Operations Research and Fuzziology 运筹与模糊学, 2018, 8(4), 173-178
Published Online November 2018 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/orf
https://doi.org/10.12677/orf.2018.84021

Hans汉斯

Research on the Efficiency Evaluation of Emergency Communication System via Fuzzy Analytic Hierarchy Process

Zhiqiang Ma[1], Jiahua Wei[1*], Lei Shi[1], Yongjun Li[1], Xuchun Zhuang[1], Yang Bai[2]

[1]Information and Navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an Shaanxi
[2]Teaching Evaluation Center, Air Force Engineering University, Xi'an Shaanxi
Email: *weijiahua@126.com

Received: Nov. 9th, 2018; accepted: Nov. 22nd, 2018; published: Nov. 29th, 2018

Abstract

The emergency communication system had been studied based on the schemes of efficiency evaluation in this paper. The relative assessment system and evaluation system had been designed via fuzzy analytic hierarchy process in terms of the timeliness, stability and security. Furthermore, the efficiency evaluation of a typical emergency communication system was performed by using of this protocol for the capability assessment system. Then the calculation results are advised to verify the feasibility and rationality of our scheme.

Keywords

Emergency Communication, Efficiency Evaluation, Fuzzy Analytic Hierarchy Process

基于模糊层次分析法的应急通信保障效能评估研究

马志强[1]，魏家华[1*]，石　磊[1]，李勇军[1]，庄绪春[1]，白　洋[2]

[1]空军工程大学，信息与导航学院，陕西　西安
[2]空军工程大学，教学考评中心，陕西　西安
Email: *weijiahua@126.com

收稿日期：2018年11月9日；录用日期：2018年11月22日；发布日期：2018年11月29日

*通讯作者。

文章引用: 马志强, 魏家华, 石磊, 李勇军, 庄绪春, 白洋. 基于模糊层次分析法的应急通信保障效能评估研究[J]. 运筹与模糊学, 2018, 8(4): 173-178. DOI: 10.12677/orf.2018.84021

摘　要

本文以应急通信保障系统为研究对象，在分析效能评估方法的基础上，结合应急通信保障系统特点，针对系统时效性、稳定性与安全性特征，基于模糊层次分析法，建立了相应效能评估体系与模型，并结合应急通信保障任务实例对系统效能进行了科学评价，验证本文所提出方法的可行性与合理性。

关键词

应急通信保障，效能评估，层次分析法

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

随着社会的飞速发展，信息的深度渗透，人们越发重视信息通信系统的“质量”，尤其是应急通信保障系统效能。深入研究并解决应急通信保障系统效能的评估问题，具有重要理论与实践意义，已然成为通信领域的热点研究课题。迄今为止，人们对于应急通信保障系统的研究多数集中于通信系统设计阶段的技术性问题，对于系统效能评估方面的研究相对比较匮乏。应急通信保障系统能否满足用户需求？如何评价通信保障系统？如何提高通信系统效能？上述问题并没有得到系统深入的研究。基于应急通信保障系统的实际应用特点，本文将结合模糊层次分析方法，构建应急通信保障系统效能评估指标体系，建立相应模糊评估模型，并结合应急通信保障任务实例对系统效能进行了科学评价，验证该方法是否行之有效，相应成果对于类似系统的效能评估研究具有重要参考价值。

2. 应急通信保障效能评估方法分析

无论是政府机关，还是企业院校，亦或是组织团体，均十分重视提高效能[1] [2] [3] [4]。采用科学评估方法对效能进行评价，作为后续决策的重要依据，已经成为社会、经济建设发展与管理中不可或缺的环节，通信领域同样也是如此[5] [6]。对应急通信保障系统而言，提高整体效能是通信系统发展的重要目标，因此如何科学评估应急通信保障系统效能逐渐成为国际学术界的研究热点。

当前通信系统效能评估方法可以分为三类[7]：定性评估法，定量评估法以及定量与定性相结合的综合评估方法。定性评估方法使用十分广泛，该方法通常不需要具体数据，容易受主观性影响，对评估者要求很高，因此缺点较为明显。定量评估法通过采集数据，运用量化指标，依据相应准则进行系统效能评估，可直观用数据表征评估结果，但是此方法需要大量准确数据，因此应用范围相对有限。定量与定性相结合的综合评估方法的基本原理就是对定性内容进行定量分析，运用数学模型解决复杂问题的决策。模糊层次分析法是综合评估方法中最为常用，其核心是将经验判断进行参数量化，建立模糊数学模型完成评估工作。在应急通信保障系统效能评估过程中，存在着不可避免的主观不确定性，将模糊层次分析法引入通信系统效能评估领域，可以作为刻画效能值的重要手段。

为了能够充分发挥评估者的主观评价作用，同时克服获取数据的客观困难，在应急通信保障系统效能评估过程中，本文将基于应急通信保障系统实际情况，建立评估指标体系与模糊效能评估模型，采用

模糊层次分析方法进行系统效能评估，并通过实例验证了所提出评估方法的有效性。

3. 应急通信保障效能评估指标体系

应急通信保障系统效能评估涉及诸多影响因素，每一种因素对于整体系统效能的影响程度有所相同。因此在建立应急通信保障效能评估指标体系过程中，需要对通信保障系统进行详细分析，根据指标因素之间的逻辑关系以及指标对整体系统效能的影响程度，对效能评价指标集合进行归纳，形成多层次的应急通信保障效能评估体系。

3.1. 效能评估指标体系

基于应急通信保障系统特点和效能评估指标选择的相关原则，本文将构建三层类型的应急通信保障系效能评估指标体系：第一层指标为总体评估目标，即为应急通信保障系统效能；第二层指标包含三个分项，分别为时效性、稳定性与安全性；每一准则层均包含若干指标，急通信保障系效能评估指标体系具体结构如图 1 所示。

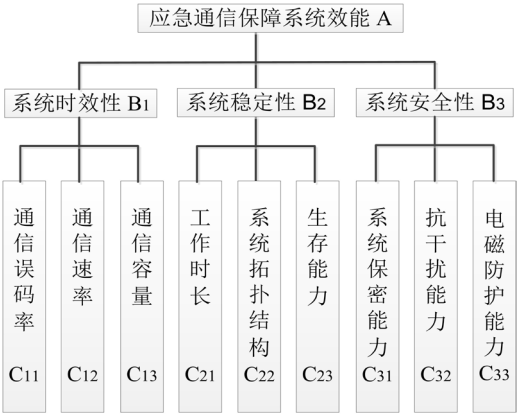

Figure 1. The efficiency evaluation system for emergency communication
图 1. 应急通信保障系统效能评估指标体系

3.2. 评估指标定义

在所建立的上述应急通信保障系统效能评估指标体系中，目标层总体系统效能记为 A，三个准则层指标(即系统时效性、稳定性与安全性)依次记为 $B_i\left(i=1,2,3\right)$，第三层指标记为 $C_{ij}\left(i=1,2,3;\ j=1,2,3\right)$，其中 C_{ij} 为第 i 个二级指标的第 j 个分指标。系统指标如下所示：

1) 系统时效性 B_1 包含三个评估指标：通信误码率 C_{11}、通信速率 C_{12} 与通信容量 C_{13}。由于环境影响，通信过程中会发生误码，这部分由通信误码率 C_{11} 来描述。通信速率 C_{12} 反映了信息传输的快慢程度，是应急通信保障能力的基础性指标。通信容量 C_{13} 则用于表征通信传输带宽的大小，该指标是系统效益型指标。

2) 系统稳定性 B_2 包含三个评估指标：工作时长 C_{21}、系统拓扑结构 C_{22} 与生存能力 C_{23}。系统工作时长 C_{21} 是指应急系统能够保障通信任务的时间，通常而言应急通信保障系统工作时长与保障任务息息相关。合理的拓扑结构 C_{22} 对于应急通信保障系统至关重要，决定某一节点瘫痪后整体通信能力受损情况。实际工作过程中，应急通信保障系统会受到各种干扰、窃听、攻击等，生存能力 C_{23} 表征在复杂环境下系统能够稳定工作的能力。

3) 系统安全性 B_3 包含三个评估指标：系统保密能力 C_{31}、抗干扰能力 C_{32} 与电磁防护能力 C_{33}。应急

通信保障系统应该具备一定的信息抗截取与抗欺骗等能力，旨在减少非业务方对系统信息的搜索、截获、欺骗和入侵等破坏，上述能力可被称为系统保密能力 C_{31}。抗干扰能力 C_{32} 是指通信网络在受干扰后有效传输信息的能力。复杂的电磁干扰环境对应急通信保障系统提出了更高要求，电磁防护能力 C_{33} 对保障通信系统安全性具有重要意义，电磁防护能力包含电磁隐蔽和抗电磁摧毁等。

3.3. 确定指标权重

应急通信保障系统效能评估指标体系中，第二、三层均含有多个指标，同类指标对于上一层指标的影响程度有所不同，因此需要确定同类型指标之间的相对权重。在模糊层析分析法中，通常采用 Satty 标度法表征指标相对权重情况，如表 1 所示。

Table 1. The construction standard for Satty judgment matrix
表 1. Satty 判断矩阵构造标准

重要性	含义
1	两者相比，同等重要
3	两者相比，后者稍显重要
5	两者相比，后者明显重要
7	两者相比，后者强烈重要
9	两者相比，后者极端重要
2，4，6，8	两相邻判断的中间状态
倒数	若 i 与 j 的重要性之比为 a_{ij}，则 j 与 i 之比 a_{ji} 为 $1/a_{ij}$

基于上述构造标准，可得相应判别矩阵 a：

$$a=\begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

随后采用和积法可计算得出指标相对权重值 $W_a=[w_1,w_2,\cdots,w_n]$：

$$w_i=\frac{\sum_{j=1}^{n}\left(a_{ij}\Big/\sum_{i=1}^{n}a_{ij}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left[\sum_{j=1}^{n}\left(a_{ij}\Big/\sum_{i=1}^{n}a_{ij}\right)\right]},i=1,2,\cdots,n \tag{1}$$

4. 通信网络系统效能评估模型

采用模糊层次分析法对应急通信保障系统进行效能评估，需要以下五个过程：1) 构造评估指标集；2) 建立评语集；3) 计算指标权重；4) 确定指标模糊隶属度；5) 进行综合评估。本节后续内容阐述应急通信保障系统效能评估的具体实现过程：

Step 1：构建评估指标集。第三章所给出的应急通信保障系统效能评估指标体系中的所有指标即构成了评估指标集合，该集合共包含 1 个目标层指标、3 个二级指标与 9 个三级指标，指标之间存在相应隶属关系，如图 1 所示。

Step 2：评语集合在文章中特指评估指标的评价等级。根据应急通信保障系统效能评估数据采集情况，本文选择“优、良、中与差”为评语集合，取为 $p=[p_1,p_2,p_3,p_4]$，其中 $\sum_{i=1}^{4}p_i=1$。假设通信误码率 C_{11} 的指标评价为“优秀 32%，良 34%，中 22%，差 12%”，对应评语则为：$p(C_{11})=[0.32,0.34,0.22,0.12]$。

Step 3：计算指标权重。本文采用 3.3 章节所给出的 Satty 标度法，可得到指标的判断矩阵，然后利

用公式(1)所提出的计算方法可得到指标权重。通过本过程可得到目标层权重 $W(A)$ 与准则层权重 $\{W(B_1),W(B_2),W(B_3)\}$。

Step 4：采用问卷调查、专家咨询与文档审查等方式，基于评语集合“优、良、中与差”进行模糊评估即可得到相应评价值，进一步根据隶属关系则可构成二级指标模糊矩阵：

$$p(B_1)=\begin{bmatrix}0.32 & 0.34 & 0.22 & 0.12\\ 0.36 & 0.26 & 0.20 & 0.18\\ 0.46 & 0.21 & 0.17 & 0.16\end{bmatrix}$$

$$p(B_2)=\begin{bmatrix}0.34 & 0.32 & 0.18 & 0.16\\ 0.26 & 0.36 & 0.18 & 0.20\\ 0.35 & 0.32 & 0.20 & 0.13\end{bmatrix}$$

$$p(B_3)=\begin{bmatrix}0.34 & 0.33 & 0.21 & 0.12\\ 0.30 & 0.32 & 0.28 & 0.10\\ 0.55 & 0.18 & 0.14 & 0.13\end{bmatrix}$$

Step 5：基于三级指标权重 $\{W(B_1),W(B_2),W(B_3)\}$ 与模糊矩阵 $\{p(B_1),p(B_2),p(B_3)\}$，利用模糊层次分析法的评估公式可得二级指标评估结果：

$$\tilde{p}(B_m)=w(B_m)*p(B_m),m=1,2,3 \tag{2}$$

应急通信保障系统效能所对应的模糊矩阵则可表示为 $p(A)=\left[\tilde{p}(B_1),\tilde{p}(B_2),\tilde{p}(B_3)\right]^T$。根据目标层判别矩阵 $D(A)$ 可得指标权重 $W(A)$，随后得到最终应急通信保障系统效能评估结果 $\tilde{p}(A)$：

$$\tilde{p}(A)=w(A)*p(A) \tag{3}$$

5. 评估实例研究

本章节以某次重大演习任务中的应急通信保障系统为研究对象，采用模糊层次分析法进行系统效能评估，具体评估过程可归纳为：

Step 1：构建应急通信保障系统效能评估指标集合。本文所构造的指标体系如图 1 所示，评价因素集包含体系中的所有指标。

Step 2：建立评语集。本文选择“优、良、中与差”为评语集合。

Step 3：计算指标权重。采用问卷调查等方式，得到判别矩阵 $\{D(A),D(B_1),D(B_2),D(B_3)\}$：

$$\begin{aligned}D(A)&=\begin{bmatrix}1 & 1/2 & 1/4\\ 2 & 1 & 2\\ 4 & 1/2 & 1\end{bmatrix} & D(B_1)&=\begin{bmatrix}1 & 1/3 & 1/2\\ 3 & 1 & 2\\ 2 & 1/2 & 1\end{bmatrix}\\ D(B_2)&=\begin{bmatrix}1 & 2 & 1/3\\ 1/2 & 1 & 3\\ 3 & 1/3 & 1\end{bmatrix} & D(B_3)&=\begin{bmatrix}1 & 1/2 & 1/3\\ 2 & 1 & 1\\ 3 & 1 & 1\end{bmatrix}\end{aligned} \tag{4}$$

基于公式(1)可得二、三级指标的相对权重：

$$\begin{aligned}w(A)&=[0.62,0.24,0.24] & w(B_1)&=[0.45,0.21,0.34]\\ w(B_2)&=[0.40,0.21,0.39] & w(B_3)&=[0.50,0.26,0.24]\end{aligned} \tag{5}$$

Step 4：根据第四章所得结论可以确定二级指标的模糊隶属度矩阵 $\{p(B_1),p(B_2),p(B_3)\}$。

Step 5：基于公式(2)即可得到 $p(A)=\left[\tilde{p}(B_1),\tilde{p}(B_2),\tilde{p}(B_3)\right]^T$，随后结合公式(3)得到最终应急通信保

障系统效能评估值：

$$\tilde{p}(A) = w(A) * p(A) \tag{6}$$

从而得到该演习任务中的行动中应急通信保障系统效能评估结果为优。

6. 总结与展望

本文在分析效能评估方法的基础上，从系统时效性、稳定性与安全性方面对应急通信保障系统进行了研究，基于模糊层次分析法，构建了应急通信保障系统效能评估指标体系与模糊评估模型。通过评估某次重大演习任务中的应急通信保障系统效能，验证了本文所提出方法的有效性与合理性。采用模糊层次分析法对通信保障系统效能进行评估的做法，可以进一步推广到类似系统中，此方法对于系统效能评估研究具有参考价值。

参考文献

[1] 黎慧, 金宏斌, 戴瑜. 基于改进模糊层次分析法的效能评估方法研究[J]. 空军雷达学院学报, 2012, 26(4): 269-272.

[2] 张吉军. 模糊层次分析法[J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2): 80-88.

[3] 张幸, 胡建旺, 郝永峰. 基于改进模糊综合评判法的 C^3I 系统效能评估[J]. 电光与控制, 2011, 18(4): 41-45.

[4] 肖兵, 金宏斌. C^4ISR 系统分析、设计与评估[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2010.

[5] 郭振坤. 运用层次分析法进行通信系统效能评估[J]. 新技术, 2016, 6(4): 37-44.

[6] 官斌, 关红梅. 基于模糊综合层次法的短波通信系统效能评估[J]. 舰船电子工程, 2014, 34(2): 58-62.

[7] 张杰. 效能评估方法研究[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.

Hans汉斯

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD
   下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-1476，即可查询
2. 打开知网首页 http://cnki.net/
   左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：http://www.hanspub.org/Submission.aspx
期刊邮箱：orf@hanspub.org