیدی از تراز حدوداً  $60$  به بعد شروع می‌شود. همچنین شکل ۳ تغییرات تعداد قطع تراز بر حسب تراز را نشان می‌دهد. همان طور که می‌بینید تعداد قطع ترازها در نوفه سفید دارای افت و خیزهای ملایمی حدود مقدار  $200$  است ولی در نوفه  $1/f$  با شیب بسیار زیاد در حال کاهش است.

گفتنی است نتایج فوق از آنالیز  $10$  نمونه نوفه  $1/f$  و  $10$  نمونه نوفه سفید به دست آمده است.

سری زمانی بعدی که در اینجا بررسی می‌شود سری فواصل ضربان قلب (RR) است که در طی  $6$  ساعت الکتروکاردیوگرافی

قابلیت را داراست که در آنالیز انواع سریهای فیزیکی و فیزیولوژیکی استفاده شود.

در این تحقیق ملاحظه شد در نوفه‌های بتا میانگین طول قطع تراز نوفه  $1/f$  دارای افت و خیزهای شدیدتری نسبت به نوفه سفید است. همچنین تعداد قطع ترازها در نوفه  $1/f$  به صورت نزولی کاهش می‌یابد حال آنکه در نوفه سفید دارای افت و خیزهای ملایمی حول و حوش یک مقدار ثابت است. همچنین در سریهای زمانی قلب میانگین قطع تراز و تعداد قطع تراز در قلب سالم زودتر از قلب (Chf) شروع به افزایش می‌کند.

کنید در قلب سالم تعداد قطع تراز از تراز حدوداً  $50^\circ$  شروع شده و اوج قله‌های آن تقریباً در تراز  $60^\circ$  اتفاق می‌افتد. ولی در قلب Chf این افزایش از تراز حدوداً  $70^\circ$  شروع شده و در تراز تقریباً  $90^\circ$  به اوج می‌رسد.

قابل ذکر است نتایج فوق از آنالیز ۱۳ نمونه قلب سالم و ۱۳ نمونه قلب (Chf) به دست آمده است.

در پایان قابل ذکر است روش قطع تراز این قابلیت را داراست که در آنالیز انواع سریهای فیزیکی و فیزیولوژیکی استفاده شود.

### ۳. نتیجه‌گیری

روش قطع تراز در تحلیل سریهای زمانی پیچیده نیاز به سری با طول بلند نداشته و همچنین به علت سهولت در محاسبات این

### مراجع

1. B B Mandelbort: *factaly and multifractals: noise, turbulence and Galaxies*, Springer, Newyork, (1998).
2. T Nakayma and et al., *factual concepts in condense matter physics*, Springer, New york, (2003).
3. A Bunde, J kropp, H J schellnhuber, *the science o Disastors*, springer-verlas, Berlin Heidelberg, (2002).
4. L A N Auaral and A L Goldberger, P ch I vanov, H E Stanley, *Computer Physics Communications*, **12-122** (1999 ) 126-128.
5. M Costa, A L Goldberger, C Peng, *Phys. Rev. E* **71** (2005) 021906.
6. Canessa, *J. Phys. A: Mathematical and general* (2002).
7. Ivonov et al., *Nature* (1999) 399.
8. Ivonov et al., *cond-matt /0409545* (2004).
9. Charles R Doering, Patrick S Hagan and C David Levemore, *Phys. Rev. Lett.* **59** (1987) 21292132.
10. F Shahbazi, S Sobhanian, M Reza Rahimi Tabar, S Khorram, G R Frootan, and H Zahed, *J. phys. A* **36** (2003) 2517.
11. G R Jafari, M S Movahed, S M Fazeli, M Reza Rahimi Tabar and S F Msoudi. arxiv: Physics 10601205V2 (2006).
12. Mogens H Jensen, Anders Johansen and Ingve simonsen, *Int. J. Mod. Phys. B* **17** (2003) 4003-4012.
13. Mogens H Jenson, Anders Johansen Filippo Petroni and Ingve Simonsen, *Physica A* **340** (2004) 678-684.
14. Ingve Simose, Anders Johansen and Mogens H Jensen, *Investment horizons: A time-dependent measure of asset performance to appear in practical Fruits of Econophysics*, ed H Takayasu Springer verlag, (2005).
15. Anders Johansen, Ingve Simonsen and Mogens H Jensen, submitted to *quantitative, Finance*.
16. Thoms Schreiber and Schemitz, *Physica D* **142** (2000) 346382.
17. J Theiler, S Eubamk, A Longtin, B Galdrikian, J D Farmer, *Physica D* **58** (1992) 77.