



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107951482 A

(43)申请公布日 2018.04.24

(21)申请号 201711111630.6

(22)申请日 2017.11.13

(71)申请人 浙江好络维医疗技术有限公司

地址 310012 浙江省杭州市西湖区西斗门
路3号天堂软件园A幢7D

(72)发明人 朱玉奎 何晓彤 符灵建

(74)专利代理机构 杭州九洲专利事务所有限公
司 33101

代理人 翁霁明

(51) Int. Cl.

A61B 5/0402(2006.01)

A61B 5/0472(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

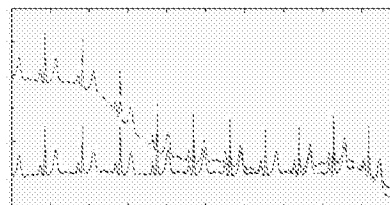
权利要求书3页 说明书11页 附图3页

(54)发明名称

一种基于小波分解与样条插值的心电信号
基线拉平方法

(57)摘要

一种基于小波分解与样条插值的心电信号
基线拉平方法,该方法首先利用小波分析方法确
定QRS波群起点的位置,然后将QRS波群起点作为
插值节点,用三次样条插值函数拟合基线形态,
最后从原始信号中减去基线,从而去除心电信号
中的漂移成分,拉平基线,所述的心电信号基线
拉平方法包括下述步骤:1)选取二阶Daubechies
小波作为基函数,将原始心电信号分解为六级小
波,利用第六级高频成分重构信号检测QRS波群;
2)确定QRS波群起点位置;3)用QRS波群起点位置
作为插值节点,利用三次样条插值函数拟合基线
形态;4)从原始心电信号中减去基线成分得到去
除漂移成分后的信号。



1. 一种基于小波分解与样条插值的心电信号基线拉平方法,该方法首先利用小波分析方法确定QRS波群起点的位置,然后将QRS波群起点作为插值节点,用三次样条插值函数拟合基线形态,最后从原始信号中减去基线,从而去除心电信号中的漂移成分,拉平基线,其特征在于所述的心电信号基线拉平方法包括下述步骤:

1) 选取二阶Daubechies小波作为基函数,将原始心电信号分解为六级小波,利用六级高频成分检测QRS波群;

2) 确定QRS波群起点位置;

3) 用QRS波群起点位置作为插值节点,利用三次样条插值函数拟合基线形态;

4) 从原始心电信号中减去基线成分得到去除漂移成分后的信号。

2. 根据权利要求1所述的基于小波分解与样条插值的心电信号基线拉平方法,其特征在于:

所述的步骤1):心电数据规格为长度为10秒,采样率为1000Hz;以下所述e表示原始心电信号, $e_i, i=0, 1, \dots, 9999$,表示第i毫秒的电压值;

选择二阶Daubechies小波,其低频和高频滤波器系数分别记为 $h_k, g_k, k=0, 1, 2, \dots, M$;

a) 将e对称延拓,使得延拓后的信号满足以下条件,记延拓后的信号为 e' :

$$e'_i = \begin{cases} e_{24-i}, & i=0, 1, \dots, 23; \\ e_{i-24}, & i=24, 25, \dots, 10023; \\ e_{20022-i}, & i=10024, 10025, \dots, 10047; \end{cases} \quad (1)$$

b) 将原始心电信号按照以下公式逐级分解,总共6级:

$$\begin{cases} c_{j-1,k} = \sum_{n=2k}^{2k+M-1} h_{n-2k} c_{j,n} \\ d_{j-1,k} = \sum_{n=2k+2-M}^{2k+1} g_{n-2k} c_{j,n} \end{cases} \quad (2)$$

其中, $c_{j,k}, j=1, 2, 3, 4, 5, 6$ 为尺度系数, $d_{j,k}, j=1, 2, 3, 4, 5, 6$ 为小波系数,取 $c_{1,k} \approx e'_k, k=0, 1, 2, \dots, 10047$,将 D_2, D_3, D_4, D_5, C_6 置零,其中,

$$D_2 = \{d_{2,k} \mid k=0, 1, \dots, 5023\} \quad (3)$$

$$D_3 = \{d_{3,k} \mid k=0, 1, \dots, 2511\} \quad (4)$$

$$D_4 = \{d_{4,k} \mid k=0, 1, \dots, 1255\} \quad (5)$$

$$D_5 = \{d_{5,k} \mid k=0, 1, \dots, 627\} \quad (6)$$

$$C_6 = \{c_{6,k} \mid k=0, 1, \dots, 313\} \quad (7)$$

c) 重构心电信号

按照以下公式重构心电信号:

$$c_{j,n} = \sum_{k=\lceil (n-M+1)/2 \rceil}^{\lfloor n/2 \rfloor} h_{n-2k} c_{j-1,k} + \sum_{k=\lceil n/2 \rceil}^{\lceil (n+M-1)/2 \rceil} g_{n-2k} c_{j,n} \quad (8)$$

其中, $\lfloor x \rfloor$ 表示不超过x的最大整数, $\lceil x \rceil$ 表示不小于x的最大整数;

重构后的信号记为s, $s_i, i=0, 1, \dots, 9999$ 表示第i毫秒的电压,其计算方式为:

$$s_i = c_{1,i+24}, i=0, 1, \dots, 9999 \quad (9)$$

d) 检测QRS波群

按照绝对值大小对s降序排序,排序后的序列记为s',用I存储s'中的元素在s中的索引值;建立矩阵 $M_{200 \times 200}$,其中,

$$M_{i,j} = |I_i - I_j|, i, j = 0, 1, \dots, 199 \quad (10)$$

记step=200,筛选QRS波群的具体操作如下:如果 $M_{0,j} \leq 200, j = 1, 2, \dots, 199$,就将 $M_{0,j}$ 置零;将 $M_{0,0}$ 置为1,遍历M第0列的元素,如果 $M_{0,i} \neq 0$,且 $s'_i > 0.35s'_0$,则 I_i 位置处有一个QRS波群。

3. 根据权利要求1所述的基于小波分解与样条插值的心电信号基线拉平方法,其特征在于:

所述的步骤2) 包括:记QRS波群个数为 $N+1, x_i, i = 0, 1, \dots, N$ 表示第i个QRS波群的位置;

a) 以 $[x_i - 60, x_i + 60]$ 为邻域搜索振幅最大的点,这个点就是R波所在位置;

b) 从R波波峰位置前60ms起,往后搜索到第一个极大值点,这个点就是QRS波群起点位置。

4. 根据权利要求1所述的基于小波分解与样条插值的心电信号基线拉平方法,其特征在于:

所述的步骤3) 包括:用如下函数关系式表示基线:

$$f(x) = \sum_{j=0}^N e(x_j) a_j(x) + m_j b_j(x) \quad (11)$$

其中 a_j, b_j 是插值基函数,其解析式如下:

$$a_j(x) = \begin{cases} \left(\frac{x - x_{j-1}}{x_j - x_{j-1}} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{x - x_j}{x_{j-1} - x_j} \right), & x_{j-1} \leq x \leq x_j \quad (0 < j \leq N) \\ \left(\frac{x - x_{j+1}}{x_j - x_{j+1}} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{x - x_j}{x_{j+1} - x_j} \right), & x_j \leq x \leq x_{j+1} \quad (0 \leq j < N) \\ 0, & \text{其他,} \end{cases} \quad (12)$$

$$b_j(x) = \begin{cases} \left(\frac{x - x_{j-1}}{x_j - x_{j-1}} \right)^2 (x - x_j), & x_{j-1} \leq x \leq x_j \quad (0 < j \leq N) \\ \left(\frac{x - x_{j+1}}{x_j - x_{j+1}} \right)^2 (x - x_j), & x_j \leq x \leq x_{j+1} \quad (0 \leq j < N) \\ 0, & \text{其他,} \end{cases} \quad (13)$$

$m_j, j = 0, 1, \dots, N$,是使得公式14所表示的线性方程组成立的解:

$$\begin{pmatrix} 2 & \mu_1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \lambda_2 & 2 & \mu_2 & \ddots & & \vdots \\ 0 & \lambda_3 & 2 & \mu_3 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & & \ddots & \lambda_{N-2} & 2 & \mu_{N-2} \\ 0 & \dots & \dots & 0 & \lambda_{N-1} & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ \vdots \\ m_{N-2} \\ m_{N-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ \vdots \\ g_{N-2} \\ g_{N-1} \end{pmatrix} \quad (14)$$

其中,

$$h_j = x_{j+1} - x_j, \quad (15)$$

$$f[x_j, x_{j+1}] = \frac{f(x_{j+1}) - f(x_j)}{h_j} \quad (16)$$

$$\lambda_j = \frac{h_j}{h_{j-1} + h_j}, \mu_j = \frac{h_{j-1}}{h_{j-1} + h_j} \quad (j=1, 2, \dots, N-1), \quad (17)$$

$$g_j = 3(\lambda_j f[x_{j-1}, x_j] + \mu_j f[x_j, x_{j+1}]) \quad (j=1, 2, \dots, N-1) \quad (18)$$

公式14的求解步骤包括:

a) $\beta_1 = \frac{\mu_1}{2}, \beta_i = \frac{\mu_i}{2 - \gamma_i \beta_{i-1}}, (i=2, 3, \dots, N-2);$

b) $y_1 = \frac{g_1}{2}, y_i = \frac{g_i - \lambda_i y_{i-1}}{2 - \lambda_i \beta_{i-1}} (i=2, 3, \dots, n);$

c) $m_{N-1} = y_{N-1}, m_i = y_i - \beta_i m_{i+1} (i=N-2, N-3, \dots, 2, 1)。$

5. 根据权利要求1所述的基于小波分解与样条插值的心电信号基线拉平方法,其特征
在于:

所述的步骤4)中,用 e_0 表示拉平基线后的心电信号,按照以下公式计算拉平基线后第 x
毫秒的电压:

$$e_0(x) = e(x) - f_h(x), x_k \leq x \leq x_{k+1} \quad (19)$$

其中,

$$f_h(x) = e(x_k) a_k(x) + e(x_{k+1}) a_{k+1}(x) + m_k b_k(x) + m_{k+1} b_{k+1}(x), (x_k \leq x \leq x_{k+1}) \quad (20)。$$

一种基于小波分解与样条插值的心电信号基线拉平方法

技术领域

[0001] 本发明涉及动态心电图、常规心电图基线的测量与处理,具体为基于小波分解与样条插值的心电信号基线拉平方法,属于心电信号处理技术领域。

背景技术

[0002] 心电图描记技术是心内科常规检查之中最常见的一项。心电图检查费用低廉、无创、可诊断、可定位,从基层的社区医院到大型的三甲医院都得到了广泛应用。

[0003] 心电波形的准确性直接影响到诊断结果,例如,即使ST段抬高或者压低一个毫伏也会影响到医生对患者病情的分析。因此,获得准确可靠的波形至关重要。基线漂移是心电信号在采集过程中的常见现象,它会改变心电波的形态,影响诊断结果。心电信号中的基线漂移一般是由人体呼吸、电极移动产生的,频率较低。研究表明,基线漂移的频率成分与ST段的频率有重叠的部分。ST段的形态是判别心肌损伤、缺血的重要依据。因此,去除基线漂移时要尽量避免对ST段的影响。

[0004] 目前,学者们提出的去除基线漂移的算法有:中值滤波、曲线拟合、高通滤波、数学形态学处理等。这几种算法都会造成心电波形和ST段的改变,究其原因,它们都不能建立一个能够真实刻画基线形态的数学模型。

发明内容

[0005] 本发明的目的是克服现有技术存在的不足,提供一种能建立真实刻画基线形态数学模型的基于小波分解与样条插值的心电信号基线拉平方法;该方法为一种准确的去基线漂移技术,进而能获得可靠的心电数据,为医生临床诊断提供可靠依据。

[0006] 本发明的目的是通过如下技术方案来完成的,一种基于小波分解与样条插值的心电信号基线拉平方法,该方法首先利用小波分析方法确定QRS波群起点的位置,然后将QRS波群起点作为插值节点,用三次样条插值函数拟合基线形态,最后从原始信号中减去基线,从而去除心电信号中的漂移成分,拉平基线,所述的心电信号基线拉平方法包括下述步骤:

[0007] 1) 选取二阶Daubechies小波作为基函数,将原始心电信号分解为六级小波,利用第六级高频成分检测QRS波群;

[0008] 2) 确定QRS波群起点位置;

[0009] 3) 用QRS波群起点位置作为插值节点,利用三次样条插值函数拟合基线形态;

[0010] 4) 从原始心电信号中减去基线成分得到去除漂移成分后的信号。

[0011] 作为优选:所述的步骤1):心电数据规格为长度为10秒,采样率为1000Hz;以下所述 e 表示原始心电信号, $e_i, i=0, 1, \dots, 9999$,表示第 i 毫秒的电压值;

[0012] 选择二阶Daubechies小波,其低频和高频滤波器系数分别记为 $h_k, g_k, k=0, 1, 2, \dots, M$;

[0013] a) 将 e 对称延拓,使得延拓后的信号满足以下条件,记延拓后的信号为 e' :

$$[0014] \quad e'_i = \begin{cases} e_{24-i}, & i=0, 1, \dots, 23; \\ e_{i-24}, & i=24, 25, \dots, 10023; \\ e_{20022-i}, & i=10024, 10025, \dots, 10047; \end{cases} \quad (1)$$

[0015] b) 将原始心电信号按照以下公式逐级分解, 总共6级:

$$[0016] \quad \begin{cases} c_{j-1,k} = \sum_{n=2k}^{2k+M-1} h_{n-2k} c_{j,n} \\ d_{j-1,k} = \sum_{n=2k+2-M}^{2k+1} g_{n-2k} c_{j,n} \end{cases} \quad (2)$$

[0017] 其中, $c_{j,k}$, $j=1, 2, 3, 4, 5, 6$ 为尺度系数, $d_{j,k}$, $j=1, 2, 3, 4, 5, 6$ 为小波系数, 取 $c_{1,k} \approx e'_k$, $k=0, 1, 2, \dots, 10047$, 将 D_2, D_3, D_4, D_5, C_6 置零, 其中,

$$[0018] \quad D_2 = \{d_{2,k} | k=0, 1, \dots, 5023\} \quad (3)$$

$$[0019] \quad D_3 = \{d_{3,k} | k=0, 1, \dots, 2511\} \quad (4)$$

$$[0020] \quad D_4 = \{d_{4,k} | k=0, 1, \dots, 1255\} \quad (5)$$

$$[0021] \quad D_5 = \{d_{5,k} | k=0, 1, \dots, 627\} \quad (6)$$

$$[0022] \quad C_6 = \{c_{6,k} | k=0, 1, \dots, 313\} \quad (7)$$

[0023] c) 重构心电信号

[0024] 按照以下公式重构心电信号:

$$[0025] \quad c_{j,n} = \sum_{k=\lceil (n-M+1)/2 \rceil}^{\lfloor n/2 \rfloor} h_{n-2k} c_{j-1,k} + \sum_{k=\lfloor n/2 \rfloor}^{\lceil (n+M-1)/2 \rceil} g_{n-2k} c_{j,n} \quad (8)$$

[0026] 其中, $\lfloor x \rfloor$ 表示不超过 x 的最大整数, $\lceil x \rceil$ 表示不小于 x 的最大整数;

[0027] 重构后的信号记为 s , s_i , $i=0, 1, \dots, 9999$ 表示第 i 毫秒的电压, 其计算方式为:

$$[0028] \quad s_i = c_{1,i+24}, i=0, 1, \dots, 9999 \quad (9)$$

[0029] d) 检测QRS波群

[0030] 按照绝对值大小对 s 降序排序, 排序后的序列记为 s' , 用 I 存储 s' 中的元素在 s 中的索引值; 建立矩阵 $M_{200 \times 200}$, 其中,

$$[0031] \quad M_{i,j} = |I_i - I_j|, i, j=0, 1, \dots, 199 \quad (10)$$

[0032] 记 $\text{step}=200$, 筛选QRS波群的具体操作如下: 如果 $M_{0,j} \leq 200$, $j=1, 2, \dots, 199$, 就将 $M_{0,j}$ 置零; 将 $M_{0,0}$ 置为 1, 遍历 M 第 0 列的元素, 如果 $M_{0,i} \neq 0$, 且 $s'_i > 0.35s'_0$, 则 I_i 位置处有一个QRS波群。

[0033] 作为优选: 所述的步骤2) 包括: 记QRS波群个数为 $N+1$, x_i , $i=0, 1, \dots, N$ 表示第 i 个QRS波群的位置;

[0034] a) 以 $[x_i-60, x_i+60]$ 为邻域搜索振幅最大的点, 这个点就是R波所在位置;

[0035] b) 从R波波峰位置前60ms起, 往后搜索到第一个极大值点, 这个点就是QRS波群起点位置。

[0036] 作为优选: 所述的步骤3) 包括: 用如下函数关系式表示基线:

$$[0037] \quad f(x) = \sum_{j=0}^N e(x_j) a_j(x) + m_j b_j(x) \quad (11)$$

[0038] 其中 a_j, b_j 是插值基函数, 其解析式如下:

$$[0039] \quad a_j(x) = \begin{cases} \left(\frac{x-x_{j-1}}{x_j-x_{j-1}} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{x-x_j}{x_{j-1}-x_j} \right), & x_{j-1} \leq x \leq x_j \quad (0 < j \leq N) \\ \left(\frac{x-x_{j+1}}{x_j-x_{j+1}} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{x-x_j}{x_{j+1}-x_j} \right), & x_j \leq x \leq x_{j+1} \quad (0 \leq j < N) \\ 0, & \text{其他,} \end{cases} \quad (12)$$

$$[0040] \quad b_j(x) = \begin{cases} \left(\frac{x-x_{j-1}}{x_j-x_{j-1}} \right)^2 (x-x_j), & x_{j-1} \leq x \leq x_j \quad (0 < j \leq N) \\ \left(\frac{x-x_{j+1}}{x_j-x_{j+1}} \right)^2 (x-x_j), & x_j \leq x \leq x_{j+1} \quad (0 \leq j < N) \\ 0, & \text{其他,} \end{cases} \quad (13)$$

[0041] $m_j, j=0, 1, \dots, N$, 是使得公式14所表示的线性方程组成立的解:

$$[0042] \quad \begin{pmatrix} 2 & \mu_1 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ \lambda_2 & 2 & \mu_2 & \ddots & & \vdots \\ 0 & \lambda_3 & 2 & \mu_3 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & & \ddots & \lambda_{N-2} & 2 & \mu_{N-2} \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & \lambda_{N-1} & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ \vdots \\ m_{N-2} \\ m_{N-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ \vdots \\ g_{N-2} \\ g_{N-1} \end{pmatrix} \quad (14)$$

[0043] 其中,

$$[0044] \quad h_j = x_{j+1} - x_j, \quad (15)$$

$$[0045] \quad f[x_j, x_{j+1}] = \frac{f(x_{j+1}) - f(x_j)}{h_j} \quad (16)$$

$$[0046] \quad \lambda_j = \frac{h_j}{h_{j-1} + h_j}, \mu_j = \frac{h_{j-1}}{h_{j-1} + h_j} \quad (j=1, 2, \dots, N-1), \quad (17)$$

$$[0047] \quad g_j = 3(\lambda_j f[x_{j-1}, x_j] + \mu_j f[x_j, x_{j+1}]) \quad (j=1, 2, \dots, N-1) \quad (18)$$

[0048] 公式14的求解步骤包括:

$$[0049] \quad \text{a) } \beta_1 = \frac{\mu_1}{2}, \beta_i = \frac{\mu_i}{2 - \gamma_i \beta_{i-1}}, \quad (i=2, 3, \dots, N-2);$$

$$[0050] \quad \text{b) } y_1 = \frac{g_1}{2}, y_i = \frac{g_i - \lambda_i y_{i-1}}{2 - \lambda_i \beta_{i-1}} \quad (i=2, 3, \dots, n);$$

$$[0051] \quad \text{c) } m_{N-1} = y_{N-1}, m_i = y_i - \beta_i m_{i+1} \quad (i=N-2, N-3, \dots, 2, 1)。$$

[0052] 作为优选:所述的步骤4)中,用 e_0 表示拉平基线后的心电信号,按照以下公式计算拉平基线后第 x 毫秒的电压:

$$[0053] \quad e_0(x) = e(x) - f_h(x), \quad x_k \leq x \leq x_{k+1} \quad (19)$$

[0054] 其中,

$$f_h(x) = e(x_k) a_k(x) + e(x_{k+1}) a_{k+1}(x) + m_k b_k(x) + m_{k+1} b_{k+1}(x), (x_k \leq x \leq x_{k+1}) \quad (20)$$

[0056] 本发明结合了小波分析与数值分析理论,具有坚实的数学基础;具体实施时又有一套高效、巧妙的算法求解各项参数,为动态心电图、常规心电图去除基线漂移提供了一种稳妥方案。

附图说明

[0057] 图1为II导联原始信号。

[0058] 图2为重构信号。

[0059] 图3为II导联原始信号与重构后信号对比。

[0060] 图4为QRS波群起点位置标记。

[0061] 图5为II导联基线形态。

[0062] 图6为II导联信号在基线拉平前后的对比。

[0063] 图7为I、II、III、aVR、aVL、aVF导联信号拉平基线后对比。

[0064] 图8为基于小波分解与样条插值的心电信号基线拉平方法操作流程。

具体实施方式

[0065] 下面将结合具体实施例及附图对本发明作详细的介绍:本发明所述的一种基于小波分解与样条插值的心电信号基线拉平方法,该方法首先利用小波分析方法确定QRS波群起点的位置,然后将QRS波群起点作为插值节点,用三次样条插值函数拟合基线形态,最后从原始信号中减去基线,从而去除心电信号中的漂移成分,拉平基线;所述的心电信号基线拉平方法包括下述步骤:

[0066] 1) 选取二阶Daubechies小波作为基函数,将原始心电信号分解为六级小波,利用第六级高频成分检测QRS波群;

[0067] 2) 确定QRS波群起点位置;

[0068] 3) 用QRS波群起点位置作为插值节点,利用三次样条插值函数拟合基线形态;

[0069] 4) 从原始心电信号中减去基线成分得到去除漂移成分后的信号。

[0070] 本发明所述的步骤1): 心电数据规格为长度为10秒,采样率为1000Hz;以下所述 e 表示原始心电信号, $e_i, i=0, 1, \dots, 9999$,表示第 i 毫秒的电压值;

[0071] 选择二阶Daubechies小波,其低频和高频滤波器系数分别记为 $h_k, g_k, k=0, 1, 2, \dots, M$;

[0072] a) 将 e 对称延拓,使得延拓后的信号满足以下条件,记延拓后的信号为 e' :

$$e'_i = \begin{cases} e_{24-i}, & i = 0, 1, \dots, 23; \\ e_{i-24}, & i = 24, 25, \dots, 10023; \\ e_{20022-i}, & i = 10024, 10025, \dots, 10047; \end{cases} \quad (1)$$

[0074] b) 将原始心电信号按照以下公式逐级分解,总共6级:

$$[0075] \quad \begin{cases} c_{j-1,k} = \sum_{n=2k}^{2k+M-1} h_{n-2k} c_{j,n} \\ d_{j-1,k} = \sum_{n=2k+2-M}^{2k+1} g_{n-2k} c_{j,n} \end{cases} \quad (2)$$

[0076] 其中, $c_{j,k}$, $j=1,2,3,4,5,6$ 为尺度系数, $d_{j,k}$, $j=1,2,3,4,5,6$ 为小波系数, 取 $c_{1,k} \approx e'_{k,k=0,1,2,\dots,10047}$, 将 D_2, D_3, D_4, D_5, C_6 置零, 其中,

$$[0077] \quad D_2 = \{d_{2,k} | k=0,1,\dots,5023\} \quad (3)$$

$$[0078] \quad D_3 = \{d_{3,k} | k=0,1,\dots,2511\} \quad (4)$$

$$[0079] \quad D_4 = \{d_{4,k} | k=0,1,\dots,1255\} \quad (5)$$

$$[0080] \quad D_5 = \{d_{5,k} | k=0,1,\dots,627\} \quad (6)$$

$$[0081] \quad C_6 = \{c_{6,k} | k=0,1,\dots,313\} \quad (7)$$

[0082] c) 重构心电信号

[0083] 按照以下公式重构心电信号:

$$[0084] \quad c_{j,n} = \sum_{k=\lceil (n-M+1)/2 \rceil}^{\lfloor n/2 \rfloor} h_{n-2k} c_{j-1,k} + \sum_{k=\lceil n/2 \rceil}^{\lfloor (n+M-1)/2 \rfloor} g_{n-2k} c_{j,n} \quad (8)$$

[0085] 其中, $\lfloor x \rfloor$ 表示不超过 x 的最大整数, $\lceil x \rceil$ 表示不小于 x 的最大整数;

[0086] 重构后的信号记为 s , s_i , $i=0,1,\dots,9999$ 表示第 i 毫秒的电压, 其计算方式为:

$$[0087] \quad s_i = c_{1,i+24}, i=0,1,\dots,9999 \quad (9)$$

[0088] d) 检测QRS波群

[0089] 按照绝对值大小对 s 降序排序, 排序后的序列记为 s' , 用 I 存储 s' 中的元素在 s 中的索引值; 建立矩阵 $M_{200 \times 200}$, 其中,

$$[0090] \quad M_{i,j} = |I_i - I_j|, i, j=0,1,\dots,199 \quad (10)$$

[0091] 记 $step=200$, 筛选QRS波群的具体操作如下: 如果 $M_{0,j} \leq 200$, $j=1,2,\dots,199$, 就将 $M_{0,j}$ 置零; 将 $M_{0,0}$ 置为 1, 遍历 M 第 0 列的元素, 如果 $M_{0,i} \neq 0$, 且 $s'_i > 0.35s'_0$, 则 I_i 位置处有一个QRS波群。

[0092] 本发明所述的步骤2) 包括: 记QRS波群个数为 $N+1$, x_i , $i=0,1,\dots,N$ 表示第 i 个QRS波群的位置;

[0093] a) 以 $[x_i-60, x_i+60]$ 为邻域搜索振幅最大的点, 这个点就是R波所在位置;

[0094] b) 从R波波峰位置前60ms起, 往后搜索到第一个极大值点, 这个点就是QRS波群起点位置。

[0095] 本发明所述的步骤3) 包括: 用如下函数关系式表示基线:

$$[0096] \quad f(x) = \sum_{j=0}^N e(x_j) a_j(x) + m_j b_j(x) \quad (11)$$

[0097] 其中 a_j, b_j 是插值基函数, 其解析式如下:

$$[0098] \quad a_j(x) = \begin{cases} \left(\frac{x-x_{j-1}}{x_j-x_{j-1}} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{x-x_j}{x_{j-1}-x_j} \right), & x_{j-1} \leq x \leq x_j \quad (0 < j \leq N) \\ \left(\frac{x-x_{j+1}}{x_j-x_{j+1}} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{x-x_j}{x_{j+1}-x_j} \right), & x_j \leq x \leq x_{j+1} \quad (0 \leq j < N) \\ 0, & \text{其他,} \end{cases} \quad (12)$$

$$[0099] \quad b_j(x) = \begin{cases} \left(\frac{x-x_{j-1}}{x_j-x_{j-1}} \right)^2 (x-x_j), & x_{j-1} \leq x \leq x_j \quad (0 < j \leq N) \\ \left(\frac{x-x_{j+1}}{x_j-x_{j+1}} \right)^2 (x-x_j), & x_j \leq x \leq x_{j+1} \quad (0 \leq j < N) \\ 0, & \text{其他,} \end{cases} \quad (13)$$

[0100] $m_j, j=0, 1, \dots, N$, 是使得公式14所表示的线性方程组成立的解:

$$[0101] \quad \begin{pmatrix} 2 & \mu_1 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ \lambda_2 & 2 & \mu_2 & \ddots & & \vdots \\ 0 & \lambda_3 & 2 & \mu_3 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & & \ddots & \lambda_{N-2} & 2 & \mu_{N-2} \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & \lambda_{N-1} & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ \vdots \\ m_{N-2} \\ m_{N-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ \vdots \\ g_{N-2} \\ g_{N-1} \end{pmatrix} \quad (14)$$

[0102] 其中,

$$[0103] \quad h_j = x_{j+1} - x_j, \quad (15)$$

$$[0104] \quad f[x_j, x_{j+1}] = \frac{f(x_{j+1}) - f(x_j)}{h_j} \quad (16)$$

$$[0105] \quad \lambda_j = \frac{h_j}{h_{j-1} + h_j}, \mu_j = \frac{h_{j-1}}{h_{j-1} + h_j} \quad (j=1, 2, \dots, N-1), \quad (17)$$

$$[0106] \quad g_j = 3(\lambda_j f[x_{j-1}, x_j] + \mu_j f[x_j, x_{j+1}]) \quad (j=1, 2, \dots, N-1) \quad (18)$$

[0107] 公式14的求解步骤包括:

$$[0108] \quad a) \beta_1 = \frac{\mu_1}{2}, \beta_i = \frac{\mu_i}{2 - \gamma_i \beta_{i-1}}, \quad (i=2, 3, \dots, N-2);$$

$$[0109] \quad b) y_1 = \frac{g_1}{2}, y_i = \frac{g_i - \lambda_i y_{i-1}}{2 - \lambda_i \beta_{i-1}} \quad (i=2, 3, \dots, n);$$

$$[0110] \quad c) m_{N-1} = y_{N-1}, m_i = y_i - \beta_i m_{i+1} \quad (i=N-2, N-3, \dots, 2, 1)。$$

[0111] 本发明所述的步骤4)中,用 e_0 表示拉平基线后的心电信号,按照以下公式计算拉平基线后第 x 毫秒的电压:

$$[0112] \quad e_0(x) = e(x) - f_h(x), \quad x_k \leq x \leq x_{k+1} \quad (19)$$

[0113] 其中,

$$f_h(x) = e(x_k) a_k(x) + e(x_{k+1}) a_{k+1}(x) + m_k b_k(x) + m_{k+1} b_{k+1}(x), (x_k \leq x \leq x_{k+1}) \quad (20)$$

[0115] 实施例:本发明所述的一种基于小波分解与样条插值的心电信号基线拉平方法,该方法是:基于信号的小波分解与重构思想结合三次样条插值方法,构建一系列检测方法、检测准则和阈值参数,计算出基线方程,最终去除基线漂移影响;所述的基线拉平方法包括如下实施步骤:

[0116] 1) 选择二阶Daubechies作为基函数,将心电信号分解为六级小波,第六级高频成分用于重构,并用重构后的信号检测出QRS位置;

[0117] 2) 以重构后的信号为基础,利用心电信号第六级高频成分随时间的变化规律定位出QRS波群起点所在位置;

[0118] 3) 以QRS波群起点作为插值节点,用三次样条插值多项式拟合基线;

[0119] 4) 从原始心电信号中减去基线成分就得到了去除基线影响后的信号。

[0120] 本发明所述的步骤1)中,心电数据的长度为10秒,采样率为1000Hz;以下叙述中 e 表示原始心电信号, $e_i, i=0, 1, \dots, 9999$,表示第 i 毫秒的电压;

[0121] 选取二阶Daubechies小波作为基函数,其滤波器系数 $h_k, \sum_{k \in Z} h_k = \sqrt{2}$,如下表所示:

[0122]

k	h_k
0	0.4829629131445341
1	0.8365163037378077
2	0.2241438680420134
3	-0.1294095225512603

[0123] a) 将 e 对称延拓,使得延拓后的信号满足以下条件,延拓后的信号记为 e' :

$$e'_i = \begin{cases} e_{24-i}, & i = 0, 1, \dots, 23; \\ e_{i-24}, & i = 24, 25, \dots, 10023; \\ e_{20022-i}, & i = 10024, 10025, \dots, 10047; \end{cases} \quad (1)$$

[0125] b) 将原始心电信号按照以下公式逐级分解,总共6级:

$$\begin{cases} c_{j-1,k} = \sum_{n=2k}^{2k+M-1} h_{n-2k} c_{j,n} \\ d_{j-1,k} = \sum_{n=2k+2-M}^{2k+1} g_{n-2k} c_{j,n} \end{cases} \quad (2)$$

[0127] 其中, $c_{j,k}, j=1, 2, 3, 4, 5, 6$ 为尺度系数, $d_{j,k}, j=1, 2, 3, 4, 5, 6$ 为小波系数, $M=4$,取 $c_{1,k} \approx e'_k, k=0, 1, 2, \dots, 10047$,按照公式2分解后,将 D_2, D_3, D_4, D_5, C_6 置零,其中

$$D_2 = \{d_{2,k} | k=0, 1, \dots, 5023\} \quad (3)$$

$$D_3 = \{d_{3,k} | k=0, 1, \dots, 2511\} \quad (4)$$

$$D_4 = \{d_{4,k} | k=0, 1, \dots, 1255\} \quad (5)$$

$$D_5 = \{d_{5,k} | k=0, 1, \dots, 627\} \quad (6)$$

$$C_6 = \{c_{6,k} | k=0, 1, \dots, 313\} \quad (7)$$

[0133] c) 心电信号重构

[0134] 按照以下公式重构心电信号：

$$c_{j,n} = \sum_{k=\lfloor (n-M+1)/2 \rfloor}^{\lfloor n/2 \rfloor} h_{n-2k} c_{j-1,k} + \sum_{k=\lfloor n/2 \rfloor}^{\lfloor (n+M-1)/2 \rfloor} g_{n-2k} c_{j,n} \quad (8)$$

[0136] 其中， $\lfloor x \rfloor$ 表示不超过x的最大整数， $\lceil x \rceil$ 表示不小于x的最大整数；

[0137] 记重构后的信号为s， s_i ， $i=0,1,\dots,9999$ 表示第i毫秒的电压值，则

$$s_i = c_{1,i+24}, i=0,1,\dots,9999 \quad (9)$$

[0139] d) 检测QRS波群

[0140] 经过公式2与公式8的小波分解与重构之后，信号中的低频成分基本被滤除，由于心电信号中的QRS波群频谱主要集中在相对高频段，所以从s中检测QRS波群能够排除P波、T波及其他噪声的影响；又由于心室的绝对不应期大约为200ms，所以可以采取首先对s排序，然后再按固定步长剔除的办法筛选QRS波群，最终确定QRS波群所在位置；

[0141] 按照绝对值大小对s降序排列，排序后的序列记为s'用I存储s'中的元素在s中的索引值。建立矩阵 $M_{200 \times 200}$ ，其中

$$M_{i,j} = |I_i - I_j|, i, j=0,1,\dots,199 \quad (10)$$

[0143] 记step=200，筛选QRS波群的具体操作如下：如果 $M_{0,j} \leq 200$ ， $j=1,2,\dots,199$ 就将 $M_{0,j}$ 置零；将 $M_{0,0}$ 置为1，观察M第0列的元素，如果 $M_{0,i} \neq 0$ ，且 $s'_i > 0.35s'_0$ ，则 I_i 位置处有一个QRS波群。

[0144] 本发明步骤2)中，以QRS波群所在位置为基础，定位QRS波群起点位置；定位QRS波群起点的思想来源于小波分解与重构；小波变换具有空间局部化的性质；通常，信号在经过小波变换后，在间断点处小波系数发生了突变，经过小波重构之后在间断点处信号会出现一个凸点；

[0145] 本发明通过寻找这个尖凸点最终确定QRS波群起点的位置；

[0146] 本发明以常规12导联心电图为蓝本进行分析；在定位QRS波群起点位置时，选取II导联信号进行分析；这是因为在定位QRS波群起点位置时，首先要定位出R波位置，再从R波位置前找到QRS波群起点位置；这要求所分析的导联一定要存在R波，II导联信号能够满足这一要求；

[0147] 记QRS波群个数为N+1， x_i ， $i=0,1,\dots,N$ 表示第i个QRS波群的位置，确定QRS波群起点位置的具体操作步骤如下：

[0148] a) 以 $[x_i-60, x_i+60]$ 为邻域搜索振幅最大的点，这个点就是R波所在位置；

[0149] b) 从R波波峰位置前60ms起，往后搜索到第一个极大值点，这个点就是QRS波群起点位置；

[0150] 本发明在第一步中选择60ms为邻域的理由包括以下两点：正常QRS波群的宽度不超过110ms；之前找到的QRS波群的位置已经落在了QRS波群中近于中间的位置，这个位置距离R波起点的距离不超过60ms。

[0151] 作为优选：步骤3)中，以QRS波群起点为插值节点，并假设 $\{x_i | i=0,1,\dots,N\}$ 满足 $x_0 < x_1 < \dots < x_N$ ，设基线满足函数关系式：

$$f(x_j) = e(x_j) \quad (11)$$

[0153] 由分段Hermite插值公式得

$$[0154] \quad f(x) = \sum_{j=0}^N e(x_j) a_j(x) + m_j b_j(x) \quad (12)$$

[0155] 其中 a_j, b_j 是插值基函数,其解析式如下:

$$[0156] \quad a_j(x) = \begin{cases} \left(\frac{x-x_{j-1}}{x_j-x_{j-1}} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{x-x_j}{x_{j-1}-x_j} \right), & x_{j-1} \leq x \leq x_j \quad (0 < j \leq N) \\ \left(\frac{x-x_{j+1}}{x_j-x_{j+1}} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{x-x_j}{x_{j+1}-x_j} \right), & x_j \leq x \leq x_{j+1} \quad (0 \leq j < N) \\ 0, & \text{其他,} \end{cases} \quad (13)$$

$$[0157] \quad b_j(x) = \begin{cases} \left(\frac{x-x_{j-1}}{x_j-x_{j-1}} \right)^2 (x-x_j), & x_{j-1} \leq x \leq x_j \quad (0 < j \leq N) \\ \left(\frac{x-x_{j+1}}{x_j-x_{j+1}} \right)^2 (x-x_j), & x_j \leq x \leq x_{j+1} \quad (0 \leq j < N) \\ 0, & \text{其他,} \end{cases} \quad (14)$$

[0158] $m_j, j=0, 1, \dots, N$ 是如下线性方程组的解:

$$[0159] \quad \begin{pmatrix} 2 & \mu_1 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ \lambda_2 & 2 & \mu_2 & \ddots & & \vdots \\ 0 & \lambda_3 & 2 & \mu_3 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & & \ddots & \lambda_{N-2} & 2 & \mu_{N-2} \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & \lambda_{N-1} & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ \vdots \\ m_{N-2} \\ m_{N-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ \vdots \\ g_{N-2} \\ g_{N-1} \end{pmatrix} \quad (15)$$

[0160] 这里设定 x_0 与 x_N 处的一阶导数为0,公式15中各个参数的计算公式如下:

$$[0161] \quad h_j = x_{j+1} - x_j, \quad (16)$$

$$[0162] \quad f[x_j, x_{j+1}] = \frac{f(x_{j+1}) - f(x_j)}{h_j} \quad (17)$$

$$[0163] \quad \lambda_j = \frac{h_j}{h_{j-1} + h_j}, \mu_j = \frac{h_{j-1}}{h_{j-1} + h_j} \quad (j=1, 2, \dots, N-1), \quad (18)$$

$$[0164] \quad g_j = 3(\lambda_j f[x_{j-1}, x_j] + \mu_j f[x_j, x_{j+1}]) \quad (j=1, 2, \dots, N-1) \quad (19)$$

[0165] 公式15称为三转角方程,本发明利用如下方法解这个方程,称为追赶法;将公式15的系数矩阵做如下分解:

[0166]

$$\begin{pmatrix} 2 & \mu_1 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ \lambda_2 & 2 & \mu_2 & \ddots & & \vdots \\ 0 & \lambda_3 & 2 & \mu_3 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & & \ddots & \lambda_{N-2} & 2 & \mu_{N-2} \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & \lambda_{N-1} & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & 0 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ \gamma_2 & \alpha_2 & 0 & \ddots & & \vdots \\ 0 & \gamma_3 & \alpha_3 & 0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & & \ddots & \gamma_{N-2} & \alpha_{N-2} & 0 \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & \gamma_{N-1} & \alpha_{N-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & \beta_1 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \beta_2 & \ddots & & \vdots \\ 0 & 0 & 1 & \beta_3 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & & \ddots & 0 & 1 & \beta_{N-2} \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (20)$$

[0167] 其中, $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ 为待定系数; 对比公式20两端即得:

[0168] $2 = \alpha_1, \mu_1 = \alpha_1 \beta_1, \quad (21)$

[0169] $\mu_i = \alpha_i \beta_i, (i = 2, 3, \dots, N-2) \quad (22)$

[0170] $\lambda_i = \gamma_i, 2 = \gamma_i \beta_{i-1} + \alpha_i, (i = 2, 3, \dots, N-1) \quad (23)$

[0171] 将公式15记为 $A_m = g$, 求解 $A_m = g$ 等价于解两个三角方程组 $Ly = g$ 与 $Um = y$; 求解公式15的步骤如下:[0172] a) 计算 $\{\beta_i | i = 1, 2, \dots, N-2\}$ 的递推公式如下

[0173] $\beta_1 = \frac{\mu_1}{2}, \beta_i = \frac{\mu_i}{2 - \gamma_i \beta_{i-1}}, (i = 2, 3, \dots, N-2); \quad (24)$

[0174] b) 解 $Ly = g$:

[0175] $y_1 = \frac{g_1}{2}, y_i = \frac{g_i - \lambda_i y_{i-1}}{2 - \lambda_i \beta_{i-1}} (i = 2, 3, \dots, n); \quad (25)$

[0176] c) 解 $Um = y$:

[0177] $m_{N-1} = y_{N-1}, m_i = y_i - \beta_i m_{i+1} (i = N-2, N-3, \dots, 2, 1) \quad (26)$

[0178] 将 $\{m_i | i = 1, 2, \dots, N-1\}$ 的值代入公式12即得基线的方程。[0179] 本发明所述步骤4)中, 由于当 $x \in [x_k, x_{k+1}]$ 时, 只有 $a_k(x), a_{k+1}(x), b_k(x), b_{k+1}(x)$ 不为零, 于是公式12的 $f(x)$ 可以重写为:

[0180] $f_h(x) = e(x_k) a_k(x) + e(x_{k+1}) a_{k+1}(x) + m_k b_k(x) + m_{k+1} b_{k+1}(x), (x_k \leq x \leq x_{k+1}) \quad (27)$

给定第 x 毫秒, $x \in [x_0, x_N]$, 则存在 $0 \leq k \leq N-1$, 使得 $x_k \leq x \leq x_{k+1}$;[0181] 用 e_0 表示拉平基线后的心电信号, 则拉平基线后第 x 毫秒的电压值的计算公式如下:

[0182] $e_0(x) = e(x) - f_h(x), x_k \leq x \leq x_{k+1} \quad (28)$

[0183] 至此, 基线已拉平。

[0184] 实施例1: 本发明能够解决常规心电图和动态心电图基线漂移问题。

[0185] 选取一份常规12导联心电图, 采样率1000Hz, 长度为10秒。其II导联波形如图1所示。

[0186] 以二阶Daubechies小波作为基函数, 将II导联信号分解为六级小波, 将第1、2、3、4、5级的高频成分和第6级的低频成分全部置零后重构信号, 重构后的信号如图2所示。

[0187] 将II导联原始信号和重构后的信号画在同一个坐标系中, 如图3所示。对比两个信号可以发现, 重构后的信号弱化了P波和T波的影响, 凸显了QRS波群, 使得QRS波群的检测结果更加准确。

[0188] 由于最后一个QRS波群不完整,检波时将其略去。

[0189] 从R波位置前60ms起,向后搜索到第一个极大值点,将其作为QRS波群起点位置,如图4所示。

[0190] 以QRS波群起点为插值节点,用三次样条插值多项式拟合基线形态,基线的计算结果如图5所示。

[0191] 从原始信号中减去基线就得到了拉平基线后的信号,如图6所示。

[0192] 仿照以上做法,将I、II、III、aVR、aVL、aVF导联信号分别做拉平基线操作后的结果如图7所示。

[0193] 以上各步骤中所述的具体内容(包括公式、变换方法、技术路线等),均可通过计算机代码来实现,本领域技术人员应该能够理解,对于任何一个特定的方法和步骤采用不同的方式来实现所述功能,或者通过替换其中的一些参数以及推演出类似的公式方法和判定规则,只要是不脱离本专利构思的前提下,均应当视为属于本专利的保护范围。

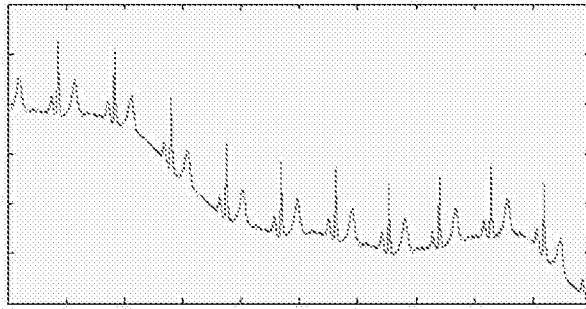


图1

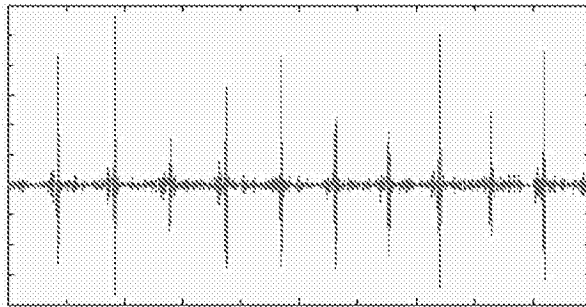


图2

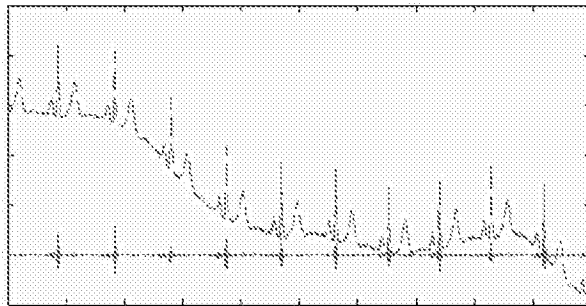


图3

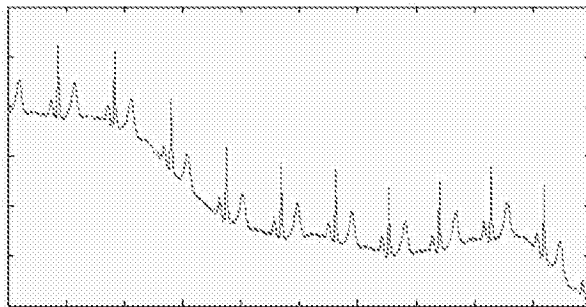


图4

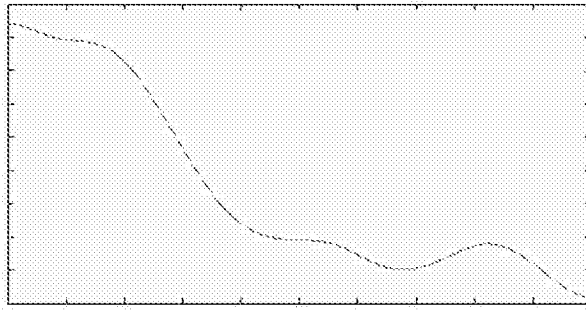


图5

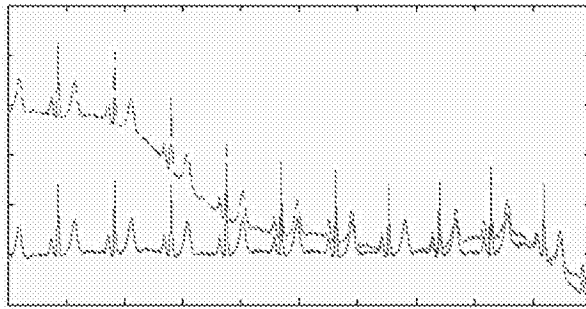


图6

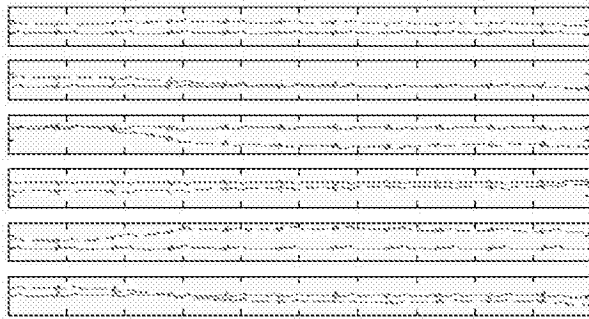


图7

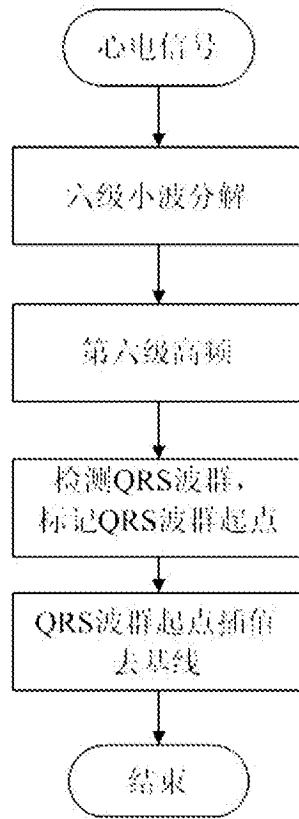


图8

专利名称(译)	一种基于小波分解与样条插值的心电信号基线拉平方法		
公开(公告)号	CN107951482A	公开(公告)日	2018-04-24
申请号	CN2017111111630.6	申请日	2017-11-13
[标]申请(专利权)人(译)	浙江好络维医疗技术有限公司		
申请(专利权)人(译)	浙江好络维医疗技术有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	浙江好络维医疗技术有限公司		
[标]发明人	朱玉奎 何晓彤 符灵建		
发明人	朱玉奎 何晓彤 符灵建		
IPC分类号	A61B5/0402 A61B5/0472 A61B5/00		
CPC分类号	A61B5/0402 A61B5/0472 A61B5/7225 A61B5/725		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

一种基于小波分解与样条插值的心电信号基线拉平方法，该方法首先利用小波分析方法确定QRS波群起点的位置，然后将QRS波群起点作为插值节点，用三次样条插值函数拟合基线形态，最后从原始信号中减去基线，从而去除心电信号中的漂移成分，拉平基线，所述的心电信号基线拉平方法包括下述步骤：1)选取二阶Daubechies小波作为基函数，将原始心电信号分解为六级小波，利用第六级高频成分重构信号检测QRS波群；2)确定QRS波群起点位置；3)用QRS波群起点位置作为插值节点，利用三次样条插值函数拟合基线形态；4)从原始心电信号中减去基线成分得到去除漂移成分后的信号。

