

基于 GAHP 的信息感知能力需求满足度评估方法

孙星光^a, 尹志忠^b

(中国人民解放军装备学院 a. 研究生管理大队; b. 装备学院训练部, 北京 101416)

摘要:针对传统能力评估中指标以及权重的确定不一致和不确定性特点,提出了一种以信息感知能力关键技术需求满足度为依据的评估方法——基于灰色理论的层次分析方法(GAHP)。阐述了灰色层次分析法原理,建立了信息感知能力指标体系和需求满足度评估模型,以实例研究说明该方法的可行性。

关键词:信息感知能力;满足度;GAHP

本文引用格式:孙星光,尹志忠.基于GAHP的信息感知能力需求满足度评估方法[J].兵器装备工程学报,2016(8):56-60.

Citation format:SUN Xing-guang, YIN Zhi-zhong. Approach for Information Perception Capability Requirement Satisfactory Degree Evaluation Based on GAHP[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2016(8):56-60.

中图分类号:E0;TP391.9

文献标识码:A

文章编号:2096-2304(2016)08-0056-05

Approach for Information Perception Capability Requirement Satisfactory Degree Evaluation Based on GAHP

SUN Xing-guang^a, YIN Zhi-zhong^b

(a. Department of Graduate Management; b. Training Department, Equipment Academy of PLA, Beijing 101416, China)

Abstract: In traditional capability evaluation, the index and weight determination has inconsistencies and uncertainties. To solve the problem, a new evaluation approach based on GAHP was proposed. The index system of information perception ability and the evaluation model of satisfaction degree were established, and the feasibility of the method was illustrated by an example.

Key words: information perception capability; satisfactory-degree; GAHP

在国际环境日益复杂多变,国家周边安全威胁不确定因素不断增大的情况下,各国纷纷将军队由“基于威胁”建设转向“基于能力”建设。作战能力是部队履行使命的先决条件,更是军队兴衰成败的关键。随着信息技术的发展,信息要素在武器装备上得到扩展,信息感知能力已经成为主导型战斗力,对战争的胜负起着举足轻重的作用,并且在作战能力诸要素中处于核心地位,直接影响其他能力要素的发挥。信息化战争对信息感知能力需求空前绝后,在保持己方信息优势的同时,要有效限制敌方信息力的发挥,达到对制信息权的控制^[1]。能力的提升,离不开关键技术的支撑。通过研究能力需求满足度评估方法,可以确定相关技术研究是否满足任务能力需求,为规划技术发展路径把好关口。满足度通常是用来描述实际值与期望值之间的差距和程度,这里反映的是

关键技术线性组合与任务能力相应需求理想组合之间的关系。

1 评估方法建模

灰色层次分析法是将灰色系统理论和层次分析法相结合的一种不确定分析方法。具体讲就是在系统层级分析中,不同层级决策的权值是按灰色系统理论计算得到的。对于客观系统处于信息不完全的情况下,灰色系统理论使用灰元、灰数、灰关系等进行处理,是系统从模型上、结构上和关系上由灰变白,不断深化对系统的认识,从而获取更多的有效信息^[2-6]。

主要步骤如下:

1) 建立评估对象的层次结构。在深入开展调查研究的基础上,应用层次分析法原理,经过反复思考论证,对待评估目标自上而下,逐层进行分解,使同层级的元素之间避免其含义上的交叉,相邻上下层级中的元素为“父子”关系形成递阶层次结构,底层元素即为所求的评估指标。

2) 计算指标体系底层元素的组合权重。由于本文中底层元素为卫星应用技术,缺乏客观数据,因此采用层次分析法,由该领域专家或评估者,对上下层元素之间的关系进行定性评判形成表格,用精确法或者和积法,计算相邻层次中下层元素对上层元素的权重,再计算出底层元素对于目标的权重 $W = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$ 。

3) 求评估指标值矩阵 $D_{ji}^{(A)}$,即

$$D_{ji}^{(A)} = \begin{bmatrix} d_{11}^{(A)} & d_{12}^{(A)} & \dots & d_{1i}^{(A)} \\ d_{21}^{(A)} & d_{22}^{(A)} & \dots & d_{2i}^{(A)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ d_{j1}^{(A)} & d_{j2}^{(A)} & \dots & d_{ji}^{(A)} \end{bmatrix}$$

式中 $D_{ji}^{(A)}$ 为评估人员 $i(i = 1, 2, \dots, n)$ 对分指标 A 中第 $j(j = 1, 2, \dots, n)$ 个评估元素,给出的评估指标值矩阵。该矩阵可根据评估人员的评分表,采取多种方法得到。比如,若评估人员来自不同领域,由于认知不同,具有不同的重要性,可以按照重要程度将评估人员分成若干小组,对各组的评判结果取不同的权重,用加权平均方法得到相应权值;如果评估人员重要程度相差无几,则可以等权处理。

4) 确定评估灰类。确定评估灰类就是确定评估灰类的等级、灰类的灰数以及灰类的白化权函数,其实就是把定性的评判向定量转化的过程。针对不同的评估对象,通过定性分析确定相应灰类。常用的白化权函数有 3 种:

① 第一类,灰数为 $\otimes \in [d_1, \infty)$,其白化权函数如图 1 所示。

$$f_1(d_{ji}) = \begin{cases} \frac{d_{ji}}{d_1}, & d_{ji} \in [0, d_1] \\ 1, & d_{ji} \in [d_1, \infty) \\ 0, & d_{ji} \in (-\infty, 0] \end{cases}$$

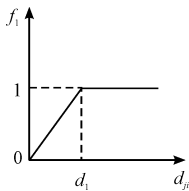


图 1 第一类白化权函数

② 第二类,灰数为 $\otimes \in [0, d_1, 2d_1)$,其白化权函数如图 2 所示。

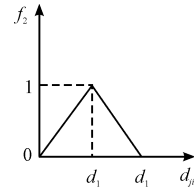


图 2 第二类白化权函数

③ 第三类,灰数为 $\otimes \in [0, d_1, d_2)$,其白化权函数如图 3 所示。

$$f_3(d_{ji}) = \begin{cases} 1, & d_{ji} \in [0, d_1] \\ \frac{d_2 - d_{ji}}{d_2 - d_1}, & d_{ji} \in [d_1, d_2] \\ 0, & d_{ji} \notin (0, d_2] \end{cases}$$

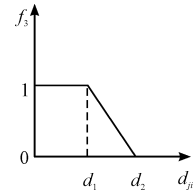


图 3 第三类白化权函数

其中白化权函数转折点对应的值为阈值,可以按照准则或经验确定,用类比的方法获得。也可以从样本矩阵中,找出最大、最小和中值,作为上限、下限和中等额阈值。

5) 计算灰色评估系数和评估权向量和权矩阵。由 $D_{ji}^{(A)}$ 和 $f_n(d_{ji})$ 计算出受评对象 J 对于评估指标 A 属于第 N 类灰色评估数,记为 $M_{jN}^{(A)}$,其计算公式为

$$M_{jN}^{(A)} = \sum_{i=1}^i f_n(d_{ji}^{(A)})$$

以及对于评估指标 A ,受评对象 J 属于各个评估灰类的总灰色评估系数 $M_j^{(A)}$,则有

$$M_j^{(A)} = \sum_{i=1}^n M_{ji}^{(A)}$$

由 $M_{jN}^{(A)}$ 和 $M_j^{(A)}$,可计算出对于中间层指标 A 下属第 J 个元素属于第 N 个灰类的评估权 $r_{jN}^{(A)}$ 和权向量 $r_j^{(A)}$:

$$r_{jN}^{(A)} = \frac{M_{jN}^{(A)}}{M_j^{(A)}}$$

考虑到 $N = 1, 2, 3, \dots, n$,则有灰色评估权行向量 $r_{jN}^{(A)}$:

$$r_{jN}^{(A)} = [r_{j1}^{(A)}, r_{j2}^{(A)}, \dots, r_{jn}^{(A)}]$$

考虑到 $J = 1, 2, 3, \dots, j$,则有灰色评估权列向量 $r_{jN}^{(A)}$:

$$r_{jN}^{(A)} = [r_{1n}^{(A)}, r_{2n}^{(A)}, \dots, r_{jn}^{(A)}]^T$$

进而可求出所有受评对象对于评估指标 A 的灰色评估权矩阵 $R^{(A)} = \{r_{jN}^{(A)}\}$

$$R^{(A)} = \begin{bmatrix} r_{11}^{(A)} & r_{12}^{(A)} & \dots & r_{1n}^{(A)} \\ r_{21}^{(A)} & r_{22}^{(A)} & \dots & r_{2n}^{(A)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_{j1}^{(A)} & r_{j2}^{(A)} & \dots & r_{jn}^{(A)} \end{bmatrix}$$

6) 进行满足度评估。

① 首先计算底层指标元素对中间层级指标的满足度。评估权矩阵 $R^{(A)}$ 实际上是综合所有评估人员对中间层评估指标 A 中所有下层元素隶属于相应评估灰类的隶属度, 如果将评估灰类划分为“优”、“良”、“中”、“差”4种灰类, 通过设定“优”、“良”、“中”、“差”对应的理想值 Q , 则对于评估指标 A , 其需求满足度为

$$S_A = w_1 * R^A * Q$$

式中 w_1 为中间层评估指标 A 中所有下层元素对 A 的权重系数。

② 综合所有指标, 确定总满足度。通过计算出所有中间层指标的需求满足度后, 在乘以对目标层层权重系数后, 即可得最终目标层的需求满足度。

2 评估指标体系建立

信息感知能力指标体系主要包括3层, 第一层为能力层, 第二层为装备功能层, 第三层关键技术支撑层。信息感知能力, 装备功能层主要包括多元信息接收、目标探测识别、信息融合处理、环境信息预报预警和导弹攻击预警。根据装备功能的不同特点, 选取实现该功能的最主要卫星应用技术^[7-8]。

其指标体系如图4所示。

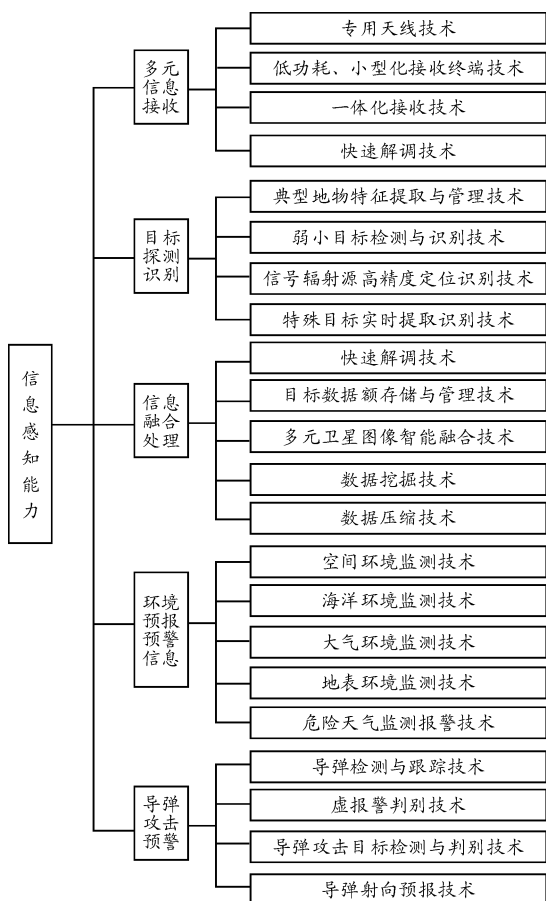


图4 信息感知能力指标体系

3 评估实例分析

3.1 构建判断矩阵并计算组合权重

由相关领域专家对同一层级中的各元素对应上一层级元素的相对重要程度进行比较, 并建立判断矩阵。标准如表1所示。

表1 相对重要性打分依据

相对重要程度	重要程度描述	具体含义
1	绝对重要	元素 a 比元素 b 绝对重要
3	明显重要	元素 a 比元素 b 明显重要
5	相当重要	元素 a 比元素 b 重要
7	略微重要	元素 a 比元素 b 略显重要
9	同等重要	元素 a 和元素 b 一样重要
2, 4, 6, 8	介于相邻两者之间	介于相邻两者之间

首先对信息感知能力(A 层)中, 由专家评判出底层指标卫星应用技术(C 层)相对上层指标装备功能层(B 层)的相对重要性, 采用简易表格法, 填写各个指标的重要性打分表, 根据打分表别得到判断矩阵 D_1, D_2, D_3, D_4, D_5 为:

$$D_1 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 2 & 7 \\ 1/3 & 1 & 2/3 & 7/3 \\ 1/2 & 3/2 & 1 & 7/2 \\ 1/7 & 3/7 & 2/7 & 1 \end{pmatrix}$$

$$D_2 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 4 & 5 \\ 1/2 & 1 & 2 & 5/2 \\ 1/4 & 1/2 & 1 & 5/4 \\ 1/5 & 2/5 & 4/5 & 1 \end{pmatrix}$$

$$D_3 = \begin{pmatrix} 1 & 3/5 & 4/5 & 1/5 & 1 \\ 5/3 & 1 & 4/3 & 1/3 & 5/3 \\ 5/4 & 3/4 & 1 & 1/4 & 5/4 \\ 5 & 3 & 4 & 1 & 5 \\ 1 & 3/5 & 4/5 & 1/5 & 1 \end{pmatrix}$$

$$D_4 = \begin{pmatrix} 1 & 2/3 & 1 & 2/3 & 1/3 \\ 3/2 & 1 & 3/2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 2/3 & 1 & 2/3 & 1/3 \\ 3/2 & 1 & 3/2 & 1 & 1/2 \\ 3 & 2 & 3 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$D_5 = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 2 & 4 \\ 1/5 & 1 & 2/5 & 4/5 \\ 1/2 & 5/2 & 1 & 4/5 \\ 1/4 & 5/4 & 2/4 & 1 \end{pmatrix}$$

用合积法算可以分别得到判断矩阵 D_1, D_2, D_3, D_4, D_5 的特征向量, 此过程可在 Matlab 软件中很容易实现, 这里不算列出运算过程。 $W_1 = (0.506\ 0, 0.168\ 7, 0.253\ 0,$

$0.072\ 3)^T$ 、 $W_2 = (0.512\ 8, 0.254\ 6, 0.128\ 2, 0.102\ 6)^T$ 、 $W_3 = (0.100\ 8, 0.168\ 1, 0.126\ 1, 0.504\ 2, 0.100\ 8)^T$ 、 $W_4 = (0.125\ 0, 0.187\ 5, 0.125\ 0, 0.187\ 5, 0.375\ 0)^T$ 、 $W_5 = (0.534\ 2, 0.106\ 8, 0.225\ 4, 0.133\ 6)^T$ 。同理可求得装备功能层(B层)对于信息感知能力(A层)的指标权重 $W = (0.116\ 3, 0.348\ 8, 0.348\ 8, 0.069\ 8, 0.116\ 3)^T$ 。

3.2 给出评估指标的评估值矩阵

设有5组评估人员,记为I,II,III,IV,V,评估对象为多元信息接收 B_1 下层,专用天线技术 C_1 、低功耗、小型化接收终端技术 C_2 、一体化接收技术 C_3 、快速解调技术 C_4 4个分指标。为简化计算,规定评估人员的打分范围为1~10分,根据五组评估人员的评分结果,得到评估矩阵 D'_1

$$D'_1 = \begin{pmatrix} \text{I} & \text{II} & \text{III} & \text{IV} & \text{V} & \\ 9 & 7 & 8 & 6 & 7 & C_1 \\ 8 & 9 & 7 & 8 & 8 & C_2 \\ 8 & 7 & 8 & 7 & 7 & C_3 \\ 7 & 9 & 7 & 8 & 8 & C_4 \end{pmatrix}$$

同理可得到目标探测识别、多元信息融合处理、环境信息预报预警和导弹攻击预警的下层指标的评估指标矩阵 D'_2 、 D'_3 、 D'_4 和 D'_5 。

3.3 确定评估灰类

根据灰色理论,确定评估灰类其实就是确定其灰类的等级、灰类的灰数和灰类的白化函数。这里设定 $k=4$,即“优”、“良”、“中”、“差”4个评估灰类,与其相对应的灰数和白化函数为:

1) 第一类为“优”,灰数为 $\otimes \in [0,9, \infty)$,其白化权函数为

$$f_1(d_{ji}) = \begin{cases} \frac{d_{ji}}{9}, & d_{ji} \in [0,9] \\ 1, & d_{ji} \in [9, \infty) \\ 0, & d_{ji} \in (-\infty, 0) \end{cases}$$

2) 第二类为“良”,灰数为 $\otimes \in [0,8,16)$,其白化权函数为

$$f_2(d_{ji}) = \begin{cases} \frac{d_{ji}}{8}, & d_{ji} \in [0,8] \\ 2 - \frac{d_{ji}}{8}, & d_{ji} \in [8,16] \\ 0, & d_{ji} \notin (0,16] \end{cases}$$

3) 第三类为“中”,灰数为 $\otimes \in [0,6,12)$,其白化权函数为

$$f_3(d_{ji}) = \begin{cases} \frac{d_{ji}}{6}, & d_{ji} \in [0,6] \\ 2 - \frac{d_{ji}}{6}, & d_{ji} \in [6,12] \\ 0, & d_{ji} \notin (0,12] \end{cases}$$

4) 第四类为“差”,灰数为 $\otimes \in [0,4,6)$,其白化权函数为

$$f_4(d_{ji}) = \begin{cases} 1, & d_{ji} \in [0,4] \\ \frac{6-d_{ji}}{2}, & d_{ji} \in [4,6] \\ 0, & d_{ji} \notin (0,6] \end{cases}$$

3.4 计算灰色评估系数、权向量和权矩阵

由评估矩阵 D'_n 和灰类函数 $f_k(d_{ji})$ 可计算出,受评者对评估对象隶属于第 k 类的灰色评估系数,记作 n_k ,则对于评估指标 C_1 ,隶属于 k 类的灰色评估系数 n_k^{c1} 为:

$$n_1^{c1} = \sum_{i=1}^5 f_1(d_{1i}) = f_1(9) + f_1(7) + f_1(8) + f_1(6) + f_1(7) = 4.11$$

$$n_2^{c1} = \sum_{i=1}^5 f_2(d_{1i}) = 4.38$$

$$n_3^{c1} = \sum_{i=1}^5 f_3(d_{1i}) = 3.83$$

$$n_4^{c1} = \sum_{i=1}^5 f_4(d_{1i}) = 0$$

根据以上计算结果,可以得出受评者对评估对象 C_1 的总评估系数 n^{c1} 为

$$n^{c1} = \sum_{i=1}^4 n_i^{c1} = 12.32$$

进而可以得到评估指标 C_1 灰色权向量 r^{c1} 。实际上灰色权向量 r^{c1} 中各数值就是表示隶属于“优”、“良”、“中”、“差”4个等级的隶属度。

$$r^{c1} = (r_1^{c1}, r_2^{c1}, r_3^{c1}, r_4^{c1}) = (n_1^{c1} \setminus n^{c1}, n_2^{c1} \setminus n^{c1}, n_3^{c1} \setminus n^{c1}, n_4^{c1} \setminus n^{c1}) = (0.33, 0.36, 0.31, 0)$$

同理可得出 r^{c2} 、 r^{c3} 、 r^{c4} ,从而得出灰色权矩阵 R^{b1}

$$R^{b1} = \begin{bmatrix} 0.33 & 0.36 & 0.31 & 0 \\ 0.39 & 0.42 & 0.19 & 0 \\ 0.33 & 0.37 & 0.30 & 0 \\ 0.35 & 0.37 & 0.28 & 0 \end{bmatrix}$$

3.5 计算评估结果

假设“优”类的满足值为0.9,“良”类的满足值为0.8,“中”类的满足值为0.7,“差”类的满足值为0.6,即 $Q = [0.9, 0.8, 0.7, 0.6]$,则信息感知能力指标体系中多元信息接收的分满足度值为 S_1 有

$$S_1 = w_1 * R^{b1} * Q = 0.807\ 5$$

同理可以求得信息感知能力体系其他指标元素的分满足度值如表2所示。

表2 其他指标元素的分满足度值

S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
0.807 5	0.827 1	0.782 3	0.856 2	0.778 1

于是可以得出信息感知能力需求满足度为:

$$S_{\text{感知}} = \sum_{i=1}^5 W_i * S_i = 0.805\ 5$$

从评估结果看,评估较好地满足了信息感知能力对卫星应用关键技术的需求。由于评估对象的数据源基本来自主观赋值,所以采用一些数学方法对相关数据进行了修正处理,较好地控制了主观判断带来的差错,使评估结果更加科学可信。

4 结束语

评估是验证设计方案是否合理,设计成果是否满足设计需求等方面的重要手段。本文采用了灰色层次分析法对信息感知能力关键技术需求满足度进行了评估,在确定指标权重时,运用了比较成熟的层次分析法,通过确定指标灰度的方式,得出了底层元素对指标理想值的隶属度,实现了能力需求满足度评估。总体来讲,该方法简单可行,通过灰色理论能解决信息缺失的问题,可为提升作战能力贡献度方面,提供一定的参考。

参考文献:

[1] 任连生. 基于信息系统的体系作战能力概论(修订版)

[M]. 北京:军事科学出版社,2010:4-14.

- [2] 谭乐祖,任东彦,李大棚. 灰色层次分析法在舰艇防空作战方案优选中的应用[J]. 兵工自动化,2010,29(1):40-43.
- [3] 诸凡,梁涛. 灰色层次分析法在炮兵部队作战能力评估中的应用[J]. 指挥控制与仿真,2011,33(2):52-54.
- [4] 魏贺亮,林鸿龙. 灰色层次分析法在地域通信网干扰效能评估中的应用[J]. 现代通信技术,2012(2):1-5.
- [5] 韩家启,张锦刚. 基于灰色层次分析法的数字炮兵营装备体系效能评估[J]. 射击学报,2013(3):23-26.
- [6] 刘国泰,王锐化. 指挥信息系统能力需求满足度评估模型[J]. 中国电子科学院学报,2014,9(6):603-607.
- [7] 王兆耀. 中国军事百科全书(第二版)军事航天技术(学科分册)[M]. 北京:中国大百科全书出版社,2008.
- [8] 刘伟,尹志忠,邹波. 美军卫星应用装备及作战应用[J]. 四川兵工学报,2012,33(10):24-26.

(责任编辑 唐定国)

(上接第22页)建设提出标准,为系统的维护与使用奠定基础。数据库的标准指的是其底层结构标准,包括存储表的构建和主键的存在形式,各相关表之间的逻辑结构关系和相互之间的调用关系等,同时表中底层数据的存储格式、类型、大小、在数据库调入调出方式等等都需要进行规范。此外,综合数据库需要预留开放式优化接口,采取通用化的接口模块,便于后续的扩展和优化开发。

2.6 研制难点

研制难点是影响战车机动的主要环节,由于目前并不存在监测传感器,因此在传感器的安装设计中需进行总体论证。在研制过程中,可以结合战车健康管理系统的部分监控参数,减少重复安装。同时,由于监测数据缺乏,对于数学模型缺乏验证措施,可在项目开展初期同步进行相关数据采集,为后期决策支持模型提供尽可能多的数据。

3 结束语

基于数据实时监测的战车行军车速规划和底盘故障预警决策支持系统,可实时给出最优行军车速建议和底盘故障预警、报警信息,既可满足作战编队行军时的车速规划和安全需求,又能充分发挥战车的机动潜力,进而提高部队快速

反应能力和行军安全。该系统可在改变相关参数的基础上,广泛应用于其他类型特种车辆的车速规划和安全监测需求。

参考文献:

- [1] 胡冬,谢劲松,吕卫民. 故障预测与健康管理技术在导弹武器系统中的应用[J]. 导弹与航天运载技术,2010(4):24-29.
- [2] 李田科,于仕财,于乐. 导弹发射车综合诊断与健康管理系统研究[J]. 战术导弹技术,2012,39(7):71-75.
- [3] 李田科,于仕财,余春卫. 导弹发射车综合诊断与健康管理系统[J]. 兵工自动化,2012,31(4):11-14.
- [4] 陶来发,樊焱贞,吕深等. 机电系统故障预测技术的现状与分析[J]. 控制工程,2011,18(4):636-639.
- [5] 王亮,吕卫民,冯佳晨. 导弹PHM系统中的传感器应用研究[J]. 战术导弹技术,2010,18(1):1-4.
- [6] 陈旭,兰孟飞,刘庆,等. 汽车底盘模块划分及产品结构模型的建立[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2015(10):19-23.

(责任编辑 周江川)