

# 对超声 DOPPLER 声谱图进行分类决策的两种方法

吴晓峰\* 汪源源 王威琪 余建国

(复旦大学电子工程系 上海 200433)

1994 年 12 月 5 日收到

**摘要** 本文介绍了两种对超声多普勒血流声谱图进行波形自动分类决策的方法。方法一,与统计得到的标准波形组对比,按适当判据进行自动分类;方法二,送入经训练的人工神经网络进行自动分类。待分类波形由计算多普勒信号的最大频率提取声谱包络并经分段、平均和归一化等处理得到。文中给出了计算机模拟的结果。

**关键词** 超声多普勒,声谱包络,分类决策,人工神经网络

## Two methods of automatic classification and decision for Doppler sonogram

Wu Xiaofeng, Wang Yuanyuan, Wang Weiqi, Yu Jianguo

(*Electronic Engineering Department Fudan University, Shanghai 200433*)

**Abstract** Two methods for automatic classification and decision of Doppler waveforms for flow sonography analysis system are described. The envelope of the flow sonogram is obtained by estimating the maximum frequency of Doppler signal, from which we can draw out the curve to be classified. Classification is carried out by comparing with the standard waveform group in the first method and by the use of the error back-propagation type neural network in the second method. One can then make some diagnosis decision. Result of a computer simulation is given.

**Key words** Doppler ultrasound, Envelope of flow sonogram, Classification and decision, Neural network

### 1 引言

超声多普勒血流声谱技术中所计算的一些参数,与血流状况存在一定的联系,这些参数在一定程度上可以表征血流的状况,因此可以作为临床疾病的诊断依据。但是声谱图所包含的血流信息,不只反映在目前的声谱参数上,

还体现在声谱图包络的形状上,目前已有临床资料表明通过波形的分类决策可以获得新的信息,具有一定的临床应用价值<sup>[1]</sup>。因此,我们在自己研制的彩色编码血流声谱系统<sup>[2,3]</sup>中实现了波形的自动分类决策,以进一步提高仪器

\* 1993 级硕士研究生

的性能及临床诊断价值。本文论述了进行波形对比自动分类决策和采用人工神经网络实现波形自动分类决策的两种方法。

## 2 基本原理和方法

早期的波形识别方法是一种主观的波形直

视分类判别。就测量胎儿脐带动脉血流获得声谱图的包络而言(即多普勒信号的最大频率曲线,它也对应于血流的 $\text{PI}$ 值正常( $\text{PI} =$

① 正常:波形在整个心动周期中全部反映为正向血流,并且脉动指数 $\text{PI}$ 值正常( $\text{PI} =$

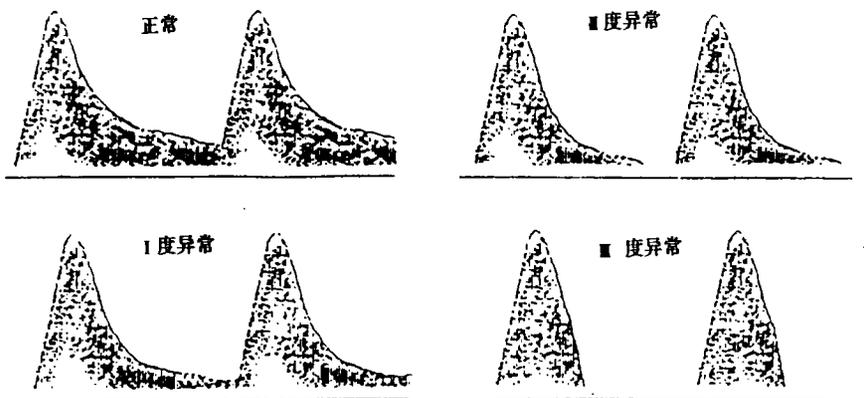


图1 声谱图包络波形的简易分类法

( $S-D$ )/ $Mean$ ,  $S$  是波形收缩期最大值,  $D$  是波形舒张末期值,  $Mean$  是波形一个心动周期的时间平均值);

② I 度异常:波形在整个心动周期均反映为正向血流,但是  $\text{PI}$  值异常;

③ II 度异常:舒张期时出现最大血流速度为零的情况(此时的血流速度太小,不能为多普勒血流仪器所检测);

④ III 度异常:舒张期大部分时间血流速度为零或出现反向的血流。

这种波形的分类和识别方法可以简单地通过视觉来判断,它对临床诊断具有一定的意义。但这毕竟是一种简单粗糙的模式识别法。

为了对血流速度波形作深入一步的分析,尽可能提高分类的客观性,我们在彩色编码血流声谱仪中实现了血流声谱包络波形自动分类决策的两种方法。

① 方法一:基于统计基础的波形对比自动分类决策,其基本原理如下:

a. 根据大量临床病例的统计,建立标准的

波形组。波形组由一个心动周期的正常波形和各种不同程度病变波形组成,以此作为波形分类决策的基础。

b. 提取血流声谱图的包络,经过预处理(包括周期平均和数据归一化处理)产生一个心动周期的待分类波形。

c. 将待分类决策的波形与标准波形组比较,根据一定的判据,例如取均方差最小,进行波形的分类决策。

这种自动分类决策比早期的波形分类有很大的提高。一方面,它在分类的种类上进行了细化,这样对病情的估计更为准确;另一方面,它给出了定量的标准,减少了人为误差和主观因素的影响。但它也存在着不足。如果我们把所有的病例看成一个完整的多维样本空间,那么不同类型的波形就对应着不同的样本子空间,根据上述自动分类法,标准波形对应各子空间的核心,因此标准波形的位置直接影响子空间的位置和形状,当病例样本不够充足或统计特性存在偏差时,就会直接影响分类子

空间的正确划分；其次，这种半定量分类法对样本子空间的形状划分比较粗糙和机械，与真实的子空间形状存在较大的出入，这也会直接影响分类的准确性。

为了使波形自动分类决策具有更好的容差性和准确性，我们进一步研究了使用人工神经网络(ANN)的方法进行智能型分类决策。

### ② 方法二：神经网络的基本原理和算法

人工神经网络是通过模仿生物神经网络的机理建立起一种系统模型来模仿部分人脑的功能。它是一种非线性模型，用于实现一种从输入空间到输出空间的非线性映照。这种非线性特性使得它具有了解决一些传统线性方法较难解决问题的能力，显示出其特有的优越性。

在自动分类决策中我们采用反向传输型前馈网络，又称BP网络，它是目前较为广泛使用的一种神经网络<sup>[4]</sup>。

神经网络波形自动分类决策方法的基本步骤为：

① 根据已有的临床病例，对应不同程度各优选出几个典型的波形样本，对选定的神经网络进行训练，得到分类网络作为波形分类决策的基础。

② 自动提取血流声谱图的包络。首先检测血流速度，例如胎儿的脐动脉血流，得到一

幅血流声谱图，然后自动提取这幅声谱图的包络。

③ 产生一个心动周期待分类决策的波形。方法同前。

④ 将待分类波形送入分类网络，由网络输出分类决策的结果。

## 3 脐动脉血流分类决策的计算机模拟

根据临床资料，我们首先选取了10类脐动脉的血流标准波形样本，以此对应于胎儿的发育情况，如图2所示。其中类型A的波形对应于胎儿的正常发育，随着类型号的增大，胎儿生长迟缓的情况越来越严重。这样，就为脐血流波形的分类决策提供了标准。同时，我们选择三层BP网络作为波形分类决策网络，并用所选的标准样本对其进行了训练，训练后的网络所决策出来的类型就成为诊断胎儿是否存在生长迟缓情况及生长迟缓程度的依据。

要对波形分类决策，首先要提取声谱图的包络。因此声谱图包络的准确提取是一个关键。目前，一些医学图象处理仪配备有“跟踪球”、光笔或数字化仪，由人工干预的方式来描绘声谱图包络。但由于操作者的技术、经验和标准各不相同，这种方法费时，重复性差，不利于正确的诊断。此外，灰阶或彩色编码的

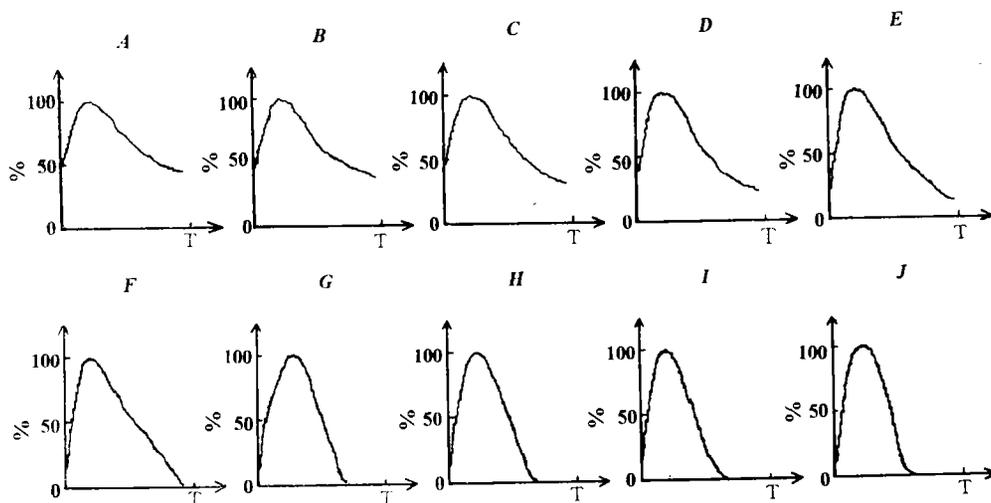


图2 标准波形组

声谱图本身是两维图象，因此也有人尝试用两维图象边缘提取的方法来获取声谱图包络。但是这种方法计算量较大。我们认为：超声多普勒血流信号的声谱图既是两维图象，又是一种特殊的两维图象，这就是声谱图的包络是信号的最大频率曲线。因此若获得多普勒信号的最大频率曲线，把它叠加在原来的声谱图上，就可将包络突出出来。而多普勒血流信号最大频率的估计，可用数字方法实现。在获得信号的功率谱密度以后，我们就用数字方法直接估计信号的最大频率，从而达到提取声谱图包络的目的，这种方法的计算量较小<sup>[5,6]</sup>。这里，我们选用百分比法<sup>[6]</sup>来实现多普勒血流信号最大频率的数字估计。

自动提取声谱图包络后，再对它进行预处理：在声谱包络上选取约 10 个心动周期的波形，利用算法确定每个心动周期的起始点和结束点，接着将每个心动周期的波形作 20 等分，计算出每一等分时间间隔中波形的平均值，然后将每个心动周期的 20 个均值对其中的最大值进行归一化处理。最后将这 10 个心动周期左右的归一化波形按相应时间段进行平均，最终得到待分类决策的波形  $c(i)$ ,  $i=1, 2, \dots, 20$ 。

方法一：将待分类决策波形  $c(i)$  与标准波形组中的各个波形  $d_j(i)$  进行比较，得出与之匹配的波形的  $j$  值，判据如下：

$$e_j = \exp \left\{ - \sum_{i=1}^{20} [c(i) - d_j(i)]^2 \right\}$$

$$j = 1, 2, \dots, 10$$

选取  $e_j$  为最大的  $j$  值作为最终的波形类型号  $j$ 。

方法二：将待分类决策的波形  $c(i)$  送入分类决策网络的输入端进行自动分类决策，在网络的输出端就可得到最终的波形类型号  $j$ 。

获得血流波形类型后，进一步与胎儿的生长情况相对照，判断胎儿是否存在生长迟缓及生长迟缓的程度，从而为临床医学诊断胎儿是否正常发育提供了便利。

模拟软件框图如图 3 所示。

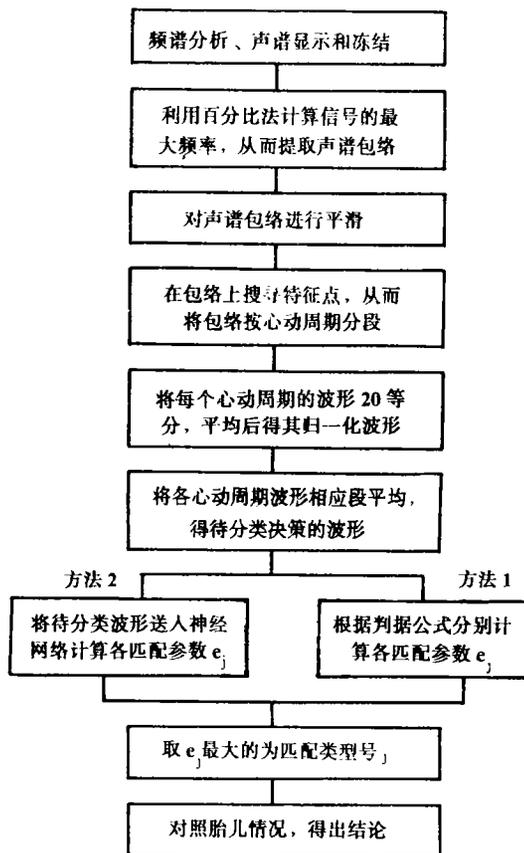


图 3 系统的软件框图

#### 4 计算机模拟结果

我们用计算机对一些样本进行了模拟测试，部分结果如图 4 所示。

图中第一列曲线为待分类样本，第二列为对应的标准波形，第三列为采用基于统计理论的对比自动分类法的输出结果，最后一列为采用 BP 神经网络进行自动分类决策的结果(网络选用 20 个输入单元，12 个隐单元，10 个输出单元)。显然，本文所介绍的两种方法都可以进行分类决策，即在图 4 中第三、四列都可找到极大值。但是和周围的数值相比，第四列的极值更为明显，即神经网络法(方法二)比标准波形对比法(方法一)分类决策的效果更佳。我们准备将这套系统在医院进行临床试用，期望取得预期的效果。

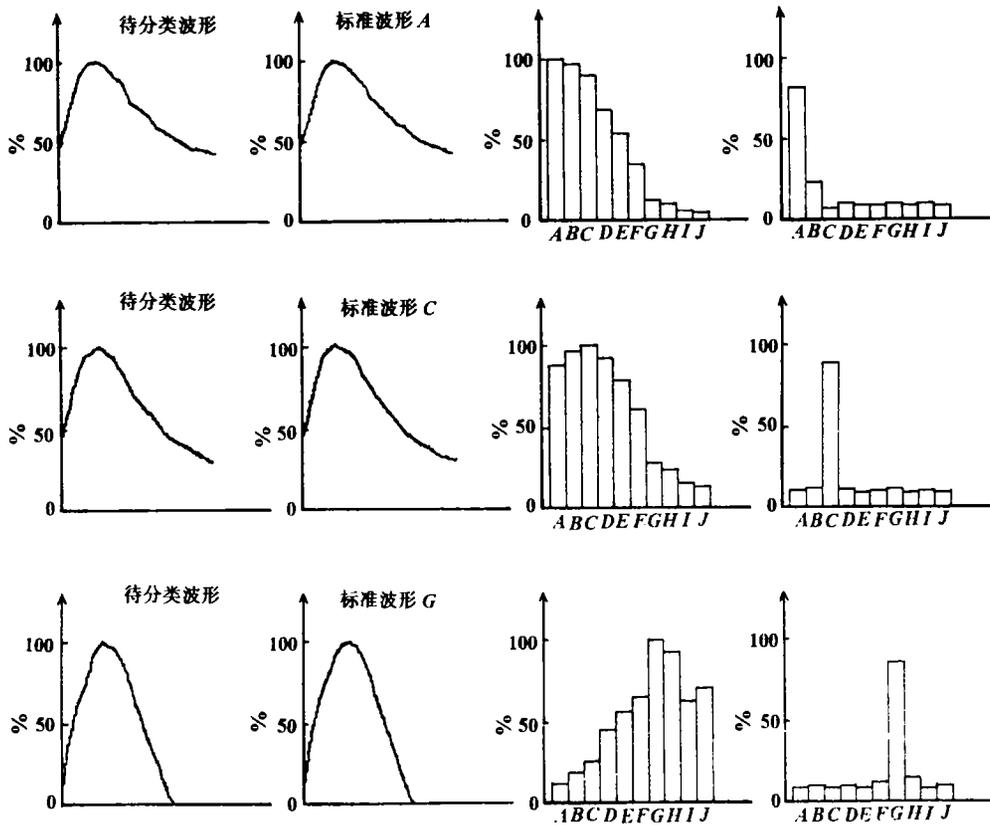


图4 计算机模拟结果

### 参 考 文 献

- [1] P. Malcus, J. Andersson, K. Marsal et al, *Ultrasound in Med. & Biol.*, 1991, 17(5): 453-460.
- [2] 余建国, 汪源源, 邵谦明, 王威琪. 复旦学报(自然科学版), 1993, 32(5): 273-279.
- [3] 汪源源, 余建国, 邵谦明, 王威琪. 上海生物医学工程, 1993, (2): 13-16.
- [4] 张立明著. 人工神经网络的模型及其应用, 第一版. 上海: 复旦大学出版社, 1993. 32-47.
- [5] 汪源源, 吴晓峰, 王威琪. 复旦学报(自然科学版), 1993, 32(4): 183-188.
- [6] 汪源源, 王威琪. 声学技术, 1993, 12(2): 14-18.

### 会议消息二则

1. 由中国声学学会主办, 哈尔滨工程大学、中国声学学会青年工作委员会联合承办的“中国声学学会第二届青年学术会议”, 定于1997年1月在哈尔滨市召开。会议秘书处联系人: 北京, 中关村路17号, 中国声学学会办公室, 100080, 罗燕。

2. 四川省声学学会与西安声学学会联合发起, 定应用声学

于1996年9月22-29日, 在四川乐山或南坪召开“'96中国西部地区声学学术会议”。会议联系人: 成都市(外南)810信箱四川省声学学会办公室, 610041, 郭丽华、张知易。

(本刊讯)