

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2025 年 6 月 12 日 (12.06.2025)



(10) 国际公布号
WO 2025/118317 A1

(51) 国际专利分类号:
A61B 5/374 (2021.01)

李骁健(LI, Xiaojian); 中国广东省深圳市南山区西
丽深圳大学城学苑大道1068号 518055 (CN)。

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/138053

(22) 国际申请日: 2023 年 12 月 12 日 (12.12.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202311675784.3 2023年12月8日 (08.12.2023) CN

(71) 申请人: 中国科学院深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTES OF
ADVANCED TECHNOLOGY CHINESE ACADEMY
OF SCIENCES) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区
西丽深圳大学城学苑大道1068号 518055 (CN)。

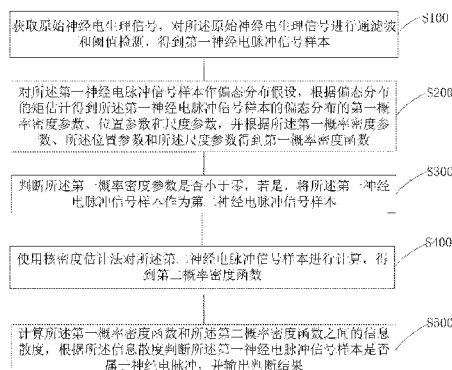
(72) 发明人: 马良(MA, Liang); 中国广东省深圳市南山
区西丽深圳大学城学苑大道1068号 518055 (CN)。

(74) 代理人: 深圳市君胜知识产权代理事务所 (普
通合伙) (JOHNSON INTELLECTUAL PROPERTY
AGENCY(SHENZHEN)); 中国广东省深圳市南山
区粤海街道高新区社区高新南七道20号深圳国
家工程实验室大楼A503 518000 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家
保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,
BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,
CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ,
IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ,
LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN,
MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA,
PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,

(54) Title: NEURAL ELECTRIC IMPULSE DETECTION METHOD AND SYSTEM, AND TERMINAL

(54) 发明名称: 一种神经电脉冲检测方法、系统及终端



S100 Acquire an original neuroelectrophysiological signal, and perform filtering and threshold detection on the original neuroelectrophysiological signal to obtain a first neural electric impulse signal sample
S200 Apply a skewed distribution assumption to the first neural electric impulse signal sample, obtain, according to the moment estimation of a skewed distribution, a first probability density parameter, a location parameter, and a scale parameter of the skewed distribution of the first neural electric impulse signal sample, and obtain, according to the first probability density parameter, the location parameter, and the scale parameter, a first probability density function
S300 Determine whether the first probability density parameter is less than zero, and if so, use the first neural electric impulse signal sample as a second neural electric impulse signal sample
S400 Use kernel density estimation to perform a calculation on the second neural electric impulse signal sample to obtain a second probability density function
S500 Calculate information divergence between the first probability density function and the second probability density function, determine, according to the information divergence, whether the first neural electric impulse signal sample belongs to a neural electric impulse, and output a determination result

图1

(57) Abstract: Provided are a neural electric impulse detection method and system, and a terminal. The method comprises: acquiring an original neuroelectrophysiological signal, and performing filtering and threshold detection on the original neuroelectrophysiological signal to obtain a first neural electric impulse signal sample (S100); applying a skewed distribution assumption to the first neural electric impulse signal, obtaining, according to the moment estimation of a skewed distribution, a first probability density parameter, a location parameter, and a scale parameter of the skewed distribution of the first neural electric impulse signal sample, and obtaining, according to the first probability density parameter, the location parameter, and the scale parameter, a first probability density function (S200); determining whether the first probability density parameter is less than zero, and if so, using the first neural electric impulse signal sample as a second neural electric impulse signal sample (S300); using kernel density estimation to perform a calculation on the second neural electric impulse signal sample to obtain a second probability density function (S400); and calculating information divergence between the first probability density function and the second probability density function, determining, according to the information divergence, whether the first neural electric impulse signal sample belongs to a neural electric impulse, and outputting a determination result (S500). The method has the advantages of rapidness, high efficiency, high noise resistance, good specificity, and eliminating the need for template matching.

SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚
(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR,
HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO,
PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF,
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN,
TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种神经电脉冲检测方法、系统及终端, 方法包括: 获取原始神经电生理信号, 对原始神经电生理信号通滤波和阈值检测, 得到第一神经电脉冲信号样本 (S100); 对第一神经电脉冲信号作偏态分布假设, 根据偏态分布的矩估计得到第一神经电脉冲信号样本的偏态分布的第一概率密度参数、位置参数和尺度参数, 并根据第一概率密度参数、位置参数和尺度参数得到第一概率密度函数 (S200); 判断第一概率密度参数是否小于零, 若是, 将第一神经电脉冲信号样本作为第二神经电脉冲信号样本 (S300); 使用核密度估计法对第二神经电脉冲信号样本计算, 得到第二概率密度函数 (S400); 计算第一概率密度函数和第二概率密度函数之间的信息散度, 根据信息散度判断第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲, 并输出判断结果 (S500), 具有快速高效、抗噪声能力高、特异性好, 无需模板匹配的优点。

一种神经电脉冲检测方法、系统及终端

技术领域

本申请涉及人工智能技术领域，特别是涉及一种神经电脉冲检测方法、系统、终端及计算机可读存储介质。

背景技术

神经电活动的研究是人类了解和认识大脑的重要途径、是研发前沿脑机接口的重要抓手，对人类生命健康和国家经济发展均具有重要的价值与意义。神经电脉冲检测是神经科学和生物医学工程领域的核心课题，它涉及从复杂的脑电信号中准确、高效地识别出神经元的放电活动。技术的进步尤其是高通量电极阵列的发展为这一任务提出了新的挑战，即如何克服从成百上千的电极通道中快速准确检测到稀疏神经电脉冲的难题。

在现有技术中，有些研究是基于研究人员获得的神经电脉冲的先验知识，人为设置阈值进行检测，这种方法具有低抗噪声能力或较差的特异性；有些研究是基于特征的检测，即在阈值检测的基础上，提取包括但不限于时域、频域、熵、非线性动力学等测度作为检测判断电脉冲信号的特征，这种方法的缺点是，特征提取属于降维的方法，过程中不可避免地会损失大量波形信息；有些研究是基于模板匹配，模板匹配是通过计算待定波形与模板波形之间的相似度实现神经电脉冲检测，这个过程中模板的来源和个数是影响检测效率和准确率的重要因素，相对麻烦且不易控制；因此，如何找到快速高效的神经电脉冲检测方法是目前需要解决的问题。

发明内容

有鉴于此，本申请提供了一种神经电脉冲检测方法、系统、终端及计算机可读存储介质，以解决现有技术中的神经电脉冲检测方法，抗噪声能力低，特异性差，会损失大量波形信息，模板匹配过程复杂的问题。

本申请提出一种神经电脉冲检测方法，所述神经电脉冲检测方法包括：

获取原始神经电生理信号，对所述原始神经电生理信号进行通滤波和阈值检测，得到第一神经电脉冲信号样本；

对所述第一神经电脉冲信号样本作偏态分布假设，根据偏态分布的矩估计得到所述第一神经电脉冲信号样本的偏态分布的第一概率密度参数、位置参数和尺度参数，并根据所述第一概率密度参数、所述位置参数和所述尺度参数得到第一概率密度函数；

判断所述第一概率密度参数是否小于零，若是，将所述第一神经电脉冲信号样本作为第二神经电脉冲信号样本；

使用核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数；

计算所述第一概率密度函数和所述第二概率密度函数之间的信息散度，根据所述信息散度判断所述第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲，并输出判断结果。

可选地，所述获取原始神经电生理信号，对所述原始神经电生理信号进行通滤波和阈值检测，得到第一神经电脉冲信号样本，具体包括：

获取原始神经电生理信号，使用六阶巴特沃斯滤波器对所述原始神经电生理信号进行通滤波，得到第一滤波电脉冲信号；

使用阈值检测参数对所述第一滤波电脉冲信号进行阈值检测，得到所述第一神经电脉冲信号样本。

可选地，所述对所述第一神经电脉冲信号样本作偏态分布假设，根据偏态分布的矩估计得到所述第一神经电脉冲信号样本的偏态分布的第一概率密度参数、位置参数和尺度参数，并根据所述第一概率密度参数、所述位置参数和所述尺度参数得到第一概率密度函数，具体包括：

对所述第一神经电脉冲信号样本作偏态分布假设：

$$Y \sim SN(\xi, \omega^2, \alpha);$$

其中，Y 表示所述第一神经电脉冲信号样本，SN 表示偏态分布；

$$Y = \xi + \omega X;$$

其中， $\xi \in \mathbb{R}$ 为位置参数， $\omega \in \mathbb{R}^+$ 为尺度参数， α 为第一概率密度参数， $\alpha < 0$ 为倾斜变量，X 为服从标准偏态分布样本；

根据偏态分布的矩估计得到所述第一神经电脉冲信号样本的偏态分布的第一概率密度参数、位置参数和尺度参数，并根据所述第一概率密度参数、位置参数和尺度参数得到第一概率密度函数；

所述第一概率密度函数的数学公式为： $\varphi(x; \alpha) = \varphi(x) \Phi(\alpha \cdot x)$ ；

其中， $\varphi(x)$ 表示标准高斯密度函数， $\Phi(\alpha \cdot x)$ 为 $\varphi(x)$ 累积概率分布函数，x 为随机变量。

可选地，所述使用核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数，具体包括：

使用高斯核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数；

$$\text{核密度估计法的计算公式为：} f(x) = \frac{1}{n \cdot h} \sum K\left(\frac{x - x_i}{h}\right);$$

其中，核函数 K 为高斯核 $K = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)$ ， x_i 为样本点，n 为样本点个数，h 为带宽，带宽为 $h = n^{-\left(\frac{1}{5}\right)}$ 。

可选地，所述使用核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数，具体包括：

使用线性核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数；

$$\text{核密度估计法的计算公式为：} f(x) = \frac{1}{n \cdot h} \sum K\left(\frac{x - x_i}{h}\right);$$

其中，核函数 K 为线性核 $K = 1 - \frac{x}{h}$, $x < h$, x_i 为样本点, n 为样本点个数, h 为带宽, 带宽为 $h = n^{(-\frac{1}{5})}$ 。

可选地, 所述使用核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算, 得到第二概率密度函数, 具体包括:

使用余弦核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算, 得到第二概率密度函数;

核密度估计法的计算公式为: $f(x) = \frac{1}{n \cdot h} \sum K(\frac{x - x_i}{h})$;

其中, 核函数 K 为余弦核 $K = \cos(\frac{\pi x}{2h})$, $x < h$, 其中, π 为圆周率, x_i 为样本点, n 为样本点个数, h 为带宽, 带宽为 $h = n^{(-\frac{1}{5})}$ 。

可选地, 所述计算所述第一概率密度函数和所述第二概率密度函数之间的信息散度, 根据所述信息散度判断所述第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲, 并输出判断结果, 具体包括:

分别计算所述第一概率密度函数和所述第二概率密度函数在所述第一神经电脉冲信号样本值和所述第二神经电脉冲信号样本值之间的概率密度;

根据所述第一神经电脉冲信号样本值和所述第二神经电脉冲信号样本值之间的概率密度计算所述第一概率密度函数和所述第二概率密度函数之间的信息散度;

所述信息散度的计算公式为: $KL(SN, KDE) = \sum SN(i) \frac{SN(i)}{KDE(i)}$;

其中, $SN(i)$ 表示第一概率密度函数, $KDE(i)$ 表示第二概率密度函数, $KL(SN, KDE)$ 表示信息散度;

判断所述第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲, 并输出判断结果;

若信息散度小于或者等于预设阈值, 则所述判断结果为所述第一神经电脉冲信号样本属于神经电脉冲。

本申请还提出一种神经电脉冲检测系统, 所述神经电脉冲检测系统包括:

信号预处理模块, 用于获取原始神经电生理信号, 对所述原始神经电生理信号进行滤波和阈值检测, 得到第一神经电脉冲信号样本;

信号矩估计模块, 用于对所述第一神经电脉冲信号样本作偏态分布假设, 根据偏态分布的矩估计得到所述第一神经电脉冲信号样本的偏态分布的第一概率密度参数、位置参数和尺度参数, 并根据所述第一概率密度参数、所述位置参数和所述尺度参数得到第一概率密度函数;

参数判断模块, 用于判断所述第一概率密度参数是否小于零, 若是, 将所述第一神经电脉冲信号样本作为第二神经电脉冲信号样本;

信号密度估计模块, 用于使用核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算, 得到第二概率密度函数;

信号判断模块, 用于计算所述第一概率密度函数和所述第二概率密度函数之间的信息

散度，根据所述信息散度判断所述第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲，并输出判断结果。

本申请还提出一种终端，所述终端包括：存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的神经电脉冲检测程序，所述神经电脉冲检测程序被所述处理器执行时实现如所述的神经电脉冲检测方法的步骤。

本申请还提出一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有神经电脉冲检测程序，所述神经电脉冲检测程序被处理器执行时实现如所述的神经电脉冲检测方法的步骤。

本申请的有益效果是：区别于现有技术，本申请通过获取原始神经电生理信号，对原始神经电生理信号进行通滤波和阈值检测，使得对原始神经电生理信号进行降噪，得到第一神经电脉冲信号样本，提高了抗噪声能力；其次，本申请通过对第一神经电脉冲信号样本作偏态分布假设，根据偏态分布的矩估计得到第一神经电脉冲信号样本的偏态分布的第一概率密度参数、位置参数和尺度参数，并根据所述第一概率密度参数、位置参数和尺度参数得到第一概率密度函数，便于后续步骤中使用密度估计算法和判断第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲；再次，本申请通过判断所述第一概率密度参数是否小于零，若是，将所述第一神经电脉冲信号样本作为第二神经电脉冲信号样本，避免不满足条件的第一概率密度参数进入下一个步骤；此外，本申请对第二神经电脉冲信号样本使用核密度估计法进行计算，得到第二概率密度函数，能够快速高效的进行神经电脉冲检测；另外，本申请通过计算所述第一概率密度函数和所述第二概率密度函数之间的信息散度，根据所述信息散度判断所述第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲，并输出判断结果，特异性好，不会损失大量波形信息，且避免了模板匹配的复杂过程。

应当理解的是，以上的一般描述和后文的细节描述仅是示例性和解释性的，而非限制本申请。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图1是本申请神经电脉冲检测方法的较佳实施例的流程图；

图2是本申请神经电脉冲检测方法中的原始神经电生理信号图；

图3是本申请神经电脉冲检测方法中的第一神经电脉冲信号样本图；

图4是本申请神经电脉冲检测方法中的第一类大量神经电脉冲信号样本；

图5是本申请神经电脉冲检测方法中的第二类第一神经电脉冲信号样本图；

图6是本申请神经电脉冲检测方法中的第一类噪声样本的统计直方图；

图7是本申请神经电脉冲检测方法中的第二类噪声样本的统计直方图；

图 8 是本申请神经电脉冲检测方法中的第三类噪声样本的统计直方图；
图 9 是本申请神经电脉冲检测方法中的第四类噪声样本的统计直方图；
图 10 是本申请神经电脉冲检测方法中的单个神经电脉冲信号的直方图；
图 11 是本申请神经电脉冲检测方法中的样本理论 SN 概率密度分布图；
图 12 是本申请神经电脉冲检测方法中的高斯核密度估计后的概率密度分布图；
图 13 是本申请神经电脉冲检测系统的较佳实施例的原理示意图；
图 14 为本申请终端的较佳实施例的运行环境示意图。

具体实施方式

为使本领域的技术人员更好地理解本申请的技术方案，下面结合附图和具体实施方式对本申请所提供的神经电脉冲检测方法、系统、终端及计算机可读存储介质做进一步详细描述。可以理解的是，所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例，而不是全部实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性的劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

本申请中的术语“第一”、“第二”等是用于区别不同对象，而不是用于描述特定顺序。此外，术语“包括”和“具有”以及它们任何变形，意图在于覆盖不排他的包含。例如包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备没有限定于已列出的步骤或单元，而是可选地还包括没有列出的步骤或单元，或可选地还包括对于这些过程、方法、产品或设备固有的其他步骤或单元。

本申请提供一种神经电脉冲检测方法、系统、终端及计算机可读存储介质，以解决现有技术中的神经电脉冲检测方法，抗噪声能力低，特异性差，会损失大量波形信息，模板匹配过程复杂的问题。

请参阅图 1 至图 12，图 1 是本申请神经电脉冲检测方法的较佳实施例的流程图；图 2 是本申请神经电脉冲检测方法中的原始神经电生理信号图；图 3 是本申请神经电脉冲检测方法中的第一神经电脉冲信号样本图；图 4 是本申请神经电脉冲检测方法中的第一类大量神经电脉冲信号样本；图 5 是本申请神经电脉冲检测方法中的第二类第一神经电脉冲信号样本图；图 6 是本申请神经电脉冲检测方法中的第一类噪声样本的统计直方图；图 7 是本申请神经电脉冲检测方法中的第二类噪声样本的统计直方图；图 8 是本申请神经电脉冲检测方法中的第三类噪声样本的统计直方图；图 9 是本申请神经电脉冲检测方法中的第四类噪声样本的统计直方图；图 10 是本申请神经电脉冲检测方法中的单个神经电脉冲信号的直方图；图 11 是本申请神经电脉冲检测方法中的样本理论 SN 概率密度分布图；图 12 是本申请神经电脉冲检测方法中的高斯核密度估计后的概率密度分布图。

本申请提出一种神经电脉冲检测方法，其中，如图 1 所示，神经电脉冲检测方法包括步骤：

步骤 S100：获取原始神经电生理信号，对所述原始神经电生理信号进行通滤波和阈值检测，得到第一神经电脉冲信号样本。

具体的，获取原始神经电生理信号，对原始神经电生理信号进行通滤波和阈值检测，对原始神经电生理信号进行降噪，得到第一神经电脉冲信号样本，提高了抗噪声能力。

所述步骤 S100：获取原始神经电生理信号，对所述原始神经电生理信号进行通滤波和阈值检测，得到第一神经电脉冲信号样本，具体包括：

获取原始神经电生理信号，使用六阶巴特沃斯滤波器对所述原始神经电生理信号进行通滤波，得到第一滤波电脉冲信号。

其中，所述六阶巴特沃斯滤波器的第一截止频率和第二截止频率分别为 250 赫兹和 7000 赫兹。

使用阈值检测参数对所述第一滤波电脉冲信号进行阈值检测，得到所述第一神经电脉冲信号样本。

其中，所述阈值检测参数设置为信号的负向峰值大于 60 微伏特，且峰峰间距设置为大于 2 毫秒，并以峰值时刻为基点，向前取 1 毫秒，向后取 1.5 毫秒视为所述第一神经电脉冲信号样本。

具体的，如图 2 所示，采集到的信号为原始神经电生理信号，获取原始神经电生理信号，在这些信号序列中通常包含了背景噪声和研究人员关注的神经电脉冲信号，对原始神经电生理信号使用前后向六阶巴特沃斯滤波器进行通滤波，得到第一滤波电脉冲信号，其中，六阶巴特沃斯滤波器的第一截止频率和第二截止频率分别为 250 赫兹和 7000 赫兹，第一截止频率为上限截止频率，第二截止频率为下限截止频率。并使用阈值检测参数对第一滤波电脉冲信号进行阈值检测，得到第一神经电脉冲信号样本。

其中，阈值检测参数设置为信号的负向峰值大于 60 微伏特，且峰峰间距设置为大于 2 毫秒，并以峰值时刻为基点，向前取 1 毫秒，向后取 1.5 毫秒视为第一神经电脉冲信号样本，阈值检测参数设置为信号的负向峰值大于 60 微伏特，且峰峰间距大于 2 毫秒，如图 3 所示，并以峰值时刻为基点，向前取 1 毫秒，向后取 1.5 毫秒视为潜在的第一神经电脉冲信号样本。

步骤 S200：对所述第一神经电脉冲信号样本作偏态分布假设，根据偏态分布的矩估计得到所述第一神经电脉冲信号样本的偏态分布的第一概率密度参数、位置参数和尺度参数，并根据所述第一概率密度参数、所述位置参数和所述尺度参数得到第一概率密度函数。

具体的，由于第一神经电脉冲信号样本的分布曲线属于左右不对称的数据次数分布，更符合偏态分布，因此，对第一神经电脉冲信号样本作偏态分布假设，根据偏态分布的矩估计得到第一神经电脉冲信号样本的偏态分布的第一概率密度参数、位置参数和尺度参数。

需要说明的是，本申请对神经电脉冲的 SN 分布假设来自于对大量样本的统计推断。如图 4 和图 5 所示，分别为两种类别神经电脉冲信号的统计直方图，可以看出不同类别的神经电脉冲信号虽然在大小不同，但是都属于 SN 分布，且其分布参数为 α 为小于 0。

如图 6、图 7、图 8 和图 9 所示，不同类别的噪声样本的统计直方图，可以看出，不同类别的噪声样本的统计直方图表现不一，且非 $\alpha < 0$ 的 SN 分布。

其中，所述步骤 S200：对所述第一神经电脉冲信号样本作偏态分布假设，根据偏态分布的矩估计得到所述第一神经电脉冲信号样本的偏态分布的第一概率密度参数、位置参数和尺度参数，并根据所述第一概率密度参数、所述位置参数和所述尺度参数得到第一概率密度函数，具体包括：

对所述第一神经电脉冲信号样本作偏态分布假设：

$$Y \sim \text{SN}(\xi, \omega^2, \alpha);$$

其中，Y 表示所述第一神经电脉冲信号样本，SN 表示偏态分布；

$$Y = \xi + \omega X;$$

其中， $\xi \in \mathbb{R}$ 为位置参数， $\omega \in \mathbb{R}^+$ 为尺度参数， α 为第一概率密度参数， $\alpha < 0$ 为倾斜变量，X 为服从标准偏态分布样本；

根据偏态分布的矩估计得到所述第一神经电脉冲信号样本的偏态分布的第一概率密度参数、位置参数和尺度参数，并根据所述第一概率密度参数、位置参数和尺度参数得到第一概率密度函数；

所述第一概率密度函数的数学公式为： $\varphi(x; \alpha) = \varphi(x) \Phi(\alpha \cdot x)$ ；

其中， $\varphi(x)$ 表示标准高斯密度函数， $\Phi(\alpha \cdot x)$ 为 $\varphi(x)$ 累积概率分布函数，x 为随机变量。

具体的，对第一神经电脉冲信号样本作偏态分布（Skew-Normal distribution，SN 分布）假设，可得到公式： $Y \sim \text{SN}(\xi, \omega^2, \alpha)$ ，

其中，Y 表示第一神经电脉冲信号样本，SN 表示偏态分布。

进一步，则有公式： $Y = \xi + \omega X$ ；

其中， $\xi \in \mathbb{R}$ 为位置参数， $\omega \in \mathbb{R}^+$ 为尺度参数， α 为第一概率密度参数， $\alpha < 0$ 为倾斜变量，X 为服从标准偏态分布样本；

根据偏态分布的矩估计得到第一神经电脉冲信号样本的偏态分布的第一概率密度参数；

其中，概率密度函数数学公式为： $\varphi(x; \alpha) = \varphi(x) \Phi(\alpha \cdot x)$ ，其中， $\varphi(x)$ 表示标准高斯密度函数， $\Phi(\alpha \cdot x)$ 为 $\varphi(x)$ 累积概率分布函数，x 为随机变量。

在上述前提下，根据偏态概率密分布的矩估计得到第一神经电脉冲信号样本 Y 的 SN 分布概率密度参数，从而得到理论上第一神经电脉冲信号样本 Y 的概率密度函数，即 SN-pdf。

如图 10、图 11 和图 12 所示，单个神经电脉冲样本的估计图，可以看出，对于单个神经电脉冲样本的估计和利用高斯核密度估计也符合预期。如图 10 所示，为单个神经电脉冲信号的直方图，如图 11 所示，为该样本理论 SN 概率密度分布，如图 12 所示，为采用高斯核密度估计后的概率密度分布。这些实验结果说明采用概率密度估计的方法可以作为一种快速高效的神经电脉冲检测方法。

步骤 S300：判断所述第一概率密度参数是否小于零，若是，将所述第一神经电脉冲信号样本作为第二神经电脉冲信号样本。

具体的，判断得到的理论 SN 分布第一概率密度参数是否小于零，即是否满足 $\alpha < 0$ 的条件，若是，得到第二神经电脉冲信号样本，若否，则拒绝接受第一神经电脉冲信号样本。

步骤 S400：使用核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数。

具体的，对第二神经电脉冲信号样本使用核密度估计法进行计算，得到第二概率密度函数，能够快速高效的进行神经电脉冲检测。

其中，所述步骤 S400：使用核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数，具体包括：

使用高斯核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数；

核密度估计法的计算公式为：
$$f(x) = \frac{1}{n \cdot h} \sum K\left(\frac{x - x_i}{h}\right);$$

其中，核函数 K 为高斯核 $K = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)$ ， x_i 为样本点，n 为样本点个数，h 为带宽，带宽为 $h = n^{-\left(\frac{1}{5}\right)}$ 。

具体的，利用核密度估计的思想，估计第二神经电脉冲信号样本的真实概率密度分布（KDE-pdf），使用高斯核密度估计法进行计算，高斯核密度估计法进行计算公式为： $f(x) = \frac{1}{n \cdot h} \sum K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)$ ，其中，核函数为高斯核 $K = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)$ ， x_i 为样本点，n 为样本点个数，h 为带宽，带宽为 $h = n^{-\left(\frac{1}{5}\right)}$ ，得到第二概率密度函数，高斯核密度估计可以处理任意形状的数据分布，具有较强的灵活性和适应性。

可选地，带宽的选择对估计结果的精度有重要影响，也可以通过改变带宽的计算方法使得核密度估计的结果更精确。

或者，所述步骤 S400：使用核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数，具体包括：

使用线性核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数；

核密度估计法的计算公式为：
$$f(x) = \frac{1}{n \cdot h} \sum K\left(\frac{x - x_i}{h}\right);$$

其中，核函数 K 为线性核 $K = 1 - \frac{x}{h}$ ， $x < h$ ， x_i 为样本点，n 为样本点个数，h 为带宽，带宽为 $h = n^{-\left(\frac{1}{5}\right)}$ 。

具体的，对第二神经电脉冲信号样本使用线性核密度估计法进行计算，得到第二概率密度函数，线性核密度估计法运算过程相对简单，运算速度快。

或者，所述步骤 S400：使用核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数，具体包括：

使用余弦核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数；

核密度估计法的计算公式为： $f(x) = \frac{1}{n \cdot h} \sum K(\frac{x-x_i}{h})$;

其中，核函数 K 为余弦核 $K = \cos(\frac{\pi x}{2h})$ ， $x < h$ ，其中， π 为圆周率， x_i 为样本点， n 为样本点个数， h 为带宽，带宽为 $h = n^{(-\frac{1}{5})}$ 。

具体的，对第二神经电脉冲信号样本使用三角核密度估计法进行计算，得到第二概率密度函数。

可选地，核密度估计法还可以使用多项式核、拉普拉斯核、sigmoid 核、三角核、指数核，具体可根据需要进行选择，此处不再一一赘述。

步骤 S500：计算所述第一概率密度函数和所述第二概率密度函数之间的信息散度，根据所述信息散度判断所述第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲，并输出判断结果。

具体的，通过计算第一概率密度参数和第二概率密度函数之间的信息散度，判断第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲，特异性好，不会损失大量波形信息，且避免了模板匹配的复杂过程。

其中，所述步骤 S500：计算所述第一概率密度函数和所述第二概率密度函数之间的信息散度，根据所述信息散度判断所述第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲，并输出判断结果，具体包括：

分别计算所述第一概率密度函数和所述第二概率密度函数在所述第一神经电脉冲信号样本值和所述第二神经电脉冲信号样本值之间的概率密度；

根据所述第一神经电脉冲信号样本值和所述第二神经电脉冲信号样本值之间的概率密度计算所述第一概率密度函数和所述第二概率密度函数之间的信息散度；

所述信息散度的计算公式为： $KL(SN, KDE) = \sum SN(i) \frac{SN(i)}{KDE(i)}$;

其中， $SN(i)$ 表示第一概率密度函数， $KDE(i)$ 表示第二概率密度函数， $KL(SN, KDE)$ 表示信息散度；

判断所述第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲，并输出判断结果；

若信息散度小于或者等于预设阈值，则所述判断结果为所述第一神经电脉冲信号样本属于神经电脉冲。

具体的，分别计算第一概率密度参数（SN-pdf）和第二概率密度函数（KDE-pdf）在第一神经电脉冲信号样本值和第二神经电脉冲信号样本值之间的概率密度，即在 Y 的最大值 $\max(Y)$ 和 Y 的最小值 $\min(Y)$ 之间的概率密度，并计算第一概率密度参数和第二概率密度函数之间的信息散度，信息散度的计算公式为： $KL(SN, KDE) = \sum SN(i) \frac{SN(i)}{KDE(i)}$;

其中， $SN(i)$ 表示第一概率密度参数， $KDE(i)$ 表示第二概率密度参数， $KL(SN, KDE)$ 表示信息散度，即表示两种分布的不一致性，或者相似性。两种分布越相似，则 KL 越接近于 0，反之则越大；

可选地，计算两种分布的 KL 散度本质上为一种熵的计算方法，也可以更改为其它熵

测度。

最后，判断第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲，对计算得到的信息散度 KL 与预设的阈值 Th 进行比较，若信息散度 KL 大于预设阈值 Th ，则否定第一神经电脉冲信号样本，若信息散度小于或者等于预设阈值，则接受第一神经电脉冲信号样本，所述判断结果为所述第一神经电脉冲信号样本属于神经电脉冲。

本申请相较于特征提取方案，可以减少对研究者工程经验的依赖。特征提取过程需要研究人员根据自己的工程实践经验选择合适的特征，如统计特征（均值、方差和分位数等）、频谱特征（能量和谱密度等）、熵特征（样本熵、微分熵和模糊熵等）和其它非线性特征（分形维数和李雅普诺夫指数等）。如何选择或组合上述特征进行神经电脉冲信号的检测通常是工程开发者决定的，这样的决策过程往往取决于开发者所熟悉的特征提取技术和所了解的神经电脉冲的特点。这种方案最终得到的神经电脉冲检测器通常不具备较强的鲁棒性。

本申请相较于模板匹配的方案，不需要提前准备合适的模板，也不需要检测过程中提取模板（在线提取模板）。模板匹配需要提前准备足够的模板，才能最小化漏检率。如果假设每个神经元所发放的神经电脉冲信号都不尽相同，那么大脑共计约 800 亿个神经元，这是无法提前准备的一个数字。而在线提取模板的方法，则需要不断的学习，从而使得模板更新到一个较为稳定的状态，该过程会使得时间成本快速上升。

本申请相较于使用神经网络模型自动提取特征的方案，不需要提前准备大量的样本。神经网络提取特征的常见方案有两种，一种为有监督的自动编码器，另一种是无监督的自动编解码器。前一种需要大量的人工标注样本，从而使得神经网络学习到自动提取神经电脉冲特征的编码模型。后一种则在对大量数据的学习过程中，学到区别最大化不同类样本和最小化同类样本特征差异的模型，该模型可以用于神经电脉冲的排序工作，较少利用其作为神经电脉冲的检测工具。

请参阅图 13 至图 14，图 13 是本申请神经电脉冲检测系统的较佳实施例的原理示意图；图 14 为本申请终端的较佳实施例的运行环境示意图。

在一些实施例中，如图 13 所示，基于上述神经电脉冲检测方法，本申请还提出一种神经电脉冲检测系统，所述神经电脉冲检测系统包括：

信号预处理模块 51，用于获取原始神经电生理信号，对所述原始神经电生理信号进行滤波和阈值检测，得到第一神经电脉冲信号样本；

信号矩估计模块 52，用于对所述第一神经电脉冲信号样本作偏态分布假设，根据偏态分布的矩估计得到所述第一神经电脉冲信号样本的偏态分布的第一概率密度参数、位置参数和尺度参数，并根据所述第一概率密度参数、所述位置参数和所述尺度参数得到第一概率密度函数；

参数判断模块 53，用于判断所述第一概率密度参数是否小于零，若是，将所述第一神经电脉冲信号样本作为第二神经电脉冲信号样本；

信号密度估计模块 54，用于使用核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行

计算，得到第二概率密度函数；

信号判断模块 55，用于计算所述第一概率密度函数和所述第二概率密度函数之间的信息散度，根据所述信息散度判断所述第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲，并输出判断结果。

在一些实施例中，如图 14 所示，基于上述神经电脉冲检测方法和系统，本申请还相应提出一种终端，所述终端包括：存储器 20、处理器 10、显示器 30，图 14 仅示出了终端的部分组件，但是应理解的是，并不要求实施所有示出的组件，可以替代的实施更多或者更少的组件。

所述存储器 20 在一些实施例中可以是所述终端的内部存储单元，例如终端的硬盘或内存。所述存储器 20 在另一些实施例中也可以是所述终端的外部存储设备，例如所述终端上配备的插接式硬盘，智能存储卡（Smart Media Card，SMC），安全数字（Secure Digital，SD）卡，闪存卡（Flash Card）等。进一步地，所述存储器 20 还可以既包括所述终端的内部存储单元也包括外部存储设备。所述存储器 20 用于存储安装于所述终端的应用软件及各类数据，例如所述安装终端的程序代码等。所述存储器 20 还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。

在一实施例中，存储器 20 上存储有神经电脉冲检测程序 40，该神经电脉冲检测程序 40 可被处理器 10 所执行，从而实现本申请中神经电脉冲检测方法。

所述处理器 10 在一些实施例中可以是一中央处理器（Central Processing Unit，CPU），微处理器或其他数据处理芯片，用于运行所述存储器 20 中存储的程序代码或处理数据，例如执行所述神经电脉冲检测方法等。

所述显示器 30 在一些实施例中可以是 LED 显示器、液晶显示器、触控式液晶显示器以及 OLED（Organic Light-Emitting Diode，有机发光二极管）触摸器等。所述显示器 30 用于显示在所述终端的信息以及用于显示可视化的用户界面。所述终端的部件 10-30 通过系统总线相互通信。

本申请还提出一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有神经电脉冲检测程序，所述神经电脉冲检测程序被处理器执行时实现如上所述的神经电脉冲检测方法的步骤。

综上所述，本申请通过从动物或人脑中获取原始神经电生理信号，对原始神经电生理信号进行通滤波和阈值检测，使得对原始神经电生理信号进行降噪，得到第一神经电脉冲信号样本，提高了抗噪声能力；其次，本申请通过对第一神经电脉冲信号样本作偏态分布假设，根据偏态分布的矩估计得到第一神经电脉冲信号样本的偏态分布的第一概率密度参数、位置参数和尺度参数，便于后续步骤中使用密度估计算法和判断第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲；再次，本申请比较第一概率密度参数是否满足 $\alpha < 0$ ，若是，得到第二神经电脉冲信号样本，经过初次判断，得到合格的第二神经电脉冲信号样本，避免不满足条件的第一概率密度参数进入下一个步骤；此外，本申请对第二神经电脉冲信号样

本使用核密度估计法进行计算，得到第二概率密度函数，能够快速高效的进行神经电脉冲检测；另外，本申请通过计算第一概率密度参数和第二概率密度函数之间的信息散度，判断第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲，特异性好，不会损失大量波形信息，且避免了模板匹配的复杂过程。

需要说明的是，本申请实施例中介绍的多种可选的实施方式，彼此可以相互结合实现，也可以单独实现，对此本申请实施例不作限定。

在本申请的描述中，需要理解的是，术语“上”、“下”、“左”、“右”等指示方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本申请和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以及特定的方位构造和操作。因此，不能理解为对本申请的限制。此外，“第一”、“第二”仅由于描述目的，且不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。因此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者多个该特征。本申请的描述中，除非另有说明，“多个”的含义是两个或两个以上。

在本申请的描述中，需要说明的是，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”等应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是机械连接，也可以是电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接连接，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。

上述实施例是参考附图来描述的，其他不同的形式和实施例也是可行而不偏离本申请的原理，因此本申请不应被建构成为在此所提出实施例的限制。更确切地说，这些实施例被提供以使得本申请会是完善又完整，且会将本申请范围传达给本领域技术人员。在附图中，组件尺寸及相对尺寸也许基于清晰起见而被夸大。在此所使用的术语只是基于描述特定实施例目的，并无意成为限制。术语“包含”及/或“包括”在使用于本说明书时，表示所述特征、整数、构件及/或组件的存在，但不排除一或更多其他特征整数、构件、组件及/或其族群的存在或增加。除非另有所示，陈述时，数值范围包含该范围的上下限及其间的任何子范围。

以上所述仅为本申请的部分实施例，并非因此限制本申请的保护范围，凡是利用本申请说明书及附图内容所作的等效装置或等效流程变换，或直接或间接运用在其他相关的技术领域，均同理包括在本申请的专利保护范围内。

1. 一种神经电脉冲检测方法，其特征在于，包括：

获取原始神经电生理信号，对所述原始神经电生理信号进行通滤波和阈值检测，得到第一神经电脉冲信号样本；

对所述第一神经电脉冲信号样本作偏态分布假设，根据偏态分布的矩估计得到所述第一神经电脉冲信号样本的偏态分布的第一概率密度参数、位置参数和尺度参数，并根据所述第一概率密度参数、所述位置参数和所述尺度参数得到第一概率密度函数；

判断所述第一概率密度参数是否小于零，若是，将所述第一神经电脉冲信号样本作为第二神经电脉冲信号样本；

使用核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数；

计算所述第一概率密度函数和所述第二概率密度函数之间的信息散度，根据所述信息散度判断所述第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲，并输出判断结果。

2. 根据权利要求1所述的神经电脉冲检测方法，其特征在于，所述获取原始神经电生理信号，对所述原始神经电生理信号进行通滤波和阈值检测，得到第一神经电脉冲信号样本，具体包括：

获取原始神经电生理信号，使用六阶巴特沃斯滤波器对所述原始神经电生理信号进行通滤波，得到第一滤波电脉冲信号；

使用阈值检测参数对所述第一滤波电脉冲信号进行阈值检测，得到所述第一神经电脉冲信号样本。

3. 根据权利要求1所述的神经电脉冲检测方法，其特征在于，所述对所述第一神经电脉冲信号样本作偏态分布假设，根据偏态分布的矩估计得到所述第一神经电脉冲信号样本的偏态分布的第一概率密度参数、位置参数和尺度参数，并根据所述第一概率密度参数、所述位置参数和所述尺度参数得到第一概率密度函数，具体包括：

对所述第一神经电脉冲信号样本作偏态分布假设：

$$Y \sim SN(\xi, \omega^2, \alpha);$$

其中，Y表示所述第一神经电脉冲信号样本，SN表示偏态分布；

$$Y = \xi + \omega X;$$

其中， $\xi \in \mathbb{R}$ 为位置参数， $\omega \in \mathbb{R}^+$ 为尺度参数， α 为第一概率密度参数， $\alpha < 0$ 为倾斜变量，X为服从标准偏态分布样本；

根据偏态分布的矩估计得到所述第一神经电脉冲信号样本的偏态分布的第一概率密度参数、位置参数和尺度参数，并根据所述第一概率密度参数、所述位置参数和所述尺度参数得到第一概率密度函数；

所述第一概率密度函数的数学公式为： $\varphi(x; \alpha) = \varphi(x) \Phi(\alpha \cdot x)$ ；

其中， $\varphi(x)$ 表示标准高斯密度函数， $\Phi(\alpha \cdot x)$ 为 $\varphi(x)$ 累积概率分布函数，x为随机变量。

4. 根据权利要求3所述的神经电脉冲检测方法，其特征在于，所述使用核密度估计

法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数，具体包括：

使用高斯核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数；

核密度估计法的计算公式为： $f(x) = \frac{1}{n \cdot h} \sum K(\frac{x-x_i}{h})$ ；

其中，核函数 K 为高斯核 $K = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{x^2}{2})$ ， x_i 为样本点， n 为样本点个数， h 为带宽，带宽为 $h = n^{(-\frac{1}{5})}$ 。

5. 根据权利要求 3 所述的神经电脉冲检测方法，其特征在于，所述使用核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数，具体包括：

使用线性核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数；

核密度估计法的计算公式为： $f(x) = \frac{1}{n \cdot h} \sum K(\frac{x-x_i}{h})$ ；

其中，核函数 K 为线性核 $K = 1 - \frac{x}{h}$ ， $x < h$ ， x_i 为样本点， n 为样本点个数， h 为带宽，带宽为 $h = n^{(-\frac{1}{5})}$ 。

6. 根据权利要求 3 所述的神经电脉冲检测方法，其特征在于，所述使用核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数，具体包括：

使用余弦核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数；

核密度估计法的计算公式为： $f(x) = \frac{1}{n \cdot h} \sum K(\frac{x-x_i}{h})$ ；

其中，核函数 K 为余弦核 $K = \cos(\frac{\pi x}{2h})$ ， $x < h$ ，其中， π 为圆周率， x_i 为样本点， n 为样本点个数， h 为带宽，带宽为 $h = n^{(-\frac{1}{5})}$ 。

7. 根据权利要求 1 所述的神经电脉冲检测方法，其特征在于，所述计算所述第一概率密度函数和所述第二概率密度函数之间的信息散度，根据所述信息散度判断所述第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲，并输出判断结果，具体包括：

分别计算所述第一概率密度函数和所述第二概率密度函数在所述第一神经电脉冲信号样本值和所述第二神经电脉冲信号样本值之间的概率密度；

根据所述第一神经电脉冲信号样本值和所述第二神经电脉冲信号样本值之间的概率密度计算所述第一概率密度函数和所述第二概率密度函数之间的信息散度；

所述信息散度的计算公式为： $KL(SN, KDE) = \sum SN(i) \frac{SN(i)}{KDE(i)}$ ；

其中， $SN(i)$ 表示第一概率密度函数， $KDE(i)$ 表示第二概率密度函数， $KL(SN, KDE)$ 表示信息散度；

判断所述第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲，并输出判断结果；

若信息散度小于或者等于预设阈值，则所述判断结果为所述第一神经电脉冲信号样本属于神经电脉冲。

8. 一种神经电脉冲检测系统，其特征在于，所述神经电脉冲检测系统包括：

信号预处理模块，用于获取原始神经电生理信号，对所述原始神经电生理信号进行滤波和阈值检测，得到第一神经电脉冲信号样本；

信号矩估计模块，用于对所述第一神经电脉冲信号样本作偏态分布假设，根据偏态分布的矩估计得到所述第一神经电脉冲信号样本的偏态分布的第一概率密度参数、位置参数和尺度参数，并根据所述第一概率密度参数、所述位置参数和所述尺度参数得到第一概率密度函数；

参数判断模块，用于判断所述第一概率密度参数是否小于零，若是，将所述第一神经电脉冲信号样本作为第二神经电脉冲信号样本；

信号密度估计模块，用于使用核密度估计法对所述第二神经电脉冲信号样本进行计算，得到第二概率密度函数；

信号判断模块，用于计算所述第一概率密度函数和所述第二概率密度函数之间的信息散度，根据所述信息散度判断所述第一神经电脉冲信号样本是否属于神经电脉冲，并输出判断结果。

9. 一种终端，其特征在于，所述终端包括：存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的神经电脉冲检测程序，所述神经电脉冲检测程序被所述处理器执行时实现如权利要求 1-7 任一项所述的神经电脉冲检测方法的步骤。

10. 一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质存储有神经电脉冲检测程序，所述神经电脉冲检测程序被处理器执行时实现如权利要求 1-7 任一项所述的神经电脉冲检测方法的步骤。

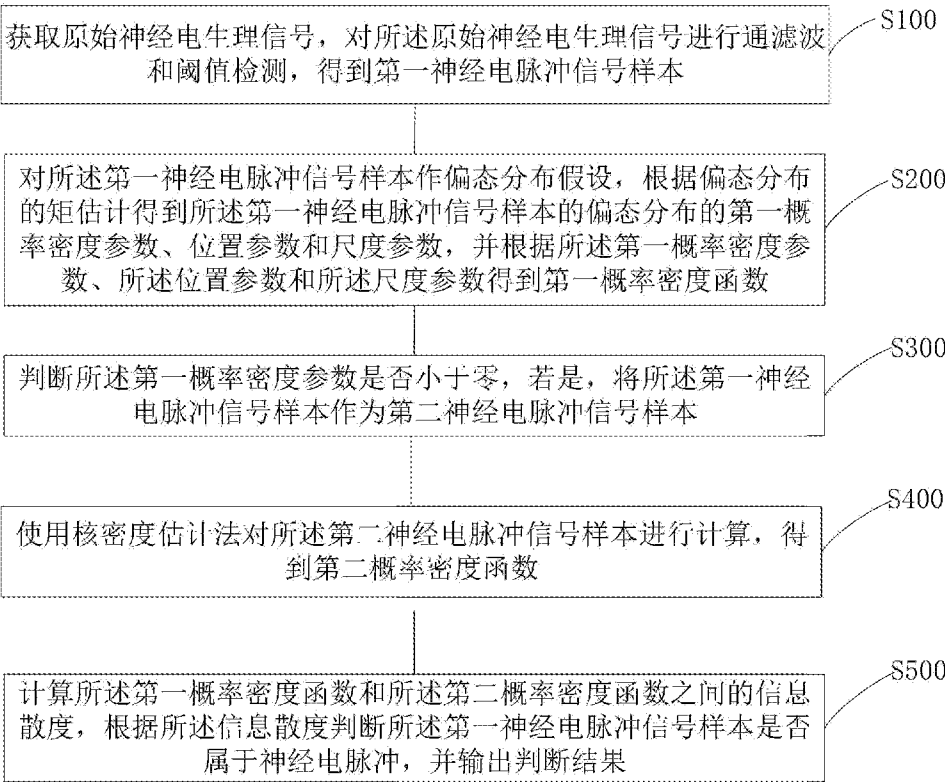


图 1

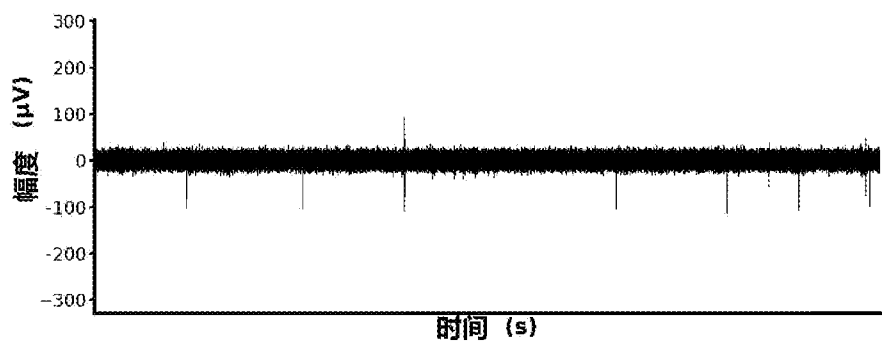


图 2

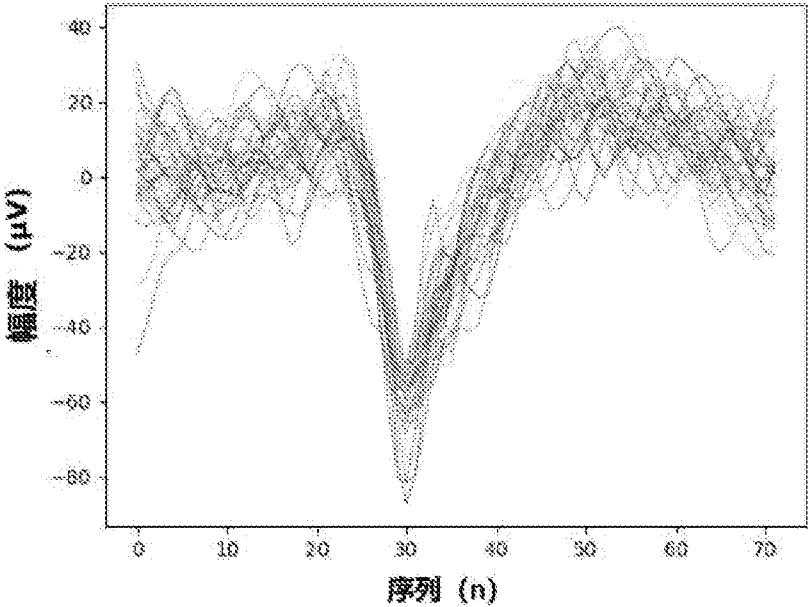


图 3

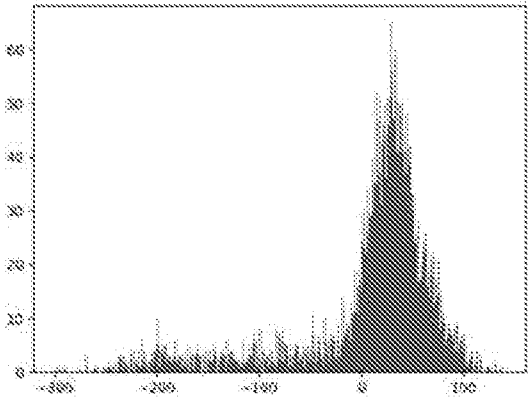


图 4

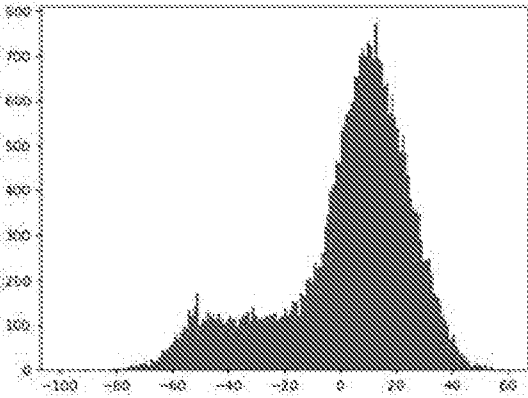


图 5

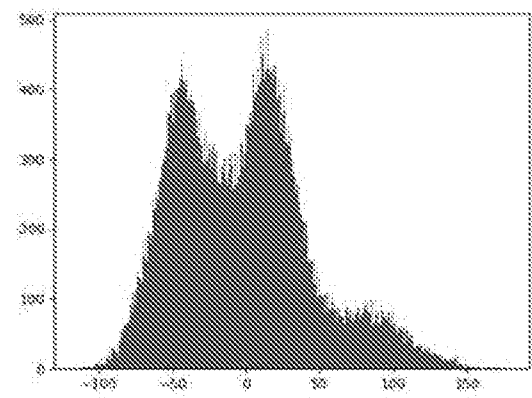


图 6

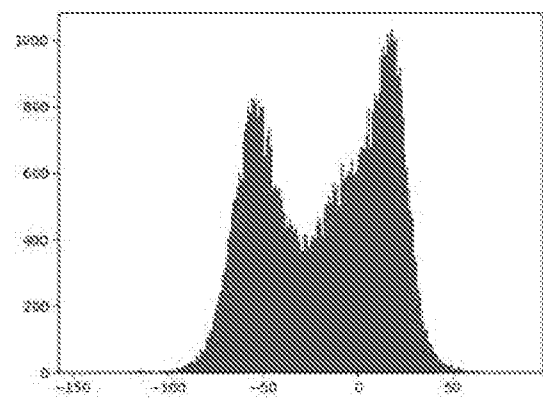


图 7

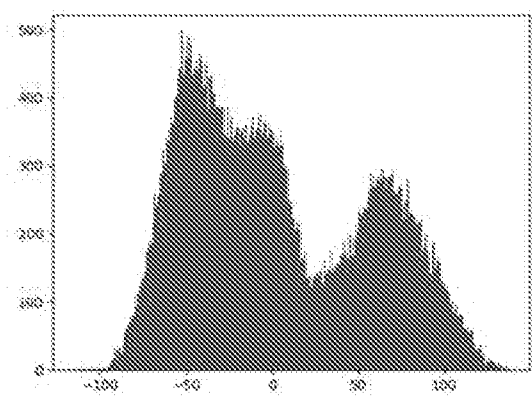


图 8

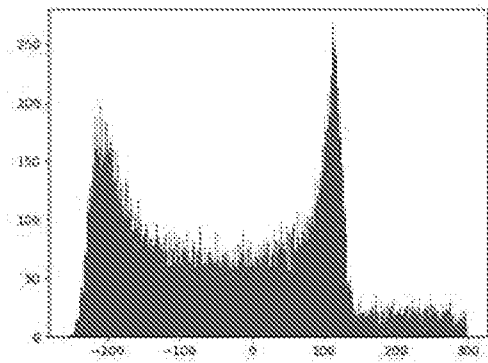


图 9

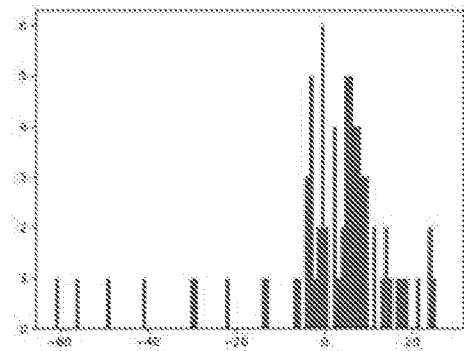


图 10

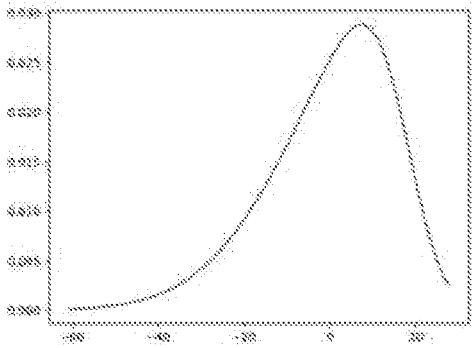


图 11

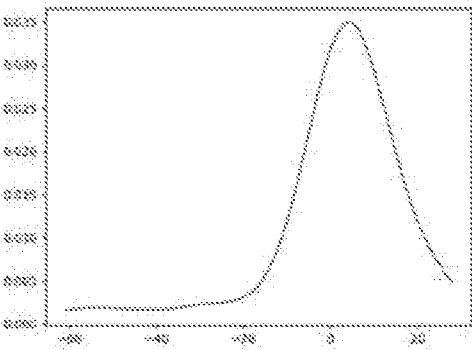


图 12

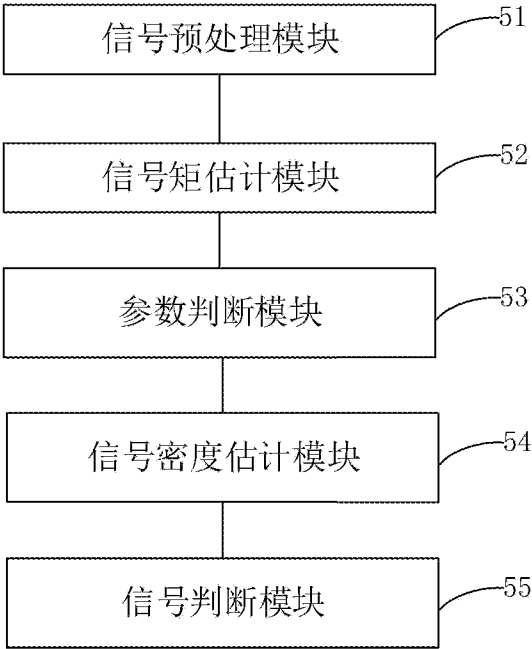


图 13

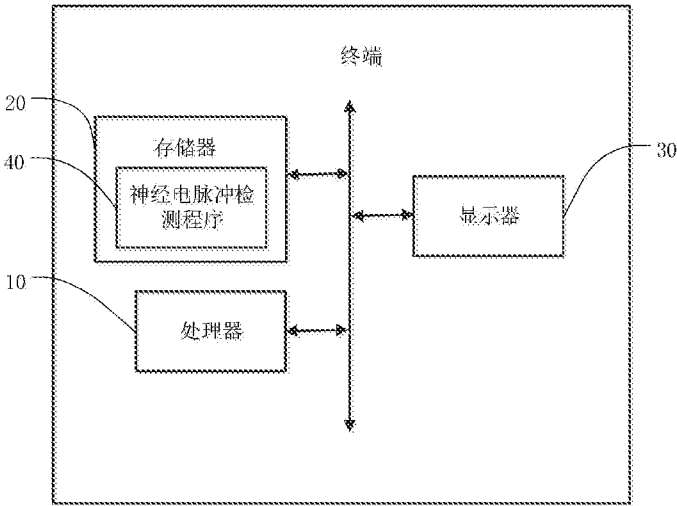


图 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/138053

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B5/374(2021.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: A61B5 G06F G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNXTX, ENTXT, ENTXTC, CJFD: 神经, 脉冲, 检测, 滤波, 阈值, 偏态, 概率, 密度, 散度, 脑, 脑机, 深圳先进技术研究
院, 马良, 李骁健, nerve, neural, pulse, detect+, filter+, threshold, skewed, probability, density, divergence, brain, machine,
SHENZHEN INST ADVANCED TECHNOLOGY, Ma liang, Li Xiaojian

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 106529186 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 22 March 2017 (2017-03-22) description, paragraphs 44-84, and figures 1-2	1-10
A	CN 116369945 A (HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY) 04 July 2023 (2023-07-04) entire document	1-10
A	CN 116407140 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 11 July 2023 (2023-07-11) entire document	1-10
A	CN 116861967 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 10 October 2023 (2023-10-10) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
“D” document cited by the applicant in the international application
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 August 2024

Date of mailing of the international search report

02 September 2024

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	齐春亮等 (QI, Chunliang et al.). "基于PCNN自动波与偏态指标的图像自动分割算法 (Automated Image Segmentation Based on Pulse Coupled Neural Networks and Bias-Normal Distribution Index)" <i>计算机工程与应用 (Computer Engineering and Applications)</i> , No. 34, 01 December 2005 (2005-12-01), pages 49-52 entire document	1-10
A	CN 114469138 A (NEURACLE MEDICAL TECHNOLOGY (SHANGHAI) CO., LTD.) 13 May 2022 (2022-05-13) entire document	1-10
A	CN 114663468 A (NTT DOCOMO INC.) 24 June 2022 (2022-06-24) entire document	1-10
A	WO 2021249313 A1 (SHANGHAI MARITIME UNIVERSITY) 16 December 2021 (2021-12-16) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/138053

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	106529186	A	22 March 2017	WO	2018094718	A1	31 May 2018
				US	2019378622	A1	12 December 2019
				US	11238991	B2	01 February 2022
CN	116369945	A	04 July 2023	None			
CN	116407140	A	11 July 2023	None			
CN	116861967	A	10 October 2023	None			
CN	114469138	A	13 May 2022	None			
CN	114663468	A	24 June 2022	None			
WO	2021249313	A1	16 December 2021	ZA	202211364	B	22 February 2023

A. 主题的分类

A61B5/374(2021.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: A61B5 G06F G06T

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNTEXT;ENTEXT;ENTXTC;CJFD:神经, 脉冲, 检测, 滤波, 阈值, 偏态, 概率, 密度, 散度, 脑, 脑机, 深圳先进技术研究院, 马良, 李骁健, nerve, neural, pulse, detect+, filter+, threshold, skewed, probability, density, divergence, brain, machine, SHENZHEN INST ADVANCED TECHNOLOGY, Ma liang, Li Xiaojian

C. 相关文件

类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 106529186 A (浙江大学) 2017年3月22日 (2017 - 03 - 22) 说明书44-84段, 附图1-2	1-10
A	CN 116369945 A (杭州电子科技大学) 2023年7月4日 (2023 - 07 - 04) 全文	1-10
A	CN 116407140 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2023年7月11日 (2023 - 07 - 11) 全文	1-10
A	CN 116861967 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2023年10月10日 (2023 - 10 - 10) 全文	1-10
A	齐春亮等. "基于PCNN自动波与偏态指标的图像自动分割算法" 计算机工程与应用, 第34期, 2005年12月1日 (2005 - 12 - 01), 第49-52页 全文	1-10
A	CN 114469138 A (博睿康医疗科技(上海)有限公司) 2022年5月13日 (2022 - 05 - 13) 全文	1-10

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

★ 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2024年8月21日

国际检索报告邮寄日期

2024年9月2日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

李原

电话号码 (+86) 62085846

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 114663468 A (株式会社NTT都科摩) 2022年6月24日 (2022 - 06 - 24) 全文	1-10
A	WO 2021249313 A1 (UNIV SHANGHAI MARITIME) 2021年12月16日 (2021 - 12 - 16) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/138053

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	106529186	A	2017年3月22日	WO	2018094718	A1	2018年5月31日
				US	2019378622	A1	2019年12月12日
				US	11238991	B2	2022年2月1日
CN	116369945	A	2023年7月4日	无			
CN	116407140	A	2023年7月11日	无			
CN	116861967	A	2023年10月10日	无			
CN	114469138	A	2022年5月13日	无			
CN	114663468	A	2022年6月24日	无			
WO	2021249313	A1	2021年12月16日	ZA	202211364	B	2023年2月22日