

文章编号: 1671-7104(2008)05-0313-03

## 引入异常心电节律分析的房性早搏识别算法

【作者】 汤征<sup>1</sup>, 陈杭<sup>2</sup>

1. 浙江大学生命科学院(浙江, 杭州, 310058)

2. 浙江大学生物医学工程与仪器学院(浙江, 杭州, 310027)

【摘要】 提出了一种引入异常心电节律分析的房性早搏识别算法。算法通过心拍模板分析识别QRS波形态, 并依据心率和心电图特征识别异常节律。经MIT-BIH心律失常数据库检验, 算法对于房性早搏的特异度和灵敏度分别达到了99.5%和96.9%。

【关键词】 房性早搏; 心律失常; 心拍分类

【中图分类号】 R318

【文献标识码】 A

## An Algorithm for Atrial Premature Beat Classification with Abnormal ECG Rhythm Analysis

【Writers】 TANG Zheng<sup>1</sup>, CHEN Hang<sup>2</sup>

1 College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou, 310058

2 College of Biomedical Engineering &amp; Instrument Science, Zhejiang University, Hangzhou, 310027

【Abstract】 In this paper, an algorithm for atrial premature beat classification with abnormal ECG rhythm analysis is presented. The classification algorithm identifies QRS morphology by template matching and recognizes abnormal ECG rhythm by the features of heart rate and ECG. Algorithm has been evaluated by the MIT-BIH arrhythmia database and the results show that the specificity and the sensitivity for atrial premature beat are 99.5% and 96.9% respectively.

【Key words】 atrial premature, arrhythmia, beat classification

房性早搏(Atrial premature beat, APB)又称房性期前收缩, 是一种最常见的异位心律失常, 多与其他心律失常相伴出现, 见于一些器质性心脏病<sup>[1]</sup>, 因而, 对房性早搏的准确自动识别可为心脏疾病诊断提供依据, 提高诊断效率。

由于房性早搏的QRS波群一般与窦性心拍相同, 因此针对房性早搏的识别都依据其早搏特性, 即RR间期变化来判断, 但现有几种算法<sup>[2~4]</sup>都未考虑异常节律(房颤、房扑、室上性心动过速等)对房性早搏识别的影响。本文引入了对电信号的异常节律分析, 提出了一种识别房颤(Atrial fibrillation, AFIB)、房扑(Atrial flutter, AF)和室上性心动过速(Supraventricular tachyarrhythmia, SVTA)的方法, 有效地降低了处于异常节律心拍的房性早搏误判率, 从而提高了房性早搏识别的准确率和可靠性。

### 1 方法

本文算法主要包括以下几个流程: ECG信号预处

理、心拍模板分析、异常节律分析。心电信号数据来源为MIT-BIH心律失常数据库, 采样频率360Hz, 以其附带的心拍分类和异常节律标注验证算法的可靠性。

#### 1.1 ECG信号预处理

本文选取频带范围为1~40 Hz的数字带通滤波器对ECG原始信号进行预处理, 基本滤除了基线漂移和低频噪声。本文不作QRS波检测, R波位置直接采用MIT-BIH数据库标注R波位置。

#### 1.2 心拍模板分析

由于房早的QRS波群一般与窦性心拍相同, 因此可通过建立窦性心拍QRS波群模板将QRS波形变化明显的异常心拍(如室性早搏等)与正常窦性和房早心拍区分开来。

模板分析的主要方法是: 通过计算心拍间QRS波形的相似性/相异性参数, 找出QRS形态高度一致的窦性心拍分类, 并根据该分类提取窦性心拍模板, 从而依据被检心拍与该模板的相似性/相异性参数, 判断被检心拍是否具有窦性心拍QRS波。

本文采用Manhattan距离作为QRS波形相异性表征参数, 选取被比较的两个心拍R峰左右各36个点(窦性QRS波宽度一般不超过200 ms)作相异度计算。

收稿日期: 2008-03-14

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2007BAI07A28); 浙江省科技攻关计划重点项目(2007C21079)

Manhattan距离定义如下:

$$d(x,y)=\sum |x(t)-y(t)|$$

为避免因QRS波幅度变化引起的模板误判,本文在计算波形相异度之前,先对QRS波幅度做归一化处理。

窦性心拍模板的提取通过简易聚类实现,主要流程如下:

- ① 选取前200个心拍作为分类样本数据;
- ② 以第1个心拍为模板,计算第2个心拍和第1个心拍相异度,若相异度小于阈值 $Th1$ ,则将第2个心拍归入模板1,否则则以第2个心拍新建模板;
- ③ 计算下一心拍与已有各模板的相异度,若其最小值小于阈值 $Th1$ ,则归入相应模板,否则以该心拍新建模板;
- ④ 重复步骤③,直至完成第200个心拍分类;
- ⑤ 查找心拍数最多的几个模板,提取特征参数(QRS波宽度、R峰和S峰幅值等),确定最可能的窦性心拍分类(通常为样本数最多的分类)。

划分模板的相异度阈值 $Th1$ ,通过经验或者实验的方法确定。

1.3 异常节律分析

当心脏的电生理活动发生异常时,常会导致正常的窦性节律(Normal sinus rhythm, NSR)破坏,产生诸如房颤、房扑或室上性心动过速等异常节律。处于房颤、房扑期的心拍,其RR间期可能极不规则,但QRS波则基本正常,若不作异常节律检测,往往会被误判为房性早搏。本文通过心率特征分析、F波/P波检测等方法,判断被检心拍是否处于异常节律,以减少房性早搏的误判。

1.3.1 常见异常节律的心电图特征

本文异常节律分析主要包括房颤、房扑和室上性心动过速三类,其心电图特征<sup>[1]</sup>的主要区别见表1。

表1 房颤、房扑和室上性心动过速的心电图特征  
Tab.1. ECG Characteristics of AFIB, AF and SVTA

	房颤	房扑	室上性心动过速
RR间	绝对不规则	可规则亦可不规则	一般规则
QRS波形态	与窦性心拍相同	与窦性心拍相同	与窦性心拍相同
P波	消失	消失	变异P波
心室率(次/min)	90~180	多在150左右	150~250
显著特点	出现一系列大小、形态及间距不等的心房颤动波(f波, 350~600/min)	呈现间距均匀、波形一致呈锯齿状的心房扑动波(F波, 250~350/min)	突然发作突然终止

1.3.2 心率特征分析

由于表1所列的三种异常节律,在RR间期或心室率(心率)上存在与正常窦性节律明显不同的特征,因此可通过分析心率特征的方法将其与正常节律区分开来。

如图1心率散点图所示,当正常的窦性节律转变为房颤节律时,存在一明显的心率跃变,房颤时的心率较原正常节律明显加快,且极不稳定。伴有房早的正常节律虽然心率在散点图上较为散乱,但其早搏心拍后的代偿心拍心率通常会落在原稳定正常心率左右,与房颤时的心率特征有明显区别。房扑的心率特征与房颤类似,也存在心率跃变,但由于RR间期可能规则,因此心率表现亦可能较为稳定。室上性心动过速心率特征与RR间期规则时的房扑类似。

为获得各类异常心律的起止范围等信息,采用如下方法:

- ① 提取所有相邻心拍RR间期变化在20%内稳定心率片段,若满足片段心拍数大于10个,90%的心拍属于窦性形态心拍(由模板分析获得)和平均心率小于100次/min,则认为该片段为正常心率片段;
- ② 若获得的所有正常心率片段心拍总数占总心拍数比例小于2%,且最长稳定心率片段心拍数小于20,则认为当前记录的所有心拍属异常心律,不作房早判断;
- ③ 提取所有相邻窦性形态心拍心率变化超过40次/min(由单个RR间期换算得到,下同),或相间窦性心拍心率变化超过50次/min的心拍,作为分析的心率跃变心拍。分别计算跃变心拍前后10个心拍心率属于正常心率(变化幅度小于前一正常心率片段平均心率的20%)的个数 $N_L$ 、 $N_R$ 。若 $|N_L - N_R| \geq 3$ ,则先分别提取前后两段心拍小于片段心拍平均心率的心拍,分别计算其平均心率 $HR_{LowL}$ 、 $HR_{LowR}$ 。若 $HR_{LowL} - HR_{LowR} > 30$ ,则认为该跃变心拍可能为异常心律起始心拍;若 $HR_{LowL} - HR_{LowR} > 30$ ,则认为该跃变心拍可能为异常心律终止心拍。提取所有被异常心律起始心拍和终止心拍包含在内的异常节律片段,计算片段的平均心率 $AverHR_{abN}$ 和心率的标准偏差 $RSDHR_{abN}$ ,若 $AverHR_{abN} > 100$ ,且 $RSDHR_{abN} > 10$ ,则认为该片段内心拍为房颤或房扑心律,不作房早判断,否则需作F波/P波检测进一步判断。

1.3.3 F波/P波检测

室上性心动过速的心率特征和具有规则RR间期的房扑类似,仅凭心率特征难以区分。因此,本文根据房扑时出现的高频呈锯齿状F波和P波消失的特点,作F波和P波检测,进一步判断异常心律类型。

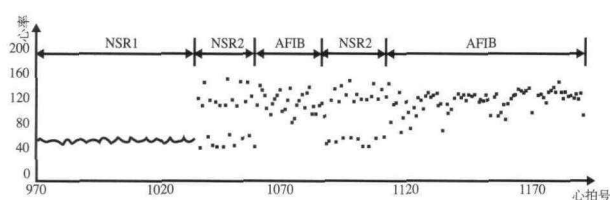


图1 正常节律与房颤交替出现的心率特征(MIT-BIH数据库202号记录), NSR1为稳定的正常窦性节律, NSR2为伴有房早等早搏心拍的正常节律, AFIB为房颤

Fig.1. Heart rate features when the NSR and AFIB appear alternately (Record 202, MIT-BIH Database). NSR1 is NSR with stable heart rate, NSR2 is NSR with premature beat

F波检测方法是:根据ECG信号的一阶差分提取被分析心拍范围内的极值点,若极值点不在QRS波范围内,且极值点代表的峰幅度(上一个波谷到波峰)大于被分析心拍R峰平均幅值的15%,则认为存在一个F波波峰。提取所有的F波波峰位置,计算相应的峰峰间隔时间,从而计算F波频率。为避免F峰落入QRS波范围带来的误差,F波频率按峰峰间隔时间的中位数计算。若F波频率超过200次/min,则可认为被分析心电处于房扑心律。F波检测效果如图2所示。



图2 F波检测效果(MIT-BIH数据库222号记录), F表示检测到F波位置, F波频率为284次/min

Fig.2. Results of F-wave detection (Record 222, MIT-BIH database). 'F' shows the position of the detected F wave whose frequency is 284 b/min

P波检测方法是:检测心拍R波前200ms内非QRS波范围内的极值点,以所有极值点与基线偏移最大的点为P波波峰。比较被分析心拍前一正常心率片段心拍的P波幅值与PR间期被分析心拍的P波幅值,若存在显著差异(P波方向相反或幅值极小、PR间期不稳定),则可认为被检心拍P波已经消失,心拍处于房扑或房颤

节律。

若F波和P波检测的结果均未显示为房扑心律,则被分析心拍被认为处于室上性心动过速心律。根据MIT-BIH心律失常数据库的标注,处于室上性心动过速心律的心拍被视为房性早搏。

#### 1.4 房性早搏判定规则

根据上述分析结果,符合以下条件的心拍被判为房性早搏(记为A):

① 被检心拍RR间期较前一正常心率心拍RR间期提前 $Th_{APB}$ ;

② 心拍QRS波形态属于窦性心律QRS波形态(由心拍模板分析确定);

③ 心拍不处于房颤或房扑节律。

其余窦性形态心拍被识别为正常心拍(记为N), $Th_{APB}$ 由被分析记录正常平稳心率的稳定性决定,一般在25%左右。

## 2 结果

本文选取MIT-BIH数据库房性早搏较多或带有较长时间异常节律(房颤、房扑、室上性心动过速)的9条记录作为测试数据,对上述算法进行评估。分类结果如表2所示,其中分类效果采用灵敏度(Sensitivity, SE)和特异度(Specificity, SP)指标来衡量,其定义如下:

$$SE = \frac{TP}{TP + FN} \quad SP = \frac{TN}{TN + FP}$$

由表2的结果可见,本文算法引入异常节律分析后大幅度减少了含房颤或房扑的记录房性早搏误判,从而使房性早搏分类结果的特异度得到较大提高。

此外,对于未分类的非窦性形态心拍,本文还加入了室性早搏的检测算法,结果显示室性早搏检测的特异度和灵敏度分别为99.5%和97.5%。

表2. MIT-BIH数据库分类结果  
Tab.2. Classification results of MIT-BIH arrhythmia database

记录号	100	114	201*	202*	209	220	221*	222*	233*	总计
类型										
N	总数	239	1820	1625	2061	2621	1954	2031	2062	18643
	SP(%)	100	100	100/100	98.2/98.2	97.7	97.9	99.7	96.2/99.5	98.5
	SE(%)	100	100	99.1/78.3	99.8/77.3	99.3	99.8	99.9	96.6/73.1	99.4
A	总数	33	10	30	36	383	94	0	208	801
	SP(%)	100	100	99.3/80.6	99.8/77.7	99.3	99.8	—	97.0/73.7	99.5
	SE(%)	100	100	93.3/93.3	94.4/94.4	97.7	97.9	—	95.2/97.4	96.9

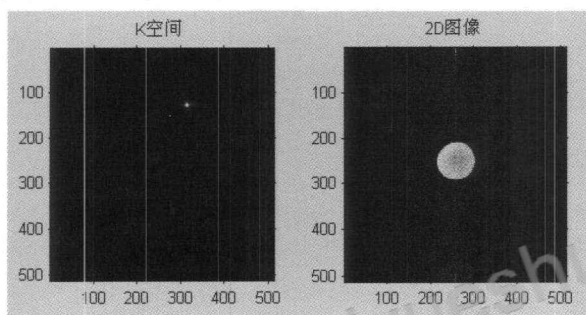
注:带\*号的记录为包含房颤或房扑的记录,其中221整段记录无正常节律,带“/”左右两侧的数字分别为检测/不检测异常节律的结果。

表1 自解压可执行程序包含的文件

Tab.1. Files included in the self-decompression executing program

文件	
_install.bat	由自解压可执行程序运行的脚本
Comfft2d_1_0.dll	编译后的组件
Comfft2d.exe	在计算机上注册DLL的可执行程序
comfft2d.ctf	MATLAB相应数学库和工具库

(6) 在VB编程环境中载入COM组件,并调用接口函数即可实现功能。新建一个项目,在VB集成开发环境中选择Project->References菜单项。弹出References对话框后选择comfft2d组件,在通用声明栏中声明一个comfft2d组件: Private thematlab As fft2dto,在Command1\_Click()模块中为thematlab指定一个comfft2d组件: Set thematlab = New fft2dto,并调用接口函数Call thematlab.fft2d,最后编译执行。执行结果如图5所示。



(a)k空间数据 (b)将傅里叶变换得到的2D图像  
图5 读取的K空间数据以及转换成的二维图像

Fig.5. The Kspace data and the 2D image transformed by FFT

由于COM组件独立于编程软件之外,所以它可应用于任何Windows编程语言中,只要在程序安装前对其进行注册即可,这样就可利用MATLAB强大的工程函数工具箱进行图像预处理及后处理过程,大大减轻了编程负担,而且可大大提高软件运行速度。

#### 4 结论

本文就MRI中二维图像的读取与成像显示做了一

些探索,利用Matlab功能强大的图像处理和显示工具箱,以及完善的数学函数库,并借助VB良好的界面编程技术,来实现医学图像处理,并收到很好的效果。相比传统软件,Matlab在算法实现上以及控件集成方面占有很大优势,而且,由于集成为COM控件,用户很难辨识其真正内容,这样对算法起到了很好的保密作用。本研究应用Matlab进行算法实现,有助于从核磁共振成像系统中将图像重建软件独立和剥离出来,为从原始数据进行图像效果的处理(图像前处理)提供了入口,具有重要作用。从工程技术人员来讲,结合Matlab的强大功能,通过编写简单程序实现原本需要专业编程知识和经验的软件开发,在工程研发实践中也具有重要意义。

#### 参考文献

- [1] 赵喜平.磁共振成像[M].北京:科学出版社,第二版,2004
- [2] 黄继英,染星原.磁共振成像原理[M].陕西科学技术出版社,1998
- [3] 杨高波.精通MATLAB7.0混合编程[M].北京:电子工业出版社,2006
- [4] (美)亨塞尔曼,(美)利特菲尔德著,朱仁峰译精通MATLAB7.0[M].北京:清华大学出版社,2006
- [5] 胡广书.数字信号处理[M].北京:清华大学出版社,2003(189-256)
- [6] (美) Evangelos Petroustos. Visual Basic5从入门到精通[M].北京:电子工业出版社,1997
- [7] 殷瑞,万国龙.数字信号处理[M].北京:清华大学出版社,2007
- [8] E. Mark Haacke, Robert W. Brown, et al. Magnetic resonance imaging: physics and sequence design [M]; 曾晓庄,包尚联等译.北京:中国医药科技出版社,2007.6
- [9] R. N. Bracewell. The fast Fourier transform and its applications. New York: McGraw Hill, 1986
- [10] S. R. Deans. The random transform and some of its applications [M]. New York: John Wiley and Sons. 1983
- [11] G. T. Herman. Image reconstruction from projection: the fundamentals of computerized tomography [M]. New York: Academic Press, 1980
- [12] D. B. Twieg. The K-trajectory formulation of the NMR imaging process with applications in analysis and synthesis of imaging methods [J]. Medical Physics, 1983,(10):610

[上接第315页]

#### 3 结论

本文提出了一种引入异常心电节律分析的房性早搏检测算法,通过对三种异常节律(房颤、房扑和室上性心动过速)的分析和识别,显著降低了处于房颤、房扑节律下的房性早搏误判率,提高了房性早搏识别的特异度。经MIT-BIT心律失常数据库验证,房性早搏检测的特异度和灵敏度分别达到了99.5%和96.9%。

#### 参考文献

- [1] 卢才义.实用心电监测快速诊断学[M].北京:科学出版社,1999
- [2] 胡鹏,张永红,张菊鹏,等.基于小波变换的心律失常判别算法[J].北京生物医学工程,2003,22(1):23-26
- [3] Lin He, Wensheng Hou, Xiaolin Zhen, et al. Recognition of ECG Patterns Using Artificial Neural Network[C]. Proc. ISDA, 2006, 2:477-481
- [4] G. K. Prasad, J. S. Sahambi. Classification of ECG arrhythmias using multi-resolution analysis and neural networks[C]. Proc. IEEE Conf. on Convergent Technologies, Bangalore, India, 2003, 1:227-231



论文写作，论文降重，  
论文格式排版，论文发表，  
专业硕博团队，十年论文服务经验



SCI期刊发表，论文润色，  
英文翻译，提供全流程发表支持  
全程美籍资深编辑顾问贴心服务

免费论文查重：<http://free.paperyy.com>

3亿免费文献下载：<http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重：[http://www.paperyy.com/reduce\\_repetition](http://www.paperyy.com/reduce_repetition)

PPT免费模版下载：<http://ppt.ixueshu.com>

---

阅读此文的还阅读了：

- [1. 动态心电信号干扰的识别研究](#)
- [2. 从语言分析角度看奎因关于分析和综合的批判](#)
- [3. 常规电生理标测法射频消融治疗房性早搏](#)
- [4. 异常心电节律VT和VF信号的复杂性分析](#)
- [5. 基于二维图形学的MEMS节点单元识别算法研究](#)
- [6. 基于Matlab GUI的维吾尔文字符识别系统的设计](#)
- [7. 基于数学形态学的车牌定位识别系统设计](#)
- [8. 识别数字电路反馈线的快速算法](#)
- [9. 加味炙甘草汤合乙吗噻嗪治疗早搏的临床观察](#)
- [10. 原木端面图像检尺直径识别算法的研究](#)
- [11. 房早未下传伪似窦房、房室阻滞1例](#)
- [12. 水稻遥感识别偏差修正的地统计学方法](#)
- [13. 基于流形学习算法的马铃薯机械损伤机器视觉检测方法](#)
- [14. 规则几何图形的识别分析与算法实现](#)
- [15. 发射机射频输出与天馈线系统分析](#)
- [16. EFFICIENT ALGORITHMS FOR IDENTIFYING ORTHOLOGOUS SIMPLE SEQUENCE REPEATS OF DISEASE GENES](#)

[17. 基于局部纹理分析的虹膜识别算法](#)

[18. 房性早搏伴短P-R间期综合征并诱发房室结折返性心动过速](#)

[19. 肝硬化致严重心律失常死亡原因分析](#)

[20. 网页中信息部分识别研究](#)

[21. 现代民主含义的"三维"诠释](#)

[22. 一种区域边界的识别和区域标记算法与应用](#)

[23. 一种引入推理规则的快速规划识别算法](#)

[24. 基于模糊判别的指纹识别算法探讨](#)

[25. 头胸导联对病毒性心肌炎右室缺血的观察](#)

[26. 超立方体的识别](#)

[27. 地图自动识别系统中按颜色分层的算法及实现](#)

[28. 一种新的虹膜识别算法研究](#)

[29. 负荷试验及动态心电图评价儿童房性早搏的运动风险](#)

[30. 诱发阵发性房颤的房性早搏的某些特征](#)

[31. 关于本质主义的一些看法](#)

[32. 关于本质主义的一些看法](#)

[33. 一种改进的数字信号调制方式自动识别算法](#)

[34. 三维裂隙网络渗流路径识别算法及其优化](#)

[35. 房性早搏与窦室夺获1例鉴别分析](#)

[36. 基于模糊判别的指纹识别算法探讨](#)

[37. 基于Matlab GUI的维吾尔文字符识别系统的设计](#)

[38. 胃电治疗非溃疡性消化不良44例临床观察](#)

[39. 高校思想政治教育中的“两心”](#)

[40. 牟宗三的数学哲学述评](#)

[41. 异常心电节律VT/VF与非线性动力学定性定量分析现状](#)

[42. 小儿频发房早伴3相左束支阻滞1例](#)

[43. 一种目标兴趣区的快速识别算法](#)

[44. 原木端面图像检尺直径识别的一种算法](#)

[45. 基于行为分析的Web日志用户识别算法](#)

[46. 动态时间弯折模式匹配技术\(DTW\)的算法改进研究](#)

[47. 藏文分词系统中紧缩格识别和藏字复原的算法研究](#)

[48. 基于结构分析的手势识别算法研究](#)

[49. 房性早搏揭示右束支3相阻滞及超常传导](#)

[50. 网页中信息部分自动识别研究](#)