DOI:10.16016/j.1000-5404.2003.15.023
第25卷第15期 第三军医大学学报 Vol. 25, No. 15
2003年8月 ACTA ACADEMIAE MEDICINAE MILITARIS TERTIAE Aug. 2003

文章编号:1000-5404(2003)15-1365-03

论著

基于改进的快速LADT和神经网络结合的QRS波检测方法

漆 进,莫智文 (四川师范大学数学研究所,成都 610066)

提 要:目的 研究QRS波的具有较高正确率的识别方法。方法 本研究用一种改进的快速LADT新方法,并结合神经网络检测ECG信号的QRS波。结果 经MIT-BIH心电数据库检验表明:QRS波正确识别率高,实时性好。结论 本研究提出的方法达到了既减小运算量又能准确识别QRS波的目的。

关键词:心电信号;LADT方法;QRS波检测;神经网络
中图法分类号:R311;R319;R540.4 文献标识码:A

QRS detection based on the combination of improved quick fitting of LADT and neural network

QI Jin, MO Zhi-wen (Institute of Mathematics, Sichuan Normal University, Chengdu 610066, China)

Abstract: Objective To investigate the methods for EGG data compression and accurate QRS detection. Methods The quick fitting of LADT was improved and the combination of the improved quick fitting of LADT and neural-network was used for the detection of the location of the QRS complex. Results Test by the MIT/BIH arrhythmia database revealed high accuracy rate of QRS detection and easy real-time application. Conclusion The purposes of accurate detection of QRS with a little time are realized.

Key words: ECG signals; LADT algorithm; QRS detection; neural network

在心电信号分析系统中,QRS复合波的检测是一项非常重要的工作。目前的QRS波检测方法均不能满足需要,一是计算太复杂,计算量大,二是可靠性差。当前神经网络已经在生物医学工程中被广泛地应用[1~3],然而由于这些方法所采用的神经网络结构复杂,神经元数量多,以及要对心电信号的所有数据都进行处理,这势必造成计算量度大,实时性差,不能满足需要。基于此,本研究对快速(Linear approximation distance threshold, LADT)拟合方法进行了改进,并采用该方法结合神经网络对部分心电信号进行了处理,实验结果表明:该方法达到了准确检测QRS波的目的。

1 改进的快速LADT算法

1.1 快速LADT算法

LADT算法就是用线段去逼近曲线,如果线段与曲线间的最大距离不超过给定的阈值,那么就用该条线段近似代替该段曲线,否则,就移动线段的一个端点,直到找到另一条可代替的线段为止。由于该方法计算量大,所以LADT方法的快速实现[4]被提出来了。该方法利用查偏差阈值表代替大量的计算,从而使计算量大大减小,如图1所示。其原理如下:

$$|a| = \left| [A(n+k)-A(n)] - [A(m)-A(n)] \frac{k}{m-n} \right| \quad (1)$$

$$|t| = \left| \frac{A(n+k)-A(n)}{A(m)-A(n)}(m-n) - k \right| \quad (2)$$

$$|d| = \frac{|a||t|}{(a^2+t^2)^{1/2}} = |a| / [1+(a/t)^2]^{1/2} \quad (3)$$

其中$A(k)$是在k时刻心电信号的幅度,如图1所示。由(1)与(2)得:

$$\frac{|a|}{|t|} = \frac{|A(m)-A(n)|}{|m-n|} \quad (4)$$

$$|a_{max}| = |d_{max}[1+(a/t)^2]^{1/2}| \quad (5)$$

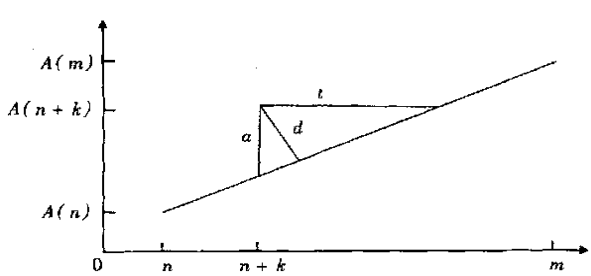


图1 距离、幅度、时间偏差的定义

Fig 1 Definition of distance, amplitude and time error

在当前的分段线段逼近中,$|a/t|$的值是固定不变的。当采样率确定以后,$|a/t|$的值的数量是一定的。这时我们能建立一张数据表,对于$|a/t|$的任何一个值,通过查该表,我们能

基金项目:国家自然科学基金资助项目(69803007)
作者简介:漆 进(1975-),男,四川省南充市人,硕士研究生,主要从事神经网络和模糊数学理论在心电图识别中的应用方面的研究。电话:(028)4762839
收稿日期:2001-11-17;修回日期:2002-09-20

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

获得其对应的 a_{max} 的值，那么在每一次逼近中，根据 $|a/t|$ 的当前值，我们能从该表中获得对应的 $|a_{max}|$ 的值。接着我们只须检查 $|a|<|a_{max}|$ 这个条件是否成立即可。

1.2 改进的快速 LADT 算法

LADT 的快速实现方法有其固有的不足之处[4]：它必须寻求最优的初始逼近步数。而且必须经过几次试探以后，才会找到用于逼近曲线的线段[4]，这些缺陷都使得该方法很难满足实时需要。基于此，我们提出用射线逼近曲线，这样我们就不必去寻求最优的初始逼近步数，而且我们可以一次逼近曲线。这就大大减小了计算量，从而能满足实时要求。

为了简单起见，我们考虑 3 个采样点 $A(n)$，$A(n+k)$，和 $A(n+m_i)$，m_i 是初始逼近步数，为较小的定值。射线 g 以 $A(n)$ 为端点，经过 $A(n+m_i)$，如图 2 所示。

$$|a_k| = P_a \left| [A(n+k) - A(n)] - [A(n+m_i) - A(n)] \frac{k}{m_i} \right| \tag{8}$$

$$|t_k| = P_t \left| \frac{A(n+k) - A(n)}{A(n+m_i) - A(n)} m_i - k \right| \tag{9}$$

$$|d_k| = \frac{|a_k||t_k|}{(a_k^2 + t_k^2)^{1/2}} \tag{10}$$

其中 P_a 表示一比特所代表的距离，P_a 是采样点的间隔距离。

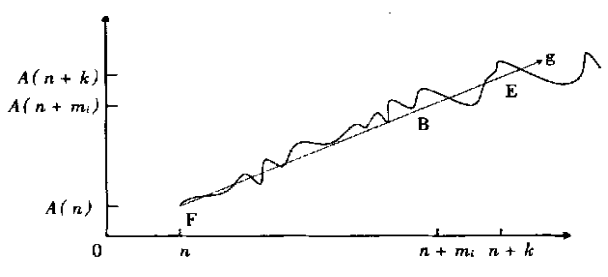


图 2 逼近示意图

Fig 2 An example of approximation

根据 LADT 的快速实现原理，我们知道在当前射线逼近过程中，$|a_k|/|t_k|$ 是定值，我们就可以把 $|a_k|/|t_k|$ 记作 $k(n)$，即

$$k(n) = \frac{|a_k|}{|t_k|}$$

因此，有

$$|d_k| = \frac{|a_k|}{[1+k(n)^2]^{1/2}} \tag{11}$$

$|d|<\sigma$ 成立的充要条件是下式成立：

$$|a_k| < \sigma[1+k(n)^2]^{1/2}$$

根据 LADT 快速实现原理，我们可以通过查表而获得

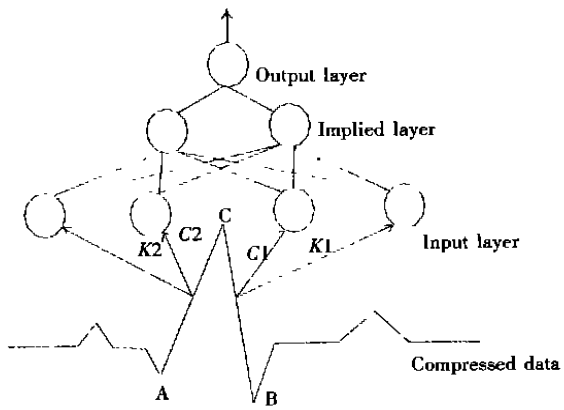
$$\sigma[1+k(n)^2]^{1/2}$$

把它记为 $a_{adm}(n)$。

如果 $a(n)$、$a(n+1)\cdots\cdots a(n+k)$ 都满足 $a(i)<a_{adm}(n)$，$i=n, n+1, \ldots, n+k$，$a(n+k)<\varepsilon$，是预先给定的一个很小的正数，并且 $a(n+k+1)>a_{adm}(n)$，那么我们就用射线 g：$P_a[y-A(n)]=k(n)(x-n)P_t$ 上的两个端点的横坐标分别为 n、$n+k$ 的线段来近似表示该段信号。如图 2，本研究找到的线段是 FE，而文献[4]找到的线段是 FB，因为 m_i 是定值。条件 $a(n+k)<\varepsilon$ 是用来限制线段的端点必须尽可能地在 ECG 曲线上，即不能离曲线太远。

2 神经网络的描述和训练

我们用一个 3 层前向 BP 网络来检测 R 波，如图 3 所示。先用改进的 LADT 快速实现方法对心电信号进行折线化。我们考察了 MIT/BIH 数据库中各种形态的 R 波，发现构成 R 波的两条线段的长度和斜率就足以刻画 R 波的特征，所以我们选择构成 R 波的每条线段的长度 c 与斜率 k 作为识别 R 波的特征参数，识别一个 R 波需要四个特征参数 $c1$，$k1$，$c2$，$k2$，所以网络有四个输入神经元，隐含层有两个神经元，输出层有一个神经元，隐层与输出层的作用函数均为 S 型函数。本研究采用神经网络的 BP 学习算法对网络进行训练。



*C*1, *C*2, *K*1, *K*2 are the length and the slope of linear segment BC and linear segment AC

图 3 检测 R 波的神经网络示意图

Fig 3 A diagram of the neural network used for R detection

BP 学习算法步骤如下：

①将网络权值 W_{ij} 赋予较小的非零随机实数值，设定学习率 η 和惯性系数 α。

②输入 P 个样本对中的第一个样本对。

③按公式

$$O_j^k = f(I_j^k) = f\left(\sum_i W_{ij}^{(k-1)k} O_i^{k-1}\right)$$

计算出网络各层元素的实际输出值。其中 O_j^k，I_j^k 分别是第 j 个神经元的输出和输入，$W_{ij}^{(k-1)k}$ 为第 K-1 层中第 i 个神经元与第 K 层中第 j 个神经元的边接权。f 为第 K 层中第 j 个神经元的作用函数。

④按下式调整各连接权值

$$W_{ij}^{(k-1)k}(t+1) = \alpha W_{ij}^{(k-1)k}(t) - \eta d_j^k O_i^{k-1}$$

其中

当 $k=m$，$d_j^m = (O_j^m - y_j) f'(I_j^m)$

当 $k<m$，$d_j^k = \left(\sum_l W_{jl}^{(k+1)k} d_l^{k+1}\right) f'(I_j^k)$

⑤转至第二步，输入第二个样本，……，循环得用 P 个样本对，直至 W_i^j 趋于稳定不变为止。

MIT/BIH 心电数库中共有 48 个病例，其中 T108 文件所示病例有较强的噪声，总共含有 1 763 个 R 波，我们选择其中 40 个 R 波作为训练集，总体 1 763 个 R 波作为考试集，其检测结果

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

于表 3 所示。

由神经网络理论知道: 训练样本集必须具有很好的代表性, 即能很好地反映总体特性, 此时, 训练好的神经网络才能有较优良的检测性能。所以本研究训练集中 40 个 R 波只要包括了各种形态的 R 波就可以了, 由于 R 波形态不会太多, 所以容量为 40 的样本集可以满足需要。当然其中各种形态的波的分布比例也对神经网络的性能有一定影响, 这将另文讨论。

事实上, R 波一般比较高尖, 这反映在其构成线段的长度较长, 斜率较大。基于此, 只要我们恰当选择斜率阈值, 只允许那些斜率大于该阈值的线段作为网络输入数据, 这样就不必让每条线段的数据都输入网络, 从而减少处理时间, 满足实时需要。

3　实验结果

我们用上述方法对 MIT/BIH 心电信号库中噪声较大的 T108 文件所示病例进行了 QRS 波检测。其中共有 1 763 个 QRS 波, QRS 波有 5 种形态, 各种形态的波的分布比例如表 1 所示。我们选择其中 40 个 QRS 波作为训练样本集, 总体 1 763 个 QRS 波作为考试集, 样本集的构成情况如表 2 所示, 其检测见表 3。作为比较, 我们又用基于神经网络白化匹配滤波器的 QRS 波检测方法[3] 对该病例进行了检测处理, 见表 4。

表 1　总体中各种 QRS 波分布情况

Tab 1　Distribution of all kinds of QRS waves

Normal	PVC	FUS	APC	NEMC
1 740	16	2	4	1

表 2　训练集中 QRS 波分布情况

Tab 2　Distribution of the QRS waves in training set

Normal	PVC	FUS	APC	NEMC
35	2	1	1	1

表 3　本实验检测结果

Tab 3　Results of detection using our method

Total of QRS waves	False positive	False neglected	Error	Rate of error
1 763	18	2	20	1.13%

表 4　用基于神经网络白化匹配滤波器检测结果

Tab 4　Results of detection using an adaptive matched filtering algorithm based on ANN

Total of QRS waves	False positive	False neglected	Error	Rate of error
1763	38	25	63	3.57%

由表 2 可知: 训练样本集具有很好的代表性, 因为它包括了总体中各个形态的个体。由表 3 与表 4 的对比可以看出: 用本研究所提出的方法进行 QRS 波检测, 其结果是虚报数与漏报数明显减少, 检测正确率有较大的提高。从实验中我们发现: 虚报主要是由噪声引起的, 表 3 中 18 个虚报 QRS 波全为高频噪声, 这是因为高频噪声其构成线段与 R 波的构成线段相似, 这个问题可以通过增加识别 R 波的特征参数来获得解决, 将另文讨论。

4　结论

文献[1~3] 用神经网络来检测 QRS 波时, 必须对所有数据进行处理, 网络的输入神经元数量大, 这势必造成神经网络结构复杂, 运算量非常大; 而本研究所采用的神经网络的输入神经元只有四个, 网络结构简单, 并且只需对部分数据进行处理(只要线段的斜率阈值选择适当), 因而运算量小。实验表明: 该方法检测正确率高, 具有很好的应用前景。

参考文献:

[1] 易　东, 李辉智, 曾　理, 等. 动态心电信号数据/压缩的神经网络特征算法[J]. 第三军医大学学报, 1997, 19(2): 156－158.

[2] Xue Q Z, Hu Y H, Tompkins W J. Neural-network-based adaptive matched filtering for QRS detection[J]. IEEE Trans on Biomed Eng, 1992; 39(4), 317－329.

[3] 于学鸿, 许小汉. 基于神经网络的波形检测方法[J]. 生物医学工程学杂志, 2000, 17(1): 59－62.

[4] Gang L, Jing F, Ling L, *et al*. Fast realization of the LADT ECG data compression method[J]. IEEE Eng Med Biol Mag, 1994, 13(2): 255: 258.

（编辑　谢义霞）

（上接 1364 页）

对称关节炎, 包括多个指关节, 类似于亚急性通风, 由于近末端指关节及屈肌鞘受累, 手指远端关节疼痛并变形, 手指甲呈“顶尖样”改变, 无发热, 乏力, 体质量减轻或关节僵硬等全身症状, 目前无皮疹发生。而 PA 的诊断要点是银屑病损害(包括以往有银屑病病史)。经仔细询问患者有 9 个月的银屑病病史, 无银屑病和(或)脊柱关节炎家族史。参考 Moll[5] 的 PA 分类标准: ①至少有一个关节炎并持续 3 个月以上; ②至少有银屑病皮损和(或)一个指(趾)甲上有 20 个以上顶针样凹陷的小坑或甲剥离; ③血清 IgM 型 RF 阴性(滴度< 1∶80)。该患者符合该标准, 临床确诊为 PA, 流式细胞术检测 HLA-B27 与微量淋巴细胞毒实验结果一致, 虽然 PCR 法准确率更高, 特异性更强, 但其费用昂贵且费时, 而流式细胞术简便省时, 可在短时间内完成, 且稳定性和重复性皆好, 实为临床检测 HLA-B27, 辅助早期诊断脊柱关节病的重要方法。

关键词: HLA-B27; 流式细胞术; 关节炎性银屑病
中图法分类号: R446.62　　文献标识码: B

参考文献:

[1] 张江林, 黄　烽, 黄次波, 等. 银屑病关节炎与强知性脊柱炎的对比研究成果[J]. 军医进修学院学报, 2000, 21(1): 67－70.

[2] 张江林, 黄　烽, 刘湘源, 等. 银屑病关节炎临床特点与 HLA-B27 的相关性研究[J]. 中华风湿病学杂志, 1999, 3(2): 87－89.

[3] Khan M A. An overview of clinical spectrum and heterogeneity of spondyloarthropathies[J]. Rheum Dis Clin North Am, 1992, 18(1): 1－10.

[4] Gladman D D, Shuckett R, Russell M L, *et al*. Psoriatic arthritis: an analysis of 220 patients[J]. Q J Med, 1987, 62(2): 127－141.

[5] Moll J M, Wright V. Psoriatic arthritis[J]. Semin Arthritis Rheum, 1973, 3(1): 55－58.

（编辑　王　红）

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net