

城市视频监控运维级别管理方法研究

郑淑鉴, 胡少鹏

(广州市交通规划研究院有限公司, 广东 广州 510030)

摘要: 随着信息技术的发展, 城市基本形成了全域覆盖的视频监控网络, 大型城市的视频监控点数量甚至达到百万级, 视频运维难度越来越大, 对时效性的要求也越来越高, 但现有的运维缺少有效的服务级别管理。本研究以视频监控点的操作数据为基础, 通过统计视频监控点的操作记录数据特征和点位的重要性参数, 借鉴层次分析方法和 ITIL 的管理理念, 提出一种视频监控点服务级别的管理方法, 实现在运维过程中动态衡量各个视频监控点的服务级别, 形成面向用户实际需求的运维模式, 最后通过案例验证, 说明了方法的科学有效性。

关键词: 信息技术; 视频监控; 运维管理; 服务级别

中图分类号: TN948.6

文献标识码: A

Research on Urban Video Monitoring Operation and Maintenance Level Management Method

ZHENG Shujian, HU Shaopeng

(Guangzhou Transportation Planning Research Institute Co., LTD., Guangzhou 510030, Guangdong, China)

Abstract: With the development of information technology, most cities have basically formed a video monitoring network covering the whole area. The number of video surveillance points in large cities has even reached one million level. Video surveillance operation and maintenance is becoming more and more difficult, and the requirement for timeliness is also higher and higher. However, the existing operation and maintenance lacks effective service level management. Based on the operation data of video surveillance, this research puts forward a fast identification and management method of service level of video surveillance, which can dynamically measure the service level of each video surveillance in the process of operation and maintenance, and form a user-oriented model by counting the operation record data characteristics of video surveillance and the importance parameters of the point, referring to the analytic hierarchy process and ITIL management concept. Finally, a case is given to illustrate the effectiveness of the method.

Key words: information technology; video surveillance; operation and management; service level

随着视频监控技术的发展, “天网工程” “平安城市” “雪亮工程”等重点工程的顺利部署落地, 各地已逐步形成了覆盖全域的视频监控网络, 视频监控系统已成为智慧城市不可或缺的重要组成部分, 尤其是一线城市的视频监控点, 其数量往往以数百万计, 视频监控系统的规模越来越大, 同时用户对运行维护时效性的要求也越来

越高, 保证系统正常运行的难度日益增加, 因此不少单位引入信息技术基础架构库 (Information Technology Infrastructure Library, ITIL) 的管理理念, 建立了视频监控运行维护管理系统, 并采用信息化的手段来提高维护效率。然而, 作为 ITIL 核心思想之一的服务级别管理, 在视频监控运行维护实践中, 并没有得到很好的落实和应

收稿日期: 2022-10-21

作者简介: 郑淑鉴, 高级工程师, 硕士, 研究方向为智慧交通、信息技术、城市交通管理等

用,导致重要的视频监控点没能获得应有服务级别的维护,降低了视频监控系统运行维护的有效性以及用户的满意度,严重影响了视频监控系统的的使用。

1 研究综述

目前相关学者对 ITIL 的服务管理做了大量的理论与实践研究,如张孜^[1]提出了一种基于 ITIL 理念的交通信息设施运维管理系统设计与实现方法;王河堂^[2]借鉴并拓展了 ITIL 理论与方法,构建了基于 ITIL 理论的一卡通运维管理体系;戚伟强^[3]依托 ITIL 框架,建立了一套满足电力系统自动化运维的 IT 管理体系;梁磊^[4]通过引进 ITIL 的理念和加入“人、流程与技术”三要素,构建了一个基于流程管理的物流中心信息网络运维系统架构;周新^[5]结合实际业务需求,设计和实现了一个基于 ITIL 的 IT 运维和管理服务系统;王楠^[6]提出了基于 IT 服务管理的运维体系;在视频监控运维方面,陈智慧^[7]针对视频监控运行维护管理中存在的问题研究科学规范的运维管理措施,苏志贤^[8]针对业务流程等设计和优化一套标准的视频运维服务流程方案,邓美容^[9]探讨了视频运维如何更加智慧化,段文凯^[10]分析探讨了使视频监控网络更加安全、高效运维的方法。可以看出,现有研究的重点主要是如何规范运行维护的流程,并采用信息化的手段加以实现,而对于视频监控系统中基于用户的实际使用情况来识别和定义视频监控点服务级别的理论及实践方法则基本没有,使得视频监控系统的运行维护效果未能得到明显改善。因此,研究视频监控点服务级别的管理方法具有重大的意义,本文基于视频监控的操作记录数据提出一种运维级别管理方法。

2 视频监控操作记录数据概况

在日常的管理中,经常需要调用某个视频监控点以查看事件,一般情况下,用户调用视频监控,系统会在后台记录相关的数据,包括调用视频的用户 ID、视频点 ID、调用时刻、巡控时长、是否拷贝视频等数据,如表 1 所示,这些操作数据反映了用户的实际需求,是判断视频监控点服务级别的重要基础。此外,每一个视频点一般情况下都会有自己的属性信息,如视频点重要度(权重)、维修记录等,这些信息也可以辅助判断视频监控点的服务级别。

表 1 视频监控系统操作记录示例

用户 ID	视频点 ID	调用时刻	巡控时长	是否拷贝录像
3145730	3158024	2016/11/18 11:15:00	17	0
.....				

3 视频监控点运维级别管理方法研究

基于视频监控点的操作记录数据,借鉴层次分析方法,选取用户的调用频次、巡控时长、拷贝录像次数和监控点的权重四个系数提出一种基于 ITIL 理念的视频监控点服务级别的管理方法,实现对监控点的分级管理,技术方法如图 1 所示。

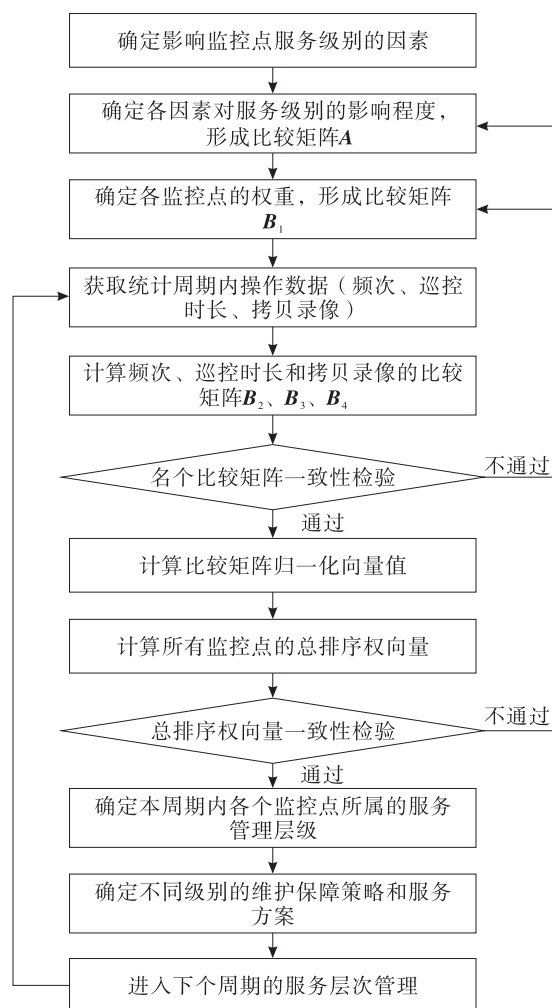


图 1 视频监控点服务级别快速识别与管理流程

1) 确定影响视频监控点服务级别的因素

根据实际的监控设施管理需求,确定采用监控点位的权重 A_1 、监控点位调用的频次 A_2 、监控点位调用后的巡控时长 A_3 、拷贝录像次数 A_4 作为影响视频监控点服务级别的因素。

2) 确定各因素对服务级别的影响程度

采用比较矩阵的方式来表示影响程度,形成一个对比矩阵 $A = (a_{ij})_{4 \times 4}$, 其中矩阵中 a_{ij} 表示第 i 个影响因素 A_i 相对于第 j 个影响因素 A_j 的比较结果,比较结果用“1~5”的尺度来表示,各数据的具体意义如表2所示:

表2 各因素的权重意义说明

尺度	含义
1	第 i 个影响因素与第 j 个因素的影响相同
2	第 i 个影响因素比第 j 个因素的影响稍强
3	第 i 个影响因素比第 j 个因素的影响强
4	第 i 个影响因素比第 j 个因素的影响较强
5	第 i 个影响因素比第 j 个因素的影响明显强

3) 对比确定各个监控点位的权重

采用比较矩阵的方式来表示各个监控点位的重要性,设有 n 个交通监控点,则可以形成比较矩阵 $B_1 = (b_{1ij})_{n \times n}$ 。矩阵中, b_{1ij} 表示监控点 i 对比监控点 j 的重要程度,同样采用“1~5”的尺度来表示,若 $b_{1ij} > 1$ 表示监控点 i 比监控点 j 重要,若 $b_{1ij} = 1$ 表示监控点 i 比监控点 j 同等重要,若 $b_{1ij} < 1$ 表示监控点 i 比监控点 j 不重要。

4) 获取统计周期内操作数据形成比较矩阵

①在视频监控系统中,一般记录有每个用户对视频监控的调用记录,包括调用的监控点位、巡控时长等,也有拷贝视频监控的相关记录。综合上述记录情况,可以形成视频监控点调用频次、巡控时长和拷贝录像的比较矩阵 $B_2 = (b_{2ij})_{n \times n}$ 、 $B_3 = (b_{3ij})_{n \times n}$ 、 $B_4 = (b_{4ij})_{n \times n}$ 。 B_2 矩阵表示的是各个监控点位的调用频次,计算说明如下:

设在统计周期里,各个监控点位的调用频次分别为 $\{x'_1, x'_2, \dots, x'_i \dots x'_n\}$, 则 B_2 初始矩阵中 $b_{2ij}' = x'_i/x'_j$, 进一步以“1~5”的标准化处理,则矩阵主对角线及以上的数计算公式为:

$$b_{2ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ 1/5 + \frac{b_{2ij}' - \min\{b_{2ij}'\}}{\max\{b_{2ij}'\} - \min\{b_{2ij}'\}} \times (5 - 1/5) & i < j \end{cases} \quad (1)$$

主对角线以下的数计算公式为:

$$b_{2ij} = 1/b_{2ji} \quad i > j \quad (2)$$

依此可以建立形成 $B_2 = (b_{2ij})_{n \times n}$ 的矩阵,其中 b_{2ij} 数值越大,代表第 i 个监控点的调用频次比第 j 个调用频次越多。 B_3 是各个监控点位的巡控时长,计算说明如下:

设在统计周期里各个监控点位的总巡控时长

分别为 $\{y'_1, y'_2, \dots, y'_i \dots y'_n\}$, 则 B_3 初始矩阵中 $b_{3ij}' = y'_i/y'_j$, 进一步以“1~5”的标准化处理,则矩阵主对角线及以上的数计算公式为:

$$b_{3ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ 1/5 + \frac{b_{3ij}' - \min\{b_{3ij}'\}}{\max\{b_{3ij}'\} - \min\{b_{3ij}'\}} \times (5 - 1/5) & i < j \end{cases} \quad (3)$$

主对角线以下的数计算公式为:

$$b_{3ij} = 1/b_{3ji} \quad i > j \quad (4)$$

依此可以建立形成 $B_3 = (b_{3ij})_{n \times n}$ 的矩阵,其中 b_{3ij} 数值越大,代表第 i 个监控点的巡控时长比第 j 个巡控时长越长。 B_4 是各个监控点位的被拷贝录像的次数,计算说明如下:

设在统计周期里各个监控点位的被拷贝次数分别为 $\{z'_1, z'_2, \dots, z'_i \dots z'_n\}$, 则 B_4 初始矩阵中 $b_{4ij}' = z'_i/z'_j$, 进一步以“1~5”的标准化处理,则矩阵主对角线及以上的数计算公式为:

$$b_{4ij} = \begin{cases} 1 & (i = j) \\ 1/5 + \frac{b_{4ij}' - \min\{b_{4ij}'\}}{\max\{b_{4ij}'\} - \min\{b_{4ij}'\}} \times (5 - 1/5) & (i < j) \end{cases} \quad (5)$$

主对角线以下的数计算公式为:

$$b_{4ij} = 1/b_{4ji} \quad i > j \quad (6)$$

依此可以建立形成 $B_4 = (b_{4ij})_{n \times n}$ 的矩阵,其中 b_{4ij} 数值越大,代表第 i 个监控点被拷贝的次数要比第 j 个多。

5) 五个比较矩阵一致性检验

为了保证矩阵中对比结果的一致性,需要对矩阵进行一致性检验,若不通过,则需调整矩阵并再次检验直到通过,具体如下:

①构建一致性检验指标 CI :

$$CI = (\lambda - n)/(n - 1) \quad (7)$$

式中, n 为矩阵的对角线元素之和,也为矩阵的特征根之和; λ 为矩阵的最大特征值。

②构建一致检验比率 CR :

$$CR = CI/RI \quad (8)$$

式中, RI 为随机一致性指标,可通过矩阵理论查询获得不同矩阵对角线元素和 n 的数值。

当 $CR < 0.1$ 时,认为比较矩阵的不一致程度在容许的范围之内,可用其归一化特征向量作为权向量,否则要重新构造比较矩阵。

在此,分别对 A 、 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 五个比较矩阵进行一致性检验,若 A 、 B_1 不通过,则重新

调整直到通过为止；若 B_2 、 B_3 、 B_4 不通过，则是计算上存在问题，需要检查纠正。

6) 计算五个一致性比较矩阵的归一化向量

当矩阵通过一致性检验后，可以同时获得最大特征值 λ 对应的特征向量 $\{\omega_1, \omega_2 \cdots \omega_i \cdots \omega_n\}$ ，利用下式可以对该特征向量进行归一化处理：

$$w_i = \omega_i / (\sum_{i=1}^n \omega_i) \quad (9)$$

经过归一化处理，可以得到新的归一化向量 $\{w_1, w_2 \cdots w_i \cdots w_n\}$ 。

在此，分别对 A 、 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 五个比较矩阵计算其归一化向量值，分别为： $\{w_{a1}, w_{a2}, w_{a3}, w_{a4}\}$ 、 $\{w_{11}, w_{12} \cdots w_{1n}\}$ 、 $\{w_{21}, w_{22} \cdots w_{2n}\}$ 、 $\{w_{31}, w_{32} \cdots w_{3n}\}$ 、 $\{w_{41}, w_{42} \cdots w_{4n}\}$

7) 计算总排序权向量及一致性检验

通过以上的计算，各个监控点的总排序权向量值为 b_j ：

$$b_j = \sum_{i=1}^4 w_{ai} \times w_{ij} (j = 1, 2, \cdots, n) \quad (10)$$

总排序权向量的一致性指标为：

$$CI = \sum_{i=1}^4 w_{ai} \times CI_i \quad (11)$$

式中， CI_i 为 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 四个比较矩阵的一致性指标。

则总排序权向量的一致性比率：

$$CR = CI/RI \quad (12)$$

若 $CR < 0.1$ ，表示可按照总排序权向量表示的结果进行决策，否则需要重新考虑构建比较矩阵。最终的排序权向量为 $\{b_1, b_2 \cdots b_n\}$ ， b_i 代表各个监控点的优先服务系数， b_i 值越大，代表监控点的服务优先级别越高。

8) 确定各个监控点所属的服务管理层级、策略和服务方案

假设对 n 个监控点采用分 k 层管理的模式，第一层是最优先的级别，第 k 层优先级最低，根据实际人力、财力投入情况设第一层优先处理的监控点数量为 C_1 ，下层的监控点数量与上层监控点形成等差数列，则等差数列的公差：

$$d = 2(n - k C_1) / [k(k - 1)] \quad (13)$$

第 i 层的监控点数量为：

$$C_i = C_1 + (i - 1) \times d \quad (14)$$

通过上述等差数列公式来设定每层的视频监控点数量后，按照排列顺序，从前至后依次将对数量的视频监控点划分至对应的层级中，即对应的服务级别，以实现 n 个视频监控点的服务级别划分，达到视频监控点所处的服务级别的快速

识别；另外，在确定本统计周期内各视频监控点所属的服务管理层级（即服务级别）后，便可按照该服务级别所对应的维护保障策略和服务方案来对该层级的监控点进行运维操作，不同服务级别的维护保障策略和服务方案可根据实际情况来确定。在日常服务管理工作中，需要定期运算上述过程来重新确定各监控点位的的服务级别，而当高级别的监控点位出现故障时，则应优先考虑修复该监控点位，以满足实际工作需求。

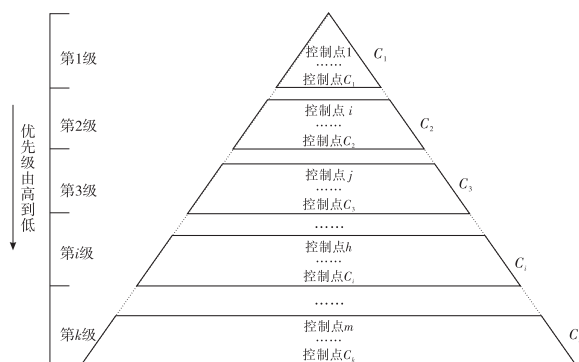


图2 对视频监控点进行分层管理

4 案例分析

从城市中随机抽取6个视频监控点（分别为 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 、 b_6 ）为案例说明其服务级别的管理方法：结合实际设施管理需求，选取监控点位权重 A_1 、调用频次 A_2 、巡控时长 A_3 三个因素作为视频监控的影响因素，采用 1/5 ~ 5 的尺度对三个因素进行比较，如表3所示，同时可形成比较矩阵 A 。

表3 三个影响因素的比较分析

对比	点位权重	调用频次	巡控时长
点位权重	1	3/2	2
调用频次	2/3	1	2
巡控时长	1/2	1/2	1

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1.5 & 2 \\ 0.6667 & 1 & 2 \\ 0.5 & 0.5 & 1 \end{bmatrix}$$

根据各个监控点所处的位置重要性，构建点位权重的对比矩阵 B_1 ，如下：

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 & 3 & 2 & 4 \\ 0.5 & 1 & 3 & 5 & 5 & 2 \\ 0.25 & 0.3333 & 1 & 0.5 & 0.3333 & 1 \\ 0.3333 & 0.2 & 2 & 1 & 1 & 2 \\ 0.5 & 0.2 & 3 & 1 & 1 & 2 \\ 0.25 & 0.5 & 1 & 0.5 & 0.5 & 1 \end{bmatrix}$$

获取统计周期内的操作数据, 由视频监控系统获得操作记录如表 4 所示, 在统计周期里各个监控点位的调用频次分别为 $\{32, 10, 18, 29, 5, 22\}$, 由此可以获得对比矩阵 B_2 ; 在统计周期里各个监控点位的巡控时长分别为 $\{2291, 430, 3395, 7237, 1119, 4668\}$, 由此可以获得对比矩阵 B_3 。

至此, 构成四个对比矩阵 A 、 B_1 、 B_2 、 B_3 , 对四个比较矩阵一致性检验, 通过计算, A 矩阵的最大特征值 $\lambda = 3.0183$, $n = 3$, 则

表 4 视频监控系统操作记录 (部分)			
CAMOPTIME	USERGLBID	CAMGLBID	CAMINSPECTTIME
2016/11/18 11:15:00	3145730	3158024	17
2016/11/18 13:15:51	2359324	3158024	18
2016/11/18 13:21:18	2359324	3158024	3
2016/11/18 13:26:57	2359324	3158024	20
2016/11/18 13:28:27	2359324	3158024	6
2016/11/18 13:34:58	2359324	3158024	1
2016/11/18 13:34:59	2359324	3158024	10
.....			

$$B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 2.5399 & 1.4466 & 0.9282 & 5.0000 & 1.1981 \\ 0.3937 & 1 & 0.5070 & 0.3450 & 1.6174 & 0.4293 \\ 0.6913 & 1.9725 & 1 & 0.5570 & 2.8474 & 0.7089 \\ 1.0774 & 2.8988 & 1.7952 & 1 & 4.5387 & 1.0933 \\ 0.2000 & 0.6183 & 0.3512 & 0.2203 & 1 & 0.2546 \\ 0.8347 & 2.3293 & 1.4107 & 0.9147 & 3.9277 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1.7079 & 0.3761 & 0.2736 & 0.7690 & 0.3235 \\ 0.5855 & 1 & 0.2192 & 0.2000 & 0.2930 & 0.2094 \\ 2.6586 & 4.5611 & 1 & 0.3173 & 1.0513 & 0.3912 \\ 3.6550 & 5.0000 & 3.1520 & 1 & 2.0340 & 0.6267 \\ 1.3004 & 3.4132 & 0.9512 & 0.4916 & 1 & 0.2516 \\ 3.0915 & 4.7765 & 2.5565 & 1.5956 & 3.9745 & 1 \end{bmatrix}$$

$CI_A = (\lambda - n)/(n - 1) = (3.0183 - 3)/(3 - 1) = 0.0091$

通过查表得到 $RI = 0.58$, 则

$CR_A = CI_A/RI_A = 0.0091/0.58 = 0.0158 < 0.1$

由于 $CR_A < 0.1$, 故矩阵 A 通过一致性检验。

同理, 对 B_1 、 B_2 、 B_3 矩阵进行一致性检验, 结果如表 5 所示, B_1 、 B_2 、 B_3 均通过一致性检验。

一化向量为 $w_{B_1} = \{0.3216, 0.3063, 0.0651, 0.1061, 0.1246, 0.0763\}$;

B_2 矩阵的最大特征值对应向量为 $\{0.535, 0.1948, 0.3475, 0.5630, 0.1186, 0.4733\}$, 归一化向量为 $w_{B_2} = \{0.2397, 0.0873, 0.1557, 0.2522, 0.0531, 0.2120\}$;

B_3 矩阵的最大特征值对应向量为 $\{0.1630, 0.0951, 0.3038, 0.5705, 0.2464, 0.6970\}$, 归一化向量为 $w_{B_3} = \{0.0785, 0.0458, 0.1464, 0.2748, 0.1187, 0.3358\}$ 。

结合四个矩阵的归一化向量, 如表 6 所示, 计算总排序权向量为 $\{0.2449, 0.1786, 0.1127,$

表 5 B_1 、 B_2 、 B_3 三个矩阵一致性检验结果			
参数	B_1	B_2	B_3
λ	6.427	6.0098	6.1999
n	6	6	6
CI	0.0854	0.002	0.04
RI	1.24	1.24	1.24
CR	0.0689	0.0016	0.0322
一致性检验结果	通过	通过	通过

进一步, 计算四个一致性比较矩阵的归一化向量, 其中:

A 矩阵的最大特征值对应的向量为 $\{0.751, 0.5731, 0.328\}$, 归一化向量为 $w_A = \{0.4546, 0.3469, 0.1985\}$;

B_1 矩阵的最大特征值对应向量为 $\{0.6648, 0.633, 0.1346, 0.2193, 0.2575, 0.1577\}$, 归

表 6 总排序权向量计算表格				
B	A			b
	w_{a1}	w_{a2}	w_{a3}	
	0.4546	0.3469	0.1985	
b_1	0.3216	0.2397	0.0785	0.2449
b_2	0.3063	0.0873	0.0458	0.1786
b_3	0.0651	0.1557	0.1464	0.1127
b_4	0.1061	0.2522	0.2748	0.1903
b_5	0.1246	0.0531	0.1187	0.0986
b_6	0.0763	0.2120	0.3358	0.1749

0.1903, 0.0986, 0.1749}。

进一步, 计算总 $CI=0.0474$, $CR=0.0383 < 0.1$, 因此总排序权向量通过一致性检验, 总排序可行。因此, 针对这6个视频监控点, 服务级别由高到低分别为 b_1 、 b_4 、 b_2 、 b_6 、 b_3 、 b_5 。设6个监控点分3层管理, 第一层的监控点位数为1个, 计算得到公差为1, 则第二层的监控点位数为2个、第三层为3个。因此, 监控点 b_1 属于优先级最高的第一层, b_4 、 b_2 属于次优先的第二层, b_6 、 b_3 、 b_5 属于优先级最低的第三层。

根据用户的实际需求调研, b_1 是最常用、最重要的监控点位, 其次为 b_4 、 b_2 、 b_6 、 b_3 , b_5 为最不常用的监控点位, 与方法的计算结果吻合, 验证说明了方法的科学有效性。

5 结语

本文提出了一种城市视频监控点服务级别的管理方法, 该方法能够有效帮助用户记录、考虑并定义自己的真实需求, 在海量的视频监控点中快速区分出不同的服务级别, 为服务提供商提供关键的决策信息, 从而保证服务提供商能够提供更具针对性、更符合用户需求的服务, 能大大地提高现有的运维服务效率, 节省大量的人力资源成本, 同时提高行业的服务管理水平, 更好地满足用户需求。此外, 该方法能推广应用到其他基

础设施的运维管理, 有利于这些设施的快速维护和满足用户的需求。

参考文献:

- [1] 张孜, 林晓丽. 基于 ITIL 理念的交通信息设施运维管理系统设计与实践[J]. 交通运输系统工程与信息, 2011, 11(4): 41-45.
- [2] 王河堂, 吴慧韞. 基于 ITIL 架构的高校一卡通运维管理体系的研究[J]. 现代电子技术, 2014(12): 19-22.
- [3] 戚伟强, 沈潇军, 洪建光, 等. 基于 ITIL 的电力信息自动化运维体系研究[J]. 现代电子技术, 2017, 40(3): 153-156.
- [4] 梁磊, 王艳娥. 基于 ITIL 的物流中心信息网络运维体系研究[J]. 物流技术, 2016, 35(3): 155-158.
- [5] 周新, 梁宏伟, 赵彦清, 等. 基于 ITIL 的集成 IT 服务管理平台设计与实现[J]. 中国烟草学报, 2018, 24(4): 79-85.
- [6] 王楠, 刘尔康, 汪俊华. 基于 IT 服务管理的运维体系[J]. 企业管理, 2016(10): 110-112.
- [7] 陈智慧, 刘君. 关于视频监控运行维护管理规范化系统化的思考[J]. 科学咨询, 2018(40): 21.
- [8] 苏志贤. 城市视频监控系统的运维服务流程方案设计[J]. 无线互联科技, 2020, 17(10): 75-77.
- [9] 邓美容. 浅谈视频运维如何更加智慧化发展[J]. 中国安防, 2020(7): 74-79.
- [10] 段文凯. 视频网“安全+运维”一体化建设浅析[J]. 中国安防, 2020(8): 104-107.

(上接第44页)

标函数在轨道决策因素中主要考虑了客流量, 还可增加考虑站点周边站点土地开发情况以作补充; ②多目标函数中的三大目标在后期研究中应当进一步考虑相互间的影响关系, 使计算结果更加贴合实际情况, 这也是未来进一步研究的内容之一。

参考文献:

- [1] 田文豪. TOD 模式下轨道交通站点地区土地利用评价研究——以广州主城区为例[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- [2] 叶倪, 周怡. 新加坡地铁 TOD 发展模式对无锡地铁建设的启示[J]. 无锡商业职业技术学院学报, 2020, 20(5): 22-25.
- [3] 吴韬, 张梦莹. 基于节点—场所模型的站区空间一体化评价[J]. 都市快轨交通, 2020, 33(6): 69-74.
- [4] 王帆, 周健勇. 城市轨道交通站点周边交通与土地开发的协调性研究[J]. 物流科技, 2021, 44(2): 126-130.

- [5] 李宝琼. 基于路网容量的城市区域用地模型研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2015.
- [6] 李楠. 轨道交通站点核心区域的城市外部空间特征[D]. 上海: 同济大学, 2008.
- [7] 张利. TOD 模式下带形城市轨道交通站点周边用地开发研究[D]. 西安: 长安大学, 2016.
- [8] 住房和城乡建设部. 城市用地分类与规划建设用地标准: GB 50137—2011[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [9] 莫一魁, 邓军, 王京元. 城市轨道交通站点地区 TOD 规划模型及应用[J]. 土木建筑与环境工程, 2009, 31(2): 116-120.
- [10] LIN J J, GAU C C. A TOD Planning Model to review the regulation of allowable development densities around subway stations[J]. Land Use Policy, 2006, 23: 353-360.
- [11] 长安大学. 西宁市城市轨道交通建设规划客流预测报告[R]. 西安, 2019.
- [12] 长安大学. 西宁城市居民出行调查报告[R]. 西安, 2021.