



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104159108 A

(43) 申请公布日 2014. 11. 19

(21) 申请号 201410391796. 8

(22) 申请日 2014. 08. 11

(71) 申请人 浙江大学

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路  
38 号

(72) 发明人 潘赞 李珂 陈方剑 王吉轩

朱永光 茹晨光 朱怀宇

(74) 专利代理机构 浙江杭州金通专利事务所有  
限公司 33100

代理人 黄芳

(51) Int. Cl.

H04N 19/13(2014. 01)

H04N 19/103(2014. 01)

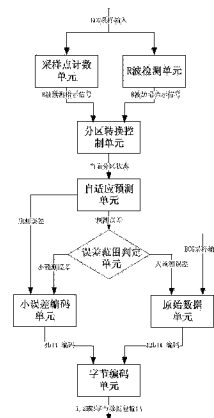
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

基于自适应预测和改进变长编码的心电信号  
实时无损压缩方法及装置

(57) 摘要

一种基于自适应预测和改进变长编码的心电信号实时无损压缩方法,所述方法包括以下步骤: 1) 自适应分区预测,将实时的心电波形根据其波动强度划分为不同分区,所述分区包括:a) 初始区,b)R波区,c)平坦区,d)波动区;自适应地选择对于当前分区最优的线性预测方法;2)改进变长编码,采用4比特编码出现概率最高的 $2^4=16$ 种预测误差,其余预测误差采用12比特输出原始数据,并将编码后的数据两两打包,得到每个数据包长度固定为一、二或三个字节。以及提供一种基于自适应预测和改进变长编码的心电信号实时无损压缩装置。本发明兼有实时性、无损性和低功耗。



1. 一种基于自适应预测和改进变长编码的心电信号实时无损压缩方法,其特征在于:所述方法包括以下步骤:

1) 自适应分区预测,将实时的心电波形根据其波动强度划分为不同分区,所述分区包括:a) 初始区,用于表示系统启动后的初始化状态;b) R波区,用于表示R波或QRS波群所在的区域;c) 平坦区,用于表示相邻R波间波形较为平坦的区域;d) 波动区,用于表示平坦区到R波区的过度区域,即R波到来前的短暂区域;

自适应地选择对于当前分区最优的线性预测方法,过程如下:

1. 1) R波检测方法,对斜率设定阈值来检测R波的上升沿和下降沿,当连续出现多点斜率大于阈值时,则判定识别到R波边沿;

1. 2) 分区转换控制方法,根据1. 1) 的检测结果来控制分区间的相互转换,过程为:

1. 2. 1) 当检测到R波上升沿,进入R波区;

1. 2. 2) 在检测到R波上升沿后的长度为经验值的窗口内,若检测到R波下降沿,则判定该R波为真,维持R波区直到R波窗口结束,进入平坦区;

1. 2. 3) 若在上述窗口内未检测到R波下降沿,则判定该R波为假,回到初始区;

1. 2. 4) 通过存储心跳周期长度来预测下一个R波的到来时间,当预测R波即将出现时,进入波动区;

1. 3) 自适应预测方法,根据1. 2) 的当前分区自适应地采用最优化的线性预测方法,采用的线性预测方法包括0阶、1阶和2阶预测;对于波动强度较大的R波区和波动区,采用2阶线性预测方法;对于波形较为平稳的平坦区,采用0阶线性预测方法;对于初始区,采用1阶预测方法;

2) 改进变长编码,采用4比特编码出现概率最高的 $2^4 = 16$ 种预测误差,其余预测误差采用12比特输出原始数据,并将编码后的数据两两打包,得到每个数据包长度固定为一、二或三个字节。

2. 如权利要求1所述的一种基于自适应预测和改进变长编码的心电信号实时无损压缩方法,其特征在于:所述步骤2) 中,改进变长编码过程如下:

2. 1) 通过4比特来表示最常出现的16种预测误差;

2. 2) 当预测误差超出4比特可表示范围时,通过12比特直接输出原始数据;

2. 3) 将相邻两个数据结合成一组进行发射。

3. 一种基于自适应预测和改进变长编码的心电信号实时无损压缩装置,其特征在于:所述装置包括:自适应分区预测模块,用于输入心电数据,对其进行自适应分区预测,输出预测误差到改进变长编码装置;改进变长编码模块,用于输入预测误差,对其进行改进变长编码,输出字节编码;

其中,所述自适应分区预测模块包括:

R波检测单元,用于对当前时刻的采样输入 $d(i)$ ,计算斜率值 $s(i) = d(i) - d(i-1)$ , $d(i-1)$ 表示上一时刻的采样值,当出现连续 $N_{th}$ 点斜率大于阈值,认为检测到R波边沿,输出R波指示信号有效;

采样点计数单元,用于通过对采样点计数,存储上次心跳周期的采样点数量,将其作为下一个心跳周期长度的预测值,预测R波的出现时间,当预测到R波出现时,输出R波预测指示信号有效;

分区转换控制单元,用于输入 R 波指示信号,控制分区间的转换,输出当前分区状态;过程如下:当检测到 R 波上升沿,进入 R 波区;在检测到 R 波上升沿后的长度为经验值的窗口内,若检测到 R 波下降沿,则判定该 R 波为真,维持 R 波区直到 R 波窗口结束,进入平坦区;若在上述窗口内未检测到 R 波下降沿,则判定该 R 波为假,回到初始区;通过存储心跳周期长度来预测下一个 R 波的到来时间,当预测 R 波即将出现时,进入波动区;

自适应预测单元,用于输入当前分区状态,采用的线性预测方法包括 0 阶、1 阶和 2 阶预测:对于波动强度较大的 R 波区和波动区,采用 2 阶线性预测方法;对于波形较为平稳的平坦区,采用 0 阶线性预测方法;对于初始区,采用 1 阶预测方法;得到预测值  $dp(i)$ ,输出预测误差  $pd(i) = dp(i) - d(i)$ 。

4. 如权利要求 3 所述的基于自适应预测和改进变长编码的心电信号实时无损压缩装置,其特征在于:所述改进变长编码模块包括:

误差范围判定单元,用于判断预测误差  $pd(i)$  是否在概率最高的 16 种预测误差范围内,若满足该条件,则选择小误差编码单元有效,否则,选择原始数据单元有效;

小误差编码单元,用于当该单元有效时,采用 4 比特编码预测误差,将编码输出至字节编码单元;

原始数据单元,用于当该单元有效时,将 12 比特表示的原始采样数据输出至字节编码单元;

字节编码单元,用于将编码后的数据两两打包,得到每个数据包长度固定为一、二或三个字节。

## 基于自适应预测和改进变长编码的心电信号实时无损压缩 方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种信号处理领域,更具体的,涉及人体心电信号的数据压缩方法及装置。

### 背景技术

[0002] 近年来,心电图(ECG)逐渐成为了诊断心脏疾病的最常用手段之一。有研究指出,包括心搏骤停在内的多种心脏疾病均有较大可能性在病发前表现出特定的征兆,且持续时间超过15分钟。其中一些征兆可以从ECG的波形特征上检测到,因此,需要长时间的连续ECG监测,来对突发心脏疾病做出有效预警。然而,传统的Holter监测机因体积较大等缺点从而给携带者的生活带来诸多不便。目前,通过可穿戴式心电监测设备与智能手机协同工作的方式有较大潜力取代传统Holter机成为医院外的主要心电监测手段。

[0003] 可穿戴式心电监测设备实时采集人体ECG信号,并以蓝牙等无线的方式传送到智能手机端进行显示和处理。可穿戴设备要求具有较小的体积,从而达到携带方便的目的,这限制了可穿戴设备的电池容量。因此,可穿戴设备要求具备较低的功耗从而可采用较小容量的电池来达到较长时间的连续监测。

[0004] 通信功耗往往在穿戴设备的总功耗中占据较大的比例,因此通过降低通信功耗可有效降低设备整体功耗。通过数据压缩可以大幅度减少要发送的数据量,从而带来减小存储空间、降低通信带宽和降低通信功耗等优点,有研究显示,通信功耗降低的倍数与压缩比成正比。同时,ECG信号包含了丰富的医学意义,医生通过测量ECG波形中细微的形状和周期的变化来判断心脏是否出现异常,因此,对于ECG信号应采用无损压缩方法来保留波形中的所有信息。

[0005] ECG信号数据压缩方法还需要具备强实时性的特点,该特点保证了疾病识别方法能够第一时间检测到异常的发生,从而尽早提醒使用者到医院进行治疗。

[0006] 然而,目前ECG信号的压缩技术在可穿戴设备中的应用还较少,已有的技术往往不能同时具备上述全部优点。较高的通信功耗依然是可穿戴式ECG监测设备普及的瓶颈。

### 发明内容

[0007] 为了克服已有ECG信号数据压缩技术的无法兼具实时性、无损性和低功耗的不足,本发明提供了一种兼有实时性、无损性和低功耗的基于自适应预测和改进变长编码的心电信号实时无损压缩方法及装置。

[0008] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:

[0009] 一种基于自适应预测和改进变长编码的心电信号实时无损压缩方法,所述方法包括以下步骤:

[0010] 1) 自适应分区预测,将实时的心电波形根据其波动强度划分为不同分区,所述分区包括:a) 初始区,用于表示系统启动后的初始化状态;b) R波区,用于表示R波或QRS波群

所在的区域 ;c) 平坦区,用于表示相邻 R 波间波形较为平坦的区域 ;d) 波动区,用于表示平坦区到 R 波区的过度区域,即 R 波到来前的短暂区域 ;

[0011] 自适应地选择对于当前分区最优的线性预测方法,过程如下 :

[0012] 1. 1) R 波检测方法,对斜率设定阈值来检测 R 波的上升沿和下降沿,当连续出现多点斜率大于阈值时,则判定识别到 R 波边沿 ;

[0013] 1. 2) 分区转换控制方法,根据 1. 1) 的检测结果来控制分区间的相互转换,过程为 :

[0014] 1. 2. 1) 当检测到 R 波上升沿,进入 R 波区 ;

[0015] 1. 2. 2) 在检测到 R 波上升沿后的长度为经验值的窗口内,若检测到 R 波下降沿,则判定该 R 波为真,维持 R 波区直到 R 波窗口结束,进入平坦区 ;

[0016] 1. 2. 3) 若在上述窗口内未检测到 R 波下降沿,则判定该 R 波为假,回到初始区 ;

[0017] 1. 2. 4) 通过存储心跳周期长度来预测下一个 R 波的到来时间,当预测 R 波即将出现时,进入波动区 ;

[0018] 1. 3) 自适应预测方法,根据 1. 2) 的当前分区自适应地采用最优化的线性预测方法,采用的线性预测方法包括 0 阶、1 阶和 2 阶预测 :对于波动强度较大的 R 波区和波动区,采用 2 阶线性预测方法 ;对于波形较为平稳的平坦区,采用 0 阶线性预测方法 ;对于初始区,采用 1 阶预测方法 ;

[0019] 2) 改进变长编码,采用 4 比特编码出现概率最高的  $2^4 = 16$  种预测误差,其余预测误差采用 12 比特输出原始数据,并将编码后的数据两两打包,得到每个数据包长度固定为一、二或三个字节。

[0020] 进一步,所述步骤 2) 中,改进变长编码过程如下 :

[0021] 2. 1) 通过 4 比特来表示最常出现的 16 种预测误差 ;

[0022] 2. 2) 当预测误差超出 4 比特可表示范围时,通过 12 比特直接输出原始数据 ;

[0023] 2. 3) 将相邻两个数据结合成一组进行发射。

[0024] 一种基于自适应预测和改进变长编码的心电信号实时无损压缩装置,所述装置包括 :自适应分区预测模块,用于输入心电数据,对其进行自适应分区预测,输出预测误差到改进变长编码装置 ;改进变长编码模块,用于输入预测误差,对其进行改进变长编码,输出字节编码 ;

[0025] 其中,所述自适应分区预测模块包括 :

[0026] R 波检测单元,用于对当前时刻的采样输入  $d(i)$ ,计算斜率值  $s(i) = d(i) - d(i-1)$ , $d(i-1)$  表示上一时刻的采样值,当出现连续  $N_{th}$  点斜率大于阈值,认为检测到 R 波边沿,输出 R 波指示信号有效 ;

[0027] 采样点计数单元,用于通过对采样点计数,存储上次心跳周期的采样点数量,将其作为下个心跳周期长度的预测值,预测 R 波的出现时间,当预测到 R 波出现时,输出 R 波预测指示信号有效 ;

[0028] 分区转换控制单元,用于输入 R 波指示信号,控制分区间的转换,输出当前分区状态 ;过程如下 :当检测到 R 波上升沿,进入 R 波区 ;在检测到 R 波上升沿后的长度为经验值的窗口内,若检测到 R 波下降沿,则判定该 R 波为真,维持 R 波区直到 R 波窗口结束,进入平坦区 ;若在上述窗口内未检测到 R 波下降沿,则判定该 R 波为假,回到初始区 ;通过存储心

跳周期长度来预测下一个 R 波的到来时间,当预测 R 波即将出现时,进入波动区;

[0029] 自适应预测单元,用于输入当前分区状态,采用的线性预测方法包括 0 阶、1 阶和 2 阶预测;对于波动强度较大的 R 波区和波动区,采用 2 阶线性预测方法;对于波形较为平稳的平坦区,采用 0 阶线性预测方法;对于初始区,采用 1 阶预测方法;得到预测值  $dp(i)$ ,输出预测误差  $pd(i) = dp(i) - d(i)$ 。

[0030] 进一步,所述改进变长编码模块包括:

[0031] 误差范围判定单元,用于判断预测误差  $pd(i)$  是否在概率最高的 16 种预测误差范围内,,若满足该条件,则选择小误差编码单元有效,否则,选择原始数据单元有效;

[0032] 小误差编码单元,用于当该单元有效时,采用 4 比特编码预测误差,将编码输出至字节编码单元;

[0033] 原始数据单元,用于当该单元有效时,将 12 比特表示的原始采样数据输出至字节编码单元;

[0034] 字节编码单元,用于将编码后的数据两两打包,得到每个数据包长度固定为一、二或三个字节。

[0035] 本发明的技术构思为:该方法首先通过提出的新型自适应预测方法来对连续实时的心电信号进行预测,有效地降低了平均预测误差,从而达到降低平均编码长度的效果;最后通过提出的改进变长度编码对得到的预测误差进行编码,得到的编码更适合无线传输的格式,并简化了后续软件处理的复杂度。

[0036] 首先,对连续采集的心电信号进行自适应分区预测。根据输入心电信号的当前波动特性来将其实时地划分为初始区、R 波区、平坦区和波动区。其中,初始区表示系统启动后的初始状态;R 波区表示 R 波所在的区域,具体可定义为从检测到 R 波上升沿起至 R 波窗口结束的区域;平坦区表示相邻 R 波间波形较为平坦的区域;波动区表示平坦区到 R 波区的过度区域。

[0037] 方法的核心思想是针对不同分区的不同波动特性来自适应的采用最适合其特性的线性预测方法。这样可以有效减小各波段的平均预测误差,从而降低平均编码长度,达到压缩的目的。

[0038] 本发明的有益效果主要表现在:兼有实时性、无损性和低功耗。

## 附图说明

[0039] 图 1 是本发明提出压缩装置的整体结构图。

[0040] 图 2 是将心电波形划分成不同分区的示意图。

## 具体实施方式

[0041] 下面结合附图对本发明作进一步描述。

[0042] 实施例 1

[0043] 一种基于自适应预测和改进变长编码的心电信号实时无损压缩方法,所述方法包括以下步骤:

[0044] 1) 自适应分区预测,将实时的心电波形根据其波动强度划分为不同分区,所述分区包括:a) 初始区,用于表示系统启动后的初始化状态;b) R 波区,用于表示 R 波或 QRS 波群

所在的区域 ;c) 平坦区,用于表示相邻 R 波间波形较为平坦的区域 ;d) 波动区,用于表示平坦区到 R 波区的过度区域,即 R 波到来前的短暂区域 ;

[0045] 自适应地选择对于当前分区最优的线性预测方法,过程如下 :

[0046] 1. 1) R 波检测方法,对斜率设定阈值来检测 R 波的上升沿和下降沿,当连续出现多点斜率大于阈值时,则判定识别到 R 波边沿 ;

[0047] 1. 2) 分区转换控制方法,根据 1. 1) 的检测结果来控制分区间的相互转换,过程为 :

[0048] 1. 2. 1) 当检测到 R 波上升沿,进入 R 波区 ;

[0049] 1. 2. 2) 在检测到 R 波上升沿后的长度为经验值的窗口内,若检测到 R 波下降沿,则判定该 R 波为真,维持 R 波区直到 R 波窗口结束,进入平坦区 ;

[0050] 1. 2. 3) 若在上述窗口内未检测到 R 波下降沿,则判定该 R 波为假,回到初始区 ;

[0051] 1. 2. 4) 通过存储心跳周期长度来预测下一个 R 波的到来时间,当预测 R 波即将出现时,进入波动区 ;

[0052] 1. 3) 自适应预测方法,根据 1. 2) 的当前分区自适应地采用最优化的线性预测方法,采用的线性预测方法包括 0 阶、1 阶和 2 阶预测 ;对于波动强度较大的 R 波区和波动区,采用 2 阶线性预测方法 ;对于波形较为平稳的平坦区,采用 0 阶线性预测方法 ;对于初始区,采用 1 阶预测方法 ;

[0053] 2) 改进变长编码,采用 4 比特编码出现概率最高的  $2^4 = 16$  种预测误差,其余预测误差采用 12 比特输出原始数据,并将编码后的数据两两打包,得到每个数据包长度固定为一、二或三个字节。

[0054] 进一步,所述步骤 2) 中,改进变长编码过程如下 :

[0055] 2. 1) 通过 4 比特来表示最常出现的 16 种预测误差 ;

[0056] 2. 2) 当预测误差超出 4 比特可表示范围时,通过 12 比特直接输出原始数据 ;

[0057] 2. 3) 将相邻两个数据结合成一组进行发射。

[0058] 本实施例的分区方法的基础在于 R 波的检测。研究显示, R 波的频谱覆盖了心电信号中频率最高的部分,因此, R 波的上升沿和下降沿具有整个波形中的最大正负斜率值。据此,本发明采用基于阈值的 R 波检测技术。R 波检测方法如下 :

[0059] a) 当检测到连续  $N_{th}$  点的斜率值超过阈值时,则判定为检测到 R 波的上升沿 ;

[0060] b) R 波的下降沿的检测方法与上升沿一致 ;

[0061] c) 由于 R 波长度有限,其下降沿会在上升沿出现后的长度为经验值  $W_1$  的窗口内出现。若在该窗口内检测到 R 波下降沿,则判定该 R 波为真 ;否则,判定该 R 波为假。

[0062] 各分区间的转换方式如下 :

[0063] a) 系统启动后首先进入初始区 ;

[0064] b) 检测到 R 波上升沿后进入 R 波区 ;

[0065] c) 若 R 波为真,则 R 波在经验窗口  $W_2$  后结束并进入平坦区 ;

[0066] d) 若 R 波为假,则回到初始区 ;

[0067] e) 通过记录心跳周期长度来预测下一个 R 波的出现时间,当判定 R 波将要出现时,则进入波动区。

[0068] 其中,波动区可以有效减小平坦区到 R 波区过度区域的预测误差。

[0069] 随后,通过公开的改进变长编码对预测器输出的预测误差进行编码,编码方法如下:

[0070] 2.1) 通过 4 比特来表示最常出现的 16 种预测误差;

[0071] 2.2) 当预测误差超出 4 比特可表示范围时,通过 12 比特直接输出原始数据;

[0072] 2.3) 将相邻两个数据结合成一组进行发射,这样做的优点是发射单元总是整数字节,这将大大简化后续的数据处理和发送格式统一。

[0073] 实施例 2

[0074] 参照图 1 和图 2,一种基于自适应预测和改进变长编码的心电信号实时无损压缩装置,所述装置包括:自适应分区预测模块,用于输入心电数据,对其进行自适应分区预测,输出预测误差到改进变长编码装置;改进变长编码模块,用于输入预测误差,对其进行改进变长编码,输出字节编码;

[0075] 其中,所述自适应分区预测模块包括:R 波检测单元、分区转换控制单元、自适应预测单元;

[0076] R 波检测单元是系统实现的基础,它的主要功能是检测 R 波的上升沿和下降沿。对于每个采样点输入,R 波检测单元会计算该点的斜率值,即当前采样点与上一采样点的差值,然后对斜率值进行存储。同时,将存储的斜率值与阈值进行对比,当检测到有连续  $N_{th}$  个斜率值大于阈值时,则判定检测到 R 波边沿。当阈值选取合理时,  $N_{th}$  的取值可以小到 2 ~ 4 个采样点。当检测到 R 波边沿时,R 波检测单元会发送信号通知采样点计数单元和分区转换控制单元。

[0077] 采样点计数单元主要用于 R 波的预测,从而通知分区转换单元是否有即将到来的 R 波。考虑到 R 波上升沿可能为假 R 波的上升沿,因此选择 R 波下降沿作为心跳周期的开始节点。当 R 波检测单元检测到 R 波下降沿时,将采样点计数单元清零。

[0078] 自适应分区预测单元用于控制分区的转换,并将当前所处分区状态通知自适应预测单元。图 2 给出了将心电波形划分成不同分区的示意图。首先,系统启动后进入初始区;当 R 波上升沿检测信号有效时,进入 R 波区;若在窗口  $W_1$  内 R 波下降沿信号有效,则 R 波为真,维持 R 波区到 R 波窗口  $W_2$  结束,进入平坦区;若在  $W_1$  内未检测到 R 波下降沿,则 R 波为假,重新进入初始区;在平坦区,当采样点计数单元输出的 R 波预测信号有效时,进入波动区;在平坦区和波动区,当 R 波上升沿检测信号有效时,进入 R 波区。

[0079] 自适应预测单元根据当前所处分区来选择应采用的预测方法。本系统采用的线性预测方法包括 0 阶、1 阶和 2 阶三种,其公式如下:

[0080] 0 阶:  $dp(i) = d(i-1)$

[0081] 1 阶:  $dp(i) = 2*d(i-1) - d(i-2)$

[0082] 2 阶:  $dp(i) = 3*d(i-1) - 3*d(i-2) + d(i-3)$

[0083] 其中,  $dp(i)$  表示当前采样点的预测值,  $d(i-1)$ 、 $d(i-1)$ 、 $d(i-3)$  分别表示之前三个采样点的真实值。对于 R 波区等波动较为剧烈的分区,通过平均预测误差表示的预测性能表现为 2 阶 > 1 阶 > 0 阶;而对于平坦区等波形较为平坦的分区,预测性能则表现为 2 阶 < 1 阶 < 0 阶。使用时,根据分区的波动特性来自适应的选择最合适的预测方法。

[0084] 改进变长编码模块包括误差范围判定单元、小误差编码单元、原始数据单元和字节编码单元。其中,误差范围判定单元用于判断输入的预测误差是否在最常出现的 16 种预



测误差范围内,由于预测误差普遍呈高斯分布,因此最常出现的预测误差通常为 $-7 \sim 8$ ;当预测误差较小时,小误差编码单元有效,通过4比特对这16种预测误差进行编码,输出到字节编码单元;当预测误差较大时,原始数据单元有效,通过12比特表示原始数据,输出到字节编码单元;字节编码单元将输出的编码两两结合,输出以字节为单位的编码,这样输出的编码长度总是整数字节。提出的改进变长编码方法的优点包括:(1)结构简单。变长编码单元可通过一个数据选择器实现。(2)格式简单。通过将编码两两结合输出,可保证输出编码长度总是整数字节,考虑到通信格式往往以字节为最小单元,这将大大简化后续软件处理的难度。

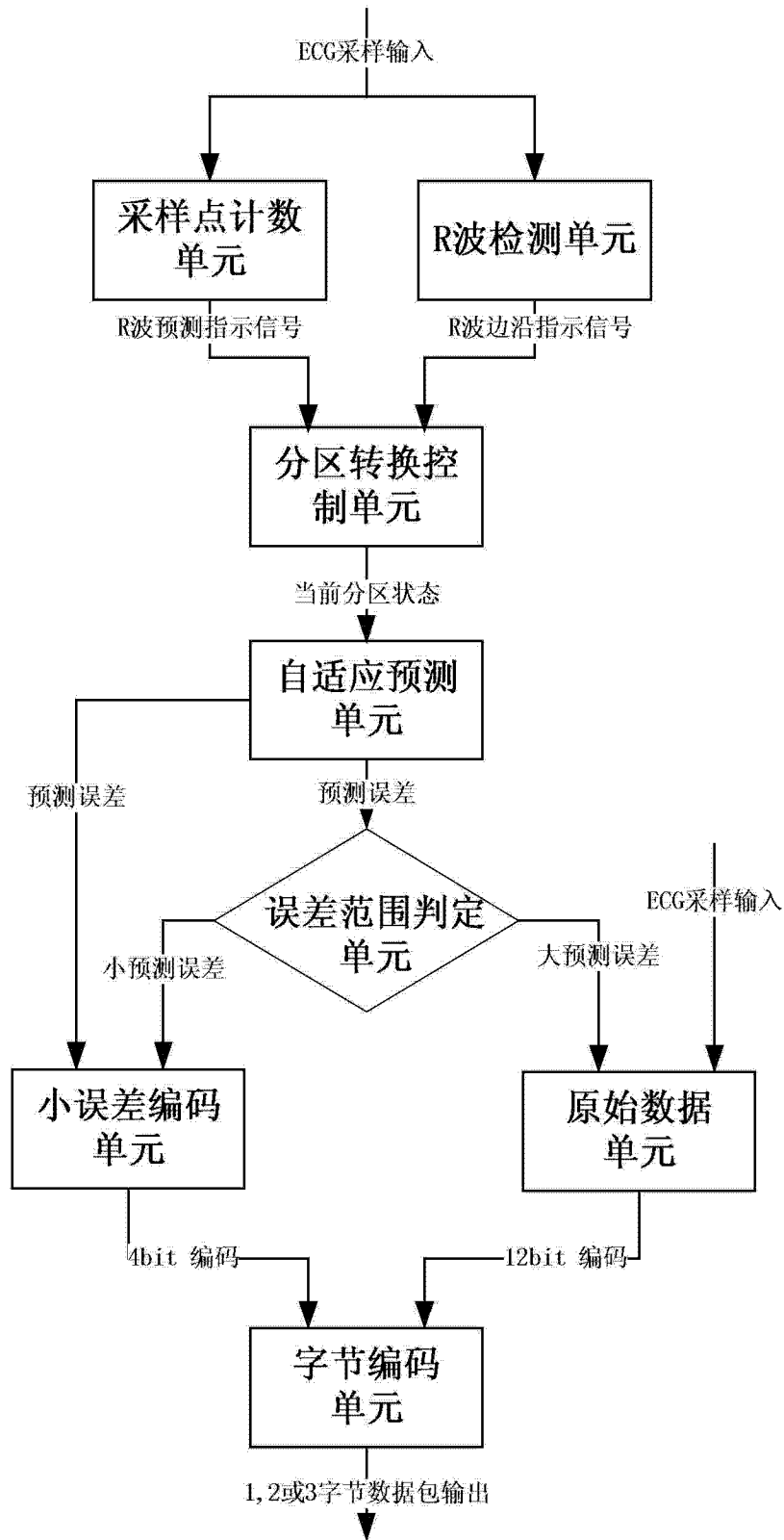


图 1

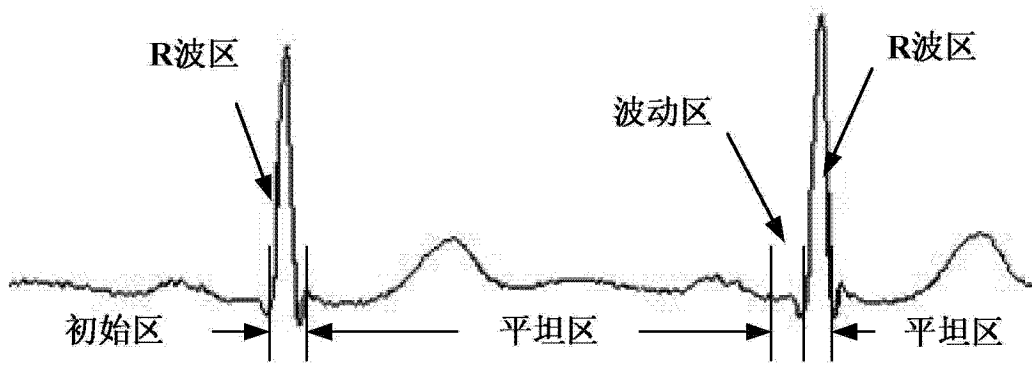


图 2