

青岛海雾的自适应神经模糊推理系统建模

江海英, 张 韧, 刘科峰

(解放军理工大学 气象学院海洋气象教研室, 江苏 南京 211101)

摘要: 基于自适应神经模糊推理系统 (ANFIS), 通过对历史观测资料的训练和规则提取, 建立了青岛海雾 (能见度) 与该站及其上游测站的风向、风速、湿度等要素的逻辑映射关系和模糊推理模型, 进而能够较为客观、定量地描述和诊断青岛海雾的发生发展, 对改进和提高青岛海雾预报有一定的参考应用意义。

关键词: 海雾 模糊推理 自适应神经模糊推理系统 (ANFIS)

中图分类号: P732.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2005)02-0026-06

青岛面临黄海, 年平均近 50 d 海雾。3 月~7 月是青岛海雾的盛季, 约占全年雾日的 80%, 尤以 5、6、7 月份最多, 8 月以后急剧减少, 秋、冬季节海雾很少出现。海雾发生发展快、维持时间长, 所带来的恶劣能见度天气严重影响和制约航空和海上交通安全, 给国民经济和国防建设带来很大的危害和隐患。目前海雾生、消的物理机制尚未彻底弄清, 要建立海雾准确的动力学预报模型仍有相当难度。自适应神经模糊系统 (ANFIS) 具有高度的非线性、容错性、自适应性和联想学习功能。因此, 作者采用模糊推理建模方法, 通过目标训练和误差修正, 从历史观测数据中提取和挖掘青岛海雾的诊断预报模型。

1 资料与方法

1.1 模糊推理及 ANFIS 模型简介

模糊系统的核心是对复杂系统或过程建立一种语言分析的数学模式, 将专家经验或实践认识从自然描述语言转化为用模糊规则和模糊集合表示的定量的计算机算法和控制系统。模糊系统重要的 Takagi-Sugeno 模型^[1] 主要是由模糊规则、模糊逻辑推理和非模糊化等几部分组成。其规则的形式为 IF x is A and y is B , then $h = f(x, y) = px + qy + r$, 其中 x, y 是输入变量, 而 A 和 B 是隶属函数映射值, p, q, r 为模糊推理结论参数, h 为输出结果。进行模糊映射推理的模糊逻辑推理器基本结构主要包括 5 个部分^[2]: (1) 由许多的“IF... THEN...”形式的模糊规则; (2) 定义隶属函数

的形式与范围; (3) 执行模糊规则的推理单元; (4) 将输入转换为对应隶属函数的模糊语言值; (5) 将模糊计算和推理结果非模糊化为常规形式。应用神经网络于模糊推理中, 主要是解决常规模糊推理系统中存在的 2 个问题: 规则集的生成以及隶属函数参数的调整。对于复杂问题, 依靠人的判断和经验难以生成规则集。神经网络的自适应和自学习能力, 使得模糊规则由人定义转为由系统的学习产生, 扩展了模糊推理系统的应用空间。为简单起见, 以两输入单输出系统为例说明, 共设有 2 条规则, 其所描述的模糊神经网络结构如图 1。

图 1 中, 方形节点具有参变量, 圆形节点为不带参变量的固定节点, 由于存在可调参数, 整个网络称为自适应神经网络。第 1 层输入变量模糊化, 计算给定各输入变量的隶属度; 第 2 层取乘积算子完成模糊系统的模糊算子计算, 将隶属度相乘以得到每条规则的激励强度 W_i ; 第 3 层进行模糊系统的规则适用度的比例变换 $\bar{W}_i = W_i / (W_1 + W_2)$, ($i = 1, 2$); 第 4 层计算各规则的输出; 第 5 层解模糊, 根据第 3 层和第 4 层的结果

收稿日期: 2003-04-04; 修回日期: 2003-06-20

基金项目: 教育部骨干教师资助计划 (3149)

作者简介: 江海英 (1975-), 女, 湖北松滋人, 硕士研究生, 助理工程师, 电话: 025-2641678 转 70644, 0429-2736131, E-mail: ycl.jhy@163.com

计算模糊推理系统的总输出

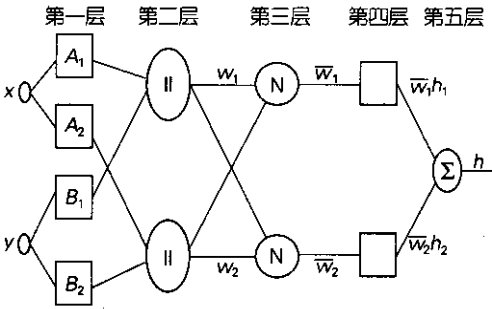


图 1 ANFIS 模糊系统结构
Fig.1 System structure of ANFIS model

1.2 研究资料与 ANFIS 训练建模

采用青岛、上海 1990 年、1991 年 5、6 月实况资料 (主要包括风向、风速、能见度、温度、露点等要素的 02、08、14、20 h 定点观测资料)。这里风向采用 17 位编码量化: 1 N, 2 NNE, 3 NE, 4 ENE, 5 E, 6 ESE, 7 SE, 8 SSE, 9 S, 10 SSW, 11 SW, 12 WSW, 13 W, 14 WNW, 15 NW, 16 NNW, 17 C (静风)。

根据青岛海雾的观测分析和预报经验^[3,4], 青岛海雾既可是暖湿空气平流至本地冷海面凝结所致, 也可是外海形成后随低层流场漂移而来, 青岛海雾 (能见度) 与本站及上游测站的风向、风速、湿度关系密切。故采用青岛站的温度露点差表示本地空气湿度及饱和情况, 用上海站的风向表示上游的暖湿空气输送方向。为使模型具有预报意义, 选用超前 12 h 的青岛风向、风速、温度露点差和上海风向的观测资料数据集作为模糊推理模型的输入因子, 用青岛站的能见度描述海雾的消, 滞后 12 h 的青岛能见度作为模型输出目标。

设 P, T 分别为 ANFIS 模型的输入因子和目标输出, 即:

$$P = [D_{qd}(t), S_{qd}(t), T_{qd}(t) - Td_{qd}(t), D_{sh}(t)],$$

$$T = [V_{qd}(t + 12)]$$

则每一时次的训练数据对为: $[D_{qd}(t), S_{qd}(t), T_{qd}(t) - Td_{qd}(t), D_{sh}(t), V_{qd}(t + 12)]$ 。

式中 $D_{qd}(t), S_{qd}(t), T_{qd}(t) - Td_{qd}(t), D_{sh}(t), V_{qd}(t + 12)$,

分别表示青岛风向 (17 位编码)、风速 (m/s)、温度露点差 (°C) 和上海风向 (17 位编码) 以及滞后 (未来) 12 h 的青岛能见度 (km)。

作者所用 ANFIS 模型采用高斯隶属函数, 通过减法聚类得到初始模糊推理系统, 运用最小二乘和后传梯度下降法相结合的学习算法调配出适当的隶属函数来满足所需模糊推理系统的输入输出关系。系统训练建模采用 Matlab 语言编程, 在 Fuzzy Logic Toolbox 仿真环境中实现。经过所选样本数据序列的输入、输出训练迭代和误差收敛判别, 最后得到满足系统指定参数的非线性模糊映射模型。由于 ANFIS 前提与推理的参数已经解耦, 且为放射性网络, 故其学习效率比普通的神经网络模型高^[5]。

2 结果分析

2.1 模糊映射特征分析

图 2 是所建 1990 年 5~6 月模糊系统中青岛风向、风速、温度露点差和上海风向等输入因子与青岛能见度之间的映射关系。由图 2 中可以看出: (1) 导致能见度较差或利于产生大雾的青岛风速范围约在 5~10 m/s 之间 (A~B), 风速过大或过小能见度均较好, 不利于产生海雾 (图 2a); (2) 青岛风向介于 5~7 之间时 (E-ESE-SE, C~D), 能见度最差, 利于形成海雾; 而盛行其它风 (尤其是偏北风或偏西风) 时, 青岛能见度较好, 不利于出现海雾 (图 2b); (3) 温度露点差反映了大气的湿度情况, 空气越潮湿或趋于饱和, 温度露点差越小, 则能见度越小, 利于出现海雾; 否则, 不利于成雾 (图 2c); (4) 最利于形成青岛低能见度或导致青岛海雾的上游站 (上海) 的风向范围约为 8~10 (SSE-S-SSW, E~F), 上海站出现其它风向 (尤其是盛行偏西风时) 不利于青岛出现低能见度或形成海雾 (图 2d)。其它年份 (如 1991 年) 同期的情况作者也作了仿真建模和模型映射关系分析, 得到了相似的结果 (各因子的影响参数范围略有差异, 图略)。

上述模糊推理模型所揭示出的青岛能见度 (海雾) 与各影响因子之间的时滞相关性和映射特征与观测事实和前人的研究实践基本相符, 表明作者所建立的模糊推理模型在一定程度上较为客观和准确地反映了青岛海雾发生发展的基本特征及其与本地和上游站湿度、流场间的相关关系。此外, 模型还揭示出一些异于前人研究结论的现象: 如通常认为上海站只有盛行东南风才利于青岛成雾, 若出现偏西风时, 一般不利于青岛出现海雾, 但本研究模型揭示出的结果则与此有所不同, 本研究结果表明, 上海站盛行 SSW 风 (与夏季西南季风有关) 是青岛海雾产生的一个重要的有利流场条件。

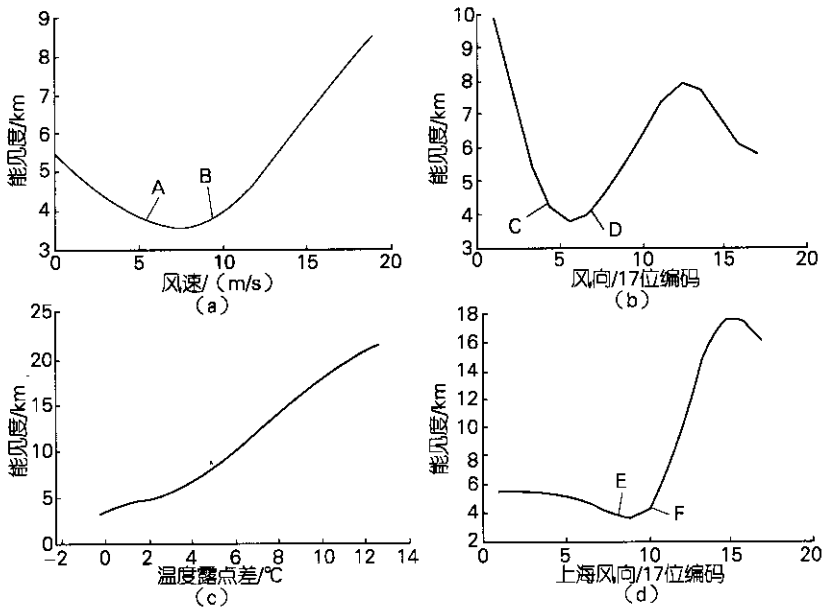


图2 青岛海雾模糊推理模型的一维映射曲线

Fig.2 1-D mapping curve of Qingdao sea fog based on the ANFIS model

通过分析多影响因子与青岛能见度之间的逻辑映射关系可以揭示出各因子对青岛海雾发生发展的贡献及相互之间的制约。青岛风向、风速与青岛能见

度,青岛风速和温度露点差与青岛能见度,青岛风向和上海风向与青岛能见度,青岛风向和温度露点差与青岛能见度之间的二维逻辑映射关系分别如图 3(a、

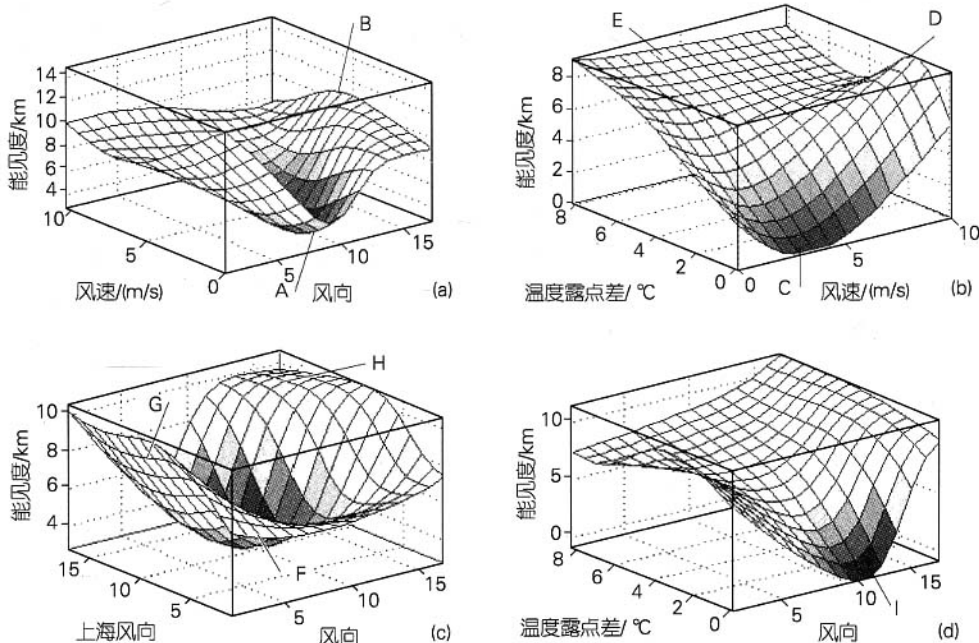


图3 青岛海雾模糊推理模型的二维映射曲面

Fig.3 2-D mapping surface of Qingdao sea fog based on the ANFIS model

b, c, d)。从图 3 中可以看出:(1)当青岛为偏南风,且风速适宜时,利于产生海雾(图 3a 中 A 点),而其它的风向、风速配置情况则不利于出现低能见度或生成海雾(如图 3a 中 B 点等);(2)若青岛风速适宜,且温度露点差较小时,利于出现低能见度或生成海雾(图 3b 中 C 点),若仅有低的温度露点差,没有适宜的风速(图 3b 中 D 点)或只有适宜的风速没有低的温度露点差(图 3b 中 E 点)均不利于低能见度或海雾的产生,湿度和流场条件两者缺一不可;(3)当本站(青岛)及其上游站(上海)的风向均介于偏东-偏南之间时,利于青岛出现低能见度或产生海雾(图 3c 中 F 点),若两者均为偏北风或者偏西风时,则青岛能见度最好,基本上难以出现海雾(图 3c 中 G 点、H 点);(4)青岛风向和温度露点差与能见度之间的逻辑映射特征与图 3b 的讨论相似,即只有适宜的风向辅以较低的温度露点差,方可形成青岛低能见度或海雾的有利环境条件(图 3d 中 I 点)。

2.2 模糊推理模型规则与仿真试验结果

综上所述讨论,作者所建模糊推理模型基本上表

现了青岛海雾发生发展及其与环境湿度、流场因子之间的主要特征规律,因此应用该模型进行青岛海雾的模糊推理诊断预测具有较好的可信度和参考意义。图 4 是所建模糊系统模型的诊断/预测推理结果示意图,图顶显示当 4 个输入变量取适当值(即青岛为南风,上海为南到南东风,风速 4.5 m/s,温度露点差 0.6℃)时,得到输出变量(青岛能见度)为 0.538 km 的推理结果。图中每条规则对应一行,每行的 5 个小矩形框表示该条规则的 4 个前提和 1 个推论;每列对应一个变量(每列末行显示该变量范围);前 4 列小矩形框显示了每条规则的前提部分引用的高斯隶属度函数分布,第 5 列为相应规则的推论输出。矩形框中表示变量的指示线穿过图中的隶属度函数线的位置确定了该条规则活跃的程度,隶属度曲线下的灰色曲面表示了模糊隶属度值;第 5 列中的第 7 行小矩形为各条规则推理的加权平均非模糊化结果,即得到的最后模糊系统输出。

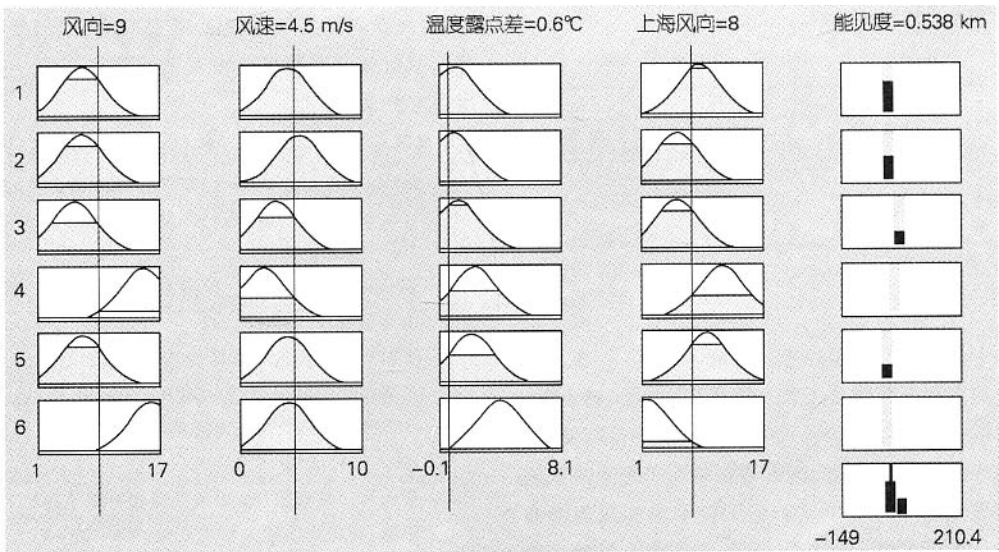


图 4 模糊推理模型规则显示

Fig.4 Demo of the FIS rules

应用该模型,基于 2002 年 6 月部分实况资料所做的一些仿真预测结果如表 1。试验结果进一步量化和充实了对青岛海雾生、消演变特征规律的经验认识。模型仿真预报结果与实况天气的对比统计如表

2。表中无雾(> 4 km)的判别准确率较高,无雾即使误判为轻雾(1~4 km)时,预测值也接近无雾的标准;大雾(≤ 1 km)与轻雾及轻雾与无雾之间不易把握,大雾易被误判为轻雾;有 3 个过程的轻雾因温度露点差很

大(分别为 5.6℃ ,3.7℃ ,5℃)而被误报为无雾(但预测值较为接近轻雾标准)。

上述试验结果表明,作者所建的模糊推理模型尽管在一定程度上能够较好地表征和推理青岛海雾

的基本活动特征,但也存在预报准确率欠佳的问题,这既与模型本身的网络结构和框架设计有关,也与模型预报输入因子的选项偏少和预处理方案有关,这也是作者未来拟重点解决的问题。

表 1 模糊推理模型仿真试验结果

Tab.1 Results based on the ANFIS model

青岛	风速	温度露点	上海	能见度实	预报	青岛	风速	温度露点	上海	能见度	预报
风向	(m/s)	差(℃)	风向	况(km)	(km)	风向	(m/s)	差(℃)	风向	实况(km)	(km)
9	5	8.1	10	无雾	9.38	8	4	7.7	6	无雾	8.08
7	6	2.5	9	无雾	4.6	7	4	0.4	5	轻雾	3.22
17	0	1.2	13	无雾	7.5	8	3	0.5	5	轻雾	3.61
16	2	2.5	16	轻雾	8.25	9	4	1.3	6	大雾	3.71
7	6	2.8	1	无雾	8.48	9	4	2.2	8	轻雾	4.74
8	4	0.3	3	大雾	4.79	16	3	5.6	6	轻雾	9.3
9	5	0.2	5	无雾	3.44	8	5	6.9	4	无雾	6.25
7	4	0.7	7	轻雾	2.89	9	2	2.4	5	轻雾	7.52
8	4	0.3	6	大雾	1.78	7	3	4.6	6	无雾	9.83
8	4	0	7	大雾	0	8	4	3.7	6	轻雾	7.8
8	5	0.8	6	无雾	3.08	8	4	1.6	10	轻雾	3.27
7	3	0.8	7	轻雾	3.88	9	3	1.1	9	轻雾	0.618
1	6	1.9	4	轻雾	0	8	6	1.1	7	轻雾	3.66

表 2 预报与实况频数统计

Tab.2 Frequency of the prediction and observation

实况	预报		
	无雾	轻雾	大雾
无雾	7	2	0
轻雾	5	6	2
大雾	1	2	1

3 小结

基于自适应神经模糊推理系统(ANFIS),利用有限年份的观测资料建立了青岛能见度(海雾)的诊断、预测模糊推理模型。从输入-输出数据序列中发掘、提取出的能见度与湿度、流场等影响因子之间映射规则和推理结论与观测事实和前人揭示的客观规律基本相符且有所发展,从方法和手段上充实和扩展了青岛海雾的研究范畴。由于 ANFIS 模型的非线性、容错

性、自我学习优势及客观化、定量化等特征,使模糊推理模型对青岛海雾发生发展的诊断预测有一定的实用参考意义。

参考文献:

- [1] Takagi T, Sugeon M. Fuzzy identification and its application to modeling and control[J]. *IEEE SMC*, 1985, 15(1): 116-132.
- [2] Kosko B, 黄崇福译. 模糊工程[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1999. 7-11.
- [3] 王彬华. 中国近海海雾持续和消散问题探讨[J]. *山东海洋学院学报*, 1980, 10(2): 20-30.
- [4] 刁学贤. 青岛及近海海雾的统计分析[J]. *海洋预报*, 1992, 9(3): 45-55.
- [5] 李士勇. 模糊控制、神经控制和智能控制论[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 1998. 52-71.

Anfis modeling on Qingdao sea fog

JIANG Hai – ying, ZHANG Ren, LIU Ke – feng

(Institute of Meteorology ,the Chinese People' s Liberation Army University of Sciences and Technology ,Nanjing 211101, China)

Received: Apr., 4 ,2003

Key words: sea fog;fuzzy inference;ANFIS

Abstract : According to the Adaptive Neuro – Fuzzy Inference System(ANFIS) , the authors tested model and set rules for extracting the past observation data. The logical mapping relation and fuzzy inference system between Qingdao visibility and its wind direction/ speed, humidity as well as its upper observation station(Shanghai) wind direction were established. The occurrence and development of Qingdao sea fog could be therefore described and diagnosed more objectively and quantitatively , which may provide clues in the prediction of sea fog in Qingdao.

(本文编辑 :刘珊珊)