

在单片机上用模糊逻辑检测室性早搏

合肥中国科学技术大学电子科学与技术系(230026) 江朝晖

合肥安徽振兴科技发展有限公司(230088) 高翠云

摘要: 在基于单片机 8051 的心电监护模块中,用模糊逻辑检测室性早搏,使心电监护模块功能得到扩展。

关键词: 心电监护 模糊逻辑 数字单片机

现代多参数监护仪普遍采用模块化结构,每个模块都是能完成单一功能的独立微处理机系统,多个模块通过串行口接收主控制器命令,送出测量结果。心电监护模块是其中的关键部件,其在单片机控制下拾取心电信号,放大、预处理,并传送给主控模块。

室性早搏(PVC)是一种最常见的心律失常,它的实时、正确检测是心电图自动分析中的一项重要技术。在心电监护的基础上,加入心搏和节律分类功能,便可进行心律失常监护。室性早搏检测一般在高端的心律失常分析模块中进行。目前单片机的功能不断增强,过去主要用作控制器的单片机,在完成原来的任务后,尚剩余不少 CPU 时间和控制功能,完全有可能实现一些过去只能在 PC 机上运行的复杂算法,而且用汇编语言编程提高运行速度。

模糊系统是模糊集合论和模糊逻辑的具体应用,它模拟人脑思维决策的能力,特别适用于数学模型难以精确表示的不确定系统。医学决策系统中的许多信息都是不确定的,例如心电信号中的大量特征信息,适合用模糊推理的方法进行处理。笔者的实验室采用模糊逻辑识别室性早搏^[2],效果较好。

笔者在基于 8051 的心电模块中移植上述算法,实现室性早搏检测。在模糊单片机上进行模糊控制或推理非常方便。在数字单片机上实现,关键是怎样存储表达隶属度函数和模糊规则,以及怎样实现推理。

1 隶属度函数、模糊规则和模糊推理方法

使用 RR 间期、R 波宽度和面积、T 波的面积和峰值这五个形态参数描述一个 QRS 波。室性早搏的典型形态特征表现为 RR 间期较小,R 波宽度大、面积大,T 波宽度大、峰值大^[1]。经过统计和实验确定的隶属度函数如图 1 所示。

图 1 中横轴表示论域,纵轴表示隶属度。每个输入语言变量定义小(S)、中(M)、大(L)、特大(XL)四个语言变量值。隶属度函数为三角形或半梯形。

模糊规则共有 32 条,部分规则如表 1 所示。

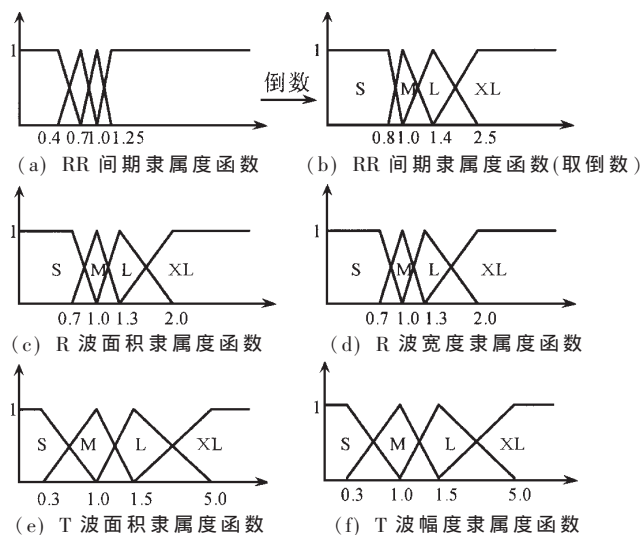


图 1 各参数的隶属度函数

其中 17 条判决“是 PVC”,15 条判决“可能是 PVC”,--表示不考虑该参数的影响。

在数字单片机上实现模糊控制一般采用三种方式:强度转移方式、直接查表方式和公式计算方式。直接查表方式通过事先的离线计算,得到一张模糊控制表,将控制表存放在计算机内存中;控制过程中,根据输入变量查找表中对应的控制量。在一般的控制应用中,这种

表 1 模糊规则

RR 间期	R 波面积	R 波的宽度	T 波面积	T 波峰值	结论
XL	XL	--	--	--	是 PVC
XL	--	XL	--	--	是 PVC
M	L	XL	XL	L	是 PVC
M	L	L	XL	L	是 PVC
...					
L	--	--	XL	--	可能是 PVC
--	XL	XL	XL	L	可能是 PVC
M	--	--	XL	L	可能是 PVC
L	S	M	--	M	可能是 PVC

方法速度最快。但本系统中输入变量较多(5个),模糊控制表维数高,存储、查表均不方便。强度转移方式是按模糊控制的极大-极小法进行推理^[3-4]。每个输入参数映射为多个隶属度,每组输入会激活多条规则,可能对应不同的结果。用取小的原则计算各组合对应规则的输出强度,然后按最大隶属度原则得出对应于各结论的可信度。这样,对于每一个输入,都可得出与各结论相对应的输出强度,称为输出隶属度,取输出强度最大的那个隶属度作为输出。实验结果表明,这种方法对本系统最为合适。

2 强度转移法在单片机 8051 上的实现

2.1 隶属度函数的存放

由于数字单片机只能存储和处理数字信息,且单片机的内存容量有限,如果要对系统输入输出论域的所有隶属函数的连续曲线进行存储,是根本不可能的。对于三角形隶属函数,采用三点法,存储三角形的三个顶点;对于两边的半梯形,也存储腰和顶的三点。隶属度函数存放在 ROM 中,如表 2 所示(仅列出 RR,其余类推)。

表 2 隶属度函数存放示意图

地址	隶属度函数			模糊值	模糊变量
1C00H	0.0	0.8	1.0	S	RR
1C03H	0.8	1.0	1.4	M	
1C06H	1.0	1.4	2.5	L	
1C09H	1.4	2.5	3.0	XL	

2.2 输入模糊化

提取的特征参数是精确值,将它们与隶属函数进行比较组合,求出相应的模糊输入量。隶属度范围为 0~1,在 8 位机上可表示为 00H~FFH。对本系统而言,每个精确输入值最多只对应两个模糊输入量大于零,其余的模糊输入量则为零。例如:假设 RR=1.1,从表 2 可知它落在中(M)和大(L)两个区间上,因此对于中(M)和大(L)的隶属度为:

$$\mu_m(1.1)=(1.4-1.1)/(1.4-1.0)\times FFH=BFH$$

$$\mu_l(1.1)=(1.1-1.0)/(1.4-1.0)\times FFH=3FH$$

在 RAM 中开辟一块区域,存放各模糊输入量,如表 3 所示。

表 3 模糊输入量存放示意图

地址	隶属度	模糊值	模糊变量
D0H	00H	S	RR
D1H	BFH	M	
D2H	3FH	L	
D3H	00H	XL	

2.3 模糊规则的存放

模糊规则表示为:IF A and B and C and D and E THEN Y(or Z)

其中“IF”后紧接着的词称前件,“THEN”后面的词

称后件。首先将输入的模糊值 S、M、L、XL 分别与数字 0、1、2、3 相对应,即:

$$RR、RA、RW、TA、TH:S=0,M=1,L=2,XL=3$$

每条规则用三字节表示。第一字节高四位表示第一前件的模糊值,低四位表示第二前件的模糊值;第二字节高四位表示第三前件,低四位表示第四前件;第三字节高四位表示第五前件,低四位表示后件。其中,F 表示不考虑该前件,A 表示“是 PVC”,B 表示“可能是 PVC”。以第一条规则(存放在 ROM 中)为例,如表 4。

表 4 模糊规则存放示意图

地址	数据	意义
1D00H	33H	第一条规则第一前件,第二前件
1D01H	FFH	第一条规则第三、第四前件不考虑
1D02H	FAH	第一条规则第五前件不考虑,后件为“是”

2.4 模糊推理和输出

对于一组模糊输入,遍历每一条模糊规则。取第一条规则第一前件(3H)作为地址偏移量,加上模糊输入 RR 在 RAM 中存放的首地址(40H),则可从 RAM 内 RR 存放区域中查找出 XL 的隶属度 A₁;取第一条规则第二前件(3H)作为地址偏移量,加上模糊输入 RA 在 RAM 中存放的首地址(44H),则可从 RAM 内 RA 存放区域中查找出 XL 的隶属度 B₁;依此类推得隶属度 C₁、D₁、E₁。根据强度转移法,取 A₁、B₁、C₁、D₁、E₁ 中最小值作为该规则后件所取的语言变量“是 PVC”的隶属度 Y₁。当所有规则都遍历后得到:“是 PVC”的隶属度 Y₁ Y₂~Y_m,“可能是 PVC”的隶属度 Z₁ Z₂~Z_n。取 Y₁ Y₂~Y_m 的最大值作为“是 PVC”的隶属度 Y,取 Z₁ Z₂~Z_n 的最大值作为“可能是 PVC”的隶属度 Z。如果 Y<7FH 且 Z<7FH,则输出“正常”;如果 Y>Z,输出“是 PVC”;如果 Z>Y,输出“可能是 PVC”。

本文讨论了在数字单片机中进行模糊推理的方法,实现在心电监护模块中用模糊逻辑检测室性早博,使心电监护模块功能得到扩展。室性早博检测结果和心电波形数据一起传给上位机,进行心律失常的进一步分析。

参考文献

- 1 卢喜烈. 现代心电图诊断大全.北京:科学技术文献出版社,1996
- 2 孙景群.基于模糊逻辑和神经网络的 PVC 自动检测系统设计.合肥:中国科学技术大学硕士论文,1998
- 3 余永权,曾碧.单片机模糊逻辑控制.北京:北京航空航天大学出版社,1995
- 4 窦振中.模糊逻辑控制技术及其应用.北京:北京航空航天大学出版社,1995

(收稿日期:2003-01-17)