

基于 LabVIEW 的心电信号 QRS 波群离散极值点识别法

黄进文¹, 王威廉²

(1. 保山师范高等专科学校 物理系, 云南 保山 678000; 2. 云南大学 信息学院, 云南 昆明 650091)

摘要: 提出的离散极值点识别方法, 其特点是在充分应用 LabVIEW 强大的信号处理能力的基础上, 采用只抽取 ECG 中少数个特征极值点作为分析识别的对象, 是一种检测识别 QRS 波的新方法. 用美国麻省理工学院的 MIT-BIH 心电数据库进行实验分析的结果表明, 这一方法具有算法简化、信号处理速度快、识别精度高和检测定位受基线漂移影响小等特点.

关键词: 心电信号; QRS 波; 检测; 离散极值点法

中图分类号: TN 911.72 文献标识码: A 文章编号: 0258-7971(2008)02-0129-06

QRS 波群是 ECG(心电信号)中最突出、最有特点的部分, 在 ECG 自动分析领域有着极其重要的地位, 目前的 QRS 波识别方法研究成果虽然丰富, 但仍没有一种方法堪称完美^[1]. 传统的 QRS 波检测有可变阈值法^[2], 自适应阈值法^[3], 主从两级协同的 QRS 波检测方法^[4]; 目前的 QRS 波检测方法主要有差分阈值法^[5], 模板匹配法^[6], 小波变换法^[7,8], 神经网络法^[9]等. 这些方法都有着各自不同的优缺点, 而且都要在时域上完成对所有样本点的搜索判断^[10]. LabVIEW 是美国 NI 公司著名的虚拟仪器系统, 具有多路并行的快速运行机制, 在数据采集、测量分析、仪器控制、数据显示/输出等方面有独特的优势^[11]. 本文讨论的基于最新 LabVIEW 8.2 的 QRS 波离散极值点识别法, 就是先基于其中 Waveform Peak Detection. vi 分离出 ECG 中所有的 Peak/Valley 峰点序列, 再以这些序列点为分析对象, 进一步检测出其中 QRS 波峰点的新方法.

1 基于 LabVIEW 的 QRS 波离散极值点检测识别法

1.1 问题引出 如果只对 ECG 进行时域分析, 并且是针对已调理好的信号, 则差分阈值法是一种较

好的选择. 这一方法原理虽简单, 但必须在时域空间内对所有样本点的完成搜索及判别, 而且这一方法很显然是在对 ECG 作了这样的假定: 即认为 ECG 信号中 R 峰点要么是幅度的最大值点, 要么是一阶导数的过零点或二阶导数的最小值点, 当然, 还可以从一阶导数的最小值点(假定在 R 峰右侧下降支)回溯搜索到第 1 个一阶导数过零点来确定. 在运用上述假定并完成时域搜索(必要时还要多次迂回搜索)的基础上, 最后方能确定特征点 R 峰.

问题: 上述假定对绝大多数正常的、典型的、无干扰的 ECG 来说, 显然是成立的. 但实际情况并不能总保证如此. 比如, 病理情况下 ECG 中的 T 波可能高于 R 波^[12,13], 即大 T 波时 R 波并非最大值点; 又如当 R 波左、右支上有切迹^[12,13]时, 根据一、二阶导数(差分)判断 R 峰的条件亦失效. 这些情况下, 即使完整搜索所有样本点也难于保证 R 峰的正确定位.

1.2 改进思路及实现方法

(1) ECG 中 P, Q, R, S, T 各波的峰值点(可称为特征点, 下同)一定是信号波形上的极值点(不一定是最大值), 如果在对 ECG 进行分析之前就能预先确定每个信号采样周期中所有大于零和小于零的极值点, 那么就可避免遍历搜索所有样本点的繁

收稿日期: 2007-06-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60561002).

作者简介: 黄进文(1972-), 男, 云南人, 副教授, 主要从事电子信息科学、信号处理方面的研究.

通讯作者: 王威廉(1947-), 男, 云南人, 教授, 主要从事生物医学工程、DSP 技术及信号处理方面的研究.

琐过程,只需在已确定的有限个离散极值点中设法确定各特征点即可。

预先确定各采样周期中 ECG 波形的极值点当然也可以通过一定的算法来实现,但这又回到了遍历每个样本点的问题上来了。事实上,最新的 LabVIEW 8.2 中的 Waveform Peak Detection.vi 可以实现这一功能,它能在读取数据时检出当前波形数据中指定阈值范围内的如下信息:

所有波峰点及波谷点(即极值点)的幅值(Amplitudes);

各极值点的二阶导数值(2nd Derivatives);

各极值点的位置索引(在波形数据序列数组中的序号);

检测到的极值点个数。

这些信息均以数组的方式输出供用户直接使用。也就是说,如果基于 LabVIEW 来构建系统,那么预先确定出采样周期内所有极值点是完全可以实现的,而且这一过程由 LabVIEW 系统的 VI 来自动完成,无须用户干预。它的输出结果就是有限个的离散极值点序列,如果合理使用阈值限制,这些点的数量有可能在个位数量级。

(2) 从极值点序列中确定特征点 R 峰 通过对 MIT - BIH 心电数据库中的波形观察分析发现,合理指定了阈值后抽取出的单周期 ECG 极值点序列中,与特征点 R 峰混淆的主要有 2 种情况,即有大 T 波存在的情况和 R 峰上有切迹的情况。这 2 种情况均可用差分阈值法来区分出真正的 R 峰。具体方法是:

有大 T 波时用二阶导数最小值确定 R 峰(同时记录并给出警示);

有切迹极值点时通过预先检测来删除切迹点(同时记录并给出警示);

其它情况可直接根据极值点序列中的幅值最大值或二阶导数最小值来确定 R 峰。

这里隐含了一个新问题需要说明,即如何预先检测是否存在 ECG 中存在大 T 波和切迹。事实上,基于 LabVIEW 各通道可并行运行的优点,这 2 种检测可同时进行,而且也只需在极值点序列这一少量数据中进行,所消耗的资源、时间甚至可以忽略。其检测流程如图 1 所示。

至于 R 峰上的切迹判断,只需在单周期极值序列中取最大值,判断其相邻极值点与最大值点的时间差是否在半 R 峰时间之内,满足则视为切迹点,否则视为无切迹点,流程图可略。

(3) Q 点及 S 点的确定方法 在极值序列中 R 峰左侧合理时限内的第 1 个小于零的极值点即为 Q 点,若没有则视为无 Q 点;

在极值序列中 R 峰右侧合理时限内的第 1 个小于零的极值点即为 S 点,若没有则视为无 S 点。

至此,QRS 波群确定完毕。

QRS 波群确定后,要进行 P 波、T 波及其它参数识别分析,可配合于负向的(波谷)极值点序列及 ECG 的特征依次进行,本文不深入讨论。

上述分析的 QRS 波离散极值点识别法的算法流程如图 2 所示。

(4) 有关检测过程中提取单周期 ECG 信号的方法说明 因每次读取的数据片断不可能就是一个完整的信号周期,而这一问题将直接影响本文的基于离散极值点来进行 QRS 波检测的效果,故这一问题必须强调和说明。

如果每次读取的信号不是单周期,比如是 1.5 或 3 个周期,则 LabVIEW 的 Waveform Peak Detection.vi 的输出将包含该数据段内的所有极值点,这些极值点亦包含所有周期内若干 QRS(及其它特征点)波峰点,而前述检测是基于唯一性的,这势必会造成 R 峰的漏检,这一问题可从两方面来解决:

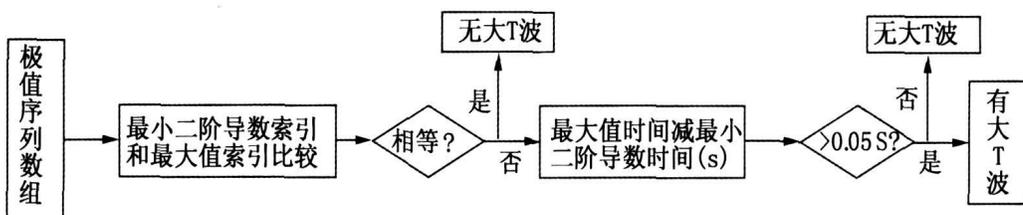


图 1 单周期 ECG 中的大 T 波检测

Fig. 1 Big T wave detecting in ECG single cycle

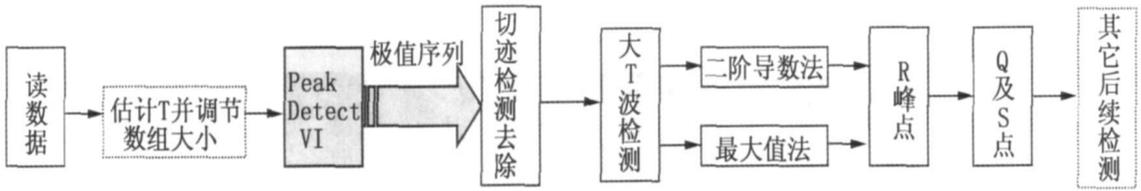


图 2 离散极值点法识别 QRS 波的算法流程

Fig. 2 The process of QRS detecting by using discrete extremum dot method

加入预处理程序来动态调节每次送给 Waveform Peak Detection. vi 的数据段大小, 使该数据段尽量逼近以 QRS 为中心的 1.5 个周期, 即尽量保证所提供的每组数据只包含以 1 个 QRS 波为中心的 ECG 完整周期(以便后续可对 P 波及 T 波识别). 具体算法本文不作深入讨论, 但实验过程及结果已经采用此法;

从极值序列中首次检出 R 波后, 进一步以该值为基准, 按一定阈值范围检测该序列中是否有满足阈值条件的其它极值点, 若有, 根据相邻两 R 波的相似性, 这一极值点也确定为 R 波.

通过预先估计的方式可得到待测 ECG 的周期(如预读 10 s 的信号并统计其中一定阈值内的峰值点个数), 或根据心率通常有一个合理的范围(如

60~ 120 min⁻¹), 取一个恰当的读取时限(如 0.6~ 0.8 s). 这样就可保证数据段中只包含 1~ 2 个 ECG 周期, 再经步骤 或 处理后, 可保证得到满足要求的极值点序列.

2 实验过程及测试结果

按图 2 建构基于 LabVIEW 的程序, Waveform Peak Detection. vi 极值点输出采用每组样本数据中最大值(其实是某一 R 峰点)的 0.3 倍作为阈值来行抽取离散极值点, 使用美国麻省理工的 MIT-BIH 心电数据库来进行检测试验.

其中部分典型的实验结果如图 3~ 5 所示.(图形显示中的每一组图示上半部份为波形, 下半部分为识别出的 R 峰点)

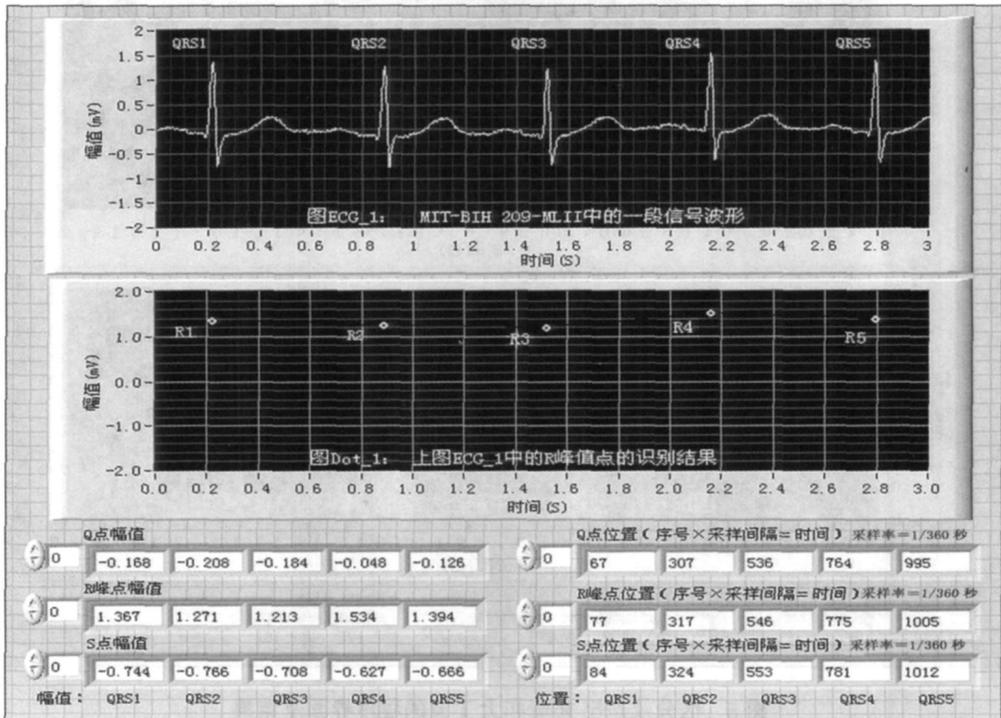


图 3 采用离散极值点法识别 QRS 波群的实验程序界面及结果显示

Fig. 3 The experiment result of detecting QRS wave by using discrete extremum dot method

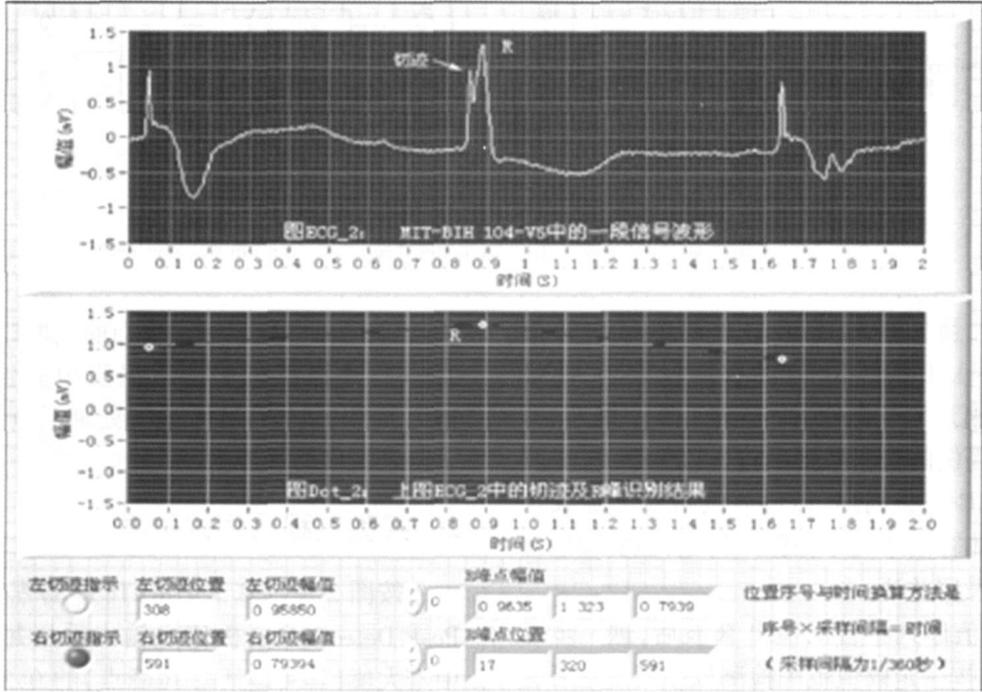


图 4 区分及检出 R 峰和切迹的程序界面及结果

Fig.4 Result & indication of differentiating the R- peak and trace- mark

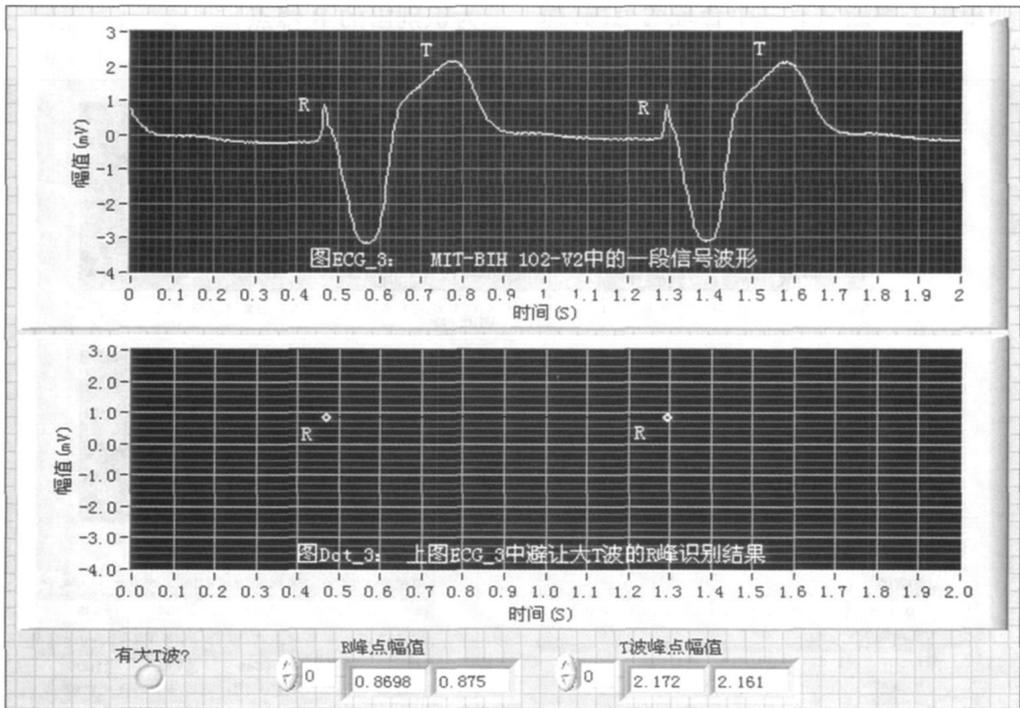


图 5 区分及检出 R 峰和大 T 波的程序界面及结果

Fig.5 Result & indication of differentiating the R- peak and big T- wave

有关的统计数据如表 1, 2 所示.

表 1 离散极值点法与传统法使用数据量对照表(用峰值的 0.3 作为阈值抽取极值点, 采样率: 360 点/s)

Tab. 1 The data antitheses between discrete extremum dot method and traditional methdo(Toleranc: 0.3, sampling: 360 dot/s)

MIT- BIH 编号	总样本点数及 总周期数		极值点法识别 R 峰 用到的样本数(极值点)			极值点法识别 QRS 波 用到的样本数(极值点)		
			总数	每周期 平均数	占总样本 百分比/ %	总数	每周期 平均数	占总样本 百分比/ %
MIT- BIH 102- V2	21 600	68- T	208	3.1	0.96	331	4.9	1.5
MIT- BIH 104- V5	21 600	74- T	176	2.3	0.81	467	6.3	2.2
MIT- BIH 209- MLII	216 00	93- T	93	1	0.4	365	3.9	1.7

表 2 离散极值点法检测 R 波的识别率统计表(采样率: 360 点/s)

Tab.2 The R- peak finding rate by discrete extremum dot method (sampling rate: 360 dot/s)

MIT- BIH		实验样本选取情况		所用离散极值点		R 峰识别结果	
编号	ECG 特征	点总数	包含总 周期数	总数	占总样本的 百分比/ %	总数	占实际数的 百分比/ %
MIT- BIH 102- V2	大 T 波	21 600	68- T	208	0.96	68	100
MIT- BIH 104- V5	R 峰切迹及干扰	21 600	75- T	176	0.81	74	98.7
MIT- BIH 209- MLII	正常 ECS	21 600	93- T	93	0.4	93	100

3 实验结果分析

(1) 运用抽取离散极值点的方法进行 QRS 波检测, 实际分析的数据点数量, 识别出 R 峰时不到总采样样本点数的 1%, 识别完整 QRS 波(含 P 波、T 波时也一样, 但要另加算法)所用的数据量一般也在 3% 以内, 使运算量大幅下降, 运算速度大大提升;

(2) 舍去了大量冗余数据的同时, 也舍去了其中包含的大量干扰信号(特别是基线附近的干扰), 从而降低了识别难度, 提高了抗干扰力;

(3) 对正常 ECG 的几乎保持 100% 的识别率(实验过程中尚未观察到误判的 R 峰);

(4) 对异常 ECG 也具有较高判别力, 并可同时给出出现异常的类别及位置, 比如 R 波的切迹和大 T 波情况等.

4 结 论

对 QRS 波的精确定位是进行所有 ECG 分析的基础, 本文提出的基于 LabVIEW 的离散极值点识别法是基于这样的原理: 一是认为 QRS 的所有特征点均包含在提取出的极值点中; 二是基于 LabVIEW 的强大功能, 将提取极值点的过程用其中 VI 来完成. 二者互相配合, 事半功倍、效率高, 有自身特点, 总结如下:

(1) 离散极值点法与传统差分域值法的区别在于: 传统差分域值法针对所有采样数据进行分析处理, 而离散极值点法只针对采样波形数据中的极值点进行分析处理;

(2) 分析判断数据集只是数量极少的特征极值点序列, 数据冗余降到最少, 算法简化, 速度快, 抗干扰力提高;

(3) 就位置定位来说, 受基线飘移影响小; 有较高的异常波形判断力和几乎 100% 的正常波形

识别率.

此外,运用离散极值点法时还应注意以下 3 点:

- (1) 最好在识别前进行波形调理;
- (2) 只能进行时域内的分析;
- (3) 读取数据时尽量保证在 1~2 周期内,大于 3 个周期的数据段读取,识别率将有所下降.

参考文献:

- [1] 王立传,陈裕泉,潘敏. QRS 检测技术的进展[J]. 航天医学工程, 2006, 19(3): 232-234.
- [2] PAN J, TOMPKINS W J. A real-time QRS detection algorithm[J]. IEEE Trans on BME, 1985, 32(3): 230.
- [3] CHEN H C, CHEN S W. A moving average based filtering system with its application to real-time QRS detection[J]. IEEE Computers in Cardiology, 2003, 30: 585-588.
- [4] MORAES J C T B, FREITAS M M, VILANI F N, et al. A QRS complex detection algorithm using electrocardiogram leads[J]. IEEE Computers in cardiology, 2002, 29: 205-208.
- [5] 田蕴青,孙晓静,赫冬梅,等. 心电图自动诊断系统的研制[J]. 中国医疗器械杂志, 2001, 25(4): 204-206.
- [6] 谌雅琴,李刚,叶文字,等. 自适应相干模板法在心电图机中应用的一种改进算法[J]. 信号处理, 2002, 18(3): 244-248.
- [7] SAXENA S C, KUMAR V, HAMDE S T. QRS detection using new wavelets[J]. Journal of Medical Engineering & Technology, 2002, 26(1): 7-15.
- [8] MALLAT S G, HWANG W L. Singularity detection and processing with wavelet[J]. IEEE Trans on IT, 1992, 38(2): 617-643.
- [9] 陈瑞中. 关于 ECG 信号处理与分析的研究[D]. 桂林: 广西师范大学, 2000.
- [10] 聂能,尧德中,谢正祥. 生物医学信号数字处理技术及运用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [11] 王立,陶海. 精通 LabVIEW8. 0[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [12] 张汉鹏. 诊断学基础[M]. 2 版. 北京: 人民卫生出版社, 1991.
- [13] 戚仁铎. 诊断学[M]. 3 版. 北京: 人民卫生出版社, 1990.

Discrete extremum method of ECG-QRS detecting based on LabVIEW

HUANG Jia-wen¹, WANG Wei-lian²

(1. Department of Physics, Baoshan Teacher's College, Baoshan 678000, China;

2. School of Information, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: By using LabVIEW's powerful ability of signal processing, the discrete extremum dot QRS detecting method is given based on LabVIEW, only using a little extremum dot as source data is enough to analyse & inspect the QRS peak. This is a new method in the domain of ECG's QRS detecting technology. By using the ECG database of MIT-BIH, the result shows that this method make the processing faster and the algorithm simpler, the precision increased, the effect on base line moving decreased.

Key words: electrocardiogram; QRS wave; detection; discrete extremum method