



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110477912 B

(45)授权公告日 2020.06.30

(21)申请号 201910890748.6

G16H 50/20(2018.01)

(22)申请日 2019.09.20

G06K 9/00(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 谢春苓

申请公布号 CN 110477912 A

(43)申请公布日 2019.11.22

(73)专利权人 电子科技大学

地址 611731 四川省成都市高新区(西区)

西源大道2006号

(72)发明人 姚文坡 郭大庆 王俊 尧德中

(74)专利代理机构 成都虹盛汇泉专利代理有限公司

公司 51268

代理人 王伟

(51)Int.Cl.

A61B 5/0476(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

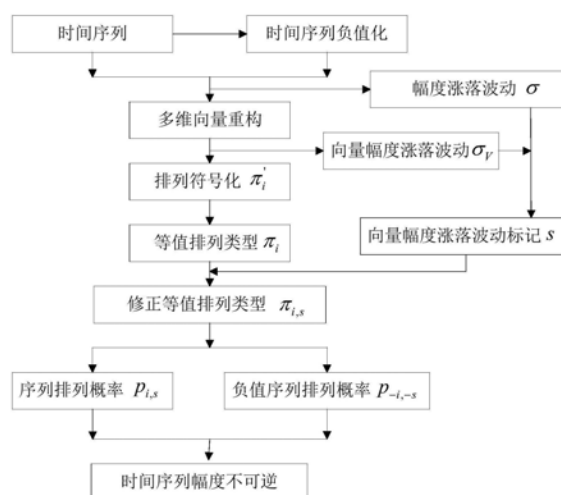
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

基于等值排列和标准差的癫痫脑电幅度不可逆性分析方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于等值排列和标准差的癫痫脑电幅度不可逆性分析方法,该方法包括脑电信号负值化处理,构建多维延迟向量,对多维延迟向量进行等值排列符号化,对多维向量幅度涨落波动进行分类处理,利用多维向量的幅度涨落波动标记对等值排列类型进行修正,统计并计算修正等值排列的概率分布,计算排列类型的概率分布的差异性。本发明有效地提取了模型序列的非线性特征,并且有效地表征了癫痫发作期异常高的幅度不可逆特征以及发作间期高于健康脑电活动的非平衡性特征。



1. 一种基于等值排列和标准差的癫痫脑电幅度不可逆性分析方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

- S1、对脑电信号进行负值化处理, 得到负值脑电信号;
- S2、对脑电信号和步骤S1得到的负值脑电信号进行多维延迟向量的构建;
- S3、对步骤S2构建的多维延迟向量进行等值排列符号化;
- S4、对多维向量幅度涨落波动进行分类处理; 所述步骤S4具体包括以下分步骤:
 - S41、计算向量序列整体的幅度涨落波动情况;
 - S42、计算每个多维向量的幅度涨落波动;
 - S43、将向量的幅度涨落波动标记为大于和小于等于整体幅度涨落波动两类;
- S5、利用多维向量的幅度涨落波动标记对等值排列类型进行修正;
- S6、统计并计算脑电信号和负值脑电信号的修正等值排列的概率分布;
- S7、计算脑电信号和负值脑电信号对应排列类型的概率分布的差异性。

2. 如权利要求1所述的基于等值排列和标准差的癫痫脑电幅度不可逆性分析方法, 其特征在于, 所述步骤S2具体为:

将脑电信号表示为 $Y=X(t)$, 负值脑电信号表示为 $Y^-=-X(t)$, 分别对脑电信号和负值脑电信号进行多维延迟向量的构建, 重构的多维延迟向量分别表示为 $Y_m=\{x(t), x(t+\tau), \dots, x(t+(m-1)\tau)\}$ 和 $Y_m^-=\{-x(t), -x(t+\tau), \dots, -x(t+(m-1)\tau)\}$, 其中 m 为向量维度, τ 为延迟。

3. 如权利要求2所述的基于等值排列和标准差的癫痫脑电幅度不可逆性分析方法, 其特征在于, 所述步骤S3具体包括以下分步骤:

- S31、将每个向量元素按照升序排列, 利用对应元素坐标构建排列类型;
- S32、判断向量中是否存在等值状态; 若有, 则将等值元素坐标修正为对应等值中最小的坐标; 若没有, 则保持排列类型不变。

4. 如权利要求3所述的基于等值排列和标准差的癫痫脑电幅度不可逆性分析方法, 其特征在于, 所述步骤S41具体利用序列偏离中心程度的标准差计算向量序列整体的幅度涨落波动, 表示为:

$$\sigma = \sqrt{\sum (x(t) - \bar{x})^2 / L}$$

其中, $\bar{x}$ 为序列均值, L 为序列长度。

5. 如权利要求4所述的基于等值排列和标准差的癫痫脑电幅度不可逆性分析方法, 其特征在于, 所述步骤S42具体利用多维向量的标准差计算每个多维向量的幅度涨落波动, 表示为:

$$\sigma_v = \sqrt{\sum (x(t) - \bar{x}_v)^2 / (m-1)}$$

其中, $\bar{x}_v$ 为单独向量均值。

6. 如权利要求5所述的基于等值排列和标准差的癫痫脑电幅度不可逆性分析方法, 其特征在于, 所述步骤S7计算脑电信号和负值脑电信号对应排列类型的概率分布的差异性具体为:

$$\text{AiR} = \sum_i \sum_s Ys \langle p_{i,s}, p_{-i,-s} \rangle = \sum_i \sum_s p_{i,s} \frac{p_{i,s} - p_{-i,-s}}{p_{i,s} + p_{-i,-s}}$$

其中, $p_{i,s}$ 和 $p_{-i,-s}$ 分别为脑电信号和负值脑电信号的修正等值排列的概率分布。

基于等值排列和标准差的癫痫脑电幅度不可逆性分析方法

技术领域

[0001] 本发明属于统计物理学非线性特征分析和神经信息分析领域,具体涉及一种基于等值排列和标准差的癫痫脑电幅度不可逆分析方法。

背景技术

[0002] 癫痫是一种神经系统疾病,癫痫发作表现为过度异常或同步的神经元活动引起的短暂症状。人体大脑由大量神经元和神经胶质细胞构成的典型复杂系统,和其他各个生理系统相互作用实现复杂的生理功能,并且受到各种内部、外部因素的影响,因此目前人们利用多种参数表征进而提取癫痫患者脑电信号的非线性、非平衡等复杂动力学特征。非平衡是指系统偏离稳态的性质,常用时间不可逆进行描述,即从时间逆序角度对信号的可逆性对复杂系统进行衡量。然而目前并没有从复杂脑电信号幅度或是能量涨落波动的角度对系统非平衡性进行直接描述的指标,因而无法针对癫痫脑电幅度或是能量的可逆性进行直接的衡量。

[0003] 另外,统计分析方法多需要进行概率估计,然而现实中对脑电信号概率计算方法存在一定的困难,而且非平衡性的衡量涉及到多元素的联合概率,因而存在更大的困难。序列概率或是联合概率常采用的一些估计方法(如核估计,插值法等)对参数选择特别敏感,并且通常对数据有较高要求,而符号时间序列分析可有效解决这些问题,并且有较强的噪声、伪迹抑制作用。然而符号化分析方法在简化概率估计的同时也造成一些细节信息的丢失,因此寻找合适非平衡性统计指标的符号化方法对于复杂癫痫脑电信号的分析至关重要。

发明内容

[0004] 本发明的主要目的在于解决从幅度涨落波动角度衡量癫痫脑电的非平衡性问题,提供一种基于等值排列和标准差的癫痫脑电幅度不可逆性分析方法。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供一种基于等值排列和标准差的癫痫脑电幅度不可逆性分析方法,包括以下步骤:

[0006] S1、对脑电信号进行负值化处理,得到负值脑电信号;

[0007] S2、对脑电信号和步骤S1得到的负值脑电信号进行多维延迟向量的构建;

[0008] S3、对步骤S2构建的多维延迟向量进行等值排列符号化;

[0009] S4、对多维向量幅度涨落波动进行分类处理;

[0010] S5、利用多维向量的幅度涨落波动标记对等值排列类型进行修正;

[0011] S6、统计并计算脑电信号和负值脑电信号的修正等值排列的概率分布;

[0012] S7、计算脑电信号和负值脑电信号对应排列类型的概率分布的差异性。

[0013] 进一步地,所述步骤S2具体为:

[0014] 将脑电信号表示为 $Y=X(t)$,负值脑电信号表示为 $Y^-=-X(t)$,分别对脑电信号和负值脑电信号进行多维延迟向量的构建,重构的多维延迟向量分别表示为 $Y_m=\{x(t), x(t+$

$\tau), \dots, x(t + (m-1)\tau)\}$ 和 $Y_m^- = \{-x(t), -x(t + \tau), \dots, -x(t + (m-1)\tau)\}$, 其中 m 为向量维度, τ 为延迟。

[0015] 进一步地, 所述步骤S3具体包括以下分步骤:

[0016] S31、将每个向量元素按照升序排列, 利用对应元素坐标构建排列类型;

[0017] S32、判断向量中是否存在等值状态; 若有, 则将等值元素坐标修正为对应等值中最小的坐标; 若没有, 则保持排列类型不变。

[0018] 进一步地, 所述步骤S4具体包括以下分步骤:

[0019] S41、计算向量序列整体的幅度涨落波动情况;

[0020] S42、计算每个多维向量的幅度涨落波动;

[0021] S43、将向量的幅度涨落波动标记为大于和小于等于整体幅度涨落波动两类。

[0022] 进一步地, 所述步骤S41具体利用序列偏离中心程度的标准差计算向量序列整体的幅度涨落波动, 表示为:

$$[0023] \quad \sigma = \sqrt{\sum (x(t) - \bar{x})^2 / L}$$

[0024] 其中, $\bar{x}$ 为序列均值, L 为序列长度。

[0025] 进一步地, 所述步骤S42具体利用多维向量的标准差计算每个多维向量的幅度涨落波动, 表示为:

$$[0026] \quad \sigma_v = \sqrt{\sum (x(t) - \bar{x}_v)^2 / (m-1)}$$

[0027] 其中, $\bar{x}_v$ 为单独向量均值。

[0028] 进一步地, 所述步骤S7计算脑电信号和负值脑电信号对应排列类型的概率分布的差异性具体为:

$$[0029] \quad \text{AiR} = \sum_i \sum_s Y_s \langle p_{i,s}, p_{-i,-s} \rangle = \sum_i \sum_s p_{i,s} \frac{p_{i,s} - p_{-i,-s}}{p_{i,s} + p_{-i,-s}}$$

[0030] 其中, $p_{i,s}$ 和 $p_{-i,-s}$ 分别为脑电信号和负值脑电信号的修正等值排列的概率分布。

[0031] 本发明的有益效果是: 本发明创新性的提出了幅度不可逆指标用于从幅度涨落波动角度表征癫痫脑电的非平衡性特征, 考虑到序列联合概率计算的困难以及等值分布幅度可逆性的含义, 利用等值排列类型简化了幅度不可逆的量化分析, 同时结合脑电信号多维向量幅度涨落波动和序列整体幅度涨落波动的关系对等值排列类型进行修正。本发明有效地提取了模型序列的非线性特征, 并且有效地表征了癫痫发作期异常高的幅度不可逆特征以及发作间期高于健康脑电活动的非平衡性特征。

附图说明

[0032] 图1是本发明基于等值排列和标准差癫痫脑电幅度不可逆分析的流程图;

[0033] 图2是Logistic和高斯白噪声模型序列及其线性代替数据的幅度不可逆示意图;

[0034] 图3是波恩癫痫脑电信号的幅度不可逆示意图。

具体实施方式

[0035] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0036] 本发明提出幅度不可逆 (AiR, amplitude irreversibility) 的非线性特征指标。幅度可逆的定义如下:

[0037] 假定时间序列 $Y = X(t)$, 对于任意的 n 和 t , 如果 $\{X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_n)\}$ 和 $\{-X(t_1), -X(t_2), \dots, -X(t_n)\}$ 有相同的联合概率分布, 则序列 $X(t)$ 是幅度可逆的, 否则序列 $X(t)$ 是幅度不可逆的。

[0038] 本发明实施例的主要解决方案为:

[0039] 如图1所示, 一种基于等值排列和标准差的癫痫脑电幅度不可逆性分析方法, 包括以下步骤:

[0040] S1、对脑电信号进行负值化处理, 得到负值脑电信号;

[0041] S2、对脑电信号和步骤S1得到的负值脑电信号进行多维延迟向量的构建;

[0042] S3、对步骤S2构建的多维延迟向量进行等值排列符号化;

[0043] S4、对多维向量幅度涨落波动进行分类处理;

[0044] S5、利用多维向量的幅度涨落波动标记对等值排列类型进行修正;

[0045] S6、统计并计算脑电信号和负值脑电信号的修正等值排列的概率分布;

[0046] S7、计算脑电信号和负值脑电信号对应排列类型的概率分布的差异性。

[0047] 结合AiR非线性分析的特点以及等值元素的含义 (等值意味着幅度可逆), 本发明提出利用等值排列类型代替并简化序列元素向量之间的涨落关系, 同时利用向量的标准差表征脑电信号幅度波动特征。通过模型数据的验证以及对癫痫脑信号的分析, 该方法能够有效地提取序列中的非线性特征, 并且有效地表征癫痫脑电信号的复杂动力学特征。

[0048] 在上述步骤S1中, 本发明设定脑电信号为 $Y = X(t)$, 对脑电信号进行负值化处理, 得到负值脑电信号, 表示为 $Y^- = -X(t)$ 。

[0049] 在上述步骤S2中, 本发明分别对脑电信号和负值脑电信号进行多维延迟向量的构建, 脑电信号 Y 重构的多维延迟向量表示为 $Y_m = \{x(t), x(t+\tau), \dots, x(t+(m-1)\tau)\}$, 负值脑电信号 Y^- 重构的多维延迟向量表示为 $Y_m^- = \{-x(t), -x(t+\tau), \dots, -x(t+(m-1)\tau)\}$, 其中 m 为向量维度, τ 为延迟。

[0050] 在上述步骤S3中, 本发明对步骤S2构建的多维延迟向量 Y_m 和 Y_m^- 进行等值排列符号化, 具体包括以下分步骤:

[0051] S31、将每个向量元素按照升序排列, 利用对应元素坐标构建排列类型;

[0052] 在本实施例中, 将每个向量元素按照升序排列表示为 $x(j_1) \leq x(j_2) \leq \dots \leq x(j_m)$, 利用对应元素坐标 j_i 构建排列类型得 $\pi'_i = \{j_1, j_2, \dots, j_m\}$ 。

[0053] S32、判断向量中是否存在等值状态; 若有, 则将等值元素坐标修正为对应等值中最小的坐标; 若没有, 则保持排列类型不变。

[0054] 在本实施例中, 判断向量中是否存在等值状态; 若有, 由于等值元素按照出现的次序进行排列, 则将等值元素坐标修正为对应等值中最小的坐标, 排列类型修正为等值排列类型 $\pi_i = \{j_1, j_2, j_i, j_i, \dots, j_i, j_i, j_i, j_m\}$; 若没有, 则保持排列类型不变。

[0055] 在上述步骤S4中,本发明对多维向量幅度涨落波动进行分类处理,具体包括以下分步骤:

[0056] S41、计算向量序列整体的幅度涨落波动情况;

[0057] 在本实施例中,具体利用序列偏离中心程度的标准差计算向量序列整体的幅度涨落波动,表示为:

$$[0058] \quad \sigma = \sqrt{\sum (x(t) - \bar{x})^2 / L}$$

[0059] 其中, $\bar{x}$ 为序列均值, L 为序列长度。

[0060] S42、计算每个多维向量的幅度涨落波动;

[0061] 在本实施例中,具体利用多维向量的标准差计算每个多维向量的幅度涨落波动,表示为:

$$[0062] \quad \sigma_v = \sqrt{\sum (x(t) - \bar{x}_v)^2 / (m - 1)}$$

[0063] 其中, $\bar{x}_v$ 为单独向量均值。

[0064] S43、将向量的幅度涨落波动标记为大于和小于等于整体幅度涨落波动两类。

[0065] 在上述步骤S5中,本发明利用多维向量的幅度涨落波动标记将等值排列类型修正为 $\pi_{i,s}$, 如果向量的幅度涨落波动 σ_v 大于整体幅度涨落波动 σ , 等值排列类型为 $\pi_{i,1}$, 否则, 等值排列类型为 $\pi_{i,0}$ 。

[0066] 在上述步骤S6中,本发明统计并计算脑电信号和负值脑电信号的修正等值排列的概率分布,分别表示为 $p_{i,s}$ 和 $p_{-i,-s}$ 。

[0067] 在上述步骤S7中,本发明计算脑电信号和负值脑电信号对应排列类型的概率分布的差异性,具体为:

$$[0068] \quad \text{AiR} = \sum_i \sum_s Y_s \langle p_{i,s}, p_{-i,-s} \rangle = \sum_i \sum_s p_{i,s} \frac{p_{i,s} - p_{-i,-s}}{p_{i,s} + p_{-i,-s}}$$

[0069] 其中 $p_{i,s} \geq p_{-i,-s}$, i 为所有排列类型的序号, s 为向量幅度涨落波动标记,即步骤S5中的0和1。

[0070] 特别地,如果 $p_{-i,-s} \geq p_{i,s}$, 则将上式中两个概率互换进行AiR的计算。

[0071] 为了验证本发明的实现效果,本发明首先利用特性已知的两组模型序列对本发明提出的幅度不可逆指标进行有效性验证,其中Logistic模型的表达式为 $x_{t+1} = r \cdot x_t (1 - x_t)$, 当 r 取4时,序列为典型的混沌序列,线性、平衡的模型采用高斯白噪声,同时为两组模型数据构造300组线性的代替数据。Logistic序列和高斯白噪声的幅度不可逆如图2所示。从图2中可以看出随着向量维度 m 的增加,Logistic序列和高斯白噪声幅度不可逆的指标都有所增加,其中Logistic序列的 Y_s 始终高于代替数据的97.5%分位数,而高斯白噪声的 Y_s 始终处于代替数据2.5%和97.5%分位数之间。根据代替数据理论,原序列的非线性特征值如果和其代替数据有显著差异性(大于97.5%分位数,或是小于2.5%分位数),则序列是非线性的,否则序列是线性的。由于Logistic序列(非线性)和高斯白噪声(线性)特性已知,结合图2中代替数据的分析结果,证明了基于等值排列和标准差的幅度不可逆的有效性。

[0072] 接下来,利用波恩(Bonn)大学公共数据库中的癫痫脑电数据集分析基于等值排列

和标准差的癫痫脑电的幅度不可逆。波恩癫痫脑电信号共包含5组数据集(时长都为23.6s秒,采样频率173.61Hz),其中数据集A和B分别来自处于睁眼和闭眼状态的健康人,数据集D和E分别为发作间期和发作期的颅内脑电信号,数据集C采集自发作间期相反大脑半球的海马结构区域。脑电信号中眼动干扰和一些伪迹已被删除。5组脑电信号的基于等值排列和标准差的幅度不可逆结果如图3所示。从图3中可以看出,癫痫发作期脑电信号的幅度不可逆特征最高,即拥有最高的非平衡性。在癫痫发作中,神经细胞有异常的放电行为,同时伴有高度同步状态脑活动,癫痫发作中高度异常的放电行为也导致脑电活动具有异常高的非线性特征。以 $m=3$ 为例,癫痫发作期脑电信号的 AiR 和其他组都有显著的差异性,其中健康A组脑电和E组癫痫发作期脑电信号(表示为A-E)的统计检验为 $p=5.48E-17$,其他组的统计检验结果为,B-E为 $p=2.35E-15$,C-E为 $p=1.15E-16$,D-E为 $p=2.44E-13$ 。另外癫痫发作间期脑电信号的幅度不可逆也显著高于健康人,其中A-D的统计检验结果为 $p=1.40E-5$,B-C的统计检验结果为 $p=0.003$ 。基于等值排列和标准差的癫痫脑电幅度不可逆分析结果表明, AiR 能够有效地表征癫痫疾病脑电信号的动力学特征,为癫痫疾病的诊断、预测等提供有价值的参考信息。

[0073] 本领域的普通技术人员将会意识到,这里所述的实施例是为了帮助读者理解本发明的原理,应被理解为本发明的保护范围并不局限于这样的特别陈述和实施例。本领域的普通技术人员可以根据本发明公开的这些技术启示做出各种不脱离本发明实质的其它各种具体变形和组合,这些变形和组合仍然在本发明的保护范围内。

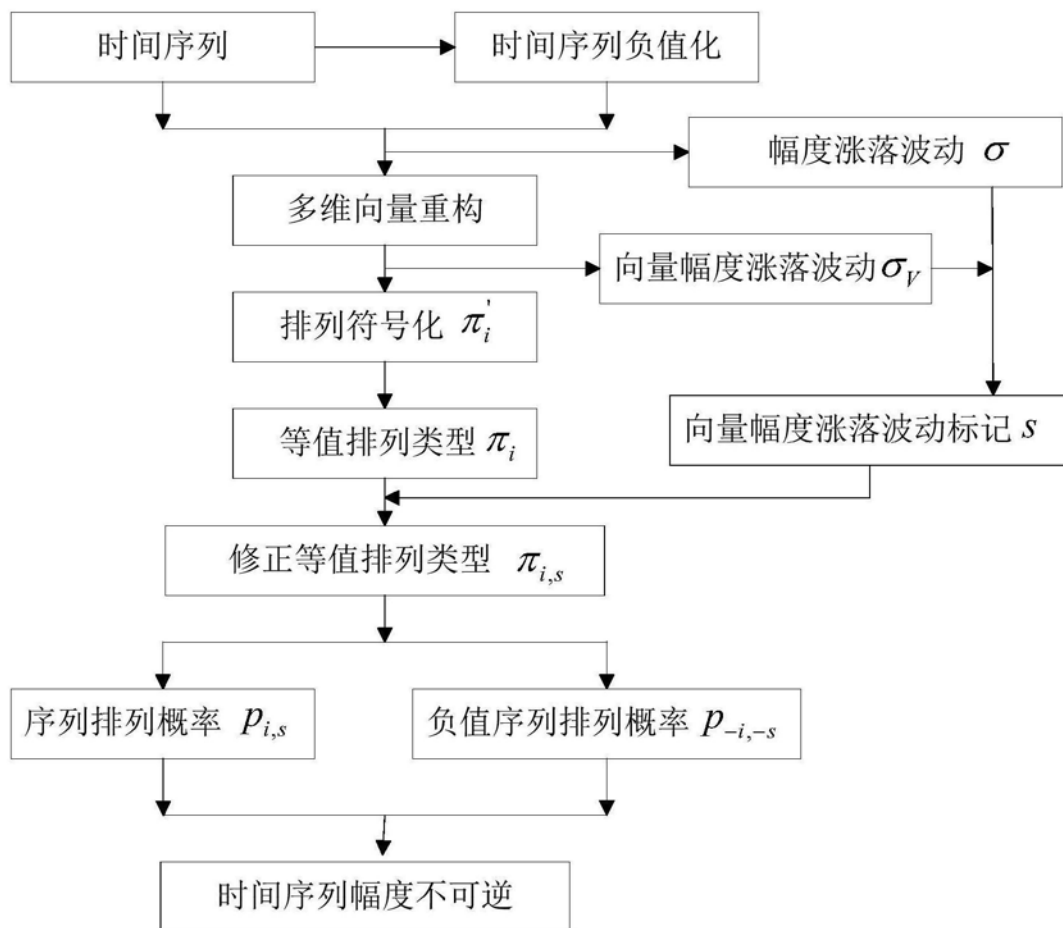


图1

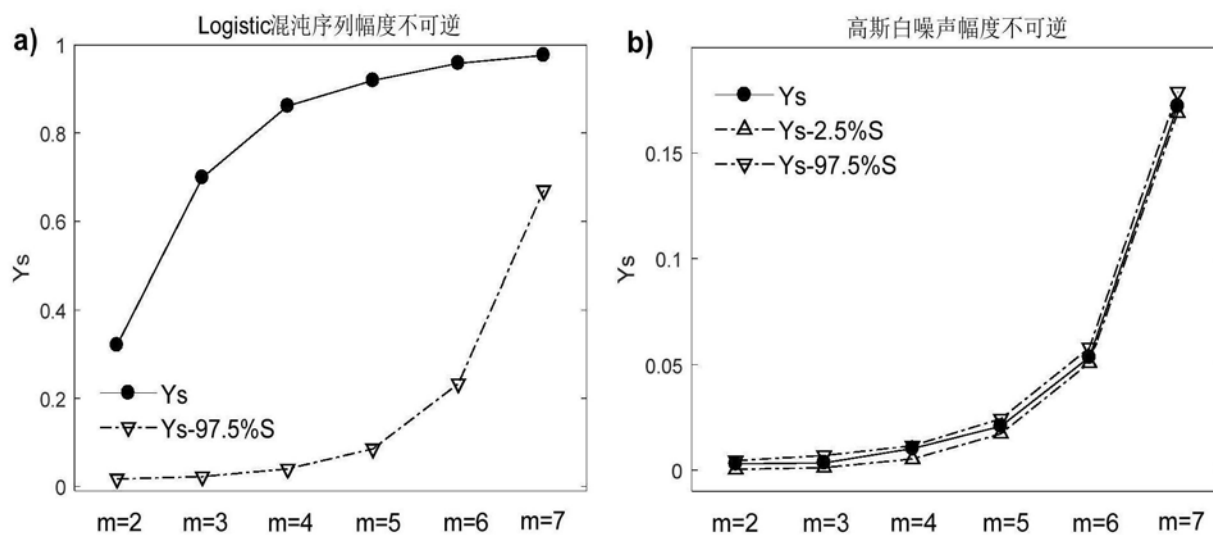


图2

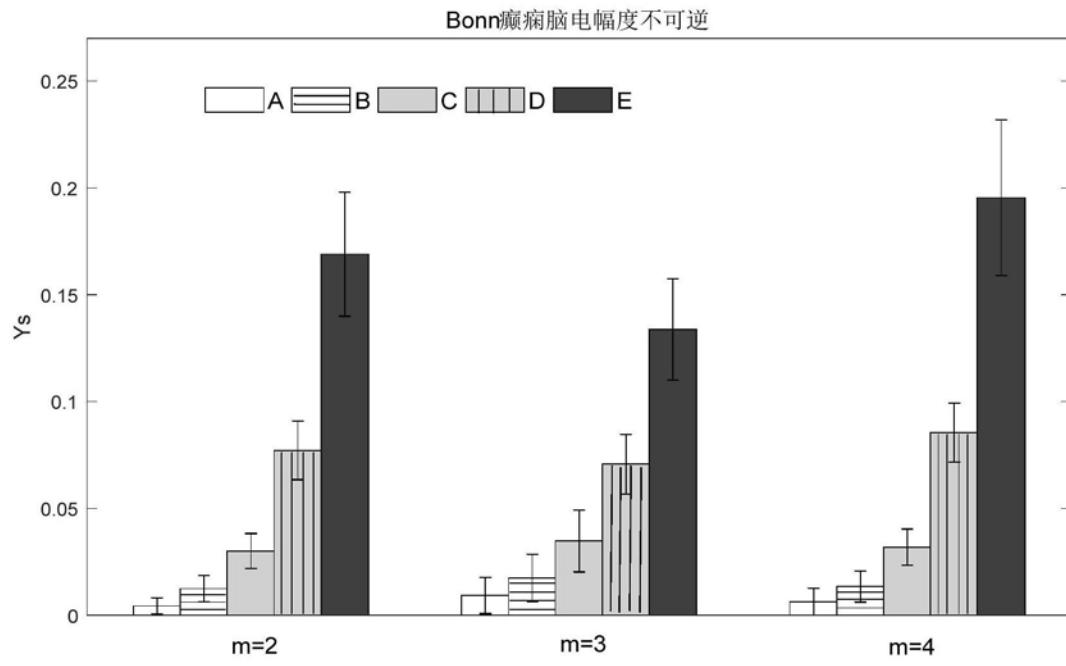


图3

专利名称(译)	基于等值排列和标准差的癫痫脑电幅度不可逆性分析方法		
公开(公告)号	CN110477912B	公开(公告)日	2020-06-30
申请号	CN201910890748.6	申请日	2019-09-20
[标]申请(专利权)人(译)	电子科技大学		
申请(专利权)人(译)	电子科技大学		
当前申请(专利权)人(译)	电子科技大学		
[标]发明人	郭大庆 王俊 尧德中		
发明人	姚文坡 郭大庆 王俊 尧德中		
IPC分类号	A61B5/0476 A61B5/00 G16H50/20 G06K9/00		
代理人(译)	王伟		
其他公开文献	CN110477912A		
外部链接	SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种基于等值排列和标准差的癫痫脑电幅度不可逆性分析方法，该方法包括脑电信号负值化处理，构建多维延迟向量，对多维延迟向量进行等值排列符号化，对多维向量幅度涨落波动进行分类处理，利用多维向量的幅度涨落波动标记对等值排列类型进行修正，统计并计算修正等值排列的概率分布，计算排列类型的概率分布的差异性。本发明有效地提取了模型序列的非线性特征，并且有效地表征了癫痫发作期异常高的幅度不可逆特征以及发作间期高于健康脑电活动的非平衡性特征。

