



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113143284 A

(43) 申请公布日 2021.07.23

(21) 申请号 202110395294.2

(22) 申请日 2021.04.13

(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 李世云 冯彪 求天楠

(74) 专利代理机构 杭州斯可睿专利事务有限
公司 33241

代理人 王利强

(51) Int. Cl.

A61B 5/318 (2021.01)

A61B 5/366 (2021.01)

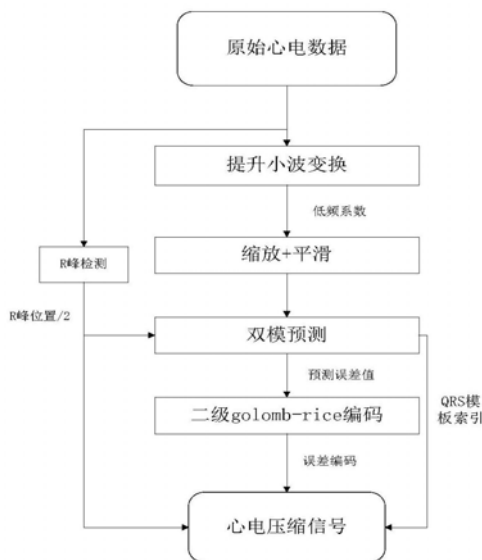
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

基于小波变换和双模预测的心电信号压缩方法

(57) 摘要

一种基于小波变换和双模预测的心电信号压缩方法,所述方法包括以下步骤:第一步、信号分解:对心电信息的采样信号进行一级的提升小波变换,得到相同数量的高频系数和低频系数,去除高频系数保留低频系数;第二步、缩放平滑:对得到的小波系数低频部分做除法缩放和平滑操作;第三步、预测:对系数采用线性预测和模板预测相结合的方法进行预测并得到预测误差;第四步、编码:将预测误差应用二级golomb-rice编码方式编码;第五步、封装:将编码值和预测需要的信息一起打包形成最后的压缩数据流。本发明在较低的失真率下实现了较高的压缩效果,适用于可穿戴心电监测设备。



1. 一种基于小波变换和双模预测的心电信号压缩方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

第一步、信号分解:对心电信息的采样信号进行一级的提升小波变换,得到相同数量的高频系数和低频系数,去除高频系数保留低频系数;

第二步、缩放平滑:对得到的小波系数低频部分做除法缩放和平滑操作;

第三步、预测:对系数采用线性预测和模板预测相结合的方法进行预测并得到预测误差;

第四步、编码:将预测误差应用二级golomb-rice编码方式编码;

第五步、封装:将编码值和预测需要的信息一起打包形成最后的压缩数据流。

2. 根据权利要求1所述的基于小波变换和双模预测的心电信号压缩方法,其特征在于,所述第一步中,所述小波变换采用了5/3提升小波变换,保留低频系数,其表达式为:

$$d[n] = X[2n + 1] - \left\lfloor \frac{X[2n] + X[2n+2]}{2} \right\rfloor \quad (1)$$

$$s[n] = X[2n] + \left\lfloor \frac{d[n] + d[n-1] + 2}{4} \right\rfloor \quad (2)$$

其中, $X[2n+1]$ 和 $X[2n]$ 分别为输入信号 $X[n]$ 分裂得到的奇偶两个序列, $d[n]$ 为提升小波变换得到的高频小波系数序列, $s[n]$ 为提升小波变换得到的低频尺度系数序列,在计算高频系数 $d[n]$ 时,需要同时取得奇序列的值 $X[2n+1]$ 和前后两个偶序列的值 $X[2n]$ 和 $X[2n+2]$ 进行计算,计算低频系数 $s[n]$ 时,需要同时取得偶序列的值 $X[2n]$ 和该偶序列值前后两个高频系数 $d[n]$ 和 $d[n-1]$ 的值。

3. 根据权利要求1或2所述的基于小波变换和双模预测的心电信号压缩方法,其特征在于,所述第二步中,对得到的小波系数低频部分做除法缩放和平滑操作如下:对低频信号进行缩放,获得多种不同信号质量的心电信号,对小波系数做了平滑处理,对连续的三个小波系数 x_1 、 x_2 、 x_3 ,若满足 $x_1 = x_3$, $|x_2 - x_1| = 1$ 则使 $x_2 = x_1$,即将中间点视为毛刺,修改该值使其与前后值相等。

4. 根据权利要求1或2所述的基于小波变换和双模预测的心电信号压缩方法,其特征在于,所述第三步中,双模预测采用线性预测与模板预测相结合的方式,对于心电信号非QRS区域采用0阶线性预测,对于QRS区域采用模板预测和2阶线性预测。

5. 根据权利要求1或2所述的基于小波变换和双模预测的心电信号压缩方法,其特征在于,所述第四步中,二级golomb-rice编码方式编码,参数 k 的大小与编码的效率紧密相关,即 k 为 $\lfloor \log_2 m \rfloor$ 或 $\lfloor \log_2(m + 1) \rfloor$ 时编码的码长最小, m 为待编码的值,在进行golomb-rice编码前先对参数 k 的值进行预测,从而获得比较高的编码效率,预测的公式表示为: $k = \left\lfloor \log_2 \frac{d}{4} \right\rfloor$, $d = \left\lfloor \frac{3d}{4} \right\rfloor + m$,其中 d 为临时变量,初始值设为64。

6. 根据权利要求5所述的基于小波变换和双模预测的心电信号压缩方法,其特征在于,所述第四步中,将预测误差应用二级golomb-rice编码方式编码,为对golomb-rice编码算法做出改进使压缩性能更好,通过增加一前缀码“1110”,对于商值大于等于3且小于8的编码,需在商值的一元编码前增加一个比特“1”,当出现连续的数据0后,则使用该前缀码后配合自定义的游程编码对该片段进行编码,当出现QRS区间或连续数据0时需要使用前缀码和

再次查表。

7. 根据权利要求4所述的基于小波变换和双模预测的心电信号压缩方法,其特征在于,所述模板预测为:对于每个QRS区间的系数,都用已有的QRS模板中的值进行预测,在不同的模板中选取最为接近的一个进行预测,同时和应用3阶线性预测得到的值进行比较,选择误差最小的结果作为最终的预测结果。

8. 根据权利要求4所述的基于小波变换和双模预测的心电信号压缩方法,其特征在于,所述第五步中,将预测误差应用二级golomb-rice编码方式编码,和预测需要的信息一起打包形成最后的压缩数据流包括编码和数据封装,采用基于golomb-rice编码算法改进得到的二级golomb-rice编码对预测误差进行编码,将信号编码值和解码需要的信息一起封装。

基于小波变换和双模预测的心电信号压缩方法

技术领域

[0001] 本发明涉及生物医学信息处理领域,具体涉及一种基于小波变换和双模预测的心电信号压缩方法

背景技术

[0002] 随着科技的发展和人类生活质量的提高,人们对自身的健康状况越来越重视,全球医疗费用也逐年增长。同时,老龄化的加剧使得更多的人需要实时的照顾,对医疗资源的需求日益增加。这一系列的社会问题极大促进了远程可穿戴健康监测设备的快速发展。可穿戴远程医疗设备通过实时监测,使得病人一旦产生患病趋势,在病情发展初期便能采取相应措施加以应对,极大地降低了病情进一步恶化的概率,同时,病人也能足不出户就能完成各项医疗行为,不必再定期往返医院做医疗检查,节省了大量的时间和经济成本。近年来,伴随物联网和无线通信的迅速发展,具有低成本、高效率等优点的可穿戴远程医疗设备开始得到应用,极大地降低了人工的成本,对现代医疗的发展具有重要意义。

[0003] 心电信号(ECG)是一项重要的人体生理信号,它以时间为单位记录人体心脏的各种生理活动,可以反映出心脏的节律以及其电传导的生理信息,可以较为客观地反映出心脏各个部位的生理情况,被广泛应用于心血管疾病的诊断。远程可穿戴心电设备可以长时间监测人体的心电信号,用于诊断和预防可能发生的心血管疾病,相对于临床的检查和诊断具有明显的优势。为了应对突发的心脏疾病,需要长时间不间断地采集心电信号,这对心电信号地传输和存储造成了较大地压力,在可穿戴心电监测设备中,无线传输所占的功耗超过了70%,于是对心电信号进行压缩就变得尤为重要。

发明内容

[0004] 为了克服现有技术的不足,本发明提供了一种基于小波变换和双模预测的心电信号压缩方法,所述方法基于小波变换和双模预测对心电信号进行压缩,实现了较高的压缩率,同时保留了绝大部分有效信息,使压缩信号重构后的心电信号失真度较小,能够完成各种心脏疾病的诊断。

[0005] 本发明可通过如下的技术方案实现:

[0006] 一种基于小波变换和双模预测的心电信号压缩方法,所述方法包括以下步骤:

[0007] 第一步、信号分解:对心电信息的采样信号进行一级的提升小波变换,得到相同数量的高频系数和低频系数,去除高频系数保留低频系数;

[0008] 第二步、缩放平滑:对得到的小波系数低频部分做除法缩放和平滑操作;

[0009] 第三步、预测:对系数采用线性预测和模板预测相结合的方法进行预测并得到预测误差;

[0010] 第四步、编码:将预测误差应用二级golomb-rice编码方式编码;

[0011] 第五步、封装:将编码值和预测需要的信息一起打包形成最后的压缩数据流。

[0012] 进一步,所述第一步中,所述小波变换采用了5/3提升小波变换,保留低频系数,其

表达式为:

$$[0013] \quad d[n] = X[2n+1] - \left\lfloor \frac{X[2n]+X[2n+2]}{2} \right\rfloor \quad (1)$$

$$[0014] \quad s[n] = X[2n] + \left\lfloor \frac{d[n]+d[n-1]+2}{4} \right\rfloor \quad (2)$$

[0015] 式中 $X[2n+1]$ 和 $X[2n]$ 分别为输入信号 $X[n]$ 分裂得到的奇偶两个序列, $d[n]$ 为提升小波变换得到的高频小波系数序列, $s[n]$ 为提升小波变换得到的低频尺度系数序列,在计算高频系数 $d[n]$ 时,需要同时取得奇序列的值 $X[2n+1]$ 和前后两个偶序列的值 $X[2n]$ 和 $X[2n+2]$ 进行计算,计算低频系数 $s[n]$ 时,需要同时取得偶序列的值 $X[2n]$ 和该偶序列值前后两个高频系数 $d[n]$ 和 $d[n-1]$ 的值。

[0016] 再进一步,所述第二步中,对得到的小波系数低频部分做除法缩放和平滑操作如下:对低频信号进行缩放,获得多种不同信号质量的心电信号,对小波系数做了平滑处理,对连续的三个小波系数 x_1 、 x_2 、 x_3 ,若满足 $x_1=x_3$, $|x_2-x_1|=1$ 则使 $x_2=x_1$,即将中间点视为毛刺,修改该值使其与前后值相等。

[0017] 所述第三步中,双模预测采用线性预测与模板预测相结合的方式,对于心电信号非QRS区域采用0阶线性预测,对于QRS区域采用模板预测和2阶线性预测。

[0018] 所述第四步中,二级golomb-rice编码方式编码,参数 k 的大小与编码的效率紧密相关,即 k 为 $\lceil \log_2 m \rceil$ 或 $\lceil \log_2 (m+1) \rceil$ 时编码的码长最小, m 为待编码的值,在进行golomb-rice编码前先对参数 k 的值进行预测,从而获得比较高的编码效率,预测的公式表示为:

$$k = \left\lfloor \log_2 \frac{d}{4} \right\rfloor, d = \left\lfloor \frac{3d}{4} \right\rfloor + m, \text{ 其中 } d \text{ 为临时变量,初始值为 } 64.$$

[0019] 所述第四步中,将预测误差应用二级golomb-rice编码方式编码,为对golomb-rice编码算法做出改进使压缩性能更好,通过增加一前缀码“1110”,对于商值大于等于3且小于8的编码,需在商值的一元编码前增加一个比特“1”,当出现连续的数据0后,则使用该前缀码后配合自定义的游程编码对该片段进行编码,当出现QRS区间或连续数据0时需要使用前缀码和再次查表。

[0020] 所述模板预测为:对于每个QRS区间的系数,都用已有的QRS模板中的值进行预测,在不同的模板中选取最为接近的一个进行预测,同时和应用3阶线性预测得到的值进行比较,选择误差最小的结果作为最终的预测结果。

[0021] 进一步地,所述第五步中,将预测误差应用二级golomb-rice编码方式编码,和预测需要的信息一起打包形成最后的压缩数据流包括编码和数据封装,采用基于golomb-rice编码算法改进得到的二级golomb-rice编码对预测误差进行编码,将信号编码值和解码需要的信息一起封装。

[0022] 本发明与现有的技术相比,有以下优点:

[0023] (1) 本发明提供了一种基于小波变换和双模预测的心电信号压缩方法,在较低失真度下实现了较高的心电信号压缩率,同时也支持多种不同的压缩等级以适应不同的应用场景。

[0024] (2) 应用5/3提升小波变换处理信号,降低数据的相关性提升压缩率,同时5/3提升小波变换只需要简单的加法运算,相比需要大量乘法运算的传统小波,拥有更低的运算复杂度

[0025] (3) 将小波系数分为QRS区和非QRS区,对于非QRS区,采用线性预测的方法进行预测,对于QRS区域应用线性预测和模板预测相结合的方法进行预测,从而进一步降低数据间的相关性以实现更高的压缩率。

[0026] (4) 设计的一种新型的编码方式——二级golomb-rice编码,将不同特性区域分开编码,进而得到比用其他编码方式更好的压缩效果。

附图说明

[0027] 图1为本发明的流程图。

[0028] 图2为基于MIT-BIH数据库的实验效果图,其中,(a)是原始心电采样信号,(b)是提升小波变换后得到的高频系数,(c)是提升小波变换后得到的低频系数,(d)是对低频系数做缩放处理后得到的值,(e)是对缩放后的系数进一步做平滑操作得到的值,(f)是对平滑后的系数进行双模预测,最终得到的预测误差值。

[0029] 图3为数据封装形式的示意图。

具体实施方式

[0030] 为了本发明的技术方案更加清晰,下面结合附图和实施例对本发明进行更完整地表述。本发明的实施包括下面的实施例但不仅限于此。基于本发明中的实施例,本领域技术人员在没有做出创造性劳动前提所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0031] 参照图1~图3,一种基于小波变换和双模预测的心电信压缩方法,具体流程如图1所示,包括以下步骤:

[0032] 第一步,应用5/3提升小波对心电信号采样值进行分解,具体为将心电信号采样序列 $X[n]$ 分为奇偶两个序列 $X[2n+1]$ 和 $X[2n]$, n 为大于等于1的正整数,将这两个序列通过公式进行转换为低频系数和高频系数,转换公式表达为:

$$[0033] \quad d[n] = X[2n+1] - \left\lfloor \frac{X[2n]+X[2n+2]}{2} \right\rfloor \quad (1)$$

$$[0034] \quad s[n] = X[2n] + \left\lfloor \frac{d[n]+d[n-1]+2}{4} \right\rfloor \quad (2)$$

[0035] 式中 $X[2n+1]$ 和 $X[2n]$ 分别为输入信号 $X[n]$ 分裂得到的奇偶两个序列, $d[n]$ 为提升小波变换得到的高频小波系数序列, $s[n]$ 为提升小波变换得到的低频尺度系数序列,在计算高频系数 $d[n]$ 时,需要同时取得奇序列的值 $X[2n+1]$ 和前后两个偶序列的值 $X[2n]$ 和 $X[2n+2]$ 进行计算,计算低频系数 $s[n]$ 时,需要同时取得偶序列的值 $X[2n]$ 和该偶序列值前后两个高频系数 $d[n]$ 和 $d[n-1]$ 的值。

[0036] 第二步,对分解得到的低频系数进行缩放,即对系数做除法,,根据不同的应用场景选择不同的除数为2、4、8、16、32,以利于实际电路的实现,对缩放后的值做进一步的平滑操作增大最终的压缩率,对连续的两个小波系数 x_1 、 x_2 、 x_3 ,若满足 $x_1 = x_3$ 且 $|x_2 - x_1| = 1$,则使 $x_2 = x_1$ 。即将中间点视为毛刺,修改该值使其与前后值相等,从而使得小波变换后的系数变化更加平滑,更有利于后续的预测。

[0037] 第三步,对平滑后的小波系数进行预测,过程如下:

[0038] 对非QRS区间采用0阶线性预测的方法进行预测,即对每个小波系数的值,用前一个系数预测,保留预测误差值,也就是当前的系数减去前一个系数得到的差值。

[0039] 应用R峰检测算法检测出QRS区间的位置,当心电信号采样进入QRS区域时,开始用模板预测和2阶线性预测相结合的方法对低频系数进行预测,模板数量设为 N_t ,对于采样频率为 f 的心电信号,对应的QRS区间内低频小波系数的个数为 $W_{\text{qrs}} = f/20$,因此将模板长度设为 W_{qrs} ,也就是每个模板可以预测的系数个数,初始值都为0。

[0040] 具体的,预测首先需要在 N_t 个模板预测器和1个二阶线性预测器中选择一个让QRS区间所有系数预测误差绝对值的和最小的预测器,其中二阶线性预测的公式表达为:

$$[0041] \quad \hat{x}[n] = 3x[n-1] - 3x[n-2] + x[n-3] \quad (3)$$

[0042] 其中 $x[n-1]$ 、 $x[n-2]$ 、 $x[n-3]$ 分别是过去的三个系数值,求得QRS区间内所有 W_{qrs} 个系数的预测值,将所有预测的值和原始值做差得到 W_{qrs} 个预测误差值,将其求和得道预测误差总和。然后用所有 N_t 个模板预测器存储的值对当前QRS区间的值进行预测并分别求得 N_t 个预测误差总和,将这 N_t 个预测误差总和与二阶线性预测器的误差总和一共 N_t+1 个值相比较,选取预测误差总和最小的那个预测器,对当前QRS区间系数值进行预测。每轮QRS区间预测完成时,用当前QRS区间的所有系数值更新前面最早更新的一个模板。

[0043] 第四步,对预测误差编码,首先先将整数预测误差映射为非负整数 m ,再对映射值进行二级golomb-rice编码,在进行golomb-rice编码前先对参数 k 的值进行预测,从而获得比较高的编码效率,预测的公式表示为 $k = \left\lfloor \log_2 \frac{d}{4} \right\rfloor$ 和 $d = \left\lfloor \frac{3d}{4} \right\rfloor + m$, d 的初始值设为64,编码方式如下:

[0044] 1.对于非0值或连续为0数量小于8的数据,对每个数据我们的编码形式为常规golomb-rice编码,根据不同商值得范围在一元编码前加上相应个数的比特“1”。

[0045] 2.对于连续为“0”的数量大于等于8的片段,我们对该片段整体进行编码,编码形式为“1110”+该片段数据个数的golomb-rice编码值。

[0046] 其中golomb-rice编码值表示为{一元编码($\frac{m}{2^k}$), 0, 二元编码($m \bmod 2^k$)}。

[0047] 第五步,对编码值进行封装,封装的数据包括所有解码需要的信息,具体形式如图3所示,其中 t 的值为 $\log_2(N_t+1)$ 。首先对前三个小波系数的二进制编码进行封装,解码时可根据前三个值进行后续的预测。然后按照非QRS区间误差编码、QRS指示码、QRS模板索引、QRS区间误差编码的顺序对每个心电周期进行封装,这样可以达到实时编解码。同时,在每个非QRS区间和QRS区间存在多个由前缀码“1110”指示的连续0值片段的编码。

[0048] 以上所述,仅为本发明较佳的实施例,但本发明的保护范围并不仅仅局限于此,热力和采用本发明设计的原理,及在本发明基础上做出的非创造性的变化,都属于本发明的保护范围内。

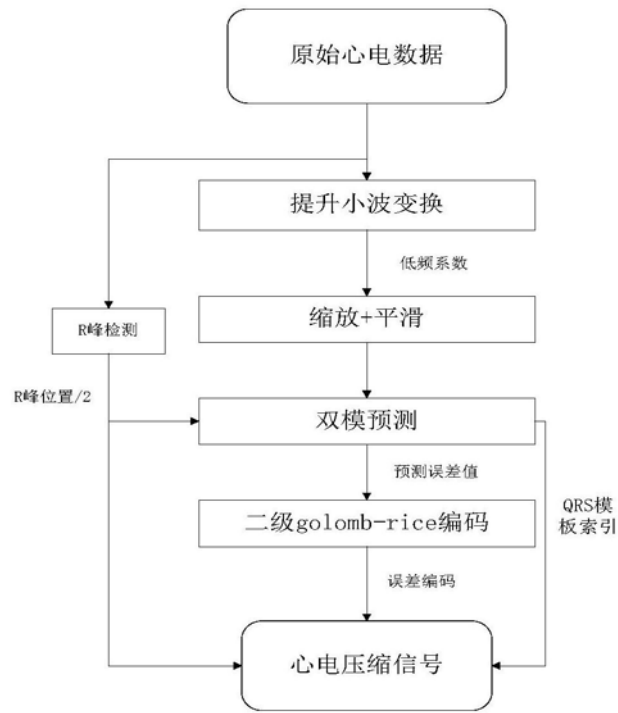


图1

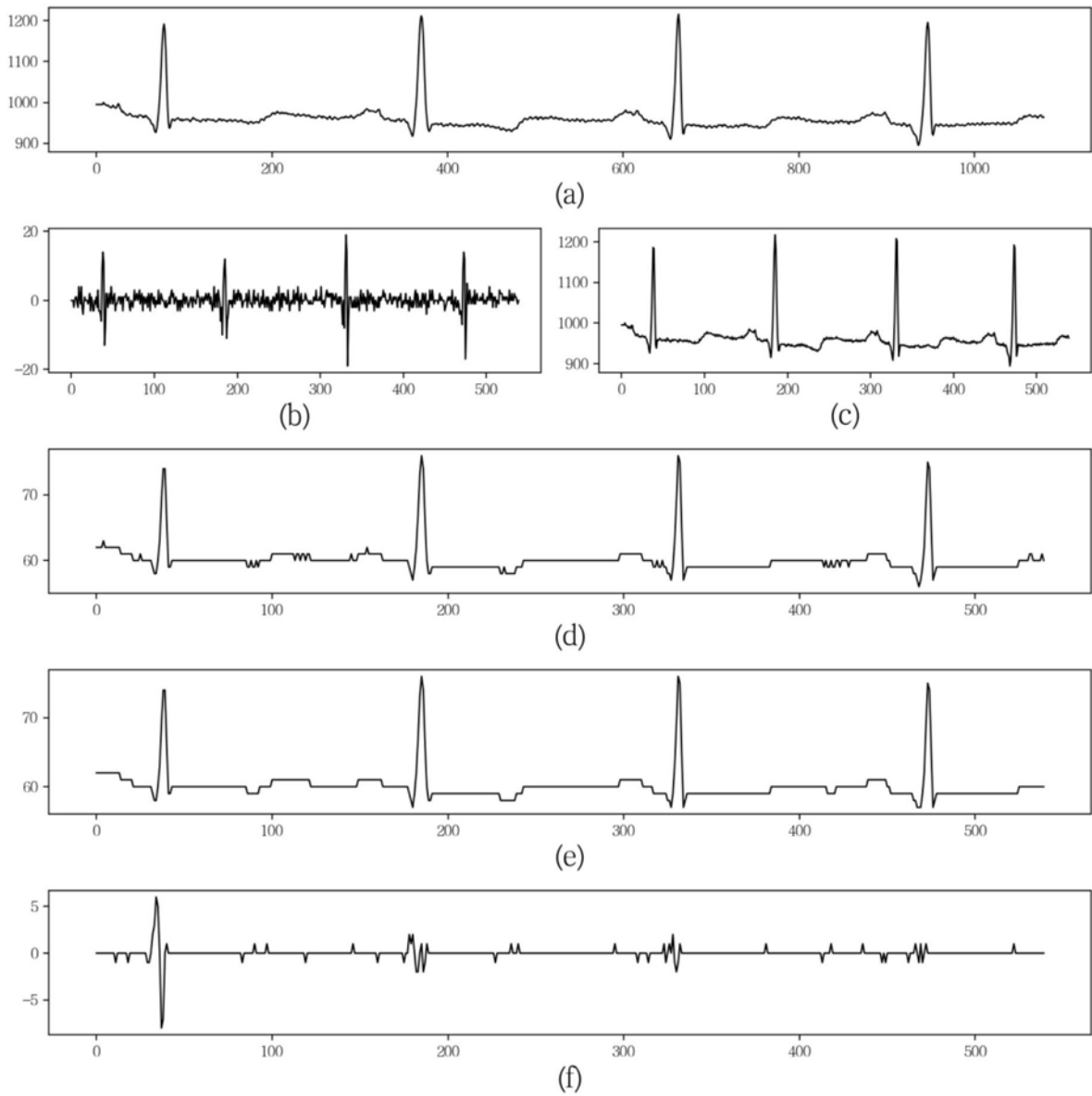


图2

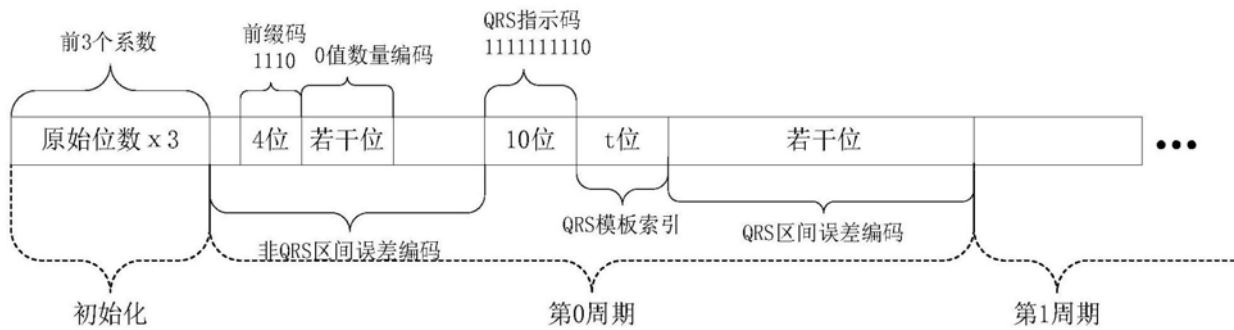


图3