

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2013.04.014 [http://www.crter.org]

刘新旭, 苏智剑, 高振奎, 刘延涛, 夏振宏, 刘娜. 一种基于二维云模型理论心电信号ST段的检测方法[J]. 中国组织工程研究, 2013, 17(4):653-657.

一种基于二维云模型理论心电信号ST段的检测方法**

刘新旭¹, 苏智剑¹, 高振奎¹, 刘延涛¹, 夏振宏², 刘娜³

1 郑州大学机械工程学院, 河南省郑州市 450001
2 河南华南医电科技有限公司, 河南省郑州市 450001
3 河南英威东风机械制造有限公司, 河南省郑州市 434700

文章亮点:

1 在传统精确数学概念判定的基础上, 针对采集的心电数据模糊性和随机性较大的特点, 创新性地将集模糊性和随机性为一体-云模型理论应用到ST段检测中, 同时基于云变化和综合云思想实现了心电信号ST段的聚类分析, 并对不同ST形态特征进行了判别, 此方法符合医学诊断逻辑思维。

2 实验虽然也对ST段采样点也进行了二阶导数的相应处理, 但由于本课题所掌握的ST段数据量有限, 二阶导数处理结果差别较小, 以至所得判别效果并不理想。但总体来说, 运用云模型的方法, 仍能作为心脏疾病的一种新型诊断工具, 但还有更多的研究工作有待进一步深入开展。

关键词:

骨关节植入物; 骨与关节图像与影像; 心电信号; ST段; 信号处理; 二维云模型; 聚类分析; CSE数据库; 数字化医学; 其他基金; 骨关节植入物图片文章

摘要

背景: 目前对于异常ST段的形态特征的评价体系, 尚无精确数学化模型分类及识别标准, 这阻碍了对某些心血管疾病进行计算机自动识别程序算法的进展。

目的: 找到一种符合医学诊断逻辑思维的心电信号ST段分析方法, 为心电图ST段变化的实时分析提供新的思路。

方法: 针对采集的心电数据模糊性和随机性较大的特点, 提出了一种基于二维云模型的心电信号ST段的检测方法, 其对二维正态云发生器隶属度进行判断, 并进行心电信号ST段的形态判定。

结果与结论: 利用Matlab对本算法进行仿真, 并通过标准心电数据库(欧共体CSE数据库)中数据进行算法准确性验证, 统计结果表明该算法ST段的识别率较高, 对于大数据量的心电信号处理快捷有效, 为ST段的准确分析提供了新的方法。

刘新旭★, 女, 河南省平顶山市人, 汉族, 2012年郑州大学毕业, 硕士, 主要从事计算机辅助设计和信号处理方面的研究。

通讯作者: 苏智剑, 博士, 教授, 郑州大学机械工程学院, 河南省郑州市450001
szj@zzu.edu.cn

中图分类号:R318
文献标识码:B
文章编号:2095-4344
(2013)04-0653-05

收稿日期: 2012-05-27
修回日期: 2012-07-12
(20120327004/D·C)

Detection of ST segment in electrocardiogram signal based on two-dimensional cloudy model theory

Liu Xin-xu¹, Su Zhi-jian¹, Gao Zhen-kui¹, Liu Yan-tao¹, Xia Zhen-hong², Liu Na³

1 School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, Henan Province, China
2 Huanan Medical Science and Technology Co., Ltd., Zhengzhou 450001, Henan Province, China
3 Yingwei Dongfeng Manufacturing Co., Ltd., Zhengzhou 434700, Henan Province, China

Abstract

BACKGROUND: There is no precise classified mathematical model and identification standard for the morphological characteristics of abnormal ST segment, and therefore, the improvement of automatical recognition will be limited in some cardiovascular diseases diagnoses.

OBJECTIVE: To find a new method meeting the medical diagnosis logical thinking for analyzing the ST segment in electrocardiogram signal, and to provide new ideas for real-time analysis of the changes of

Liu Xin-xu★, Master, School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, Henan Province, China

Corresponding author: Su Zhi-jian, Doctor, Professor, School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, Henan Province, China
szj@zzu.edu.cn

Supported by: Graduate Research Foundation of Zhengzhou University in 2010, No.11L00802*

Received: 2012-05-27
Accepted: 2012-07-12

electrocardiogram of ST segment.

METHODS: A new algorithm for detecting ST segment in electrocardiogram signal based on two-dimensional cloudy model theory was proposed in view of the fuzziness and randomness of electrocardiogram signal. And then, it estimated the membership grade of two-dimensional cloud generator and identified the morphology of ST segment in electrocardiogram.

RESULTS AND DISCUSSION: The algorithm was simulated with Matlab, and the algorithm accuracy was verified by standard ECG database (European Community CSE database). The statistical results showed that the algorithm had a high identification rate of ST segment, and it was shortcut and effective for processing the large amount of data which provide a new method for the accurate analysis of the ST segment.

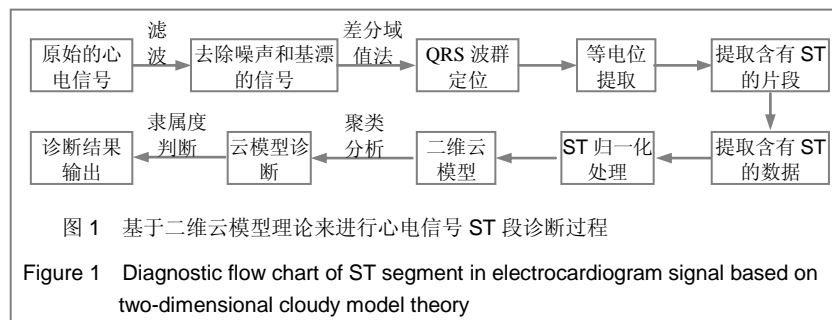
Key Words: bone and joint implants; photographs and images of bone and joint; electrocardiogram signal; ST segment; signal processing; two-dimensional cloudy model; clustering analysis; the CSE database; digital medicine; other grants-supported paper; photographs-containing paper of bone and joint implants

Liu XX, Su ZJ, Gao ZK, Liu YT, Xia ZH, Liu N. Detection of ST segment in electrocardiogram signal based on two-dimensional cloudy model theory. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2013;17(4): 653-657.

0 引言

心电图ST段是心电信号中从QRS波群的终点到T波起点间的波线段,表示心室处于完全去极化的状态^[1]。由于ST段形态的复杂性和多变性,当出现如心肌缺血、心肌梗死等症状时,所表现的心电图ST段的形态特征目前一般由医务人员进行自行判断^[2],存在一定的主观性。因此,心电图ST段的数字化自动识别,具有临床实际意义。ST段的自动分析主要包括^[3-4]:ST段形态分析、ST段电平测量等。关于电平测量目前尚无统一标准,常用方法有R+X法、J+X法、窗口搜索法、数据拟合及小波变化法等,这些方法都存在有各自的不足,如计算复杂、可靠性差、缺乏客观性等缺点。目前常用的ST段形态自动分析有斜率法、函数拟合法和神经网络等,这些方法都是对ST段的形态进行数学描述,但其形态的复杂性难以用数学表达式来清晰描述,因此本文提出了一种运用二维云模型来进行心电信号ST段的分析^[5-6]。

目前基于心电信号的自动分析诊断程序所采用的数学算法,多是以精确数学概念或模糊数学中的精确隶属度判断为基础的,不完全符合医学诊断的逻辑思维。针对医学诊断需要同时考虑心电信号的多个特征及信息模糊性的特点,本研究提出基于二维云模型理论来进行心电信号ST段的自动检测,具体诊断过程,见图1。



1 云模型理论概述

1.1 云模型 云模型是用语言值描述某个定性概念与其数值表示之间的不确定性转换的模型。设U是一个论域 $U=\{x\}$, T是与U相联系的语言值。U中的元素x对于T所表达的定性概念C的隶属度 $CT(x)$ (或称x与T的相容度)是一个具有稳定倾向的随机数,隶属度在论域上的分布称为隶属云,简称为云。 $CT(x)$ 在[0, 1]中取值,云是从论域U到区间[0, 1]的映射。在正态分布函数与正态隶属函数基础上,云可以用期望 Ex (expected value)、熵 En (entropy)、

超熵He(hyper entropy)3个数字特征来表示, 并可通过此数字特征来构成特定结构的云发生器^[7-8], 使正态云模型能够简单、直接地实现定性与定量间的相互转换。

实验使用的是云模型中的二维云模型, 其数字特征为: 期望值(Ex1, Ex2)、熵(En1, En2)和超熵(He1, He2)。如ST段采样点的电位值及其一阶导数对应ST段形态的类型语言值可采用二维正态云进行描述, 见图2。图2中期望值(Ex1, Ex2)反映相应的由两个定性概念原子组合成的定性概念的信息中心值; 熵(En1, En2)反映定性概念在坐标轴方向上的亦此亦彼性的裕度, 值越大概念的模糊性和覆盖度就越大; 超熵(He1, He2)反映二维云的离散程度, 值越大云的离散度越大, 云层越厚。

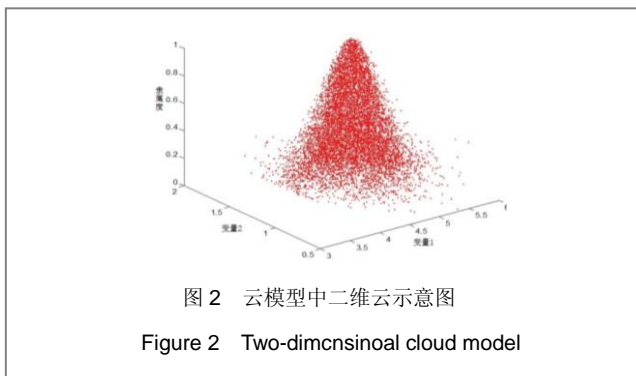


图2中所示的二维云是经由云发生器所生成, 数字特征为(5, 1.5; 0.3, 0.2; 0.1,0.1); 云滴数为10 000。

1.2 二维云发生器 实验所用二维云模型是基于二维云发生器所建。二维云发生器可分为正向和逆向云发生器。其中正向云发生器是根据云的数字特征产生云滴, 为定性到定量的映射; 而逆向云发生器则是实现定量数值和其定性概念间不确定性的转化, 为定量到定性的映射。

2 基于二维云模型心电信号ST形态分析

2.1 聚类分析算法流程 本实验将云变换和综合云思想应用于心电信号检测^[11], 并实现了心电信号ST段的聚类分析。算法核心是利用云模型区分ST段, 即将ST段划分为不同类别。首先考虑到任意一种的概率分布都可由若干个正态分布组合得到, 因此心电信号ST段数据点的频率分布可认为是若干个正态云的叠加。同时, 云模型的期望就是数据分布的重心, 亦最能代表所分析的心电信号ST段特性。基于此, 实验将定量的ST段数据点转化为一系列用云模型表示的定性概念。另外, 由于ST段采样点电位值及其一阶导数值所对应的云滴是一次随机实现; 所以将定性概念表示为ST段的类别特性, 并用不同类别的相似程度表示为云滴的离散程度, 可以有

效地解决用云滴的离散度对定性概念(ST段特征类别)的不确定度(ST段不同形态类别)的度量问题。算法具体的流程如下: 输入: 心脏类疾病患者的心电信号数据。输出: 具有ST段判断标准的综合云。①心电信号经预处理后, 提取心电信号特征点QRS波群、J点、Ts点、等电位点^[9]。②提取心电信号ST段数据, 对数据进行归一化处理^[10]。③统计采样点电位值及其一阶导数的分布, 得到分布曲线(即频率直方图); 根据分布曲线确定基云数目, 并求出各基云的数字特征, 从而得出其云滴图和二维正态概率密度曲面图。④用二维逆向正态云模型对采样点电位大小及其一阶导数两个分量进行统计训练, 以生成表征ST段信息定性概念的二维正态云模型的数字特征(Ex1, En1, He1, Ex2, En2, He2)。⑤采用二维正向云发生器得到ST段形态分析的各基云。

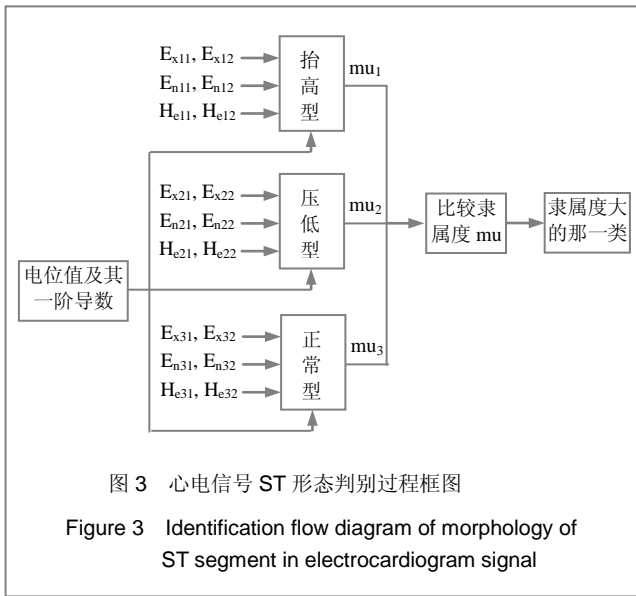
2.2 ST段形态判别 在临床上, 医务人员一般是根据诊断医学的逻辑思维方法来自行对ST段的形态进行分类及判别, 并以此来作为ST是否具有病兆的依据。本实验首先按照ST段形态的偏移方向和曲率变化将其进行分类, 为下一步实现计算机的自动判别做准备。ST段的形态改变分类, 见表1。

表1 心电信号 ST 段形态改变分类
Table 1 Morphological changes of ST segment in electrocardiogram signal

ST 段形态	类型	凹凸方向	斜率	判定结果
正常	直线	无	上斜 下斜 水平	正常
直线型抬高	直线	无	上斜 水平	病变抬高
曲线形抬高	曲线	凹面向上 凸面向上	曲线斜率 增函数	
直线型压低	直线	无	上斜 水平	病变压低
曲线形压低	曲线	凹面向上 凸面向上	曲线斜率 减函数	

每一种ST段形态在一个范围中都可用二维正态云来描述的。对于直线型及曲线形ST的形态判别规则云亦是使用二维正态云来进行判别，且云模型的判别不会因某一点的变化而影响其整体形态。

实验通过聚类分析的结果可得到判别规则云，并根据其隶属度的大小来判断心电信号ST段的形态属性。首先把ST段形态判别规则云作为云发生器，将待测的ST段数据作为输入，之后比较其与各判别规则云对二维正态云发生器输出的隶属度^[12-13]，具体流程图见图3。

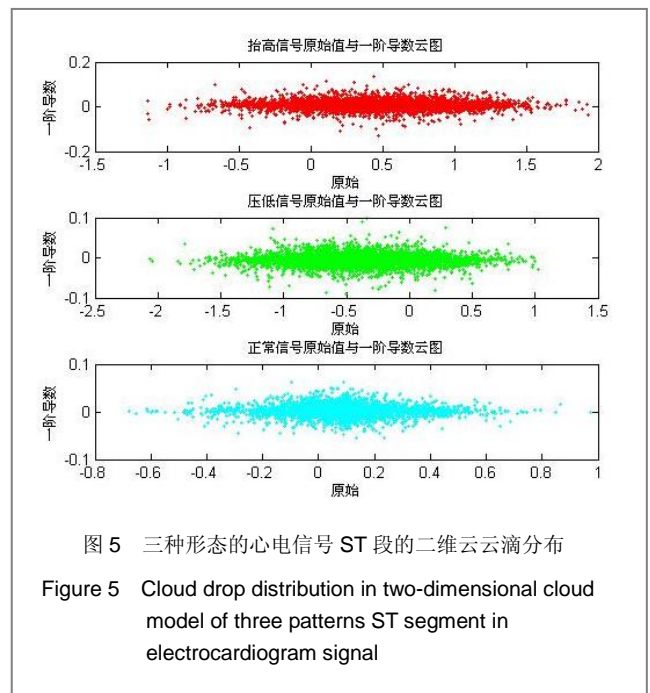
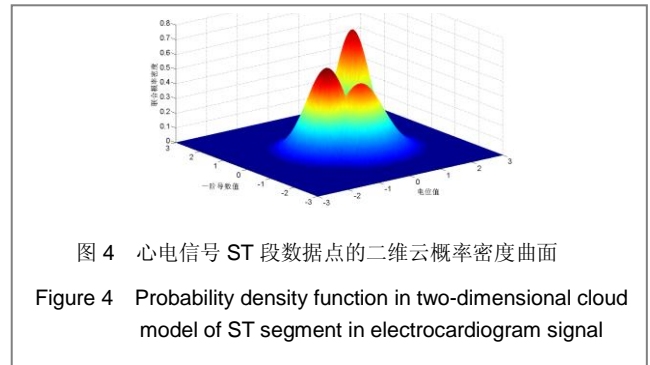


若出现有两类形态隶属度相同的情况，则需采用其他参数来进一步判别，如数据点的二阶导数变化等参数。在对定性概念判别时，论域中的隶属度不是恒定的，而是始终存在有微小的变化，但影响不到隶属云的总体特性。而这种微小变化恰好符合了医务人员诊断医学的逻辑思维，有效地克服了模糊集理论中隶属度恒定的缺点。

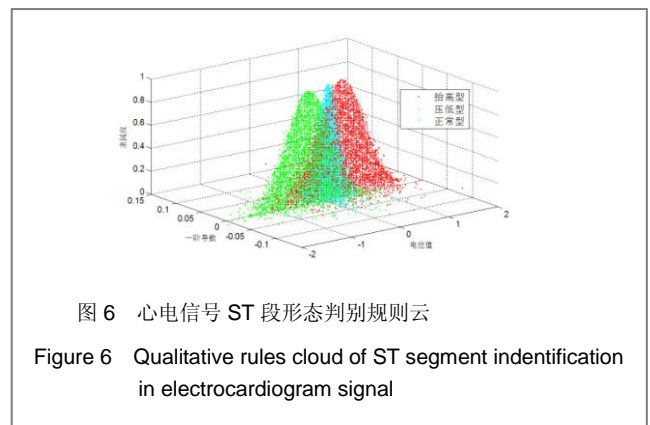
3 仿真实验

实验采用欧共体CSE数据库中数据文件中I导联的数据进行仿真。在32位win7系统，Intel 酷睿i3、4G内存的硬件条件下，Matlab 7.0处理了CSE数据库中的50名患者的ST段数据(时间36 s)，根据二维云模型对其进行聚类分析，ST段数据电位值及其一阶导数的二维云概率密度曲面，见图4。可以看出ST段的分布自聚为三大类。之后运用云变换将ST段的分布转化为定性概念，即3种ST段形态：抬高、压低和正常情况。利用云模型将上面的几种ST形态特征用云模型进行

描述，见图5。



将数据库中MA_001-MA_125通过聚类分析的结果得到对应的判别规则云，见图6。



隶属度的部分判别结果，见表2。由表可知，二维云模型用于心电信号ST段形态判定，取得了较好的结果，具有比较高的精确性，准确率95%以上。

表 2 部分患者心电信号 ST 形态诊断结果

Table 2 Morphology of ST segment in electrocardiogram signal of some patients

文件名	抬高型 隶属度	压低型 隶属度	正常性 隶属度	形态结果	专家判定 结果
MA_001	0.581	0.176	0.837	正常型	上斜正常
MA_002	0.026	0.893	0.510	压低型	下凹压低
MA_004	0.004	0.023	0.981	正常型	直线正常
MA_007	0.896	0.251	0.741	正常型	上斜抬高
MA_008	0.486	0.504	0.704	正常型	直线正常
MA_011	0.734	0.503	0.474	抬高型	凹抬高
MA_016	0.008	0.025	0.991	正常型	直线正常
MA_017	0.397	0.628	0.467	压低型	下斜压低
MA_026	0.004	0.482	0.163	压低型	下斜压低
MA_031	0.698	0.283	0.972	抬高型	直线正常
MA_033	0.398	0.594	0.398	压低型	下斜压低
MA_043	0.836	0.176	0.527	抬高型	上斜抬高
MA_067	0.957	0.006	0.279	抬高型	凸抬高

4 结论与展望

本研究在传统精确数学概念判定的基础上, 创新性地 将云模型理论应用到ST段检测中, 实现了心电信号ST段的 聚类分析, 并对不同ST形态特征进行了判别, 为心电 信号ST段形态的分析提供了一种新的方法和思路。

然而, 为了能够进一步精确区分曲线与直线型ST 段的形态, 需要使用数据点二阶导数来进行判别。本实 验虽然也对ST段采样点也进行了二阶导数的相应处理, 但由于所掌握的ST段数据量有限、二阶导数处理结果差 别较小, 以至所得到的判别效果不理想。总体说来, 云 模型理论的有效运用, 能够作为心脏疾病的一种新型诊 断方法, 但尚有诸多研究工作有待进一步展开。

基金资助: 2010年郑州大学研究生科研基金项目 (11L00802)。

致谢: 非常感谢课题组陈老师对论文的指导。

作者贡献: 实验设计、成文为刘新旭所完成, 实施、资料 收集为夏振宏所辅助完成, 实验评估为苏智剑教授所实施, 审 校为刘延涛、高振奎等。

利益冲突: 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组 织直接或间接的经济或利益的赞助。

伦理要求: 课题不涉及任何伦理学内容。

作者声明: 文章为原创作品, 数据准确, 内容不涉及泄密, 无一稿两投, 无抄袭, 无内容剽窃, 无作者署名争议, 无与他人 课题以及专利技术的争执, 内容真实, 文责自负。

5 参考文献

- [1] Liu X. Linchuang Xindianxue Zazhi. 2005;14(03):159-160. 刘霞.ST段改变的形态学分型[J].临床心电学杂志, 2005;14(03): 159-160.
- [2] Wang ZH, Li XZ, Zheng GZ. Neimenggu Yixue Zazhi. 2001; 33(06):541-542. 王珍虎,李香枝,郑桂珍.心电图ST段改变对判断急性心肌梗死近 期预后价值的探讨[J].内蒙古医学杂志,2001,33(06):541-542.
- [3] Xiao DP, Xu Z, Yang H, et al. Chongqingshi Dianji Gongcheng Xuehui. 2004. 肖冬萍,徐征,杨浩,等.心电图ST段检测与分析方法研究[C].重庆 市电机工程学会,2004.
- [4] Weisner SJ, Tompkins WJ. A compact, microprocessor-based ECG St-segment monitor for the operating room. IEEE Trans. Biomed Eng. 1982;29:642-649.
- [5] Uthamalingam S, Zheng H, Leavitt M, et al. Exercise-induced ST-segment elevation in ECG lead aVR is a useful indicator of significant left main or ostial LAD coronary artery stenosis. JACC Cardiovasc Imaging. 2011;4(2):176-186.
- [6] Yang J, Wang HS, Yu MS. Beijing Shengwu Yixue Gongcheng. 2002;21(2):106-108. 杨军,王宏山,俞梦孙.心电图ST段的神经网络测量方法[J].北京 生物医学工程,2002,21(2):106-108.
- [7] Fan XD, Zhu ZH, Yang SH. Shengwu Yixue Gongcheng Zazhi. 1997;14(1):51-53. 范晓东,朱泽煌,杨世豪.动态心电图ST-T段参数测量方法[J]. 生物医学工程杂志,1997,14(1):51-53.
- [8] Chahine RA, Lowery MH, Bauerlein EJ. Interpretation of the exercise-induced ST-segment elevation. Am J Cardiol. 1993; 72(1):100-102.
- [9] Mao L, Zhang GM, Sun JX. Xinhao Chuli. 2009;25(09): 1360-1365. 毛玲,张国敏,孙即祥.心电图ST段形态分析方法研究[J].信号处 理,2009,25(09):1360-1365.
- [10] Yang CH, Li DY. Jisuanji Xuebao. 1998;21(11):961-969. 杨朝晖,李德毅.二维云模型及其在预测中的应用[J].计算机学 报,1998,21(11):961-969.
- [11] Miranda-Cid A, Alvarado-Serrano C. An ECG ambulatory system with mobile embedded architecture for ST-segment analysis. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2010;2010:78-81.
- [12] Cao XW, Deng QK. Shengwu Yixue Gongchengxue Zazhi. 2001;18(3):373-377. 曹细武,邓亲恺.基于KL变换自动监测心电图ST-T段趋势的方法 研究[J].生物医学工程学杂志,2001,18(3):373-377.
- [13] Li DY, Du Y. Beijing:National Defence Industrial Press. 2005; 15(11):137-138. 李德毅,杜鹃.不确定性人工智能[J].国防工业出版社, 2005, 15(11): 137-138.