

文章编号: 1001-0920(2002)05-0550-04

# 基于云模型的车辆定位导航系统模糊评测研究

张飞舟<sup>1</sup>, 晏磊<sup>1</sup>, 范跃祖<sup>2</sup>, 孙先仿<sup>2</sup>

(1. 北京大学 遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871; 2. 北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 阐述了定性定量转换模型——云模型的定义、特征以及正向云、逆向云、条件云的生成方法。云模型将模糊性与随机性集成在一起, 作为知识表示的基础, 形成定性概念与定量数值之间的转换。将云模型理论用于车辆定位导航系统模糊评测研究, 能有效地提高导航系统的可靠性和评测效果。仿真结果表明了该方法的可行性和有效性。

**关键词:** 定位导航系统; 云模型; 模糊评测; 定性定量转换

中图分类号: TP 202.1

文献标识码: A

## Fuzzy assessment and research of vehicular location and navigation system based on cloud models

ZHANG Fei-zhou<sup>1</sup>, YAN Lei<sup>1</sup>, FAN Yue-zu<sup>2</sup>, SUN Xian-fang<sup>2</sup>

(1. Institute of Remote Sensing and Geographical Information System, Peking University, Beijing 100871, China; 2. School of Automatic Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The definition and characteristics of cloud model, namely interchange model from qualitative concept to quantitative data are expatiated on. Generating methods for normal cloud, reversal cloud and conditional cloud are discussed. With a wide applicability to real world, normal clouds are described to explore the detailed uncertainty of linguistic concepts. The simulation results demonstrate that the method of fuzzy reliability on the basis of cloud models in vehicular location and navigation system is valid and feasible.

**Key words:** location and navigation system; cloud model; fuzzy assessment and analysis; transformation from quality concept to quantity

## 1 引言

车辆定位导航系统的性能, 直接影响着系统的定位精度及其可靠性。为提高系统的可靠性, 除应提高元部件的性能外, 更重要的是利用容错技术管理整个系统, 使车辆定位导航系统处于在线监控状态。如何有效地分析定位导航系统的可靠性, 并对系统

的规定功能进行度量和评测, 仅用简单的二值法进行判断并非十分有效<sup>[1-3]</sup>, 因此本文采用云模型方法进行探讨性研究。

## 2 定性定量互换模型——云模型

### 2.1 云模型的定义

收稿日期: 2001-07-20; 修回日期: 2001-11-26

基金项目: 国家“863”高技术计划项目(863-306-ZT04-03-4)

作者简介: 张飞舟(1966—), 男, 湖南邵阳人, 博士后研究人员, 从事智能控制、智能交通和智能故障检测等研究。

设  $U$  是一个普通集合,  $U = \{u\}$  称为论域。关于论域  $U$  中的模糊集合  $\tilde{A}$ , 是指对于任意元素  $u$  都存在一个有稳定倾向的随机数  $\mu_{\tilde{A}}(u)$ , 称为  $u$  对  $\tilde{A}$  的隶属度。如果论域中元素是简单有序的, 则  $U$  可看作是基础变量, 隶属度在  $U$  上的分布称为(隶属)云; 如果论域中的元素不是简单有序的, 而根据某个法则  $f$ , 可将  $U$  映射到另一个有序的论域  $U'$  上,  $U'$  中的一个且只有一个  $u'$  与  $u$  对应, 则  $U'$  为基础变量, 隶属度在  $U'$  上的分布称为(隶属)云<sup>[4]</sup>。

### 2.2 云模型的数字特征

云用期望值  $E_x$ , 熵  $E_n$  和超熵  $H_e$  3 个数字特征值表征, 它将模糊性与随机性完全集成到一起, 构成定性与定量的相互映射, 作为知识表示的基础, 如图 1 所示<sup>[5]</sup>。

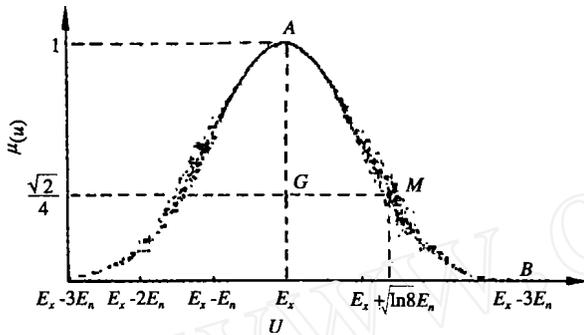


图 1 云及其数字特征

## 3 云发生器

按云的产生机理和计算方向, 有正向云和逆向云, 正向云又分为基本云、 $U$  条件云和  $V$  条件云。下面简述正向云和逆向云的生成方法。

### 3.1 正向云与逆向云

1) 正向云: 给定云的 3 个数字特征  $E_x, E_n$  和  $H_e$ , 产生满足具有上述特征的正态云分布的若干二维点  $\text{Drop}(u_i, v_i)$  称为云滴。正向基本云通过输入 3 个数字特征形成符合条件的云滴, 经若干次产生的云滴呈图 1 形式分布。云发生器(CG)生成的成千上万的云滴构成整体云, 从而将一个定性概念通过不确定性转换云模型定量地表示出来, 如图 2(a) 所示。

2) 逆向云: 给定符合某一正态云分布规律的一组云滴作为样本, 产生描述云所对应的定性知识的 3 个数字特征值  $E_x, E_n$  和  $H_e$ , 如图 2(b) 所示。当云滴数有限时, 必然存在一定的误差, 随云滴数目的增多, 误差将减小, 同时逆向云算法的鲁棒性对有效地

抑制噪声具有较大作用。已知两个云团的云滴数据, 以此还原出“基云”的 3 个数字特征  $E_x, E_n$  和  $H_e$ <sup>[5]</sup>。

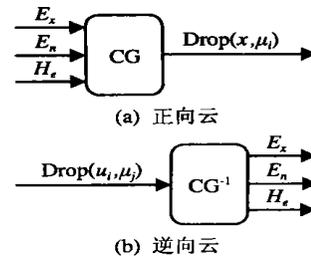


图 2 云发生器构造示意

### 3.2 正向云中的 $U$ 条件云与 $V$ 条件云

1)  $U$  条件云: 给定云的 3 个数字特征  $E_x, E_n, H_e$  和特定的  $U$  值  $u = u_0$ , 产生满足上述条件的云滴  $\text{Drop}(u_0, v_i)$ 。

2)  $V$  条件云: 给定云的 3 个数字特征  $E_x, E_n, H_e$  和特定隶属度值  $v = v_1$ , 产生满足上述条件的云滴  $\text{Drop}(u_i, v_1)$ 。

### 3.3 不确定推理机制——单条定性规则

通常一条定性规则的形式化描述为

$$\text{If } A \text{ then } B \tag{1}$$

其中  $A$  和  $B$  为涉及的语言值。对照语言原子与云的关系, 便可运用云对象构造定性规则。

根据上述各类云对象的概念, 以带  $U$  条件和  $V$  条件的云对象构造定性规则, 单条定性规则的构造方法如图 3 所示。

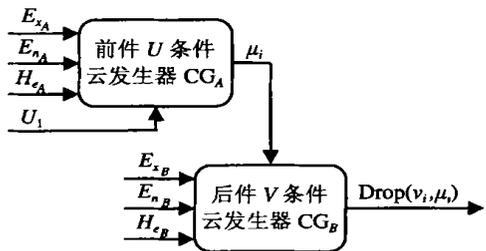


图 3 单规则云发生器原理

图 3 中,  $CG_A$  表示对应输入平面语言值  $A$  的带  $U$  条件的云对象,  $CG_B$  表示对应输出平面语言值  $B$  的带  $V$  条件的云对象。当输入平面的某一特定输入值  $U_1$  激活  $CG_A$  时,  $CG_A$  随机产生一组  $\mu_i$  值。这些值反映了对应定性规则的激活强度(即隶属度), 这组  $\mu_i$  又控制输出平面的  $CG_B$  定量地产生一组随机云滴  $\text{Drop}_i(v_i, \mu_i)$ 。对应一个固定的输入  $U_1$ ,  $CG_A$  产生一组随机的输出值  $\mu_i$ , 将输入变量的不确定性传递到输出变量空间, 而  $CG_B$  在同一个  $\mu_i$  的控制下, 再次输出一组随机云滴  $\text{Drop}_i(v_i, \mu_i)$ 。由于对应一个固定

的输入值, 输出空间中的  $v_i$  具有不确定性, 因此这一推理系统的实现对不确定性具有良好的继承性和传递性. 由此可见, 云模型构造的定性规则较好地解决了不确定性的传播和更新问题.

单规则构成器实现算法如下:

1) 根据给定参数生成  $CG_A$  和  $CG_B$  两个带条件的云对象;

2) 根据给定的  $E_{n_1}$  和  $H_{e_1}$  生成符合正态分布的一组随机值  $E_{n_{1i}}$ ;

3) 根据给定的  $E_{x_1}, U_1$  和计算求得的一组  $E_{n_{1i}}$ , 计算求得一组规则强度

$$\beta_i = \exp[-(u_1 - E_{x_1})^2 / 2(E_{n_{1i}})^2] \quad (2)$$

4) 根据给定的  $E_{n_2}$  和  $H_{e_2}$  随机生成一组  $E_{n_{2i}}$ ;

5) 反计算求得在  $\beta_i$  和  $E_{n_{2i}}$  条件下的  $v_i$  值, 形成云滴  $D_{rop_i}(v_i, \beta_i)$ ,  $\beta_i$  是跳动的, 从而得到一个云团.

### 4 模糊可靠性分析

可靠性是指系统在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力, 其主要指标是平均无故障间隔时间(M TBF)。模糊可靠性不改变可靠性的定义, 仅对该定义中涉及的对象、条件、时间、功能和能力等的界定进行拓宽, 适应于某种模糊性即不确定性. 不确定性通常有两种: 有明确的定义但不一定出现的事件中所包含的不确定性为随机性; 已经出现但难以精确定义的事件中所包含的不确定性称为模糊性<sup>[6,7]</sup>.

定位导航系统通常结构复杂, 组成设备较多, 全系统或大或小的单元故障时有发生, 很难简单地用“正常”和“失效”这两个词表征系统的全部特征. 因此, 更加关注的是系统能在多大程度上保持其规定功能的能力. 由于实际系统的复杂性, 这种模糊语言值方法往往比精确值方法更确切、更本质、更有效. 下面以定位导航系统的主要功能为例加以分析.

车辆定位导航系统主要功能一般可分为信息采集、信息处理、控制决策、人机交互以及输出执行 5 方面功能. 这 5 方面功能又分别依靠若干主要技术指标支撑, 指标可进一步分解, 逐层延伸, 形成指标体系树形结构. 若这些指标可实际测量并能进行量化计算, 而且这 5 方面功能对全部系统的贡献可进行归一化处理, 即用相对指标值表示, 便可得到一个指标综合能力图, 如图 4 所示<sup>[7]</sup>.

对于图4, 首先做单位圆, 然后将圆周等分, 得

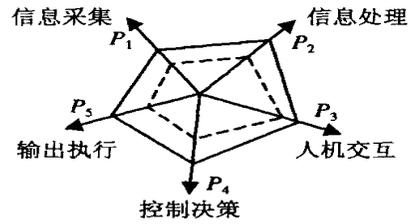


图 4 综合指标能力

到 5 个点  $P_1, P_2, P_3, P_4$  和  $P_5$ 。做圆心与 5 个点的连线, 得到 5 个辐射状的半径, 分别表示定位导航系统的 5 项功能的额定指标值. 用对应的 5 边形的面积  $H_0$  表征系统的综合额定能力. 每一次对定位导航系统功能的实际测量值构成一个 5 边形, 多边形的面积  $H$  即为定位导航系统完成规定功能能力的一次度量. 当系统的各项指标都达到额定值时, 多边形的重心对应系统的原点. 当系统功能减弱时, 不但多边形的面积减小, 而且各项功能指标可能不协调, 出现瓶颈问题, 重心也将发生偏移. 重心与原点的距离——偏心距  $\lambda$ (阈值), 反映了系统的整体质量. 因此可用  $kH / \lambda H_0$  度量全系统的综合能力, 其中  $k$  为比例因子.

### 5 可靠性评测

根据云模型理论的基本特征, 以云为基础可以较好地构造描述定位导航系统可靠性评估所用的各种语言值. 这里采用正向云进行定位导航系统模糊可靠性评判, 应用逆向云进行定位导航系统中测量组件的故障检测分析.

设基础变量以定位导航系统的 5 维综合能力图的面积  $H$  与额定值面积  $H_0$  的比值表示, 则语言值“保持基本功能”、“保持主要功能”和“保持几乎全部功能”所对应的(隶属)云如图 5 所示<sup>[7]</sup>. 为简明起见, 此处仅给出所对应云的期望曲线. 根据  $E_x, E_n$  和  $H_0$  3 个数字特征值, 确定具有正态分布形式的云

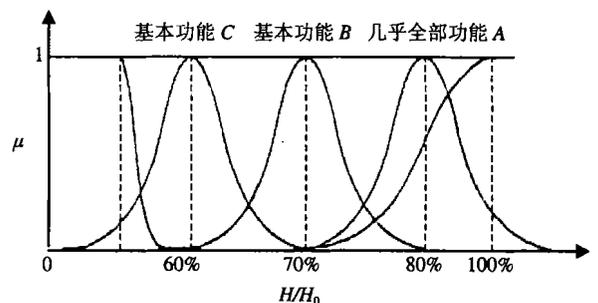


图 5 基于云模型语言值的评测

期望曲线方程

$$\mu(u) = \exp[-(u - E_x)^2 / 2(E_n)^2] \quad (3)$$

检测定位导航系统的某特征量  $X$  所产生的云期望曲线的宽度, 若大于  $3E_n$ , 且  $\mu(E_x) = 1, \mu(E_x \pm 3E_n) = 0$ , 便出现故障报警; 如果期望曲线宽度小于  $3E_n$ , 且  $\mu(E_x) = 1, \mu(E_x \pm 3E_n) = 0$ , 则无故障; 介于二者之间为局部有故障状态。

## 6 基于 U 条件云的实验分析

通过将云模型理论用于车辆定位导航系统实验研究, 可对不同车辆定位导航组件进行可靠性评测分析, 用以确定定位导航组件是否满足特定的精度要求, 从而为选择合理、有效的定位导航组件提供技术支持和保障。该实验系统原理结构如图 6 所示, 其中硬件包括车辆定位导航组件和仿真计算机 (586 PC 机)。车辆定位导航组件分别采用 Rock Well Jupiter GPS 接收机 (简称 J)、KODEN GSU-15 GPS 接收机 (简称 G)、NEJ-3 000 型压电陀螺和 W ZL-1 型汽车里程仪、A/D 数据采集板构成 GPS/DR 组合定位导航组件。以此原理框图方法实验分析实际系统运行情况, 以便监测和分析定位导航组件对定位精度的影响。



图 6 实验系统原理结构

假定在一定初始条件下, 跑车实验线路为环形封闭线路, 以便分析定位导航系统在直线段、曲线段 (拐弯处) 以及有高楼或立交桥遮挡等不同环境路段下对定位精度的影响。这里仅以 GPS/DR 组合定位导航系统的定位精度作为定位导航系统的主要性能指标。跑车实验的基本条件是: 跑车车速约为 45 km/h, 跑车路线为北京城区二环外环封闭线路。由跑车记录的实验数据得到上述两种 GPS/DR 组合定位导航系统的误差曲线如图 7 所示。

从图 7 的跑车实验误差曲线可以看出, J 接收机定位误差比 G 接收机定位误差小, 而且误差比较稳定。这里分别取 J 和 G 两种接收机跑车实验的均值为云模型的期望值  $E_x$ , 以方差作为云模型的熵  $E_n$ , 即有  $E_{x_j} = 0.5317, E_{x_g} = 0.9308$ ; 熵为  $E_j = 17.6446, E_g = 99.7862$ ; 超熵  $H_e$  取为  $H_e = 1 -$

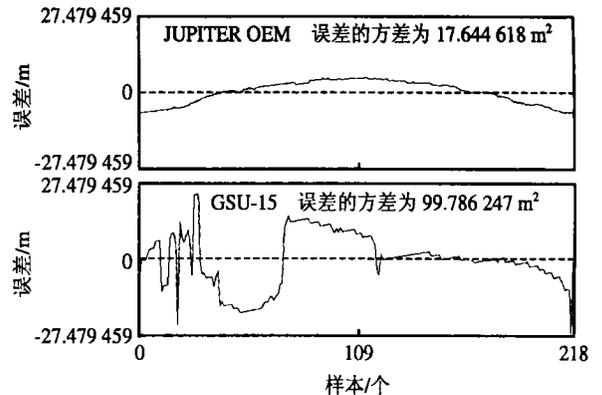


图 7 跑车实验误差曲线

95% = 0.05; 前件中的带 U 条件输入值分别为  $U_{11} = 4.2006, U_{1G} = 9.9893$ ; 取后件的 (理想) 期望值  $E_x = 0, E_n = 2, H_e = 0.02$ 。运用单条规则云发生器进行实验评测分析, 这里取 4 次输出结果的平均值, 经实验评测分析最后得出: Rock Well Jupiter GPS 的综合能力 (定位精度) 可达 91%, 能保持系统主要功能, 即能满足所需精度要求; KODEN GSU-15 GPS 综合能力 (定位精度) 可达 72%, 能保持系统基本功能, 即基本满足所需精度要求。

## 7 结 论

本文采用正态云模型理论, 将模糊性和随机性融为一体, 用数学期望值  $E_x$ , 熵  $E_n$  和超熵  $H_e$  3 个数字特征反映语言原子值, 再以语言值为基础构成规则, 从而实现定性知识的表达。实验研究表明, 这种方法对车辆定位导航系统的模糊可靠性研究是可行的, 其评测策略明确、直观, 无需冗繁的推理计算, 并具有良好的可操作性。

### 参考文献 (References):

- [1] Cai Kaiyuan. System failure engineering and fuzzy methodology: An introductory overview [J]. *Fuzzy Sets and System*, 1996, 83(2): 113-133
- [2] James Donyak, Ihab W, Donald Wunsch, et al. A theory independent fuzzy probability for system reliability [J]. *IEEE Trans on Fuzzy System*, 1999, 7(2): 286-294
- [3] Li Bing, Zhu Meilin, Xu Kai, et al. Practical engineering method for fuzzy reliability analysis of mechanical structures [J]. *Reliability Engineering and System Safety*, 2000, 67(3): 311-315

(下转第 558 页)

$$\hat{N}(t) = 741.342 \exp(-1.1625e^{-0.0262t})$$

$t = 0, 1, \dots$

灰色 Logistic 模型

$$\hat{N}(t) = \frac{1}{1.76713 \times 10^{-6} + 2.90545 \times 10^{-6} e^{-0.0553136t}}$$

$t = 1, 2, \dots$

各模型求得结果的比较如表 3 所示。

表 2 1950~1990 年的人口数据 人

t	N(t)	t	N(t)	t	N(t)
1950	231 810	1964	328 545	1978	419 129
1951	232 107	1965	339 847	1979	423 890
1952	235 449	1966	348 972	1980	428 243
1953	242 362	1967	353 676	1981	443 402
1954	246 615	1968	364 583	1982	448 052
1955	257 588	1969	372 786	1983	450 995
1956	264 829	1970	380 764	1984	454 506
1957	273 711	1971	388 417	1985	458 915
1958	279 202	1972	396 651	1986	465 920
1959	287 503	1973	403 116	1987	470 047
1960	292 839	1974	407 792	1988	474 289
1961	298 789	1975	412 115	1989	479 409
1962	305 237	1976	415 181	1990	484 316
1963	317 932	1977	416 238		

表 3 各模型求得结果的比较 %

模 型	不 加 权		加 权	
	拟合误差	预测误差	拟合误差	预测误差
直线方程	2.04	4.58	2.35	3.89
指数模型	2.69	2.12	3.05	1.51
GM(1,1)	3.58	9.69	4.57	7.31
Logistic	2.60	0.80	3.23	0.43
Gompertz	2.64	1.39	3.32	0.89
灰色 Logistic	1.42	0.317	—	—

由表 3 的比较结果可以看出:

1) 灰色 Logistic 模型不仅具有最好的拟合误差,而且具有良好的预测效果;

2) Logistic 模型采用复杂的人口最优控制数值模拟算法进行求解,计算量大,而灰色 Logistic 模型计算简单、快速;

3) 灰色 Logistic 模型不加权,但拟合误差和预测误差均优于其它模型加权的结果,且加权因子的选取存在一定的人为因素。

参考文献(References):

[1] Julong Deng Control problems of grey systems[J] *Syst & Contr Lett*, 1982, 1(5): 288-294

[2] 陈绵云 镗床控制系统的灰色动态[J] *华中工学院学报*, 1982, 10(6): 7-11.  
(M ianyun Chen Grey dynamics of the system of a boring machine[J] *J of Huazhong Univ of Sci & Techn*, 1982, 10(6): 7-11.)

[3] 邓聚龙, 陈绵云, 彭国忠, 等 灰色模块理论与长期预测模型[A] *未来学论文集*[C] 武汉, 1984 1: 41-46  
(Julong Deng, M ianyun Chen, Guozhong Peng, et al Grey block theory and long-tem forecasting model [A] *Proc of the Futu renology* [C] Wuhan, 1984 1: 41-46)

[4] M ian-yun Chen Principle of grey dynamic modeling [J] *SAMS*, 1996, 26: 69-79

[5] M ian-yun Chen System cloud and its grey model[A] *Proc of the 4th Japanese Sino Sapporo Int Conf on Computer Appl*[C] Sapporo, 1990 38-41

[6] M ian-yun Chen Uncertainty analysis and grey modeling [A] *Uncertainty Modeling & Analysis* [C] IEEE Computer Society Press, 1990 469-473

[7] 肖庭延 实用预测技术及应用[M] 武汉: 华中理工大学出版社, 1993 283-299

[8] 中国电子工业年鉴编委会 中国电子工业年鉴(1999 年)[M] 北京: 电子工业出版社, 2000 24-29

(上接第 553 页)

[4] 李德毅, 孟海军, 史雪梅 隶属云和隶属云发生器[J] *计算机研究与发展*, 1995, 32(6): 15-20  
(Li De-yi, Meng Hai-jun, Shi Xue-mei Membership clouds and membership cloud generators[J] *Computer Research and Developm ent*, 1995, 32(6): 15-20)

[5] 陈晖 定性定量互换模型及其应用[D] 南京: 解放军南京通信工程学院, 1999

[6] Wu Hsien-chung Fuzzy reliability analysis based on closed fuzzy numbers[J] *Information Sciences*, 1997,

103(1): 135-159

[7] 李德毅, 于全, 江光杰 C<sup>3</sup>I 系统可靠性、抗毁性和抗干扰的统一评测[J] *系统工程理论与实践*, 1997, 17(3): 23-27.  
(Li De-yi, Yu Quan, Jiang Guang-jie A unified assessment and reliability, invulnerability and anti-countemeasurement for C<sup>3</sup>I system [J] *System Engineering Theory and Application*, 1997, 17(3): 23-27.)