

一种信号检测模糊技术及其应用*

钟翕如 周良柱 皇甫堪 万建伟

(国防科技大学电子技术系 长沙 410073)

摘 要 本文基于模糊理论, 建立一种信号检测的模糊模型, 并实际运用于连续波多普勒测速雷达目标速度的提取, 取得了满意的结果。

关键词 信号检测, 模糊, 速度搜索

分类号 TN911.23

A Fuzzy Method in Signal-Detected and Its Application

Zhong Xiru, Zhou Liangzhu, Huang FuKan, Wan Jianwei

(Department of Electronic Technology, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract This paper introduces a fuzzy model of signal-detected based on fuzzy theory. The model is applied to velocity search of CW Doppler Radar, and the result achieved is satisfactory.

Key words signal-detected, fuzzy, velocity search

在通信、雷达等各种电子系统中, 信息处理占有特殊重要的地位, 从物理观测结果中恢复或获得信息, 是这类处理的首要目的。由于噪声和各种干扰的存在, 使得处理过程很复杂。统计处理方法也存在着不足。拿雷达目标检测来说, 有时用机器(按统计信息处理理论设计而成的)自动检测目标的效果往往赶不上熟练的雷达操作员在雷达荧光屏凭经验检测目标的效果。尤其在目标背景比较复杂的情况下, 更是如此。大量事实表明, 许多事物过分地追求精确反倒更模糊, 而适当地模糊却可以达到精确的目的。要使计算机具备人脑在识别信号时具有这种先验性的特点, 模糊数学方法提供了有效的途径。

1 模糊集及信号检测的模糊模型

1.1 模糊集的基本概念

模糊数学是将二值逻辑 $\{0, 1\}$, 推广至可取 $[0, 1]$ 闭区间上的任意值的、无穷多

* 1996 年 12 月 18 日修订

个值的连续值逻辑。

设给定论域 U , U 到 $[0, 1]$ 闭区间的任一映射

$$\mu_A: U \rightarrow [0, 1]$$

$$u \rightarrow \mu_A(u)$$

都确定 U 的一个模糊子集 A , μ_A 叫 A 的隶属函数, $\mu_A(u)$ 叫做 U 对 A 的隶属度。我们可以用模糊度来定量描述任意模糊子集 A , 而描述模糊度的方法多种多样, 这里用泛函分析中距离概念, 距离中最简单的形式就是海明 (Hamming) 距离。设 A, B 是论域 U 的两个模糊子集, A, B 之间的海明距离定义为:

$$d(A, B) = \sum_{i=1}^n |\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)| \quad (1)$$

这里 U 为有限集, n 为论域中元素的个数。

在实际中常用加权海明距离: 设论域 U 为有限集, 具有 n 个元素, A, B 是 U 上的模糊子集, 且隶属函数分别为 $\mu_A(x), \mu_B(x)$, 则定义 A, B 的加权海明距离 $d_w(A, B)$ 为

$$d_w(A, B) = \sum_{i=1}^n W(i) |\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)|$$

其中 $W(i)$ ($i=1, 2, \dots, n$) 是加于 x_i 上的权数, 满足归一化条件 $\sum_{i=1}^n W(x_i) = 1$, 应根据实际情况来确定。加权海明距离在实际应用中除了要考虑各因数的权数外, 距离的正、负也应考虑:

若 $\mu_A(x) - \mu_B(x) > 0$, 则称 A 对 B 的距离为“正距离”;

若 $\mu_A(x) - \mu_B(x) < 0$, 则称 A 对 B 的距离为“负距离”;

若 $\mu_A(x) - \mu_B(x) = 0$, 则称 A 对 B 的距离为 0。

在考虑了距离的正、负以及各因素的权数后, 如果计算得到 $d_w(A, B) > 0$, 则选中 A , 亦即 A 的模糊度较小。

1.2 信号检测的模糊模型

(1) 根据信号特点, 确定模糊集及其论域。设 A_1, A_2, \dots, A_m 是 M 个模糊子集, 考虑其 n 个特征因素, 即论域 U 为有限集 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 。

(2) 隶属函数的确定。某特征因素隶属于某种特性的程度越高, 则其隶属函数值越接近 1, 否则越接近 0。

(3) 计算海明距离。在实际中, 我们并不需要计算出每两个子集的海明距离。事实上, 在论域内取定一个确定的信号, 即隶属度都为 1 的子集, 通过计算任一模糊子集与该集合的海明距离, 便可以得到一个简洁的表达式:

$$\text{设第 } i \text{ 个模糊子集为: } A_i = \mu_{A_i}(X_1) / X_1 + \mu_{A_i}(X_2) / X_2 + \dots + \mu_{A_i}(X_n) / X_n \quad (2)$$

$$\text{第 } j \text{ 个模糊子集为: } A_j = \mu_{A_j}(X_1) / X_1 + \mu_{A_j}(X_2) / X_2 + \dots + \mu_{A_j}(X_n) / X_n$$

$$d_w(A_i, A_j) = \sum_{k=1}^n W(k) (\mu_{A_i}(x_k) - \mu_{A_j}(x_k)) \quad (3)$$

若 A_i 是信号, 则 $\mu_{A_i}(x_1) = 1.0, \mu_{A_i}(x_2) = 1.0, \dots, \mu_{A_i}(x_n) = 1.0$ 。将其代入

$$(3) \text{ 式中得到: } d_w(A_i, A_j) = 1 - \sum_{k=1}^n W(k) \mu_{A_j}(x_k)。$$

令 $D(j) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n W(k) \mu_{A_j}(x_k)$, 则 $d_w(A_i, A_j) = 1 - D(j)$ 。此式表明: 若 $D(j)$ 越接近于 1, 则第 j 个子集越象“信号”。因此, 找最象信号的过程就转化为求最大的 $D(j)$ ($j = 1, \dots, n$) 的过程。不妨设 $D(j_0) = \max_{1 \leq j \leq n} D(j)$ 。

(4) 判决准则。给定一阈值 D_0 后, 就可以判决 (3) 中所选的“信号”的子集是否为信号。方法是: 若 $D(j_0) \geq D_0$, 则第 j_0 个子集被选取; 否则, 被视为噪声而舍弃。

2 模糊模型在多普勒速度测量中的应用

2.1 多普勒测速雷达中的速度检测

频谱中的速度 (多普勒频率) 搜索 在利用频域测速技术进行多普勒速度测量时, 对连续多普勒信号进行采样, 获得数字多普勒信号, 再对采样后的信号按时间分段进行 FFT 运算并计算其频谱。当信号中包含有某一频率分量时, 在其频谱的相应频率位置上就会有与其幅度相对应的值 (图 1 表示了某型号炮弹的频谱图, 亦即瀑布图)。速度搜索就是从 FFT 谱分析给出的瀑布图中, 得到目标在各个测量时间的速度值。在理想情况下, 该频谱中仅在目标频率处形成一个峰, 其余地方应为零。但实际上, 由于杂波、噪声或天线波束内有多个目标存在的影响, 在一条频谱中会出现多个峰值。因此, 要得到目标某一时刻的速度, 首先必须确定在对应的 FFT 频谱的所有谱线峰值中, 哪一峰值对应于目标多普勒信号, 然后根据其谱线序号确定目标的多普勒频率。

信噪比 一个滤波器的信噪比是指该峰值的能量与周围一定范围内的谱线能量之比。这是因为目标多普勒频率形成的峰值通常有较大的信噪比, 因而可利用它作为判断一个峰值是信号峰值的重要依据。

速度预测 根据已获得的从时刻 t_{n-m} 至 t_n 之间的 m 个速度测量值, 推算出在 t_{n+1} 时刻的速度值, 从而确定搜索 t_{n+1} 时刻的速度范围。这样, 一方面是减少不必要的运算, 另一方面是可减少杂波、噪声等的影响。

2.2 速度搜索中的模糊技术

在速度搜索时, 观察瀑布图, 根据频线的峰值位置变化可直观地看出速度的变化情况 (如图 1)。速度搜索之所以能成为模糊数学应用的对象, 是因为在频谱分析图上, 信号与噪声相混合, 但信号又呈一定的特点, 即一般为较规则的曲线, 且信号在功率较大时, 峰值也较大。由此可以看出, 速度搜索的环境 (频谱图), 可以作为一种模糊环境来看待。频谱图中的某一点是否为信号点, 在噪声较低的背景中, 很容易作出断定。这时表明此点对“信号”这一模糊子集的相似程度较大。反之, 在噪声较强的背景中, 我们就难以作出断定。这时表明, 此点对“信号”这一模糊子集的相似程度较小。

在低噪声背景或滤波器信噪比超过一定范围时, 可以利用找最大峰位置的方法找到高精度的测速数据, 以满足飞行器定型的要求。但是, 靶场的大量的试验任务是要尽可能多地提供弹道测试数据, 即使在滤波器输出信噪比较低的情况下, 也可以用来进一步地分析弹道, 改善天线的跟踪效果。

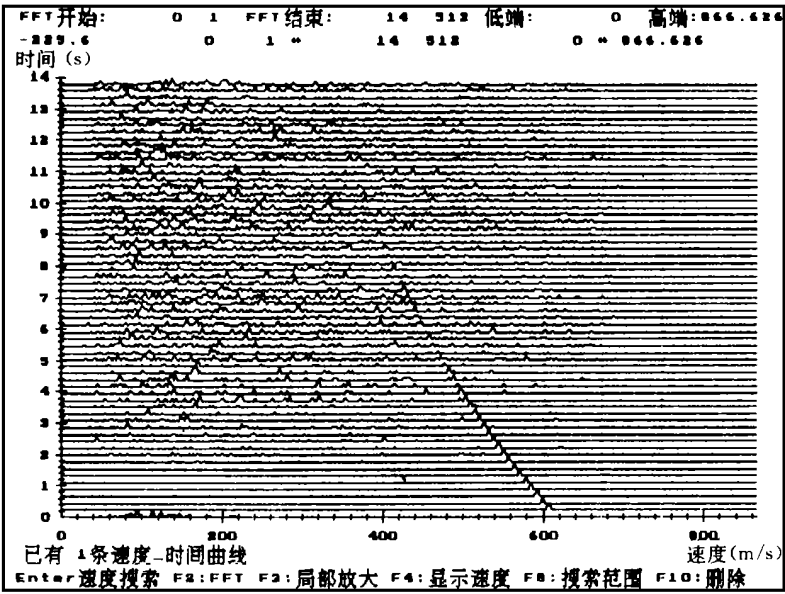


图 1 某型号炮弹的频谱图

运用上面所建立的模糊模型，便有：

(1) 根据测速雷达目标回波信号的特点，我们用三个特征因素来刻画模糊子集：考虑论域 U ：{信噪比，峰值幅度，预测点距离}，将其简记为 U ：{SNR, Pin, Dist}。并且将三因素归一化：

$$SNR = (\text{信噪比} - \text{信噪比最小值}) / (\text{信噪比门限} - \text{信噪比最小值});$$

$$Pin = \text{峰值} / \text{最大幅度值};$$

$$Dist = (\text{位置} - \text{预测点位置}) / \text{最大距离};$$

其中最大距离为搜索起始点与结束点到预测点距离的最大者；这样 SNR, Pin, Dist 都属于 $[0, 1]$ 。三者所表示的意义分别为：在搜索范围内，某滤波器的输出信噪比越靠近信噪比门限值，则 SNR 越接近于 1，反之则越接近于 0；某频谱峰值幅度越接近最大幅度值，则 Pin 越接近于 1，反之则越接近于 0；某频谱位置离预测点距离越近，则 Dist 越接近于 0，反之则越接近于 1。

(2) 确定隶属函数为：

$$\mu(SNR) = f_0(SNR, 0.8, 1)$$

$$\mu(Pin) = f_0(Pin, 0.8, 1)$$

$$\mu(Dist) = f_1(Dist, 0, 0.15)$$

$$\text{这里 } f_0(x, a, b) = \begin{cases} 0; & 0 \leq x \leq a \\ 1/2 + 1/2 \sin(\pi((b-a) \times (x - (a+b)/2))) & a \leq x \leq b \\ 1; & x > b \end{cases}$$

$$f_1(x, a, b) = e^{-((x-a)/b)^2}$$

给出隶属函数，就是在搜索范围内，对于谱线上某一滤波器的输出，分别考虑其输

出信噪比、频谱幅度以及离预测点的距离三个因素在多大程度上象“信号”。可以用一个三维图(如图2所示)来形象地表示。图中(0, 0, 0)点显然不是信号点, 而(1, 1, 1)表示的点则是信号点。上面所给出的隶属函数的值就落在这个立方体之中。

(3) 由于在信噪比较低时, 三个因素是不能同等看待的, 在分配权值时取: $W_{SNR} = 0.3 = W_{P_{in}}$; $W_{Dist} = 0.4$ 。这是因为此时信号相对于噪声来说较弱, 应该加大与预测点距离这一因素的权重。

(4) 设在搜索范围里有 M 个峰值, 即有 M 个模糊子集, 按照加权海明距离的方法找出最象“信号”的峰值。

(5) 给定一阈值(如 $D_0 = 0.6$)后, 就可对(4)中 $D(j_0)$ 进行分类; 若 $D(j_0) \geq D_0$, 则判定搜索范围内的第 j_0 个峰值为信号, 否则被视为噪声。

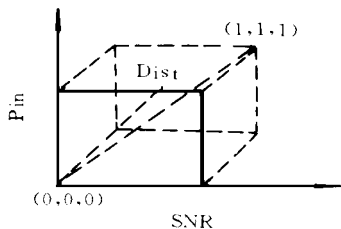


图2 模糊信号的表示

新的速度搜索算法是: (1) 系统设定了信噪比门限: 缺省值为 10dB。(2) 在进行速度搜索时, 首先检查搜索范围内的最大峰值信噪比。若大于门限, 即找最大峰位置; 若小于门限时, 即采用模糊搜索方法。在每一个速度搜索范围内重复步骤(1) ~ (5)。

2.3 算法结果分析

原来采用的方法, 尽管考虑了与预测点距离等因素, 主要地还是依据信噪比的大小, 利用“硬”逻辑判断的方法。这样, 在每个搜索范围内, 都要找到一个点。结果是曲线的趋势不合理, 可能出现乱拐的现象; 在输出信噪比越来越低时, 速度曲线上的点的散

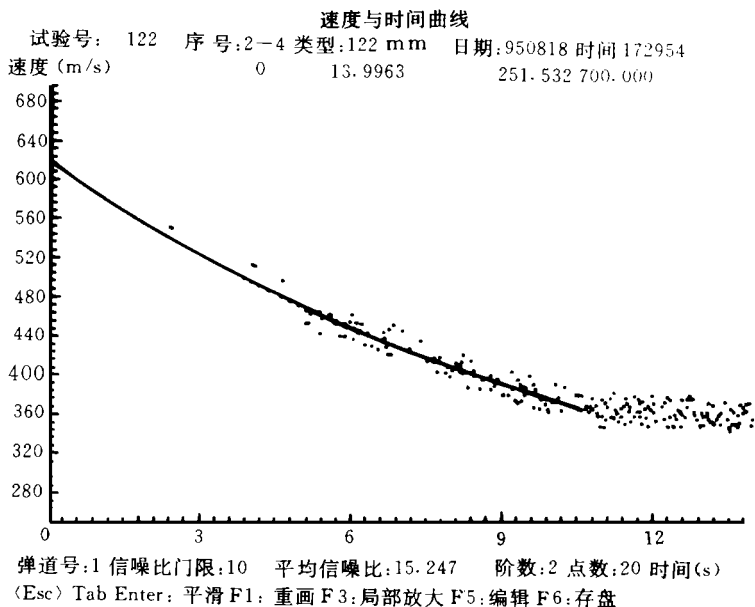


图3 用找最大峰位置实现的速度搜索曲线图

速度与时间曲线

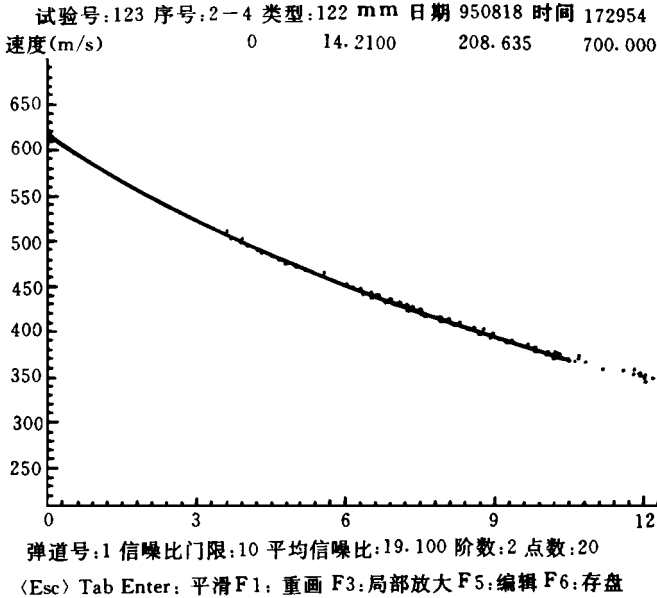


图 4 用模糊方法实现的速度搜索曲线图

布程度越大(如图 3)。而模糊搜索方法在滤波器信噪比较低时,有些点没有被选上,且选上的点趋势较好(如图 4)。这与实际情况基本相符,因而得到了较为理想的结果。

3 结束语

对于一类具有一定特点的信号与信息处理问题,采用上述提出的模糊模型是较为有效的途径,从上面的实例也可以看出:这类模型具有计算简单,结果合理的特性。

参 考 文 献

- 1 贺仲雄. 模糊数学及其应用. 天津:天津科学技术出版社, 1983
- 2 郭桂蓉, 庄钊文. 信息处理中的模糊技术. 长沙:国防科技大学出版社, 1993
- 3 吴望名等. 应用模糊集方法. 北京:北京师范大学出版社, 1990
- 4 钟翕如. KD310 测速雷达系统软件设计及算法研究: [硕士论文]. 国防科技大学, 1996
- 5 洪文学等. 模糊逻辑在测量中的应用与展望. 电子科技导报, 1996

(责任编辑 潘 生)