



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106175690 A

(43)申请公布日 2016.12.07

(21)申请号 201610716274.X

A61N 1/08(2006.01)

(22)申请日 2016.08.24

(71)申请人 中国科学院深圳先进技术研究院

地址 518055 广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号

(72)发明人 蔚鹏飞 黄康 王立平

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 王涛

(51)Int.Cl.

A61B 5/00(2006.01)

A61B 5/0476(2006.01)

A61B 5/0478(2006.01)

A61N 1/36(2006.01)

A61N 1/04(2006.01)

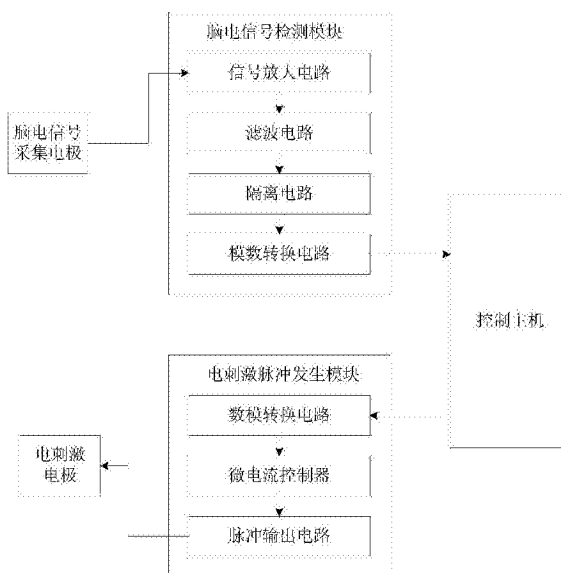
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

慢波睡眠增强系统及慢波睡眠监测方法

(57)摘要

本发明提供了一种慢波睡眠增强系统及慢波睡眠监测方法,该慢波睡眠增强系统包括:脑电采集部分、电刺激部分及控制主机;脑电采集部分包括:脑电信号采集电极及脑电信号检测模块;脑电信号检测模块用于对脑电信号采集电极采集的脑电信号分别进行放大、滤波及模数转换后输出至控制主机;控制主机根据接收到的脑电信号监测用户的睡眠状态,若用户处于慢波睡眠状态,输出刺激指令;电刺激部分包括:电刺激脉冲发生模块及电刺激电极;电刺激脉冲发生模块接收刺激指令,根据刺激指令输出刺激电流,电刺激电极将刺激电流传输至头皮进行大脑皮层的调控。本发明在检测到用户进入慢波睡眠时予以刺激,避免了在其他时间对用户刺激造成的大脑活动节律失调。



1. 一种慢波睡眠增强系统,其特征在于,包括:脑电采集部分、电刺激部分及控制主机;

所述脑电采集部分包括:脑电信号采集电极及脑电信号检测模块;所述脑电信号采集电极由分布在头皮各个部位的多个电极组成,所述脑电信号检测模块用于对多个电极采集的脑电信号分别进行放大、滤波及模数转换后输出至所述控制主机;

所述控制主机根据接收到的脑电信号监测用户的睡眠状态,若用户处于慢波睡眠状态,输出刺激指令;

所述电刺激部分包括:电刺激脉冲发生模块及电刺激电极;所述电刺激脉冲发生模块接收所述刺激指令,根据所述刺激指令输出刺激电流,所述电刺激电极将所述刺激电流传输至头皮进行大脑皮层的调控。

2. 根据权利要求1所述的慢波睡眠增强系统,其特征在于,所述脑电信号检测模块包括:

信号放大电路,与所述多个电极通过并行方式连接,用于对所述脑电信号分别进行放大处理;

滤波电路,连接所述信号放大电路,用于对放大处理后的脑电信号进行滤波处理;

隔离电路,连接所述滤波电路;

模数转换电路,连接所述隔离电路,用于将滤波后的脑电信号转换为数字信号。

3. 根据权利要求1所述的慢波睡眠增强系统,其特征在于,所述电刺激脉冲发生模块包括:

数模转换电路,用于将接收到的所述刺激指令转换为模拟信号;

微电流控制器,连接所述数模转换电路,在所述刺激指令的控制下产生刺激电流;

脉冲输出电路,连接所述微电流控制器及所述刺激电极,用于将所述刺激电流输出至所述刺激电极。

4. 根据权利要求1所述的慢波睡眠增强系统,其特征在于,所述控制主机具体用于:设置监测时间窗,根据所述脑电信号计算所述时间窗内的小波熵,与预先测量的多种睡眠状态下的平均小波熵进行比对,判断用户所处的睡眠状态是否为慢波睡眠。

5. 根据权利要求1所述的慢波睡眠增强系统,其特征在于,所述刺激电极设置在用户眼眶上侧的头皮上。

6. 一种慢波睡眠监测方法,其特征在于,包括:

采集用户的原始脑电信号;

根据预先设置的检测时间窗及检测周期提取采集的所述原始脑电信号;

根据提取的所述原始脑电信号计算所述时间窗内的小波熵;

将所述小波熵与预先测量的多种睡眠状态下的平均小波熵进行比对,判断用户所述的睡眠阶段。

7. 根据权利要求6所述的慢波睡眠监测方法,其特征在于,根据提取的所述原始脑电信号计算所述时间窗内的小波熵,包括:

根据提取的所述原始脑电信号进行脑电信号序列的小波变换,得到小波变换表达式;

将所述小波变换表达式中的尺度因子的高低频分量系数及位移因子的高低频分量系数进行单支重构,得到重建小波分量;

根据单支重构结构计算所述时间窗内的小波熵。

8. 根据权利要求7所述的慢波睡眠监测方法, 其特征在于, 所述小波变换 $WT_s(j, k)$ 的表达式为:

$$WT_s(j, k) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \psi_{j,k}^*(t) dt$$

其中, j 是尺度因子, k 为位移因子, $j > 0, k \in \mathbb{R}$, $\mathbb{R}$ 为实数, $S(t)$ 为脑电信号序列, $\psi_{j,k}^*(t)$ 为母小波函数, 所述母小波函数定义为:

$$\psi_{j,k}^*(t) = \frac{1}{\sqrt{j}} \psi\left(\frac{t-k}{j}\right)$$

$$\psi(t) = e^{-\beta^2 t^2 / 2} \cos \pi t$$

其中, β 为用于控制的小波形状的参数, t 为时间。

9. 根据权利要求8所述的慢波睡眠监测方法, 其特征在于, 所述小波熵 WE 为:

$$WE = -\sum_j P_j \ln P_j$$

其中, $P_j = \frac{Power_j}{Power_{tot}}$, $Power_{tot}$ 为各个功率分量 $Power_j$ 之和, $Power_j$ 可由重建小波分量 D_j

和 A_m 求得:

$$Power_j = \sum |D_j + A_m|^2$$

$$Power_{tot} = \sum_{n=1}^a Power_n$$

a 为自然数。

10. 根据权利要求6所述的慢波睡眠监测方法, 其特征在于, 在采集用户的原始脑电信号之后, 所述方法还包括: 将所述原始脑电信号进行放大、滤波、模数转换。

11. 根据权利要求6所述的慢波睡眠监测方法, 其特征在于, 所述的检测时间窗为 16s, 所述检测周期为 60s。

慢波睡眠增强系统及慢波睡眠监测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及睡眠监测及调节技术,特别是关于一种慢波睡眠增强系统及慢波睡眠监测方法。

背景技术

[0002] 睡眠对于人或动物来说是基本的生存需求,如果睡眠不足,或者睡眠不规律,就会影响到正常的生活。大脑是机体中受睡眠的影响最大的器官,长期的睡眠不足会影响人的智力,使人出现抑郁、焦虑、健忘等症状。

[0003] 多项实验研究发现,睡眠对于记忆的巩固至关重要,目前,比较流行的观点主要有两种,一种观点认为睡眠改善记忆的方式是通过阻断正在进行的干扰活动,如精神活动和外部的感觉刺激;另一种观点认为,睡眠能够加强突触的连接从而巩固记忆。

[0004] 有关睡眠与记忆的动物实验研究中,例如,宾夕法尼亚大学的一项对小鼠的实验中,将小鼠放入环境中适应一段时间后,再次将小鼠放入环境中,由于正常小鼠对环境产生了记忆,因此会主动去寻找其中的物体,但在适应环境后进行睡眠剥夺的小鼠则不会寻找物体,因为它在适应之后的记忆被损坏了。日本科学家M.Murayama对此进行更深一步的研究,在小鼠对环境适应并产生记忆后,在小鼠深度睡眠期间,通过光遗传技术将次级运动皮层(secondary motor cortex)M1到初级感觉皮层(Primary Somatosensory Cortex)S1的投射关闭,发现小鼠的表现就像被睡眠剥夺了一样,对环境的记忆受到了损坏。深度期间,与动物感官体验相关的神经元的再激活,被认为对记忆的巩固具有至关重要的作用,与睡眠调控相关的腺苷也在这个时期与腺苷受体结合,调节机体的各种反应。

[0005] 上述提到的慢波睡眠(Slow Wave Sleep,SWS)是睡眠中的一个阶段,通常可以把睡眠分为清醒期、快速眼动睡眠期和非快速眼动睡眠期(Non-rapid eye movement,NREM),非快速眼动睡眠又分为四个时期:第一期S1发生在睡眠开始阶段,眼球有缓慢运动;第二期S2开始进入无意识阶段,眼球不再运动,脑电波里开始出现较快的“纺锤波”;第三期S3,脑电信号减慢, δ 波开始出现,频率为4-7Hz;第四期S4为睡眠最深。S3和S4合称慢波睡眠,也叫做深度睡眠,深度睡眠效率最高。

[0006] 根据上述科学研究的基础,通过睡眠来巩固、提高记忆的关键点在于通过人为的调控大脑回路中高层和低层大脑区域的同步激活,增加慢波睡眠的时间。目前常用的调控手段包括自然刺激、药物干预、基因操控以及电、磁、力刺激等。

[0007] 自然刺激的方法中,一种申请公布号为CN1899640 A的中国专利《一种提高右脑记忆的方法》,将右脑记忆工作状态脑电波频率相同的右脑记忆力诱导音频文件,失眠时,使用该装置发生模拟深度睡眠时的 δ 波,能产生催眠作用,以提高人们的睡眠质量,提高右脑记忆。基于脑电信号的神经反馈技术也被用于大脑记忆功能的改善,申请公布号为CN102319067 B的中国专利《用于大脑记忆功能改善的基于脑电信号的神经反馈训练仪》,可利用大脑活动过程采集下来的头皮脑电信号,对记忆力的即时状态进行定量检测,并将表征记忆力水平的脑电节律波呈现给用户,指导用户有意识地调节脑电节律波,达到改善

记忆力水平的目的。

[0008] 药物干预的方法中,申请公布号为CN102845749 B的中国专利中提出一种具有改善睡眠和辅助改善记忆功能的保健组合物,该组合物的原料为几种中草药。申请公布号为CN101352233 A的中国专利《一种预防老年痴呆、改善记忆的保健品》,原料配方包括沙棘油60~90份、益智仁提取物8~20份及芡实提取物5~15份,应用于预防老年痴呆和改善记忆。

[0009] 电、磁、力刺激方法中,申请公布号为CN 101099670 A的中国专利《失眠的神经反馈治疗装置》,提出了一种由计算机与脑信息交互实现对失眠的神经反馈治疗装置,通过计算脑电波信号获取睡眠状况,并据此予以电刺激实现个性化治疗,提高睡眠质量。

[0010] 上述提到的通过调节睡眠来巩固、提高记忆力的技术和方法中,用与工作状态脑电波频率相同的右脑记忆力诱导音频文件的方法中,虽然提到没有副作用,其在睡眠时产生的δ波能够催眠,但是大脑在睡眠的不同时期,脑电的频率是不同的,如果没有对睡眠的状态进行监测,如果播放的音频信号与大脑此时的节律不同步,会适得其反。基于脑电信号的神经反馈训练仪对大脑即时状态进行定量检测,具有针对性的指导用户有意识地调节脑电节律波,仅仅通过用户本身,而没有外部刺激干预,很难达到脑电节律波的调节。

[0011] 利用保健品或药物在某种程度上能够治疗失眠,促使用户入睡,但是由于成分复杂,具体某种成分发挥的作用不得而知,使得效果不具有稳定性,并且还会伴随着副作用。

[0012] 利用电刺激治疗失眠的装置中,只是通过给予大脑一定强度的电刺激实现对失眠的治疗,并没有涉及到通过睡眠来巩固记忆的方面。

发明内容

[0013] 本发明提供一种慢波睡眠增强系统及慢波睡眠监测方法,以准确的检测用户的慢波睡眠,并通过调节微弱直流电刺激频率,达到巩固、增强记忆的目的。

[0014] 为了实现上述目的,本发明实施例提供了一种慢波睡眠增强系统,该慢波睡眠增强系统包括:脑电采集部分、电刺激部分及控制主机;

[0015] 所述脑电采集部分包括:脑电信号采集电极及脑电信号检测模块;所述脑电信号采集电极由分布在头皮各个部位的多个电极组成,所述脑电信号检测模块用于对多个电极采集的脑电信号分别进行放大、滤波及模数转换后输出至所述控制主机;

[0016] 所述控制主机根据接收到的脑电信号监测用户的睡眠状态,若用户处于慢波睡眠状态,输出刺激指令;

[0017] 所述电刺激部分包括:电刺激脉冲发生模块及电刺激电极;所述电刺激脉冲发生模块接收所述刺激指令,根据所述刺激指令输出刺激电流,所述电刺激电极将所述刺激电流传输至头皮进行大脑皮层的调控。

[0018] 一实施例中,所述脑电信号检测模块包括:

[0019] 信号放大电路,与所述多个电极通过并行方式连接,用于对所述脑电信号分别进行放大处理;

[0020] 滤波电路,连接所述信号放大电路,用于对放大处理后的脑电信号进行滤波处理;

[0021] 隔离电路,连接所述滤波电路;

[0022] 模数转换电路,连接所述隔离电路,用于将滤波后的脑电信号转换为数字信号。

[0023] 一实施例中,所述电刺激脉冲发生模块包括:

[0024] 数模转换电路,用于将接收到的所述刺激指令转换为模拟信号;

[0025] 微电流控制器,连接所述数模转换电路,在所述刺激指令的控制下产生刺激电流;

[0026] 脉冲输出电路,连接所述微电流控制器及所述刺激电极,用于将所述刺激电流输出至所述刺激电极。

[0027] 一实施例中,所述控制主机具体用于:设置监测时间窗,根据所述脑电信号计算所述时间窗内的小波熵,与预先测量的多种睡眠状态下的平均小波熵进行比对,判断用户所处的睡眠状态是否为慢波睡眠。

[0028] 一实施例中,所述刺激电极设置在用户眼眶上侧的头皮上。

[0029] 为了实现上述目的,本发明实施例提供了一种慢波睡眠监测方法,该慢波睡眠监测方法包括:

[0030] 采集用户的原始脑电信号;

[0031] 根据预先设置的检测时间窗及检测周期提取采集的所述原始脑电信号;

[0032] 根据提取的所述原始脑电信号计算所述时间窗内的小波熵;

[0033] 将所述小波熵与预先测量的多种睡眠状态下的平均小波熵进行比对,判断用户所述的睡眠阶段。

[0034] 一实施例中,根据提取的所述原始脑电信号计算所述时间窗内的小波熵,包括:

[0035] 根据提取的所述原始脑电信号进行脑电信号序列的小波变换,得到小波变换表达式;

[0036] 将所述小波变换表达式中的尺度因子的高低频分量系数及位移因子的高低频分量系数进行单支重构,得到重建小波分量;

[0037] 根据单支重构结构计算所述时间窗内的小波熵。

[0038] 一实施例中,所述小波变换 $WT_s(j,k)$ 的表达式为:

$$[0039] \quad WT_s(j,k) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \psi_{j,k}^*(t) dt,$$

[0040] 其中,j是尺度因子,k为位移因子, $j>0, k \in \mathbb{R}$, $S(t)$ 为脑电信号序列, $\psi_{j,k}$ 为母小波函数,所述母小波函数定义为:

$$[0041] \quad \psi_{j,k}^*(t) = \frac{1}{\sqrt{j}} \psi\left(\frac{t-k}{j}\right)$$

$$[0042] \quad \psi(t) = e^{-\beta^2 t^2 / 2} \cos \pi t$$

[0043] 其中, β 为用于控制的小波形状的参数,t为时间。

[0044] 一实施例中,所述小波熵WE为:

$$[0045] \quad WE = -\sum_j P_j \ln P_j$$

[0046] 其中, $P_j = \frac{\text{Power}_j}{\text{Power}_{\text{tot}}}$, $\text{Power}_{\text{tot}}$ 为各个功率分量 Power_j 之和, Power_j 可由重建小波分量 D_j 和 A_m 求得:

$$[0047] \quad \text{Power}_j = \sum |D_j + A_m|^2$$

[0048]
$$\text{Power}_{\text{tot}} = \sum_{n=1}^a \text{Power}_n$$

[0049] a为自然数。

[0050] 一实施例中,在采集用户的原始脑电信号之后,所述方法还包括:将所述原始脑电信号进行放大、滤波、模数转换。

[0051] 一实施例中,所述的检测时间窗为16s,所述检测周期为60s。

[0052] 本发明提供一种慢波睡眠增强系统及慢波睡眠监测方法,以准确的检测用户的慢波睡眠,并通过调节微弱直流电刺激频率,达到巩固、增强记忆的目的。

附图说明

[0053] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术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发明的一些实施例,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。

[0054] 图1为本发明实施例的慢波睡眠增强系统的结构框图;

[0055] 图2为本发明实施例的慢波睡眠增强系统可呈现的电刺激模式示意图;

[0056] 图3为本发明实施例的慢波睡眠增强系统的具体应用示意图;

[0057] 图4为本发明实施例中无创脑功能电刺激作用于大脑皮层的位置示意图;

[0058] 图5为本发明实施例的慢波睡眠增强系统的慢波睡眠增强流程图。

具体实施方式

[0059] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0060] 针对现有技术中通过调节睡眠来巩固、提高记忆力的技术的缺陷,本发明实施例提供了一种慢波睡眠增强系统,该慢波睡眠增强系统包括:脑电采集部分、电刺激部分及控制主机。

[0061] 如图1所示,所述脑电采集部分包括:脑电信号采集电极及脑电信号检测模块;所述脑电信号采集电极由分布在头皮各个部位的多个电极组成,又称为头皮脑电信号采集电极。

[0062] 所述脑电信号检测模块用于对多个电极采集的脑电信号分别进行放大、滤波及模数转换后输出至所述控制主机。

[0063] 一实施例中,如图1所示,所述脑电信号检测模块包括:信号放大电路,滤波电路,隔离电路及模数转换电路。

[0064] 信号放大电路与脑电信号采集电极中的多个电极通过并行方式连接,用于对脑电信号采集电极采集的脑电信号分别进行放大处理。

[0065] 信号放大电路将脑电信号放大到一定范围后,由于刺激信号中存在噪声干扰,需要进行滤波处理,故将滤波电路连接信号放大电路,利用滤波电路对放大处理后的脑电信

号进行滤波处理。

[0066] 信号放大电路及滤波电路构成了前级信号处理电路,模数转换电路为后级信号处理电路,为保证用户的安全,提高抗干扰性能,在前级信号处理电路与后级信号处理电路直接设置了隔离电路,及隔离电路连接滤波电路与模数转换电路之间。

[0067] 模数转换电路连接隔离电路,可以将滤波后的脑电信号转换为数字信号。

[0068] 控制主机可以连接至脑电信号检测模块的模数转换电路,接收脑电信号。根据接收到的脑电信号监测用户的睡眠状态,若检测到用户处于慢波睡眠状态,将输出刺激指令。

[0069] 如图1所示,电刺激部分包括:电刺激脉冲发生模块及电刺激电极。电刺激脉冲发生模块接收控制主机输出的刺激指令,根据刺激指令输出刺激电流给电刺激电极,电刺激电极将刺激电流传输至头皮进行大脑皮层的调控。

[0070] 一实施例中,如图1所示,电刺激脉冲发生模块包括:数模转换电路,微电流控制器及脉冲输出电路。

[0071] 数模转换电路连接控制主机,将控制主机输出的刺激指令转换为模拟信号,该模拟信号可以控制与数模转换电路连接的微电流控制器产生刺激电流。该刺激电流可以通过与微电流控制器连接的脉冲输出电路输出至刺激电极。

[0072] 刺激电极将刺激电流传导到头皮,进而实现大脑皮层的调控。具体实施时,如图2所示,刺激电流可以以直流刺激、交流刺激、随机假刺激等多种方式呈现。

[0073] 图3为慢波睡眠增强系统的应用示意图,下面结合图3说明慢波睡眠增强系统的具体应用情况。

[0074] 如图3所示,慢波睡眠增强系统主要包括:脑电信号采集电极101,刺激电极102,脑电信号处理装置103,直流电刺激控制器104及控制主机105。

[0075] 脑电信号采集电极101包括多个电极,例如可以包括21个电极。脑电信号采集电极101为21个Ag或AgCl电极组成的脑电信号采集电极帽,可以按照国际通用的10-20导联法,将电极分布在头皮的各个区域。

[0076] 刺激电极102安放区域可以为双侧前额叶按照国际标准的10-20导联法的F3和F4部位。

[0077] 刺激电极102也可以安装于用户眼眶上侧的头皮上。图4为无创脑功能电刺激作用于大脑皮层的示意图。电极位于眼眶上侧的头皮部位,一侧为阳极,一侧为阴极,401为阳极电极,402为阴极电极,阳极与阴极之间形成电势差,从而在电极之间的脑区部位形成电流。电流可以根据设定,产生一定强度(单位A、mA)的电流,频率(Hz),对两个脑区之间的神经元予以同步化激活或抑制,脑区之间群体神经元的激活或抑制在宏观层面上表现为脑电波节律的改变,如果所设定的刺激频率与慢波睡眠 δ 波的节律同步,就能实现增强慢波睡眠的目的。

[0078] 脑电信号处理装置103用于执行图1所示的脑电信号检测模块功能,将原始脑电信号进行放大、滤波、模数转换等预处理,转换成适应控制主机105处理分析的数字信号。

[0079] 直流电刺激控制器104用于执行图1所示的电刺激脉冲发生模块,控制刺激电流的输出,包括刺激电流的波形、强度、频率、循环周期等参数。

[0080] 控制主机105一般为台式或笔记本计算机,负责运行整个系统软件,完成数据采集、数据分析、控制指令发出等任务。

[0081] 为了清楚的说明图1及图3中慢波睡眠增强系统的功能,下面结合具体地流程图进行说明。

[0082] 图5为本发明实施例的慢波睡眠增强系统的慢波睡眠增强流程图,如图5所示,包括如下步骤:

[0083] S501:利用佩戴在头皮多个区域的电极采集原始脑电信号。电极的佩戴包括清洗用户头皮,打导电膏,贴参考电极、眼电电极,降阻抗等。

[0084] S502:脑电信号处理装置103将原始脑电信号进行放大、滤波、模数转换等预处理。由于脑电信号非常微弱,首先要经过放大到与控制主机105的输入电压范围匹配的区间,再进行带通滤波,工频陷波,最后将信号通过模数转换器转换成数字信号供控制主机105分析处理。脑电信号处理装置103可以采用NeuroScan公司的SynAmps2型号的信号处理装置,采样率为1000Hz,每个电极的阻抗保持在5K Ω 以下。脑电信号处理装置103通过数据传输线与控制主机105进行电连接。

[0085] S503:在用户睡眠过程中,控制主机105通过设置监测时间窗,每隔一个固定周期监测用户睡眠状况,即控制主机105根据预先设置的检测时间窗及检测周期提取采集的所述原始脑电信号。

[0086] 一实施例中,时间窗设置为16s,检测周期设置为60s,即控制主机105每隔60s进行一次取样,从开始时刻的起始时间点到之后的16s内,将读取到的脑电信号存入控制主机105的可读存储器中,读取完毕后,进行S504的睡眠状态检测。

[0087] S504:控制主机105根据原始脑电信号计算时间窗内的小波熵,与用户在多种睡眠状况下提前测得的平均小波熵进行对比,判断用户所处的睡眠阶段。

[0088] 一实施例中,多种睡眠状况包括在睡眠过程中的清醒期、快速眼动睡眠和非快速眼动睡眠的S1、S2、S3、S4六个时期,清醒期的脑电信号小波熵最大,非快速眼动睡眠期间从S1到S4小波熵逐渐减小,快速眼动睡眠期间的小波熵介于清醒期和非快速眼动睡眠期之间。因此,按照这个规律,用户在使用慢波睡眠增强系统之前,先采集多个睡眠过程中各个时期的脑电信号,并且除以小波熵,将其均值作为参考。进行睡眠检测时,将S503读取的脑电信号求取小波熵,与参考值进行对比,判断用户所处的睡眠时期。

[0089] 一实施例中,计算时间窗内的小波熵的步骤如下:

[0090] 首先,根据提取的所述原始脑电信号进行脑电信号序列的小波变换,得到小波变换表达式:

[0091] 所述小波变换 $WT_s(j,k)$ 的表达式为:

$$[0092] \quad WT_s(j,k) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \psi_{j,k}^*(t) dt,$$

[0093] 其中,j是尺度因子,k为位移因子, $j>0, k \in \mathbb{R}$, $S(t)$ 为脑电信号序列, $\psi_{j,k}$ 为母小波函数,根据Morlet的原始形式,母小波定义为:

$$[0094] \quad \psi_{j,k}^*(t) = \frac{1}{\sqrt{j}} \psi\left(\frac{t-k}{j}\right)$$

$$[0095] \quad \psi(t) = e^{-\beta^2 t^2 / 2} \cos \pi t$$

[0096] β 参数用于控制的小波形状。

[0097] 然后,将小波变换表达式中的尺度因子j的高低频分量系数 $cD_{j,k}$ 及位移因子k的高

低频分量系数 $cA_{j,k}$ 进行单支重构,得到重建小波分量 D_j 及 A_m :

[0098] $D_j: [2^{-(j+1)}f_s, 2^{-j}f_s]$

[0099] $A_m: [0, 2^{-(m+1)}f_s]$

[0100] 上述重建小波分量 D_j 及 A_j 中, f_s 为信号采样频率,那么原始脑电信号 $S(n)$ 可表示为:

[0101] $S(n) = D_1(n) + A_1(n) = D_1(n) + D_2(n) + A_2(n) = \sum_{j=1}^m D_j(n) + A_m(n)$

[0102] D_j 和 A_m 分别表示单支重构后得到的信号细节分量和近似分量。

[0103] 最后,根据单支重构结构计算所述时间窗内的小波熵。

[0104] 小波熵WE为:

[0105] $WE = -\sum_j P_j \ln P_j$

[0106] 其中, $P_j = \frac{Power_j}{Power_{tot}}$, $Power_{tot}$ 为各个功率分量 $Power_j$ 之和, $Power_j$ 可由重建小波分量 D_j 和 A_m 求得:

[0107] $Power_j = \sum |D_j + A_m|^2$

[0108] $Power_{tot} = \sum_{n=1}^a Power_n$

[0109] a 为自然数。

[0110] S505:若检测到用户处于慢波睡眠时期,启动无创脑功能电刺激程序,控制主机105通过直流电刺激控制器104及刺激电极102给用户时间一定强度的电流、频率、时间的电刺激。一实施例中,首次刺激采用的电流密度为 $0.26\text{mA}/\text{cm}^2$,刺激时间为30s,刺激形式为正弦波刺激。

[0111] S506:电刺激结束后,返回S505,继续评估慢波睡眠程度,若得到加强,则按照上次的刺激模式继续刺激,若效果不明显,则增加一定的刺激强度继续刺激。为了实现多次连续的反馈循环刺激,刺激结束后,继续进行睡眠状态监测,若发现慢波睡眠加强,则证明上次的刺激有效,应保持原来的刺激参数进行刺激,若发现慢波睡眠没有得到增强,则按照步长为 0.01mA 的电流密度增加刺激强度。

[0112] 本发明利用佩戴在头皮多个区域的电极采集原始脑电信号,将原始脑电信号进行放大、滤波、模数转换等预处理,在用户睡眠过程中,通过脑电信号来监测用户睡眠状况,若检测到用户处于慢波睡眠时期,给用户时间一定强度的电流、频率、时间的电刺激,刺激结束后,对此次刺激效果进行反馈评估,重新设定刺激模式继续对头皮进行刺激。本发明通过睡眠来调控记忆的作用时期精准,在检测到用户进入慢波睡眠时才予以刺激,避免了在其他时间刺激造成的大脑活动节律失调。本发明相对于自然刺激和药物干预方法,刺激效果更加及时,直接调控大脑皮层的电活动,实现调控神经元的膜电位和峰电位发放,形成阈上刺激引发神经元放电,增强大脑神经网络的慢波活动,作用机理清晰,因而意外和副作用较少。

[0113] 本领域内的技术人员应明白,本发明的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此,本发明可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实

施例的形式。而且,本发明可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0114] 本发明是参照根据本发明实施例的方法、设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器,使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

[0115] 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品,该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

[0116] 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

[0117] 本发明中应用了具体实施例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

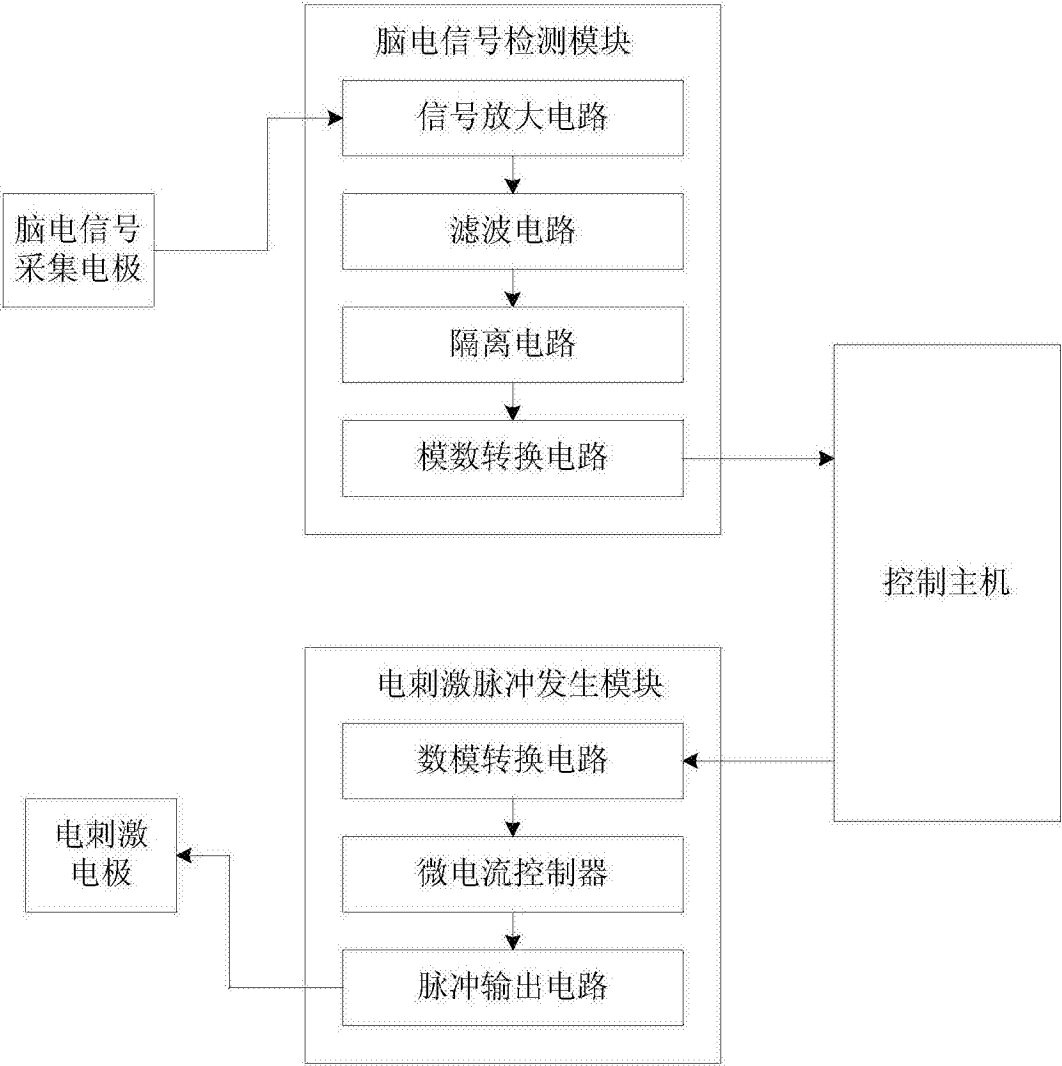


图1

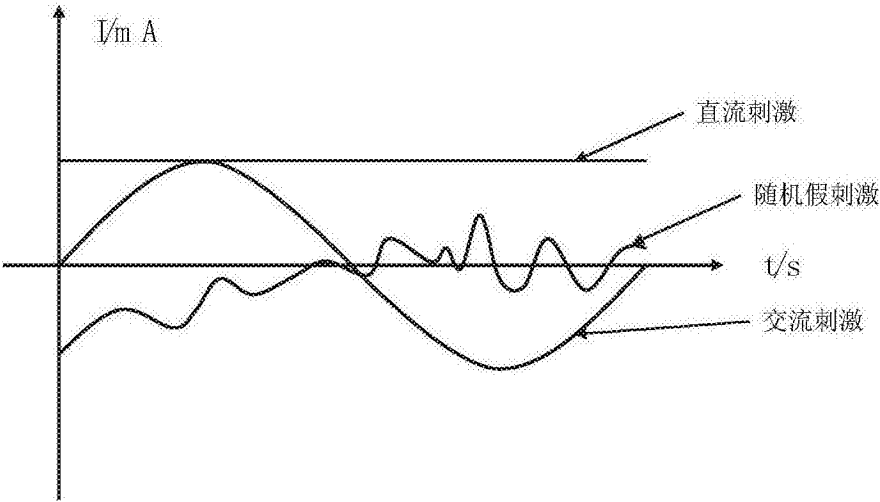


图2

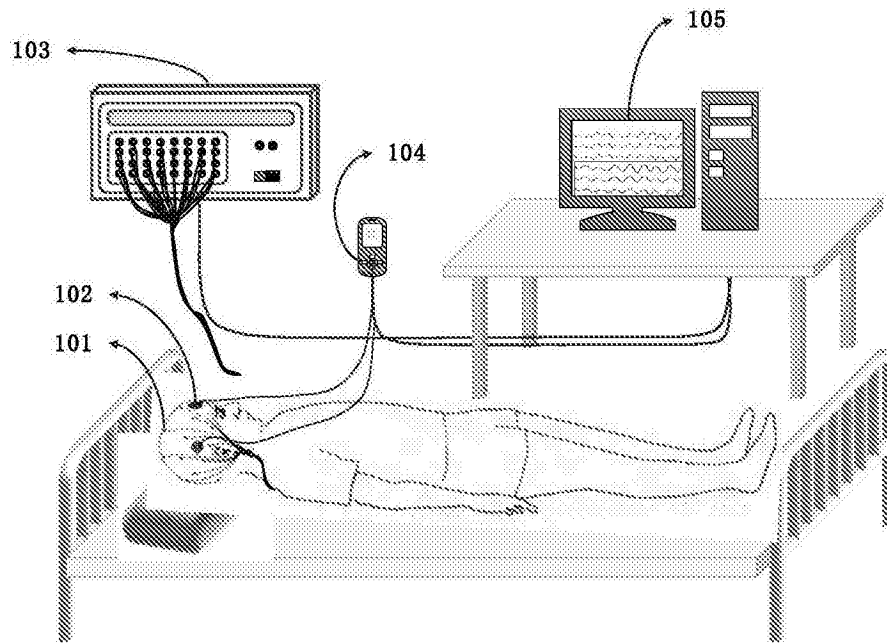


图3

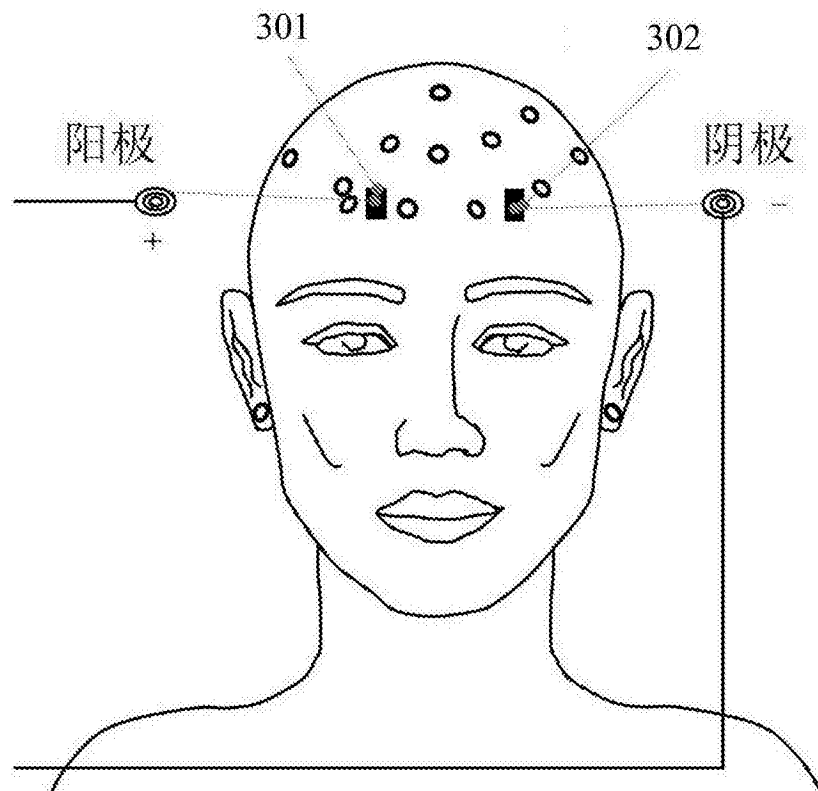


图4

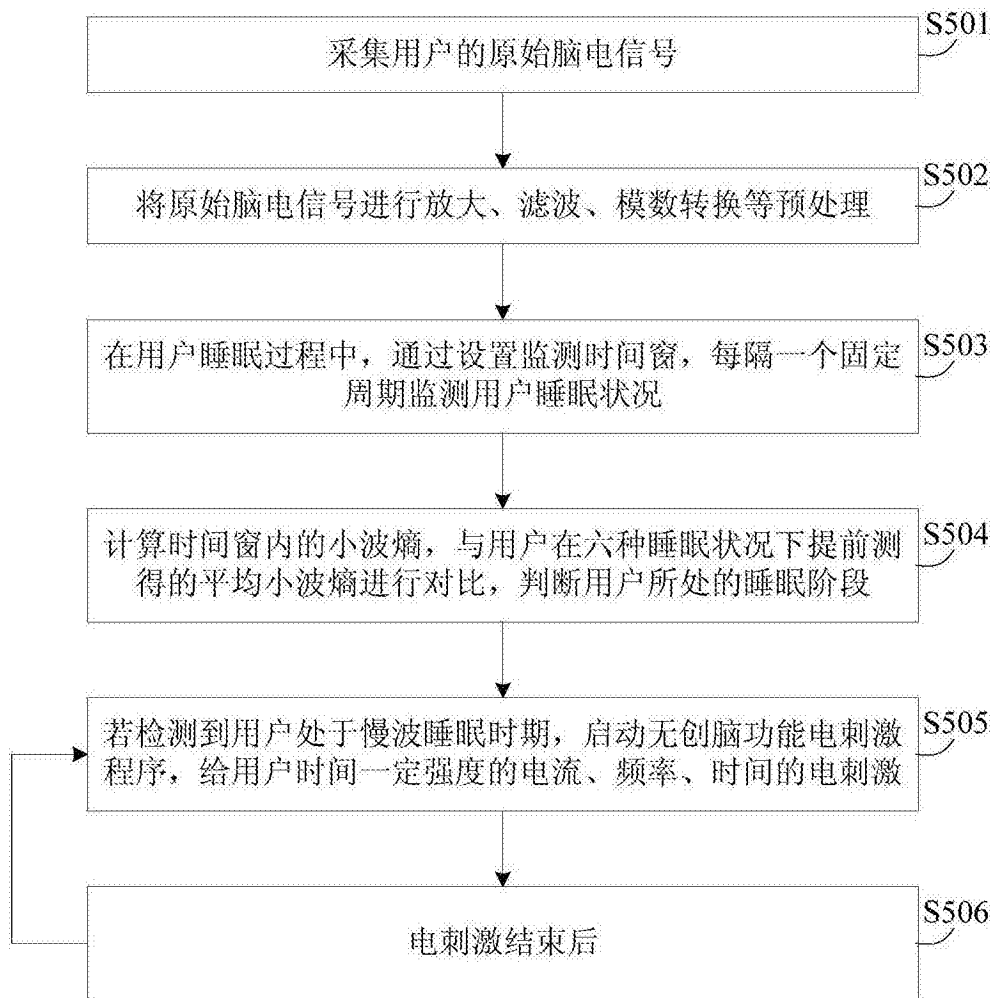


图5

专利名称(译)	慢波睡眠增强系统及慢波睡眠监测方法		
公开(公告)号	CN106175690A	公开(公告)日	2016-12-07
申请号	CN201610716274.X	申请日	2016-08-24
[标]申请(专利权)人(译)	深圳先进技术研究院		
申请(专利权)人(译)	中国科学院深圳先进技术研究院		
当前申请(专利权)人(译)	中国科学院深圳先进技术研究院		
[标]发明人	蔚鹏飞 黄康 王立平		
发明人	蔚鹏飞 黄康 王立平		
IPC分类号	A61B5/00 A61B5/0476 A61B5/0478 A61N1/36 A61N1/04 A61N1/08		
CPC分类号	A61B5/4812 A61B5/0476 A61B5/0478 A61B5/6814 A61B5/7225 A61B5/7235 A61N1/0404 A61N1/08 A61N1/36014 A61N1/36025		
代理人(译)	王涛		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明提供了一种慢波睡眠增强系统及慢波睡眠监测方法，该慢波睡眠增强系统包括：脑电采集部分、电刺激部分及控制主机；脑电采集部分包括：脑电信号采集电极及脑电信号检测模块；脑电信号检测模块用于对脑电信号采集电极采集的脑电信号分别进行放大、滤波及模数转换后输出至控制主机；控制主机根据接收到的脑电信号监测用户的睡眠状态，若用户处于慢波睡眠状态，输出刺激指令；电刺激部分包括：电刺激脉冲发生模块及电刺激电极；电刺激脉冲发生模块接收刺激指令，根据刺激指令输出刺激电流，电刺激电极将刺激电流传输至头皮进行大脑皮层的调控。本发明在检测到用户进入慢波睡眠时予以刺激，避免了在其他时间对用户刺激造成的大脑活动节律失调。

