



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110623662 A

(43)申请公布日 2019.12.31

(21)申请号 201910814123.1

(22)申请日 2019.08.30

(71)申请人 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 张中 李靖 吴克军 宁宁 于奇

(74)专利代理机构 电子科技大学专利中心
51203

代理人 闫树平

(51) Int. Cl.

A61B 5/0472(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

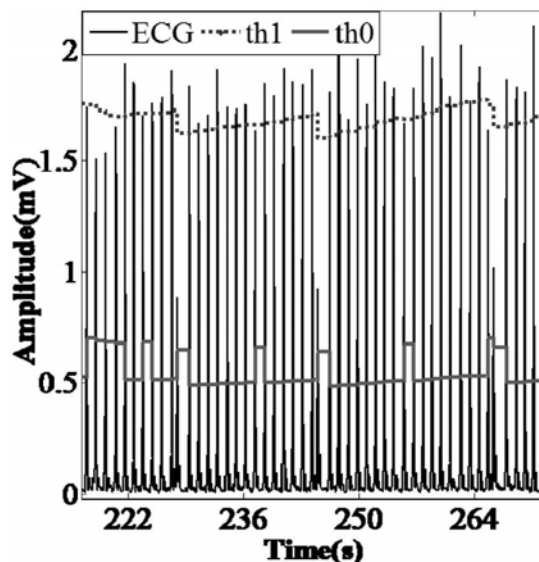
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

一种适用于心电信号检测的自适应阈值迭代算法

(57)摘要

本发明属于模拟集成电路技术领域,特别涉及一种用于心电信号特征参数提取的自适应阈值迭代算法。本发明根据候选点和自适应阈值中高低阈值的关系,开发出两套自适应的迭代高阈值和低阈值规则,能够有效地检测出心电信号中的QRS波的R点,具有速度快、需要的存储容量少和对非常规QRS中R点识别度高等特点。



1. 一种适用于心电信号检测的自适应阈值迭代算法,包括如下步骤:

步骤一、为自适应阈值迭代算法的双阈值设定初值,双阈值中高阈值为0.5~0.6,低阈值为0.2~0.3;

步骤二、对经过预处理级去除噪声后的心电信号,在20ms以内,将所有的信号点进行大小比较,选择信号幅度最大的点作为R波候选点;

步骤三、将所述步骤二中选出的R波候选点与步骤一中的高阈值进行比较:

对于第一个R候选点:如果候选点幅度高于低阈值,则该候选点确定为R点;如果候选点幅度低于低阈值,则在下一个20ms时间里,寻找下一个R候选点;

如果候选点高于高阈值,且满足这个候选点和上一个自适应阈值算法确定的R点的距离大于心电信号不应期时间,该候选点确定为R点;

如果候选点高于高阈值,且这个候选点和上一个自适应阈值算法确定的R点的距离小于心电信号不应期时间,则需要比较候选点和上一个自适应阈值算法确定的R点的幅值大小:如果候选点幅值较大,则候选点替换上一个自适应阈值算法确定的R点;如果候选点幅值较小,则淘汰候选点;

如果候选点低于高阈值,但是高于低阈值,且满足这个候选点和上一个自适应阈值算法确定的R点的距离大于心电信号不应期时间,该候选点确定为R点;

如果候选点低于高阈值,高于低阈值,且这个候选点和上一个自适应阈值算法确定的R点的距离小于心电信号不应期时间,则需要比较候选点和上一个自适应阈值算法确定的R点的幅值大小:如果候选点幅值较大,则候选点替换上一个自适应阈值算法确定的R点;如果候选点幅值较小,则淘汰候选点;

步骤四、每次候选点被自适应阈值算法确定为R点后,需要进行一次阈值迭代;

如果是由候选点高于高阈值确定的R点,则双阈值按照如下规则进行阈值迭代:

$$c_vth \leftarrow c_vth + 1 \quad (1)$$

$$vth1(c_vth) \leftarrow thr1(c_vth - 1) \quad (2)$$

$$p1 \leftarrow p1 + Q1 \quad (3)$$

$$k_vth1(c_vth) \leftarrow p1 / (p1 + R1) \quad (4)$$

$$thr1(c_vth) \leftarrow (vth1(c_vth) + k_vth1(c_vth)(m_l(i) - vth1(c_vth))) \quad (5)$$

$$p1 \leftarrow (1 - k_vth1(c_vth)) * p1 \quad (6)$$

$$thr0(c_vth) \leftarrow a * thr1(c_vth) \quad (7)$$

其中, c_vth 是统计由算法确认的R点的个数, $p1$ 为预测值和真实值之间的误差协方差, $Q1$ 为状态过程噪声的协方差, $R1$ 为测量噪声的协方差, k_vth1 为卡尔曼增益, $thr0$ 为低阈值, $thr1$ 为高阈值;公式(2)按照constant velocity (CV)模型对阈值进行状态更新,公式(4)计算卡尔曼增益,公式(5)对高阈值进行测量更新,公式(7)对低阈值按照a倍高阈值更新。

如果是由候选点高于低阈值且低于高阈值确定的R点,则双阈值按照如下规则进行阈值迭代:

$$c_vth \leftarrow c_vth + 1 \quad (8)$$

$$vth1(c_vth) \leftarrow thr1(c_vth-1) \quad (9)$$

$$p1 \leftarrow p1+Q1 \quad (10)$$

$$k_vth1(c_vth) \leftarrow p1 / (p1 + R2) \quad (11)$$

$$thr1(c_vth) \leftarrow (vth1(c_vth) + k_vth1(c_vth)(m_l(i) - vth1(c_vth))) \quad (12)$$

$$p1 \leftarrow (1 - k_vth1(c_vth)) * p1 \quad (13)$$

$$thr0(c_vth) \leftarrow b * thr1(c_vth) \quad (14)$$

其中R2为另一个测量噪声协方差,公式(14)对低阈值按照b倍高阈值更新;R2为一个小于R1的实数,这样设计的目的是增加自适应阈值的迭代速度,同时a、b为小于1的小数,且b>a。

一种适用于心电信号检测的自适应阈值迭代算法

技术领域

[0001] 本发明属于模拟集成电路技术领域,特别涉及一种用于心电信号特征参数提取的自适应阈值迭代算法。

背景技术

[0002] 对于心电信号(ECG)而言,大部分的有用信息集中PQRST波群中,而心电信号本身长期处于无用的基线部分,在信号传输和处理过程中,我们更倾向于先做一些预处理,提取出心电信号的部分特征,去除大量的原始冗余信息,减少传输和存储成本。

[0003] 心电信号的特征参数提取如附图1所示,往往包括两个部分,一个是预处理级,一个是决策级。预处理的目的是将QRS波尽可能好的提取出来,去除噪声干扰;决策级则根据设定的迭代规则,进行QRS波的认定。目前传统决策级算法普遍采用双阈值型峰值检测,但其存在迭代速度慢,缺乏理论依据,对初值敏感,QRS波特征参数提取效果参差不齐等问题。

发明内容

[0004] 针对上述传统决策级算法存在的迭代速度慢,缺乏理论依据等问题,本发明提出一种适用于心电信号检测的自适应阈值迭代算法,可以高效提取心电信号特征参数,同时对初值不敏感,迭代速度快。本发明只针对决策级,预处理级采用传统方式。

[0005] 本发明的技术方案为:

[0006] 一种适用于心电信号检测的自适应阈值迭代算法,包括如下步骤:

[0007] 步骤一、为自适应阈值迭代算法的双阈值设定初值,双阈值中高阈值为0.5~0.6,低阈值为0.2~0.3。

[0008] 步骤二、对经过预处理级去除噪声后的心电信号,在20ms以内,将所有的信号点进行大小比较,选择信号幅度最大的点作为R波候选点。

[0009] 步骤三、将所述步骤二中选出的R波候选点与步骤一中的高阈值进行比较:

[0010] 对于第一个R候选点:如果候选点幅度高于低阈值,则该候选点确定为R点;如果候选点幅度低于低阈值,则在下一个20ms时间里,寻找下一个R候选点。

[0011] 如果候选点高于高阈值,且满足这个候选点和上一个自适应阈值算法确定的R点的距离大于心电信号不应期时间,该候选点确定为R点;

[0012] 如果候选点高于高阈值,且这个候选点和上一个自适应阈值算法确定的R点的距离小于心电信号不应期时间,则需要比较候选点和上一个自适应阈值算法确定的R点的幅值大小:如果候选点幅值较大,则候选点替换上一个自适应阈值算法确定的R点;如果候选点幅值较小,则淘汰候选点;

[0013] 如果候选点低于高阈值,但是高于低阈值,且满足这个候选点和上一个自适应阈值算法确定的R点的距离大于心电信号不应期时间,该候选点确定为R点;

[0014] 如果候选点低于高阈值,高于低阈值,且这个候选点和上一个自适应阈值算法确

定的R点的距离小于心电信号不应期时间,则需要比较候选点和上一个自适应阈值算法确定的R点的幅值大小:如果候选点幅值较大,则候选点替换上一个自适应阈值算法确定的R点;如果候选点幅值较小,则淘汰候选点;

[0015] 步骤四、每次候选点被自适应阈值算法确定为R点后,需要进行一次阈值迭代。

[0016] 如果是由候选点高于高阈值确定的R点,则双阈值按照如下规则进行阈值迭代:

$$[0017] \quad c_vth \leftarrow c_vth + 1 \quad (1)$$

$$[0018] \quad vth1(c_vth) \leftarrow thr1(c_vth - 1) \quad (2)$$

$$[0019] \quad p1 \leftarrow p1 + Q1 \quad (3)$$

$$[0020] \quad k_vth1(c_vth) \leftarrow p1 / (p1 + R1) \quad (4)$$

$$[0021] \quad thr1(c_vth) \leftarrow (vth1(c_vth) + k_vth1(c_vth)(m_l(i) - vth1(c_vth))) \quad (5)$$

$$[0022] \quad p1 \leftarrow (1 - k_vth1(c_vth)) * p1 \quad (6)$$

$$[0023] \quad thr0(c_vth) \leftarrow a * thr1(c_vth) \quad (7)$$

[0024] 其中, c_vth 是统计由算法确认的R点的个数, $p1$ 为预测值和真实值之间的误差协方差, $Q1$ 为状态过程噪声的协方差, $R1$ 为测量噪声的协方差, k_vth1 为卡尔曼增益, $thr0$ 为低阈值, $thr1$ 为高阈值。公式(2)按照constant velocity (CV)模型对阈值进行状态更新,公式(4)计算卡尔曼增益,公式(5)对高阈值进行测量更新,公式(7)对低阈值按照a倍高阈值更新。

[0025] 如果是由候选点高于低阈值且低于高阈值确定的R点,则双阈值按照如下规则进行阈值迭代:

$$[0026] \quad c_vth \leftarrow c_vth + 1 \quad (8)$$

$$[0027] \quad vth1(c_vth) \leftarrow thr1(c_vth - 1) \quad (9)$$

$$[0028] \quad p1 \leftarrow p1 + Q1 \quad (10)$$

$$[0029] \quad k_vth1(c_vth) \leftarrow p1 / (p1 + R2) \quad (11)$$

$$[0030] \quad thr1(c_vth) \leftarrow (vth1(c_vth) + k_vth1(c_vth)(m_l(i) - vth1(c_vth))) \quad (12)$$

$$[0031] \quad p1 \leftarrow (1 - k_vth1(c_vth)) * p1 \quad (13)$$

$$[0032] \quad thr0(c_vth) \leftarrow b * thr1(c_vth) \quad (14)$$

[0033] 其中 $R2$ 为另一个测量噪声协方差,公式(14)对低阈值按照b倍高阈值更新。 $R2$ 为一个小于 $R1$ 的实数,这样设计的目的是增加自适应阈值的迭代速度,同时a、b为小于1的小数,且 $b > a$ 。

[0034] 本发明根据候选点和自适应阈值中高低阈值的关系,开发出两套自适应的迭代高阈值和低阈值规则,能够有效地检测出心电信号中的QRS波的R点,具有速度快、需要的存储容量少和对非常规QRS中R点识别度高等特点。

附图说明

[0035] 图1为ECG信号特征参数提取框架示意图;

- [0036] 图2为两种情况下高低阈值迭代示意图；
[0037] 图3实际ECG信号中高低阈值迭代示意图；
[0038] 图4为不同具体情况下阈值迭代示意图；
[0039] 图5为不同阈值初始值下卡尔曼增益迭代情况示意图。

具体实施方式

[0040] 结合附图,通过实施例进一步说明本发明。

[0041] 如图2所示为本发明一实施例中采用的一种适用于心电信号检测的自适应阈值迭代算法,在进行阈值迭代之前,需要对心电信号进行预处理,预处理级包括滤波去燥等,加强心电信号的信噪比,有利于后续峰值检测和阈值迭代。

[0042] 信号经过预处理级之后,将高低阈值的初始值分别设定为0.6和0.4,设定心电信号不应期时间为0.24秒。同时设定在20ms范围内,找到该时间段内心电信号幅值的最大的采样点,作为QRS波中R点的候选点。

[0043] 将候选点与设定的高阈值初始值进行比较:

[0044] 如果候选点高于高阈值,且满足这个候选点和上一个自适应阈值算法确定的R点的距离大于0.24秒,该候选点确定为R点;如果候选点高于高阈值,且这个候选点和上一个自适应阈值算法确定的R点的距离小于0.24秒,则需要比较候选点和上一个自适应阈值算法确定的R点的幅值大小,如果候选点幅值较大,则候选点替换上一个自适应阈值算法确定的R点。如果候选点幅值较小,则淘汰候选点;如果候选点低于高阈值,但是高于低阈值,且满足这个候选点和上一个自适应阈值算法确定的R点的距离大于0.24秒,该候选点确定为R点;如果候选点高于低阈值,且这个候选点和上一个自适应阈值算法确定的R点的距离小于0.24秒,则需要比较候选点和上一个自适应阈值算法确定的R点的幅值大小,如果候选点幅值较大,则候选点替换上一个自适应阈值算法确定的R点。如果候选点幅值较小,则淘汰候选点;

[0045] 对应于候选点高于高阈值的情况,阈值的更新按照附图2中(1)所示的规则进行迭代。其中高阈值按照VC模型进行状态更新,即如公式(2)所示。误差协方差按照公式(3)进行更新,其中状态过程噪声的协方差 Q_1 归一化为1,测量噪声的协方差 R_1 设定为300,这样卡尔曼增益将稳定于0.056。高阈值的测量更新过程如公式(5)所示,其中 $m_1(i)$ 为此次阈值更新的候选点。最后误差协方差值由公式(6)所示,低阈值更新为高阈值的0.3倍。

[0046] 对应于候选点低于高阈值且高于低阈值的情况(非正常情况),阈值的更新按照附图2中(2)所示的规则进行迭代。其中高阈值按照VC模型进行状态更新,即如公式(9)所示。误差协方差按照公式(10)进行更新,其中状态过程噪声的协方差 Q_1 归一化为1,测量噪声的协方差 R_2 设定为100,这样卡尔曼增益将稳定于0.095。这样设定可以加快高低阈值的迭代速度,避免了在心电信号非正常情况下对阈值迭代的影响。高阈值的测量更新过程如公式(12)所示,其中 $m_1(i)$ 为此次阈值更新的候选点。最后误差协方差值由公式(13)所示,低阈值更新为高阈值的0.4倍,这样低阈值不至于处于太低的水平导致迭代错误,影响QRS波中R点的确定。

[0047] 基于本实施例提出的适用于心电信号检测的自适应阈值迭代算法应用本发明的方法,在matlab仿真软件上进行了行为级验证,证明了本发明可以有效的根据心电信号幅

值的变化自适应的调整高低阈值。如附图3所示,为实施例实际ECG信号中高低阈值迭代示意图,本实施例中从MIT心律失常库中202号心电信号ECG导入到matlab仿真软件中,调试好预处理级模块,将该ECG信号给入自适应阈值迭代算法模块中。可以看出本发明可以有效的、自适应的调整高低阈值,为后续峰值检测提供了保障。

[0048] 附图4为不同心电信号具体情况下阈值迭代示意图。附图4(1)为相邻的QRS波中R点缓慢增加且幅值低于高阈值的情况,此时高低阈值都缓慢增加;附图4(2)为相邻的QRS波R点比前一个R点幅值小很多的情况,此时高阈值出现陡降,而低阈值有一定的抬升,这样可以避免错检的情况出现。附图4(3)为相邻的QRS波R点比前一个R点幅值只小一些的情况,此时高阈值缓慢下降,而低阈值有一定的抬升。附图4(4)为相邻的QRS波R点比前一个R点幅值大很多的情况,此时高阈值缓慢上升,而低阈值出现陡降。

[0049] 附图5为不同高阈值初始值下卡尔曼增益迭代情况示意图。本发明对高阈值初始值并不敏感,这样对初始值的设定放宽了要求,增加了算法的实用性。在其他条件不变的情况下,附图5(1)-(4)分别对应初值为0.6/0.9/1.2/1.5的卡尔曼增益迭代情况。matlab仿真发现,经过147次迭代之后,这四种情况下的卡尔曼增益变化情况完全一致。

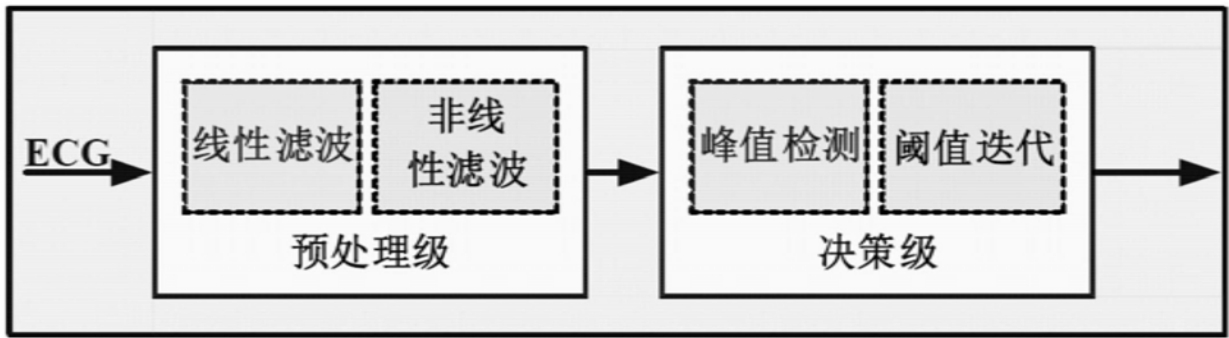


图1

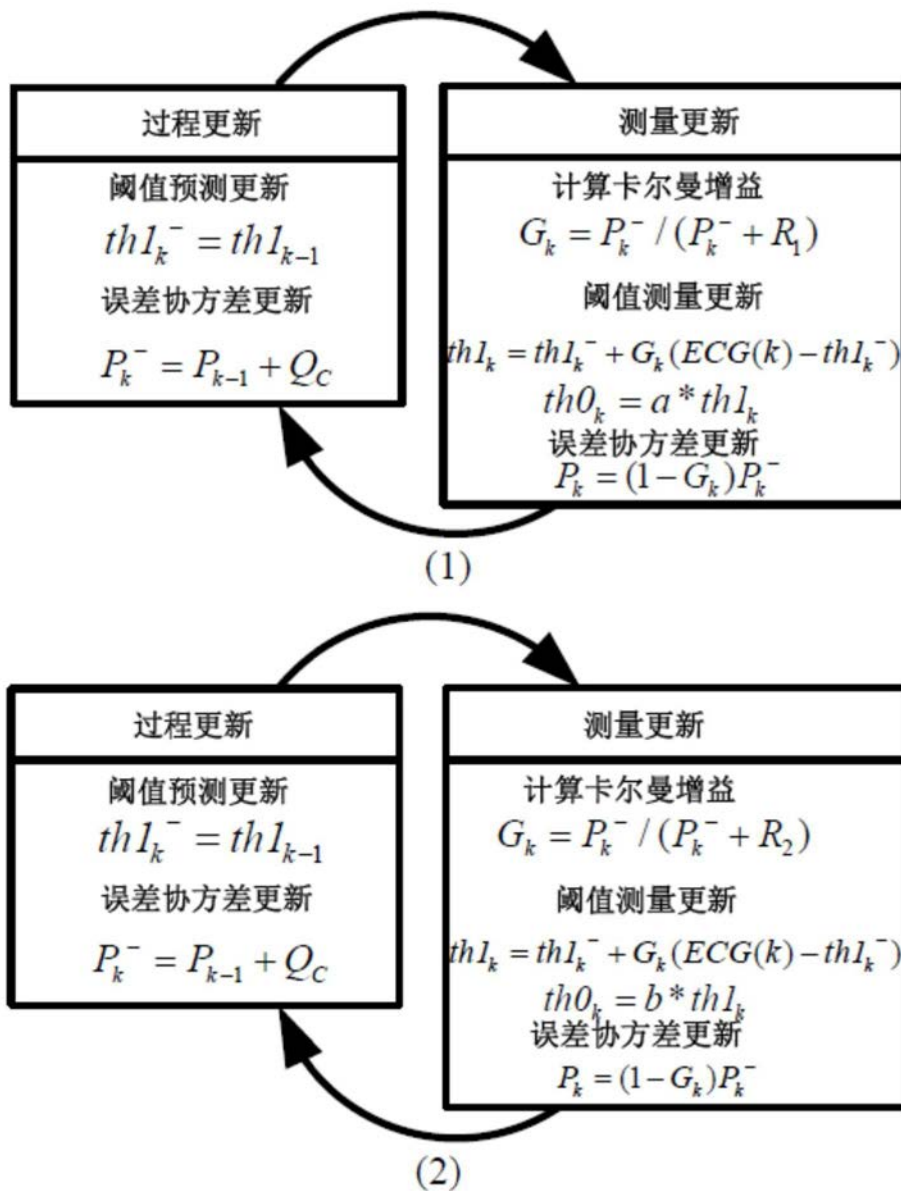


图2

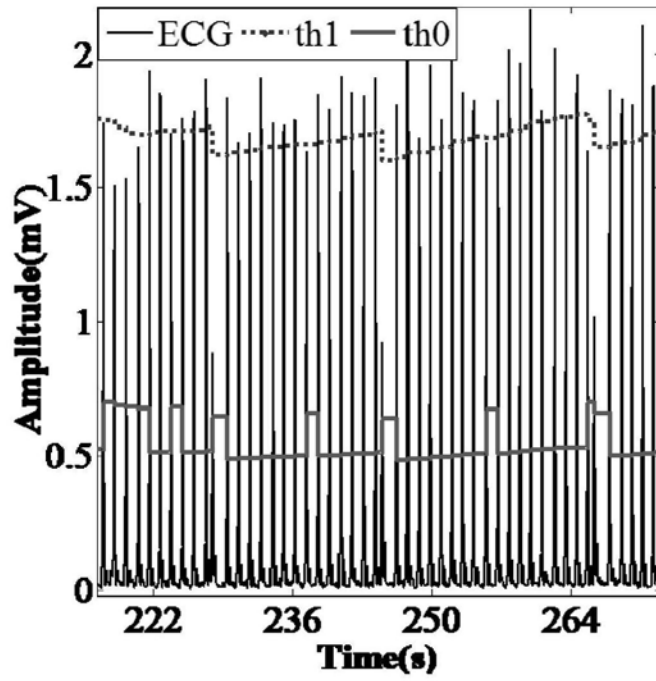


图3

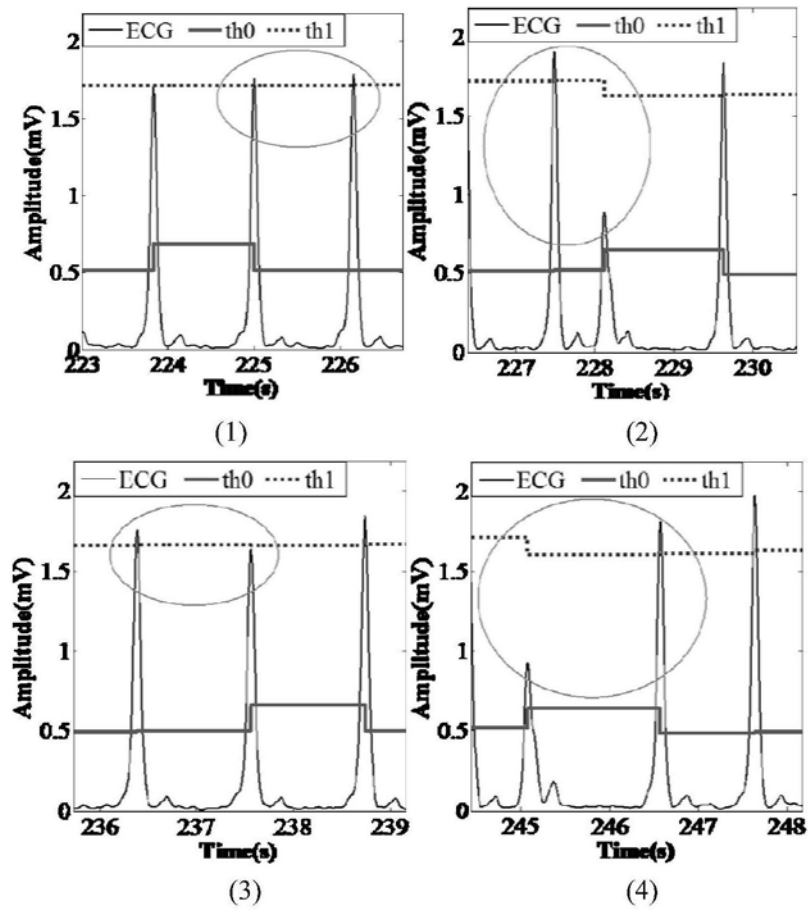


图4

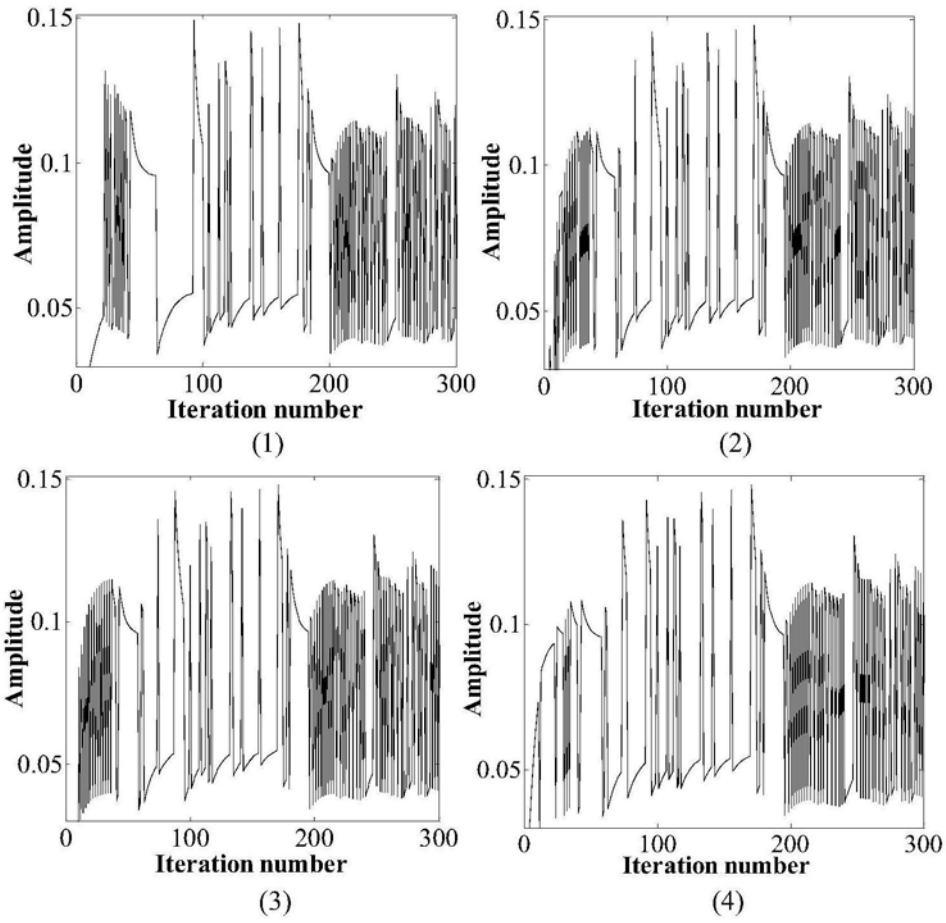


图5

专利名称(译)	一种适用于心电信号检测的自适应阈值迭代算法		
公开(公告)号	CN110623662A	公开(公告)日	2019-12-31
申请号	CN201910814123.1	申请日	2019-08-30
[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	张中 李靖 吴克军 宁宁 于奇		
发明人	张中 李靖 吴克军 宁宁 于奇		
IPC分类号	A61B5/0472 A61B5/00		
CPC分类号	A61B5/0472 A61B5/72 A61B5/7203		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明属于模拟集成电路技术领域，特别涉及一种用于心电信号特征参数提取的自适应阈值迭代算法。本发明根据候选点和自适应阈值中高低阈值的关系，开发出两套自适应的迭代高阈值和低阈值规则，能够有效地检测出心电信号中的QRS波的R点，具有速度快、需要的存储容量少和对非常规QRS中R点识别度高等特点。

