



基于改进 TOPSIS 的配用电通信网性能评估方法^{*}

孟玲莉¹, 陈宁宁², 王江³, 喻鹏²

(1. 天津市电力公司信息通信分公司 天津 300010;

2. 北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室 北京 100876;

3. 天津市电力公司 天津 300010)

摘要:针对传统的层次分析法的不足,研究了多指标综合评估系统中指标权重的确定问题,并提出一种基于改进 TOPSIS 的配用电通信网性能评估方法。该方法将 SAW 方法、TOPSIS 方法与改进的 AHP 方法相结合对配用电通信网进行综合评估,并针对 TOPSIS 方法无法对中垂线上的数据进行处理的问题,提出了新的基于相对熵的 TOPSIS 方法。仿真结果表明,改进的 TOPSIS 方法更适合对指标敏感的配用电网络进行评估。

关键词:层次分析法;三标度法;TOPSIS;相对熵

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.04.025

A Performance Evaluation Method of Power Distribution and Utilization Communication Network Based on Improved TOPSIS

Meng Lingli¹, Chen Ningning², Wang Jiang³, Yu Peng²

(1. Tianjin Electric Power Information & Telecommunication Corporation, Tianjin 300010, China;

2. State Key Laboratory of Networking and Switching Technology,
Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;

3. Tianjin Electric Power Company, Tianjin 300010, China)

Abstract: Aiming at problems of AHP, the weight determining methods of the multi-index comprehensive evaluation system was studied, and a performance evaluation method of power distribution and utilization communication network based on the improved TOPSIS was proposed. The method puts forward that combine SAW, TOPSIS with the improved AHP to evaluate the performance of the power distribution and utilization communication network. As the basic TOPSIS method cannot process the data on the perpendicular bisector, the TOPSIS method based on the relative entropy was proposed. The simulation results show that the improved TOPSIS method is more suitable for evaluating the sensitive indicators of electric communication network.

Key words: AHP, three scale method, TOPSIS, relative entropy

1 引言

智能配用电通信网作为智能电网的重要组成部分,无论是在欧美国家的智能电网体系中,还是在我国提出的

“坚强智能电网”中都得到了广泛的关注^[1,2]。参考文献[3,4]提出了一系列智能电网的评价指标体系和评价方法,参考文献[5]分析了一般通信系统的性能指标,提出了配用电通信系统的性能评价指标体系。参考文献[6]提出了基于灰色

^{*} 国家电网公司科技基金资助项目 (No.SGTJXT00XXJS1300048)



关联分析方法的综合评价算法,然而该方法需要预先确定各个参考序列的最优值,这在实际的评估中是难以获取的。

在多属性网络综合评价中,权重的确定方法对评价结果的准确度有重要的影响。目前在整个智能电网的性能评估方案中大多采用基本的层次分析 (analysis hierarchy process, AHP) 法^[4,6,7]。AHP^[8]虽然简单易行,但是工作量大,计算复杂,且有一定的盲目性。本文通过对 AHP 方法进行改进,以确定评价体系各指标的权重;并结合 TOPSIS 综合评价算法,旨在提出一种更加适合配用电通信网的综合评价算法。

2 使用改进的 AHP 方法计算权重

针对传统 AHP 方法中一致性检验的不足,本文利用更简单的方法构建判断矩阵,不需要对判断矩阵进行一致性验证。参考文献[4,6,9]中采用基本的 AHP 方法,然而该方法在进行一致性验证时计算量相当复杂。针对其不足,为了满足智能配用电通信网的需要,本文对 AHP 方法进行了如下改进:将 1-9 标度法改为更加直观的三标度法构造比较矩阵 A ,并将其转换成具有 AHP 性质的判断矩阵 B ,然后求出判断矩阵的传递矩阵 C ,最后对拟最优矩阵 D 求其最大特征值对应的特征向量 W , W 即各个元素对应的权重值。如此既直观地计算了权重,又避免了复杂的运算,同时计算结果更加科学合理。

2.1 构建判断矩阵 B

使用三标度法对各个指标进行两两比较,构造比较矩阵 $A=\{a_{ij}\}$, $a_{ij}=0,1$ 或 2 ,分别表示第 i 个元素不如第 j 个元素重要、两者同等重要、第 j 个元素比第 i 个元素重要,且有 $a_{ii}=1$ 。

由比较矩阵 A 可以计算各个指标因素 i 的重要性比较值 v_i ,如下所示:

$$v_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}, i=1,2,\dots,n \quad (1)$$

令 $v_{\max}=\max\{v_i\}$, $v_{\min}=\min\{v_i\}$,分别表示 v_i 的最大值和最小值。令比较系数 α 表示如下:

$$\alpha = \frac{\frac{v_{\max}}{v_{\min}} - 1}{v_{\max} - v_{\min}} \quad (2)$$

α 表示 $v_{\max}$ 与 $v_{\min}$ 按某种标度给出的重要性程度。进一步,可以构造出判断矩阵 $B=\{b_{ij}\}$,其中 b_{ij} 由式(3)计算可得。对于矩阵 B 中的元素,满足条件 $b_{ij}=1/b_{ji}$ 。

$$b_{ij} = \begin{cases} \alpha(v_i - v_j) + 1, & v_i \geq v_j \\ [\alpha(v_i - v_j) + 1]^{-1}, & v_i < v_j \end{cases} \quad (3)$$

2.2 导出拟优一致矩阵

判断矩阵 B 满足 $b_{ij}=1/b_{ji}$,对于矩阵 $C=\{c_{ij}\}$,令 $c_{ij}=\lg b_{ij}$,则 $c_{ij}=\lg(1/b_{ji})=-c_{ji}$ 。根据参考文献[10]定义知,矩阵 C 为反对称矩阵。设存在矩阵 $D=\{d_{ij}\}$,各元素的表示如下:

$$d_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (c_{ik} - c_{jk}) \quad (4)$$

由于 $d_{ij}-d_{jk}=\frac{1}{n} \sum_{h=1}^n (c_{ih}-c_{jh})+\frac{1}{n} \sum_{h=1}^n (c_{jh}-c_{kh})=\frac{1}{n} \sum_{h=1}^n (c_{ih}-c_{kh})=d_{ik}$,因此矩阵 D 是判断矩阵 B 的最优传递矩阵。

令矩阵 $B'=\{b'_{ij}\}=\{10^{d_{ij}}\}$,则矩阵 B' 是 B 的一个拟优传递矩阵,并且它是一致的。由 B' 计算出相对于最大特征值的特征向量,并进行归一化操作,即可得到权重向量 w 。

2.3 确定权重

本文使用方根法近似计算权重,步骤如下:对于矩阵 B' ,求每一行元素的乘积 $M_i=\prod_{j=1}^n b'_{ij}$,然后计算方根 $W_i=\sqrt[n]{M_i}$,令 $w_i=W_i / \sum_{i=1}^n W_i$,则 $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 即所求的权重向量。

3 基于相对熵改进的 TOPSIS 方法

在参考文献[6]中使用了灰色关联分析的算法,该算法需要首先确定理想指标,然而这是不切实际的。TOPSIS 方法则不同,它根据各个待评价系统的指标值,能够动态地确定正负理想指标值,使得评估的结果更能反映各个系统的真实情况。然而 TOPSIS 方法也有自己的不足和缺陷,它无法解决两个方案中垂线上点的排序问题,而相对熵可以很好地解决这一问题。

根据信息理论的知识,两个系统 P 和 Q 的状态 P_i 和 Q_i ($i=1,2,\dots,n$) 之间的差别程度可以根据 Kullback-Leibler 距离来度量,即:

$$R = \sum_{i=1}^n [P_i \log \frac{P_i}{Q_i} + (1-P_i) \log \frac{1-P_i}{1-Q_i}] \quad (5)$$

R 值越小,表示系统 P 和 Q 的状态差别越小。 R 被称为系统 P 和 Q 的相对熵。由相对熵的定义可知,它不满足对称性,也不满足三角不等式,它实际上并非两个系统之间的真实距离,而是计算两个系统的相似程度。由于基本

的 TOPSIS 方法无法解决两个方案中垂线上点的排序问题,将相对熵引入其中,可以有效解决上述问题。

设有 m 个待评价对象、 n 个评价指标,组成指标矩阵 $U_{m \times n}$,则对评价对象 i 的第 j 个指标 u_{ij} 的值进行归一化处理如下:

$$u'_{ij} = u_{ij} / \sqrt{\sum_{j=1}^n u_{ij}^2}, i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad (6)$$

利用改进的 AHP 方法计算各个对象相应的加权标准化矩阵 $X=\{x_{ij}\}_{m \times n}$ 。为了求出各个对象与最优对象之间的近似度,可以分别求出第 i 行与最优对象以及最劣对象之间的相对熵,并定义一种新的贴近度。然后根据此贴近度对各个对象进行排序,该方法即基于相对熵的 TOPSIS 方法。

定义 1 加权矩阵 X 的理想对象 X^+ (即矩阵 X 中各列的最优值组成的一个列对象)。加权矩阵 X 的负理想对象 X^- (即矩阵 X 中各列的最劣值组成的一个对象)。

$$X^+=[x_1^+,x_2^+,\dots,x_n^+]=\{\max\{x_{ij}\} \text{ or } \min\{x_{ij}\}\} \quad (7)$$

$$X^-=[x_1^-,x_2^-, \dots, x_n^-]=\{\min\{x_{ij}\} \text{ or } \max\{x_{ij}\}\} \quad (8)$$

定义 2 记 S^+ 、 S^- 分别为第 i 个待评价对象 (矩阵 X 的第 i 个行向量) 与理想对象 X^+ 和负理想对象 X^- 的相对熵。式 (9) 为经过改进的相对熵的计算,式 (10) 为传统的相对熵的计算公式:

$$\begin{cases} S_i^+ = \sum_{j=1}^n \left[x_j^+ \log \frac{x_j^+}{x_{ij}} + (1-x_j^+) \log \frac{1-x_j^+}{1-x_{ij}} \right] \\ S_i^- = \sum_{j=1}^n \left[x_j^- \log \frac{x_j^-}{x_{ij}} + (1-x_j^-) \log \frac{1-x_j^-}{1-x_{ij}} \right] \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} S_i^{+'} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j^+ - x_{ij})^2} \\ S_i^{-'} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j^- - x_{ij})^2} \end{cases} \quad (10)$$

根据 S^+ 、 S^- 引入一种新的与理想对象之间的贴近程度 N_i^+ 。分别计算各个待评价对象的贴近度 N_i^+ ,并按照降序排列,使得前面的性能优于后面,即可得到待评价对象综合评估的优劣性。

$$N_i^+ = S_i^- / (S_i^- + S_i^+) \quad (11)$$

4 评价指标及权重确定

评价体系的建立,是进行综合评价的基础,也是利用 AHP 构建矩阵、确定各指标权重的基础。对配用电通信网系统从技术指标、可靠性、安全性 3 个方面进行分析。

- 在技术性指标方面,主要评价的指标有终端通信设备的平均传输速率、通信连接的平均时间、通信系统带宽。
- 配用电通信网的可靠性表现在以下 3 个方面:一是通道可靠率;二是通道平均中断次数,即调度点通道在统计期间的平均中断次数;三是误码率。
- 本文主要考虑网络的自愈能力。自愈能力反映了当网络中某一节点出现故障后,网络自动恢复正常状况的能力。

通过以上分析,在利用 AHP 方法进行计算权重、设计准则时,主要考虑的指标有:终端平均传输率、通信连接时间、系统带宽、通道可靠率、误码率、自愈能力。参考文献[6]中使用了基本的 AHP 方法来确定指标的权重,本文根据参考文献[7]中指标的相对重要程度,基于专家对各指标重要程度的判断,并根据三标度法对两两因素的重要程度进行比较,建立比较矩阵 A 如下:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

由比较矩阵 A ,根据式(1)、式(2)、式(3)可以确定判断矩阵 B 如下:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 6 & 4 & 1/6 & 1 & 1/4 \\ 1/6 & 1 & 1/3 & 1/11 & 1/6 & 1/9 \\ 1/4 & 3 & 1 & 1/9 & 1/4 & 1/7 \\ 6 & 11 & 9 & 1 & 6 & 3 \\ 1 & 6 & 4 & 1/6 & 1 & 1/4 \\ 4 & 9 & 7 & 1/3 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

由判断矩阵 B ,根据判断矩阵与最优矩阵 C 、最优矩阵与拟优矩阵之间的转换公式可以得到拟优矩阵如下:

$$B' = \begin{bmatrix} 1 & 4.694 & 2.637 & 0.213 & 1 & 0.379 \\ 0.213 & 1 & 0.562 & 0.045 & 0.213 & 0.081 \\ 0.379 & 1.78 & 1 & 0.081 & 0.379 & 0.144 \\ 4.694 & 22.03 & 12.376 & 1 & 4.694 & 1.78 \\ 1 & 4.694 & 2.634 & 0.213 & 1 & 0.379 \\ 2.634 & 12.376 & 6.952 & 0.562 & 2.646 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

最后求得拟优矩阵的特征向量,并进行归一化操作得到各个指标的权重向量 $W=(0.101,0.021,0.038,0.473,0.101,0.266)$ 。



5 多属性综合评价

5.1 TOPSIS 及改进的 TOPSIS

作为全国智能电网发展较快的省市,江苏省南京市拥有大规模的智能电网系统,本文以南京市 3 个区域的通信网系统为例,以 1 星期为周期,随机采集系统运行的指标参数,对 3 个通信网络的性能进行综合评估,则 3 个对象网络 1、网络 2 和网络 3 以及经过分析处理得到的指标见表 1。

首先对各个指标的值按照式(6)进行归一化操作。根据指标的权重向量 W ,计算出加权矩阵,见表 2。

根据式(7)、式(8)求出网络系统的正理想解和负理想解如下:

$$\begin{cases} X^+=[0.065\ 4, 0.009\ 7, 0.023\ 3, 0.274, 0.054\ 7, 0.169] \\ X^-=[0.049\ 1, 0.014\ 5, 0.020\ 7, 0.272, 0.061\ 5, 0.136] \end{cases} \quad (15)$$

通过式(9)、式(10)求得各个网络的正负熵如下:

$$\begin{cases} S^+=[0.000\ 74, 0.003\ 1, 0.000\ 64] \\ S^-=[0.002\ 25, 0.000\ 64, 0.001\ 65] \\ S^{+'}=[0.010\ 85, 0.036\ 39, 0.016\ 03] \\ S^{-'}=[0.033\ 94, 0.008\ 48, 0.024\ 08] \end{cases} \quad (16)$$

根据正负熵的值,按照式(11)可以计算基于基本的 TOPSIS 方法和改进的 TOPSIS 方法的网络与理想网络的相对接近度分别为 $n'=[0.758, 0.189, 0.600]$ 和 $n=[0.752, 0.172, 0.721]$ 。

5.2 SAW 法综合评价

在使用简单加权法进行综合评价时,对待评价的 m 个网络和 n 个指标,首先要对各个指标值 u_{ij} 按照式(17)进行归一化处理:

$$u_{ij}' = \begin{cases} \frac{u_{ij}}{u_{ij}^{\max}}, i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n, \text{越大越优型} \\ \frac{u_{ij}^{\min}}{u_{ij}}, i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n, \text{越小越优型} \end{cases} \quad (17)$$

经过归一化的指标矩阵见表 3。

使用 SAW 归一化矩阵与改进的 AHP 算法求得的权重向量相乘可得 3 个网络的最终得分为 $n''=[0.968, 0.918, 0.963]$ 。

5.3 结果分析

通过以上 3 种评估方法计算的 3 个网络的排名是一致的,由此可知,利用改进的 TOPSIS 方法进行综合评估是有效的。3 个网络相比,可靠性相差甚小,在自愈能力要求相对较高的情况下,网络 1 作为首先网络是可以理解的。

表 1 指标矩阵

对象	指标					
	平均传输率/(kbit·s ⁻¹)	连接时间/s	带宽/(Mbit·s ⁻¹)	可靠率	误码率	自愈能力
网络 1	36	1.5	36	99%	0.018	9.9
网络 2	30	1	32	99.5%	0.016	8
网络 3	40	1.3	34	99.8%	0.017	9

表 2 加权矩阵

对象	指标					
	平均传输率/(kbit·s ⁻¹)	连接时间/s	带宽/(Mbit·s ⁻¹)	可靠率	误码率	自愈能力
网络 1	0.058 9	0.014 5	0.023 3	0.272	0.061 5	0.169
网络 2	0.049 1	0.009 7	0.020 7	0.273	0.054 7	0.136
网络 3	0.065 4	0.012 6	0.022	0.274	0.058 1	0.153

表 3 SAW 归一化矩阵

对象	指标					
	平均传输率/(kbit·s ⁻¹)	连接时间/s	带宽/(Mbit·s ⁻¹)	可靠率	误码率	自愈能力
网络 1	0.9	0.667	1.0	0.992	0.889	1.0
网络 2	0.75	1.0	0.889	0.997	1.0	0.808
网络 3	1.0	0.769	0.944	1.0	0.941	0.909

网络 3 和网络 2 相比较,可靠性、自愈能力、传输速率优于网络 2,故而其评估结果是合理的。

假设各项指标的权重不变,对于 3 个网络,仅更改某个指标的值,其他指标的值均不变化,测试改进的 TOPSIS 方法与 SAW 方法对指标变化的敏感度,测试结果如图 1~图 4 所示。选取 3 个网络的自愈能力同时增减相同的指标量,由图 1、图 2 可知,改进的 TOPSIS 方法对自愈能力的变化更为明显。图 3、图 4 为更改平均传输速率的值测得的改进的 TOPSIS 方法与 SAW 方法对其改变的敏感度,同样可知改进的 TOPSIS 方法更为敏感。

6 结束语

目前,智能配用电通信网性能评估的方法相对较少,参考文献[6]中提出的基于多层次灰色关联分析的综合评价方法有明显的缺陷。本文所提出的基于改进的

TOPSIS 方法的综合评价算法与参考文献[6]中的评估方法进行比较有以下优点:首先,对 AHP 方法进行了改进,使得算法更加适合智能配用电通信网;其次,本文采用了主客观相结合的评估方法,使得权重的确定更加合理化;最后,针对本文提出的方法进行试验验证,同时分析了改进的 TOPSIS 方法与 SAW 方法对网络指标的敏感度。结果表明,改进的 TOPSIS 方法更加适合对指标敏感的配用电通信网的综合性能分析,试验结果更加具有说服力。

参考文献

- 1 张道农,彭华,刘洋等.我国“十二五”智能电网的发展重点研究.华北电力技术,2013(1)
- 2 曹君威,万宇鑫,涂国煜等.智能电网信息系统体系结构研究.计算机学报,2013,36(1):143~167
- 3 孙强,葛旭波,刘林等.智能电网多属性网络层次组合评价法及其应用研究.电网技术,2012,36(10):49~54

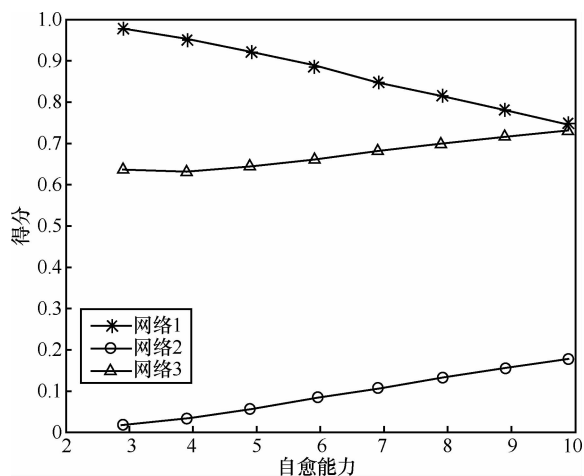


图 1 改进的 TOPSIS 方法对自愈能力的敏感度

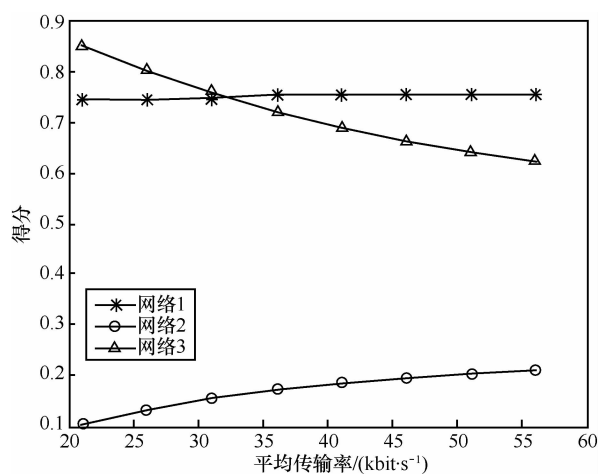


图 3 改进的 TOPSIS 方法对平均传输率的敏感度

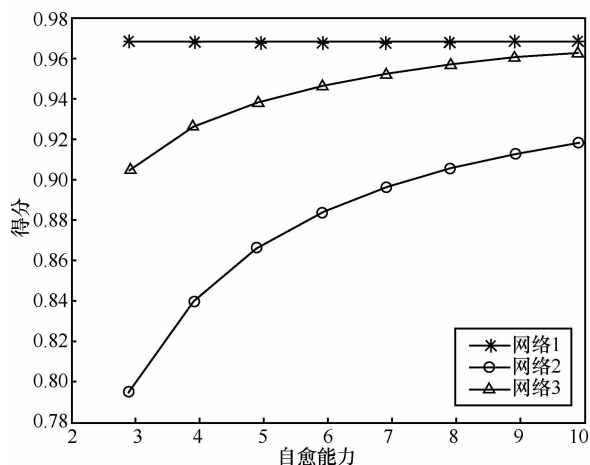


图 2 SAW 方法对自愈能力的敏感度

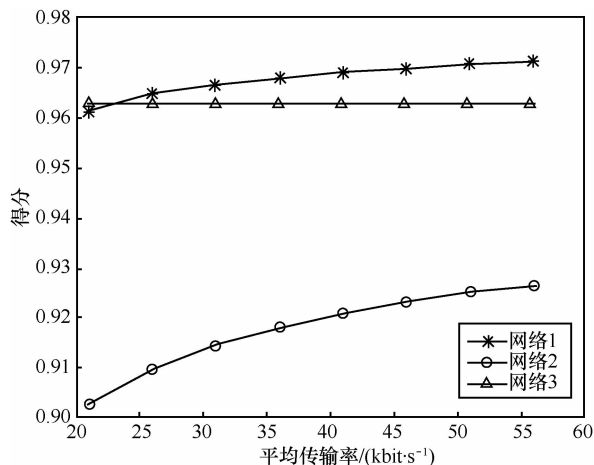


图 4 SAW 方法对平均传输率的敏感度



- 4 张健,蒲天骄,王伟等. 智能电网示范工程综合评价指标体系. 电网技术, 2011, 35(6): 5~9
- 5 李家全. 配电网通信系统综合性评价体系研究. 陕西电力, 2010(5): 61~65
- 6 宋戈. 基于多层次灰色关联分析的配电网通信系统综合评价方法. 数字通信世界, 2012(1)
- 7 王志波. 基于 AHP-灰色关联度模型的企业技术创新能力评价. 统计与决策, 2013(4)
- 8 徐树伯. 层次分析原理. 天津: 天津大学出版社, 1998
- 9 常建娥. 层次分析法确定相关权重的研究. 武汉理工大学学报, 2007, 29(1): 153~155
- 10 潘吟, 吴望名. 反对称阵的最优传递阵. 数学的实践与认识, 1988(2)



陈宁宁,女,北京邮电大学硕士生,主要研究方向为智能配用电通信网规划与优化。



王江,男,天津市电力公司工程师,主要研究方向为基建项目和信息管理。



喻鹏,男,博士,北京邮电大学讲师,主要研究方向为网络管理与通信软件。

[作者简介]



孟玲莉,女,天津市电力公司信息通信分公司工程师,主要研究方向为信息系统建设与运维。

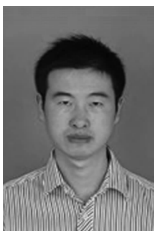
(收稿日期:2014-02-08)

(上接第 166 页)

置策略实现逻辑专网;通过双载波异频、随机自由驻留业务资源分配策略、回落策略及相关参数的加载和优化,能够有效保证高铁网络质量;通过开启部分功能进一步提升高铁网络质量和用户感知。高铁专网形成后,如何解决高铁小区下公网用户的出口仍需进一步探索。

参考文献

- 1 Holma H, Toskala A. UMTS 中的 WCDMA-HSPA 演进及 LTE (原书第 5 版). 杨大成译. 北京:机械工业出版社, 2011
- 2 王有为, 徐志宇, 夏国忠. WCDMA 特殊场景覆盖规划与优化. 北京:人民邮电出版社, 2011
- 3 梁松柏, 魏宁, 韩广平等. 利用后台实时跟踪及多载波解决全覆盖高铁网络质量. 中兴通讯, 2014(1)

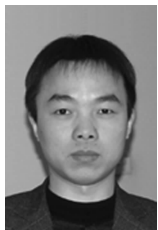


李文生,男,现就职于中国联合网络通信有限公司河南省分公司网络优化中心,主要从事移动网络质量研究工作。



魏宁,男,现就职于中国联合网络通信有限公司河南省分公司网络优化中心,主要从事移动网络质量研究工作。

[作者简介]



梁松柏,男,中国联合网络通信有限公司河南省分公司网络优化中心一级技术专家,长期从事移动网络质量研究工作。



刘伟,男,现就职于中国联合网络通信有限公司河南省分公司网络优化中心,主要从事移动网络质量研究工作。

(收稿日期:2014-01-08)