

农业机械导航系统综合评价方法*

籍颖^{1,2} 张漫¹ 刘刚¹ 刘兆祥¹ 何蓓¹

(1. 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 河北农业大学信息科学与技术学院, 保定 071000)

【摘要】 提出了农业机械导航系统多指标评价模型,将导航成本、精度、适应能力、稳定性和计算复杂性作为评价指标,采用层次分析法和信息熵相结合的方法确定各指标权值,具有兼顾主观和客观赋权的优点。建立了神经网络并训练模型形成评价系统。通过数据分析表明,该综合评价方法克服了人为因素的影响,评价系统使用简单方便。

关键词: 农业机械 导航 综合评价 层次分析法 信息熵 RBF神经网络

中图分类号: TP274+.2; N945.16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)12-0160-05

Synthetical Evaluation of Agriculture Machine Navigation System

Ji Ying^{1,2} Zhang Man¹ Liu Gang¹ Liu Zhaoxiang¹ He Bei¹

(1. Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research,

Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. College of Information Science & Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China)

Abstract

The multi-index evaluation model of agriculture machine navigation system was proposed, and the cost, accuracy, adaptability, stability and computing complexity were used as five indexes which mainly affect the navigation system performance. The weight of each index was decided by combining AHP and entropy method, which has the advantages of subjective and objective. The RBF neural network was used to build the evaluation model. Data analyses showed that the method was easy to use, and overcame the influence of subjective factors.

Key words Agricultural machinery, Navigation, Synthetical evaluation, Analytic hierarchy process, Entropy, RBF neural network

引言

农业机械自动导航系统是现代农业工程技术的重要组成部分^[1]。随着科学技术的发展,农业机械导航系统研究有了快速发展,各种导航方法的研究取得了一定的进展。农业机械导航系统的综合评价,可全面反映农业机械导航系统的综合水平。科学合理的综合评价方法是导航系统科学决策的依据和手段,但迄今为止尚未形成全面、客观、量的评

价方法。国内外对导航系统的综合评价还没有深入研究,国外仅仅使用导航精度来简单地衡量导航系统^[2]。导航系统是复杂系统,使用单一指标对其进行评价不尽合理;其次,导航系统的性能是受多种因素制约、影响的,需要从整体上反映系统的综合性能。因此,建立客观、科学的导航综合评价方法是十分必要的。

本文旨在建立农业机械导航系统多指标综合评价模型,确定导航系统的评价指标,并采用基于层次

分析法(AHP)和信息熵相结合的方法确定各指标权值,对多种导航系统进行综合评价;使用RBF神经网络对样本进行学习和训练,建立客观、科学的农业机械导航系统综合评价方法。

1 多指标体系建立

1.1 多指标评价模型

农业机械导航系统中,导航精度是对系统性能评价的一个重要指标,其他影响因素也是不可忽略的组成部分。在深入研究导航系统性能的基础上,提出了导航评价指标模型。根据指标体系建立的原则,将导航传感器成本、导航精度、适应能力、稳定性以及计算复杂性作为5类一级评价指标。具体如下:

(1)导航传感器成本 B1:传感器成本是影响导航系统推广应用的重要因素。导航中常用的传感器包括:GPS、机器视觉、惯性传感器、磁传感器、超声波传感器、激光传感器、红外传感器和雷达等^[3]。国内外农业工程应用领域主流导航方式是GPS、机器视觉和惯性传感器^[4]。

(2)导航精度 B2:导航精度是评价系统中的关键指标,指农业机械导航系统实际路径和理想路径偏差的大小。因单一的均方误差不能全面代表系统精度的高低,故提出最大偏差 C1、最小偏差 C2、平均偏差 C3 和均方根偏差 C4 这4个二级指标来综合表示导航系统的精度。

(3)导航系统的适应能力 B3:一些农业机械导航系统在水平路面上行驶导航效果好,但在颠簸不平的田间行驶就易出现不稳定情况,因此将田间平稳行驶作为适应能力之一。转弯即地头转弯行驶也是导航系统适应能力的重要内容。农业机械导航系统带上机具行驶,会对系统的行驶速度产生影响,因此,将系统能否适应变速行驶也作为适应能力的一个指标。适应能力包括导航系统转弯行驶能力 C5、变速行驶能力 C6 以及田间平稳行驶能力 C7,作为二级指标。

(4)导航系统的稳定性 B4:即可重复性、鲁棒性,指农业机械导航系统在相同条件下,重复多次行驶,若导航路径和理想路径在允许的偏差范围内,则认为具有可重复性。

(5)计算复杂性 B5:也是评价导航系统的一个因素。过度繁琐、复杂的导航算法,势必会占用大量运行时间,使得整个导航系统响应延迟。在此,将计算复杂性定义为系统完成数据采集、判断、决策所消耗的时间。导航系统综合评价指标结构图如图1所示。

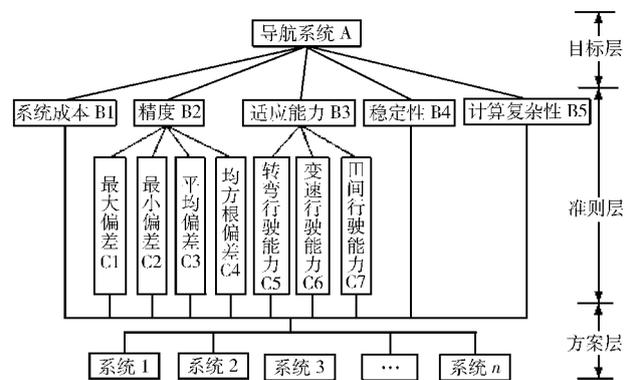


图1 导航系统综合评价指标结构图

Fig.1 Structure of synthetical evaluation for navigation system

1.2 多指标参数处理

由于不同的指标有不同的量纲和单位,为了使不同量纲、不同数量级的数据能一起进行比较,在评价之前应将评价指标进行无量纲化处理^[5]。

对效益型指标(如适应能力、稳定性),参数值越大越好,故令

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \quad (1)$$

式中 x_{ij} ——指标参数实际值

x'_{ij} ——指标参数归一化值

对成本型指标(如传感器成本、导航精度、计算复杂性等),指标值越小越好,令

$$x'_{ij} = \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \quad (2)$$

经过无量纲化处理后,指标的最大值为1,最小值为0, x'_{ij} 越接近于1,说明该指标越接近于最优水平。

2 评价方法分析

2.1 层次分析法

层次分析法(analytic hierarchy process,简称AHP)是由美国运筹学家Satty T L于20世纪70年代提出的一种定性和定量分析相结合的决策方法。它通过专家判断、比较、评价等手段将多个变量的重要程度数量化^[6]。AHP方法适合于通过人来定性判断其重要作用及对决策结果难于直接准确计量的场合^[7]。

运用AHP进行决策时,可分为4个步骤^[8]:

(1)分析系统中各因素之间的关系,建立系统的递阶层次结构。

(2)对同一层次各元素关于上一层次中某一准则的重要性进行两两比较,构造判断矩阵。

(3)由判断矩阵计算被比较元素对于该准则的相对权值。

(4) 计算各层元素对系统目标的合成权值,并进行排序。

2.2 信息熵法

信息熵表明提供有效信息的多寡程度,可以用于度量数据所提供的有效信息程度和确定权值。定义信息熵

$$H(x_i) = -C \sum_{i=1}^n P(x_i) \lg P(x_i) \quad (3)$$

式中 C ——常数

$P(x_i)$ —— x_i 出现的概率

利用信息熵方法确定系统指标权值的步骤^[9]:

(1) 求指标对应的信息熵

$$\text{令 } P_{ji} = \frac{r_{ji}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n r_{ji}}, \forall i, j, \text{ 则信息熵为}$$

$$E_i = -K \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n P_{ji} \ln P_{ji} \quad (4)$$

式中 K ——常数

j ——对应每一个评价指标的等级

r_{ji} ——对应评价指标值

(2) 求偏差度

$$d_i = 1 - E_i \quad (5)$$

其中, $E_i \in [0, 1]$ 。

(3) 求指标权值

$$w_i = \frac{d_i}{\sum_i d_i} \quad (6)$$

式中 w_i ——第 i 个评价指标权值

2.3 综合权值

基于 AHP 方法获得的权值是由专家根据自身经验和对实际的判断给出的,因此其主观随意性较大;通过信息熵方法,可以从系统内部的构成因素以及内在关联性上进行分析,得到每个指标的权值^[10],数据来源于评价矩阵的实际数据,具有绝对的客观性,但忽略了各指标的重要性,有时与事实不符。因此,为了弥补各自的缺点,采用主观与客观赋权法相结合,即将 AHP 方法和信息熵法相结合,比较各指标权值,取其平均值,兼顾主观和客观赋权优点,使系统权值分配更合理、更科学。

2.4 RBF 神经网络

RBF 神经网络是逼近能力、分类能力和学习速度等方面均优于 BP 网络的一种监督神经网络^[11]。RBF 神经网络具有广泛的近似能力,能够以任意精度逼近任何连续函数。

基于神经网络的多指标综合评价方法通过神经网络的自学习、自适应能力和强容错性,建立更加接近人类思维模式的定性和定量相结合的综合评价模型。训练好的神经网络把专家的评价思想以连接权

值的方式赋予网络上,这样,不仅可以模拟专家进行定量评定,而且避免了评价过程的人为失误^[7]。由于模型的权值是通过实例学习得到的,避免了人为计算权值与相关性的主观影响和不确定性。

3 实验分析

3.1 层次分析法确定权值

(1) 构造层次包括目标层、准则层和方案层(图 1)。

(2) 对层内元素进行两两比较,构造判断矩阵。判断矩阵是通过有关专家的意见进行统计计算得出,如表 1 所示。对于不同的农业机械作业需求,如播种、喷药、采样等,可依据具体情况,对权值进行适当调整,使之更符合实际需要。

表 1 B 层内的权值

Tab. 1 Weight of B

	B1	B2	B3	B4	B5	权值
B1	1	1/7	1/3	1/3	2	0.068
B2	7	1	5	4	9	0.560
B3	3	1/5	1	1/2	3	0.130
B4	3	1/4	2	1	4	0.200
B5	1/2	1/9	1/3	1/4	1	0.042

(3) 一致性检验,是为了保证在判断指标重要性时,各判断之间协调一致,避免出现相互矛盾的结果。一致性检验方法见文献[7]。

二级指标权值的确定方法同上,确定出导航系统中各指标所占的权值,如表 2 所示。

表 2 AHP 方法获得的权值

Tab. 2 Weight of AHP

一级指标	二级指标	权值
成本 B1		0.068
精度 B2	最大偏差 C1	0.202
	最小偏差 C2	0.061
	平均偏差 C3	0.168
	均方根偏差 C4	0.129
适应能力 B3	转弯行驶能力 C5	0.035
	变速行驶能力 C6	0.016
	田间行驶能力 C7	0.079
稳定性 B4		0.200
计算复杂性 B5		0.042

3.2 信息熵方法确定权值

采用基于信息熵的方法确定各指标的权值如表 3 所示。将基于 AHP 方法和基于信息熵方法获得的权值进行对比,发现两者方法获得指标权值分配总体趋势相同,但具体数值比重不同,将两者方法

获得的权值取平均,得到如图 2 所示的权值分配图。

表 3 信息熵法确定的权值
Tab.3 Weight of entropy

一级指标	二级指标	权值
成本 B1		0.086
精度 B2	最大偏差 C1	0.098
	最小偏差 C2	0.095
	平均偏差 C3	0.095
	均方根偏差 C4	0.093
适应能力 B3	转弯行驶能力 C5	0.105
	变速行驶能力 C6	0.104
	田间行驶能力 C7	0.105
稳定性 B4		0.109
计算复杂性 B5		0.110

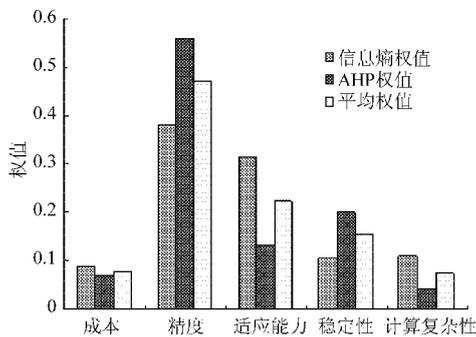


图 2 权值分配图

Fig.2 Distribute of weight

从图 2 可以看出,农业机械导航 5 大指标权值排序依次是导航精度、适应能力、稳定性、成本和计算复杂性。因此在研究农业机械导航系统时,不能片面追求导航精度,其适应能力、稳定性、成本等因素都不能忽视,要综合考虑。

3.3 数据处理

使用福田雷沃欧豹 FT704 型拖拉机作为平台,对 7 种常用农业机械导航系统进行评价:M1 是单使用基于 OEM 开发板的 RTK-GPS 进行导航;M2 是使用基于 OEM 开发板的 RTK-GPS 和机器视觉传感器相结合进行导航;M3 是使用基于 OEM 开发板的 RTK-GPS 和姿态传感器相结合进行导航;M4 是使用基于 OEM 开发板的 RTK-GPS 加机器视觉和姿态传感器 3 种传感器组合导航;M5 是使用基于 VRS 差分的 GPS 进行导航;M6 是使用 RTK-GPS 进行导航;M7 是单使用机器视觉进行导航。其中 OEM 板采用 Novatel 公司 OEMV-3 型双频双星板,定位精度为 cm 级;VRS 差分中 GPS OEM 板采用泰雷兹 AC12,定位精度为 m 级。

对各种导航方法评分的原始数据进行无量纲化处理和归一化处理,如表 4 所示。

运用黄金分割原理,将处于 0~1 范围内的数值分成相应的 5 种类型的评语值域,大于 0.854 为优;(0.618,0.854]为良;(0.528,0.618]为中;(0.382,

表 4 归一化处理后的数据

Tab.4 Data after normalization

导航系统	传感器成本 B1	精度 B2				适应能力 B3			稳定性 B4	计算复杂性 B5
		最大偏差 C1	最小偏差 C2	平均偏差 C3	均方根偏差 C4	转弯行驶能力 C5	变速行驶能力 C6	田间行驶能力 C7		
M1(GPS)	0.82	0.70	0.90	0.75	0.70	0.40	0.50	0.20	0.45	0.50
M2(GSP+MV)	0.79	0.73	0.95	0.73	0.73	0.67	0.55	0.40	0.30	0.40
M3(GPS+AHRS)	0.77	0.74	1.00	0.75	0.73	0.60	0.50	0.70	0.48	0.35
M4(GPS+MV+AHRS)	0.74	0.76	1.00	0.78	0.77	0.70	0.55	0.80	0.75	0.25
M5(VRS)	1.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.20	0.32	0.10	0.30	0.40
M6(RTK)	0.29	0.80	1.00	0.75	0.93	0.50	0.60	0.60	0.55	0.55
M7(MV)	1.00	0.40	0.85	0.75	0.87	0.15	0.25	0.40	0.26	0.20

0.528]为可;小于等于 0.382 为差。根据各指标的权值,对 7 种导航方法进行评价,获得导航综合评价结果和评价等级如表 5 所示。根据综合评价结果可以进行排序并给出评价等级,排序结果为:M4、M6、M3、M2、M1、M7、M5,与专家们的评价结果一致,符合实际情况。3 种导航方法评价等级为良,通过对导航数据进行综合评价可以看出,M4 方法综合评价结果最优,是各指标综合的最优结果。M6 方法导航精度最高,但其成本较高,并不是最佳选择。

表 5 综合评价结果

Tab.5 Result of synthetical evaluation

方法	综合评价	评价等级
M1	0.598 5	中
M2	0.611 6	中
M3	0.665 5	良
M4	0.726 9	良
M5	0.235 3	差
M6	0.675 4	良
M7	0.515 8	可

3.4 神经网络训练

RBF神经网络输入为导航系统综合评价指标,输出为综合评价结果,隐含层径向基函数采用高斯函数。取前5种导航系统数据作为样本,径向基函数的分布系数取0.8,最大训练次数为500,当误差低于0.0001(或达到最大训练次数)时,停止对神经网络训练。在Matlab中使用newrb函数训练网络,隐含层神经元数目自动增加,直到训练满足要求为止。最后对后两种导航系统的结果和前述方法进行比较,结果如表6所示。可见,使用神经网络评价的结果和综合评价结果一致性较好,相对误差控制在2%以内,满足精度实际要求。大样本训练神经网络,相对误差会控制在更小的范围内。对于训练好的模型,只需确定输入参数即导航系统各指标对应的参数,就可以得到该系统的综合评价结果,使用灵活方便,准确性高。

表6 神经网络评价结果

Tab.6 Result of neural network test

导航方法	AHP-信息熵法	RBF神经网络法	相对误差/%
M6	0.6754	0.6865	1.68
M7	0.5157	0.5253	1.86

4 结束语

为了对农业机械导航系统进行全面综合评价,提出农业机械自动导航系统综合评价模型,确定农业机械导航系统的5大评价指标,并将AHP方法和信息熵方法相结合,兼顾主观赋权和客观赋权的优点,使综合评价方法权值分配更加科学合理。利用RBF神经网络进行样本训练,建立评价系统模型,实验表明该方法克服了主观因素的影响,具有自学习能力,使用灵活方便,对综合评价农业机械导航系统具有实际应用价值。

参 考 文 献

- 刘兆祥,陈艳,籍颖,等.基于机器视觉的农业车辆路径跟踪[J].农业机械学报,2009,40(增刊):18~22.
Liu Zhaoxiang, Chen Yan, Ji Ying, et al. Positions research of vehicle navigation system based on Kalman filter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(Supp): 18~22. (in Chinese)
- M Reza Ehsani, Matthew Sullivan, Joel T Walker. A method of evaluating different guidance systems[C]. 2002 ASAE Annual Meeting Paper: 021155, 2002.
- 冯雷.基于GPS和传感技术的农用车辆自动导航系统的研究[D].杭州:浙江大学,2004.
Feng Lei. Study on navigation system for off-road vehicle guidance based on GPS and sensor technology[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2004. (in Chinese)
- 张智刚.插秧机的DGPS自动导航控制系统的研究[D].广州:华南农业大学,2006.
Zhang Zhigang. Automatic guidance system based on DGPS for rice transplanter[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- 张慧颖,王桂花.多指标综合评价方法的改进[J].大学数学,2009,25(4):199~202.
Zhang Huiying, Wang Guihua. Improve the method of multi-criteria comprehensice evaluation[J]. College Mathematics, 2009, 25(4): 199~202. (in Chinese)
- 李晓峰.基于AHP的人工神经网络模型的建立[J].四川大学学报:工程科学版,2003,35(1):101~103.
Li Xiaofeng. Establishment of artificial neural network model based on AHP[J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2003, 35(1): 101~103. (in Chinese)
- 杜栋,庞庆华,吴炎.现代综合评价方法与案例精选[M].北京:清华大学出版社,2008:11~33.
- 王莲芬,许树柏.层次分析法引论[M].北京:中国人民大学出版社,1990:5~18.
- 苏春,董劲,张先起.基于信息熵的TOPSIS模型在水利工程评标中的应用[J].东北水利水电,2006,24(1):22~23.
Su Chun, Dong Jin, Zhang Xianqi. Application of TOPSIS model based on information entropy in evaluation of bid[J]. Water Resources and Hydropower of Northeast China, 2006, 24(1): 22~23. (in Chinese)
- 张兵,邓卫.基于信息熵理论的公路网物元评价方法[J].公路交通科技,2009,26(10):117~120,125.
Zhang Bing, Deng Wei. Matter-elements evaluation approach of road network based on information entropy theory[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26(10): 117~120, 125. (in Chinese)
- 侯媛彬,杜京义,汪梅.神经网络[M].西安:西安电子科技大学出版社,2007:125~135.