

基于ADC方法的云南地震现场指挥部视频会议 集成系统应用效能评估^{*}

邓树荣, 余庆坤, 张方浩, 和仕芳, 杜浩国, 张原硕
(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 根据ADC方法的基本原理, 从可用性、可信性、能力三个维度建立效能指标, 构建了地震应急技术系统的应用效能评估模型。以云南地震现场指挥部视频会议集成系统为评估对象, 对该系统进行了效能评估。评估结果表明, 该系统的效能较好。对于地震应急技术系统包含的不同的软硬件平台, 可根据评估对象的逻辑结构和功能, 建立效能评估指标, 并采用此方法进行评估。

关键词: ADC方法; 云南; 地震应急技术系统; 能力矩阵; 效能评估

中图分类号: P315.95 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2021)02-0292-09

0 引言

地震应急技术系统是为各级政府进行抗震救灾指挥服务的技术系统, 具有震情和灾情信息获取、快速评估、信息通告、动态显示、信息查询、辅助决策、命令发布等功能, 并为地震应急指挥系统的“通信畅通、现场及时、数据完备、指挥到位”提供技术保障(姜立新等, 2003)。地震应急技术系统建设是应急处置的一项基础性工作, 对于建立和健全统一指挥、功能齐全、反应灵敏、运转高效的联动应急机制, 预防和应对破坏性地震, 减少震灾损失等具有重要意义(蒋小杰, 方盛举, 2012)。近年来, 通过地震应急技术方面的项目规划和建设, 我国地震应急工作技术系统经历了从无到有、从小到大、从大到强的快速发展。从最初仅能通过文字发送、拨打卫星电话、视频连线等传递单一信息的箱体式现场工作技术系统, 逐渐发展为集成了音视频会议、计算机网络、卫星电话、现场办公、输入/输出矩阵控制等单元的集成系统, 具备卫星网、行业网、互联网信道下的视频、图像、语音、文字等信息交互功能。随

着工业信息技术的不断发展, 地震应急工作技术系统不断完善, 从原来的注重硬件条件向软硬件条件协同发展转变。经过20多年的发展, 我国已形成全国一体化的地震应急指挥技术系统, 包括国家、省和地市3级(张炜超等, 2019; 潘震宇等, 2019), 建成了集地震灾害预评估、应急产品产出、应急指挥决策辅助、地震灾情收集处理等功能的软硬件平台, 使得地震应急工作技术系统功能越来越完善, 大大提高了我国的地震应急响应能力, 在提高破坏性地震的快速响应, 应急产出服务能力方面发挥了积极的作用(李敏等, 2013)。

效能评估被广泛应用于军事武器、电力、通信等系统工程应用中, 是一种可以对系统的效能评价、应用分析和提升改进提供重要参考的方法。总体上, 该方法根据影响装备效能的主要因素, 运用一般系统分析的方法, 在收集信息的基础上, 确定分析目标, 建立综合反映装备达到规定目标的能力测度算法, 最终给出衡量装备效能的测度与评估。效能评估常用的方法包括AHP层次分析法、模糊综合评判法、贝叶斯方法、主成分法、熵权法、极差最大化法等。在软件系统评估方法方面, 曲凯等(2017)对可定制的软件效能评估系统进行了研究, 李罡风

^{*} 收稿日期: 2020-05-21.

基金项目: 云南省地震局青年基金自主立项项目“地震应急技术系统应用效能评估方法研究”(2019ZL02)和国家重点研发计划课题——川滇地震重点监视防御区地震应急协同应用示范(2018YFC1504505-04)联合资助。

第一作者简介: 邓树荣(1987-), 工程师, 主要从事地震应急技术、方法研究及应用. E-mail: 604732139@qq.com.

等 (2010) 对区域测震台网监测效能评估方法进行了研究；硬件评估方法方面，郝玉生和李斯宇 (2018) 采用 ADC 方法对坦克火控系统进行了效能评估，魏玉人等 (2020) 研究了舰载通信装备效能评估方法。总体上，效能评估方法在军事科学中的使用较为广泛，但在民用领域还较少。

随着中国经济社会迈入新时代，以及后疫情时代的深远影响，地震应急处置的形势和人民群众对地震应急的需求不断发生变化。特别是强烈地震后，人民群众对震情灾情的关注度极高，考验着政府部门面对重大地震灾害的处置能力。在以往的地震应急工作技术系统项目建设中，经过大量的专家论证建成的地震应急技术系统在地震应急指挥保障中卓有成效，同时，现代应急通信和互联网新技术的发展推动地震应急技术系统向高度集成、智慧服务方向发展 (何霆，陈修吾，2019；张方浩等，2019；洪旭瑜等，2020)，为震后快速响应提供了有力的技术支持。然而，在实际工作中，难免存在注重系统建设和应用的情况，缺乏有效的系统效益评估机制，不能充分发挥其应有的作用。因此，通过对比各种效能评估方法，笔者发现由美国工业界武器系统效能咨询委员会 (Weapon System Efficiency Industry Advisory Committee, WSEIAC) 提出的 ADC 方法，作为一种典型的效能评估方法，具有计算简单、易于实现的优点，在相关系统效能评价中应用较为广泛 (宋星等，2019)。本文选择 ADC 效能评估方法，建立地震应急工作技术系统效能评估模型，构建普适性的地震应急技术系统的效能评估指标框架，并将其应用于云南地震现场指挥部视频会议集成系统的效能评估。

1 ADC 方法基本原理

ADC 方法的目的在于根据有效性 (Availability, 即战备状态)、可依赖性 (Dependability, 即可靠性) 和能力 (Capacity) 三大要素评价装备系统，把这三大要素组合成一个表示装备系统总性能的单一效能度量 (贾万才，2017)。ADC 数学模型由可信性、可用性、能力三个维度构成：

$$E = ADC \quad (1)$$

式中： E 为系统效能指标； A 为系统可用性向量，

表示系统所处的状态； D 为系统可信性矩阵，表示系统的可信度； C 为系统能力矩阵，表示系统工作时满足功能目标的能力。其中：

$$A = [a_1, a_2, \dots, a_n] \quad (2)$$

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中： $a_i (i=1, 2, \dots, n)$ 表示系统初始化时处于 i 状态的概率； $d_{ij} (i, j=1, 2, \dots, n)$ 为系统在初始时处于 i 状态，在系统工作的过程中转移到 j 状态的概率； $c_{jk} (j=1, 2, \dots, n, k=1, 2, \dots, m)$ 为系统在工作完成前处于 j 状态下满足第 k 项功能的能力。

2 技术系统效能评估建模

2.1 建立可用性向量

通常情况下，地震应急工作技术系统由多个子系统或模块构成，设第 1 个子系统为 X_1 ，第 2 个子系统为 X_2 ，第 n 个子系统为 X_n ，每个子系统的平均正常使用时间分别为 T_1, T_2, \dots, T_n ，平均修理时间分别为 t_1, t_2, \dots, t_n 。子系统有正常和退服两种状态， X 表示正常， \bar{X} 表示退服。

设技术系统状态变量为 Z ，则由 n 个子系统的不同状态组合得到整个系统状态向量为：

$$Z = [Z_1, Z_2, \dots, Z_m] \quad (5)$$

式中： $Z_1 = X_1 X_2 \dots X_n$ ， $Z_2 = X_1 X_2 \dots \bar{X}_n$ ， $Z_3 = X_1 X_2 \dots \bar{X}_{n-1} X_n$ ， \dots ， $Z_m = \bar{X}_1 \bar{X}_2 \dots \bar{X}_n$ 。 n 越大，则组合出来的 m 也越大，即子系统越多，系统的整体情况越复杂。

设 $P(X_1), P(X_2), \dots, P(X_n)$ 为各个子系统可正常使用的概率， $P(\bar{X}_1), P(\bar{X}_2), \dots, P(\bar{X}_n)$ 为各个子系统退服的概率，则有：

$$P(X_1) = \frac{T_1}{T_1 + t_1}, P(X_2) = \frac{T_2}{T_2 + t_2}, \dots, P(X_n) = \frac{T_n}{T_n + t_n} \quad (6)$$

$$P(\overline{X_1}) = 1 - P(X_1), P(\overline{X_2}) = 1 - P(X_2), \dots, P(\overline{X_n}) = 1 - P(X_n) \quad (7)$$

设 a_i 为系统处于状态 $Z_i (i=1, 2, \dots, m)$ 的概率, 假设各个子系统出现故障时互不影响, 即它们的概率相互独立, 则有:

$$\begin{aligned} a_1 &= P(Z_1) = P(X_1 X_2 \cdots X_n) = P(X_1)P(X_2) \cdots P(X_n); \\ a_2 &= P(Z_2) = P(X_1 X_2 \cdots \overline{X_n}) = P(X_1)P(X_2) \cdots P(\overline{X_n}); \\ a_3 &= P(Z_3) = P(X_1 X_2 \cdots \overline{X_{n-1}} X_n) = P(X_1)P(X_2) \cdots P(\overline{X_{n-1}})P(X_n); \\ &\dots \\ a_m &= P(Z_m) = P(\overline{X_1} \overline{X_2} \cdots \overline{X_n}) = P(\overline{X_1})P(\overline{X_2}) \cdots P(\overline{X_n}) \end{aligned} \quad (8)$$

根据统计概率的正则性和规范性 (盛骤等, 2008), 则有:

$$\sum_{i=1}^m a_i = 1 \quad (9)$$

因此, 得到技术系统 X 的可用性向量为:

$$A = [a_1, a_2, \dots, a_m] \quad (10)$$

2.2 建立可信性矩阵

设各个子系统的任务可靠度为 K_1, K_2, \dots, K_n , 任务执行时间为 t , 并假设任务可靠度满足指数概率分布, 则有:

$$K_1 = e^{-\frac{t}{T_1}}, K_2 = e^{-\frac{t}{T_2}}, \dots, K_n = e^{-\frac{t}{T_n}} \quad (11)$$

假设各子系统在任务执行时不能维修, 则子系统的任务状态转移概率可表述为:

$$P(X_1 \rightarrow X_1) = K_1, P(X_2 \rightarrow X_2) = K_2, \dots, P(X_n \rightarrow X_n) = K_n;$$

$$P(X_1 \rightarrow \overline{X_1}) = 1 - K_1, P(X_2 \rightarrow \overline{X_2}) = 1 - K_2, \dots, P(X_n \rightarrow \overline{X_n}) = 1 - K_n;$$

$$\begin{aligned} P(\overline{X_1} \rightarrow X_1) &= 0, P(\overline{X_2} \rightarrow X_2) = 0, \dots, \\ P(\overline{X_n} \rightarrow X_n) &= 0; \\ P(\overline{X_1} \rightarrow \overline{X_1}) &= 1, P(\overline{X_2} \rightarrow \overline{X_2}) = 1, \dots, \\ P(\overline{X_n} \rightarrow \overline{X_n}) &= 1 \end{aligned} \quad (12)$$

设系统由状态 Z_i 转移到状态 Z_j 的概率为 $d_{ij} (i, j=1, 2, \dots, m)$, 则因假设各子系统在概率上相互独立, 则有:

$$\begin{aligned} d_{11} &= P(Z_1 \rightarrow Z_1) = P(X_1 X_2 \cdots X_n \rightarrow X_1 X_2 \cdots X_n) = \\ &P(X_1 \rightarrow X_1)P(X_2 \rightarrow X_2) \cdots P(X_n \rightarrow X_n) = K_1 K_2 \cdots K_n; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{12} &= P(Z_1 \rightarrow Z_2) = P(X_1 X_2 \cdots X_n \rightarrow X_1 X_2 \cdots \overline{X_n}) = \\ &P(X_1 \rightarrow X_1)P(X_2 \rightarrow X_2) \cdots P(X_n \rightarrow \overline{X_n}) = K_1 K_2 \cdots (1 - K_n); \end{aligned}$$

\dots ;

$$\begin{aligned} d_{nm} &= P(Z_m \rightarrow Z_m) = P(\overline{X_1} \overline{X_2} \cdots \overline{X_n} \rightarrow \overline{X_1} \overline{X_2} \cdots \overline{X_n}) = \\ &P(\overline{X_1} \rightarrow \overline{X_1})P(\overline{X_2} \rightarrow \overline{X_2}) \cdots P(\overline{X_n} \rightarrow \overline{X_n}) = 1 \times 1 \times \cdots \times 1 = 1 \end{aligned} \quad (13)$$

根据统计概率的正则性和规范性 (盛骤, 2008), 则有:

$$\sum_{j=1}^m d_{ij} = 1 \quad (14)$$

因此, 得到技术系统 X 的可信性矩阵为:

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1(m-1)} & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2(m-1)} & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & d_{(m-1)(m-1)} & d_{(m-1)m} \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

2.3 建立能力矩阵

2.3.1 技术系统各层级指标及权重

地震应急技术系统通常由多个子系统构成, 在设计时每个子系统都有自己独立或主要的功能, 子系统又由多个模块或元件构成, 各模块和元件也有自己相应的功能, 这样就形成了系统功能树。对功能树的树突功能进行梳理, 再根据树枝、树突确定各层级的指标权重。

设某一地震应急技术系统最高层级能力指标

为 N ，权重为 $W=1$ 。第一层级指标为 N_1, N_2, \dots, N_n ，代表该系统的各子系统的的能力，权重分别为 w_1, w_2, \dots, w_n 。根据系统的属性，还可建立第二层级、第三层级直至下一层级的指标，赋予相应层级的权重。将各层级能力指标看作一组能力向量，各能力向量展开形式为：

第一层级： $N = [N_1, N_2, \dots, N_n]$ ；赋予权重 $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ ；

第二层级： $N_1 = [N_{11}, N_{12}, \dots, N_{1k}]$ ；赋予权重 $W_1 = [w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1k}]$ ；

$N_2 = [N_{21}, N_{22}, \dots, N_{2l}]$ ；赋予权重 $W_2 = [w_{21}, w_{22}, \dots, w_{2k}]$ ；

...

$N_n = [N_{n1}, N_{n2}, \dots, N_{nf}]$ ；赋予权重 $W_n = [w_{n1}, w_{n2}, \dots, w_{nf}]$ ；

...

第 x 层级：...

根据系统的复杂度， x, n, k, l, f 等各层级的指标数量可以不相等，这也说明系统越复杂越庞大，横向宽度和纵向层级指标就越多。假设任意指标 N_x 的展开指标为 $N_{xi} (i=1, 2, \dots, n)$ ，为 N_{xi} 赋予的权重为 W_{xi} ，根据指标权重的归一性赋值原则，可得 $\sum_i W_{xi} = 1$ 。

2.3.2 树突能力指标评价

本文把系统最末梢的、不能再细分层级的单元或模块称为树突，树突能力评价为最末端的评价对象，系统的能力评价是由树突逐级向上加权的，因此，制定科学的树突能力评价指标非常重要，通常采用制定评价标准，再将系统应用情况对标入座。

设任意的树突 N_x 的评价指标为 S_x ，根据系统的情况，将 S_x 的优劣情况分为多个不同等级，得到多个 S_x 分量，分别为 $S_{x1}, S_{x2}, \dots, S_{xf}$ ，($f=2, 3, \dots, n$)，代表树突 N_x 分别属于标准层的概率，即 $P(N_x \in \text{标准层 } 1) = S_{x1}$ ， $P(N_x \in \text{标准层 } 2) = S_{x2}, \dots, P(N_x \in \text{标准层 } f) = S_{xf}$ ，系统未发生故障时， $\sum_{i=1}^f S_{xi} = 1$ 。

2.3.3 能力指标的加权

假设任意指标 N_x 的权重为 W_x ， L_x 为 N_x 的能力向量， N_x 的展开指标为 $N_{xi} (i=1, 2, \dots, n)$ ， L_x 的展开指标为 $L_{xi} (i=1, 2, \dots, n)$ ，则：

$$L_x = W_x \sum_i L_{xi} \quad (16)$$

如果 N_x 为树突，则有：

$$L_x = W_x S_x = W_x [S_{x1}, S_{x2}, \dots, S_{xf}] \quad (17)$$

根据式 (16) 和 (17)，由树突层逐级向上加权汇总，即可得到第一层级指标的能力向量 L 。

2.3.4 计算系统的能力向量

地震应急技术系统有 m 种状态，即 $Z_1 \sim Z_m$ 。除 Z_1 状态外，其他状态都会有故障。假设产生故障的子系统完全丧失功能，则整个系统就同时丧失整体功能。设技术系统在 $Z_i (i=1, 2, \dots, m)$ 状态下的能力向量为：

$$L(Z_i) = [l_1(Z_i), l_2(Z_i), \dots, l_f(Z_i)] \quad (18)$$

式中： $l_1(Z_i), l_2(Z_i), \dots, l_f(Z_i)$ 是地震应急技术系统能力分别为从优到劣不同层级的概率，且有

$\sum_{j=1}^f l_j(Z_i) \leq 1$ 。当且仅当系统处于 Z_1 状态时，即所有系统均正常时， $\sum_{j=1}^f l_j(Z_i) = 1$ 。

2.3.5 计算技术系统能力矩阵

设从优到劣所代表的能力值分别为 c_1, c_2, \dots, c_f ，应急技术系统在 Z_i 状态下的能力的平均值为：

$$C_i = l_1(Z_i)c_1 + l_2(Z_i)c_2 + \dots + l_f(Z_i)c_f \quad (19)$$

则可得出地震应急技术系统的能力矩阵为：

$$C = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_m \end{pmatrix} \quad (20)$$

3 应急技术系统效能评估框架

笔者根据 ADC 方法的基本原理和地震应急技术系统效能评估模型，建立普适性的地震应急技术系统的效能评估指标框架 (图 1)。该指标框架主要包含可用性、可信度和系统能力 3 个部分。可用性由实体系统的正常使用时间和平均维修时间确定；可信度由任务状态转移概率确定；系统能力包括各子系统功能和整体功能两部分。

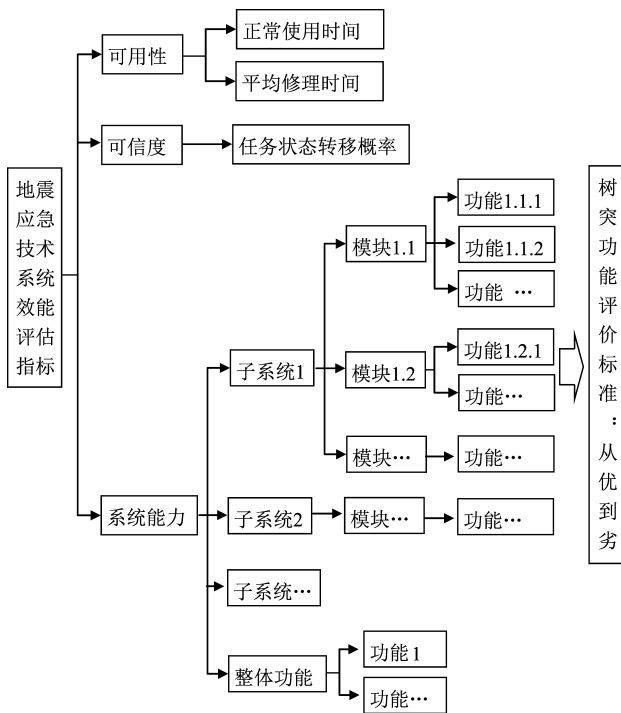


图1 地震应急技术系统的效能评估框架

Fig. 1 Performance-assessment framework of the earthquake - emergency system

4 模型算例

4.1 评估指标构建

以云南地震现场指挥部视频会议集成系统为例，根据系统设计方案^①，结合地震应急技术系统的效能评估指标框架（图1）构建该系统的评估指标（图2）。云南地震现场指挥部视频会议集成系统主要由4个子系统组成，分别是计算机网络系统、信号采集/切换及显示系统、视频会议系统、卫星电话，各子系统又由不同的模块构成，如图2所示。

4.2 系统效能计算

根据云南地震现场指挥部视频会议集成系统的评估指标，设计系统效能评估指标权重专家打分表，邀请10位专家进行权重打分，其中应急管理方面的专家2位、应急技术理论与实践方面的专家5位、地震现场视频会议应用与实践的专家3位。打分时一人一表，各打分权重 $w_{ij} \in [0, 1]$ ，同一层级指标的权重和为1，即 $\sum_i w_i = 1$ ，然后

去掉最高分和最低分，求出专家所打分数的数学期望为该指标的权重值。笔者根据专家意见，树突指标的标准取优、良、中、差4个等级，制定相应的层级标准，再通过查阅系统运维记录资料，根据使用频率和使用次数，计算出各树突指标落在各标准层的概率。由此，得到云南地震现场指挥部视频会议集成系统效能评估指标权重和树突概率（表1）。

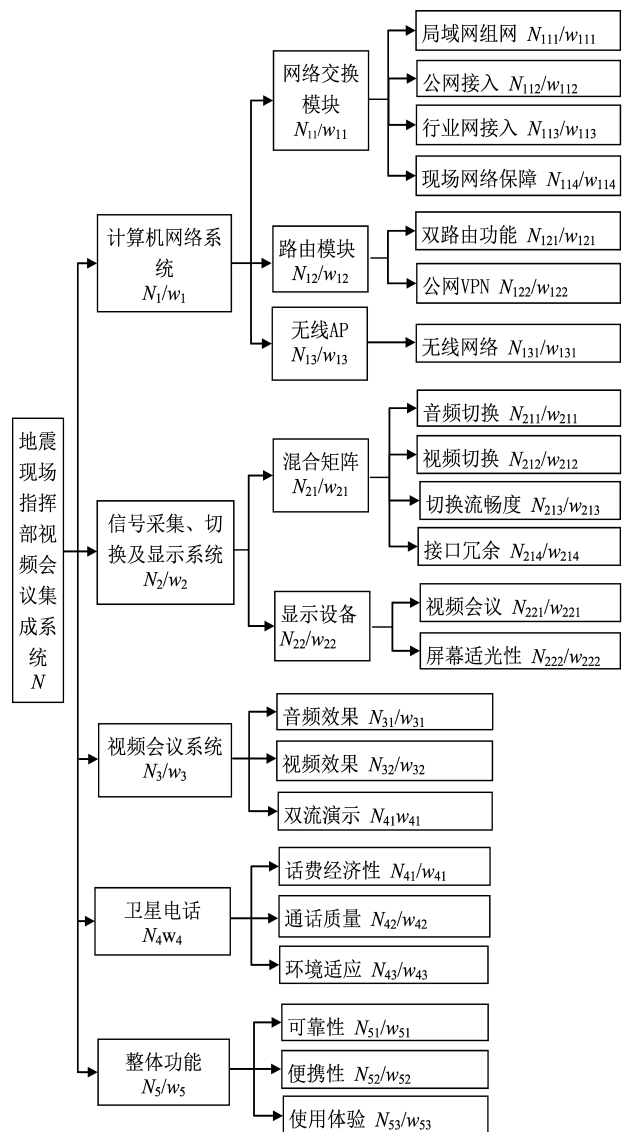


图2 云南地震现场指挥部视频会议集成系统评估指标

Fig. 2 Evaluation indexes of the Integrated Video Conferencing System for the Yunnan Earthquake Site Headquarters

① 云南省地震局. 2018. 云南地震现场指挥部视频会议集成系统设计方案.

表1 云南地震现场指挥部视频会议集成系统效能评估指标权重和树突概率

Tab. 1 Weight and dendrite probability of the evaluation index of the Integrated Video Conferencing System for the Yunnan Earthquake Site Headquarters

第一层级		第二层级		第三层级		第四层级		树突指标概率			
评价指标	指标权重	评价指标	指标权重	评价指标	指标权重	评价指标	指标权重	优	良	中	差
N	W	N_i	w_i	N_{ij}	w_{ij}	N_{ijk}	w_{ijk}	S_{s1}	S_{s2}	S_{s3}	S_{s4}
N	1	N ₁	0.28	N ₁₁	0.43	N ₁₁₁	0.14	0.8	0.15	0.05	0
						N ₁₁₂	0.29	0.66	0.16	0.1	0.08
						N ₁₁₃	0.3	0.6	0.21	0.11	0.08
						N ₁₁₄	0.27	0.51	0.23	0.16	0.1
				N ₁₂	0.31	N ₁₂₁	0.56	0.56	0.15	0.15	0.14
						N ₁₂₂	0.44	0.7	0.16	0.14	0
				N ₁₃	0.26	N ₁₃₁	1	0.82	0.18	0	0
		N ₂	0.17	N ₂₁	0.64	N ₂₁₁	0.27	0.52	0.2	0.14	0.14
						N ₂₁₂	0.29	0.63	0.13	0.13	0.11
						N ₂₁₃	0.23	0.38	0.21	0.21	0.2
						N ₂₁₄	0.21	0.86	0.14	0	0
				N ₂₂	0.36	N ₂₂₁	0.72	0.68	0.22	0.1	0
						N ₂₂₂	0.28	0.3	0.25	0.24	0.21
		N ₃	0.13	N ₃₁	0.35	—	—	0.68	0.19	0.13	0
				N ₃₂	0.37	—	—	0.63	0.21	0.16	0
				N ₃₃	0.28	—	—	0.53	0.26	0.21	0
		N ₄	0.3	N ₄₁	0.26	—	—	0.69	0.31	0	0
				N ₄₂	0.4	—	—	0.42	0.31	0.2	0.07
				N ₄₃	0.34	—	—	0.38	0.33	0.16	0.13
		N ₅	0.12	N ₅₁	0.39	—	—	0.61	0.22	0.1	0.07
				N ₅₂	0.38	—	—	0.73	0.27	0	0
				N ₅₃	0.23	—	—	0.62	0.28	0.1	0

4.2.1 可用性向量A

根据地震现场指挥部视频会议集成系统的设计标准、使用频率和工作环境，结合各子系统一般情况下的正常使用时间和维修时间，得到4个子系统能正常使用的时间 $T_i = [2\ 160, 1\ 440, 720, 1\ 080]$ ($i = 1, 2, 3, 4$)，平均修理时间 $t_i = [4, 4, 1, 1.5]$ ($i = 1, 2, 3, 4$)，单位为小时。将 T_i 、 t_i 代入式 (5) ~ (10) 计算得到系统的可用性向量为：

$$A = [0.992\ 627, 0.001\ 379, 1.914\ 79 \times 10^{-6}, 0.002\ 757, 0.001\ 838, 1.914\ 79 \times 10^{-6}, 3.829\ 58 \times 10^{-6}, 5.106\ 11 \times 10^{-6}, 2.553\ 05 \times 10^{-6}, 5.318\ 86 \times 10^{-9}, 7.091\ 82 \times 10^{-9}, 7.091\ 82 \times 10^{-9}, 3.545\ 91 \times 10^{-9}, 9.849\ 75 \times 10^{-12}] \quad (21)$$

4.2.2 可信性矩阵

将 T_i 、 t_i 代入式 (11)，得到各个子系统的任务可靠度，将可靠度值代入任务状态转移概率计算式得到子系统转移概率，再将子系统的转移概率代入式 (15)，就得到云南地震现场指挥部视频会议集成系统的可信性矩阵 D (表2)。

4.2.3 能力矩阵

将表1的数据代入式 (16) (17)，计算出第一层级能力向量为：

$$\begin{aligned} L_1 &= [0.188\ 431, 0.049\ 683, 0.026\ 147, 0.015\ 739] \\ L_2 &= [0.099\ 416, 0.032\ 409, 0.021\ 988, 0.016\ 187] \\ L_3 &= [0.080\ 535, 0.028\ 210, 0.021\ 255, 0.000\ 000] \\ L_4 &= [0.142\ 980, 0.095\ 040, 0.040\ 320, 0.021\ 660] \end{aligned}$$

$L_5 = [0.078\ 948, 0.030\ 336, 0.007\ 440, 0.003\ 276]$

地震现场指挥部视频会议集成系统有 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 共 4 个子系统, 每个子系统均存在正常和退服两种状态, 根据排列组合关系, 系统将会出现 $Z_1 \sim Z_{14}$ 14 种状态 (表 3), 假设系统任意子系统出现退服现象时, 系统将散失整体能力。

将 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 、 L_5 代入式 (18), 得到云南地震现场指挥部视频会议集成系统的能力向量表 (表 3)。

设该系统优、良、中、差 4 个标准所代表的能力值分别为 $c_1=0.9$ 、 $c_2=0.8$ 、 $c_3=0.7$ 、 $c_4=0.6$, 将其代入式 (19), 计算在 Z_i 状态下系统的能力平均值, 得到系统的能力矩阵为:

表 2 云南地震现场指挥部视频会议集成系统可信性矩阵

Tab. 2 Credibility matrix of the Integrated Video Conferencing System For the Yunnan Earthquake Site Headquarters

i, j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0.992 6	0.001 4	0.001 4	0.002 8	0.001 8	1.9×10^{-6}	4×10^{-6}	5.1×10^{-6}	2.56×10^{-6}	5.33×10^{-9}	7.11×10^{-9}	7.1×10^{-9}	3.6×10^{-9}	9.89×10^{-12}
2	0	0.994 0	0	0	0	0.001 4	0	0	0.001 8	3.84×10^{-6}	0	5.1×10^{-6}	2.6×10^{-6}	7.12×10^{-9}
3	0	0	0.994 0	0	0	0.001 4	0.002 8	0	0	3.84×10^{-6}	5.13×10^{-6}	0	2.6×10^{-6}	7.12×10^{-9}
4	0	0	0	0.995 4	0	0	0.001 4	0.001 9	0	1.92×10^{-6}	2.56×10^{-6}	2.6×10^{-6}	0	3.56×10^{-9}
5	0	0	0	0	0.994 5	0	0	0.002 8	0.0013 4	0	3.84×10^{-6}	3.8×10^{-6}	1.9×10^{-6}	5.34×10^{-9}
6	0	0	0	0	0	0.995 4	0	0	0	0.002 8	0	0	0.001 85	5.13×10^{-6}
7	0	0	0	0	0	0	0.996 8	0	0	0.001 4	0.001 8	0	0	2.57×10^{-6}
8	0	0	0	0	0	0	0	0.997 2	0	0	0.001 4	0.001 4	0	1.93×10^{-6}
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.995 8	0	0	0.002 8	0.001 4	3.85×10^{-6}
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.998 2	0	0	0	0.001 9
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.998 6	0	0	0.0014
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.998 6	0	0.0014
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9972	0.0028
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

表 3 云南地震现场指挥部视频会议集成系统能力向量表

Tab. 3 Vector table of the capability of the Integrated Video Conferencing System for the Yunnan Earthquake Site Headquarters

序号	系统状态	系统能力向量	不同层级系统状态概率值			
		$l(Z)$	$l_1(Z)$	$l_2(Z)$	$l_3(Z)$	$l_4(Z)$
1	$Z_1(X_1X_2X_3X_4)$	$L_1+L_2+L_3+L_4+L_5$	0.590 310	0.235 678	0.117 150	0.056 862
2	$Z_2(X_1X_2X_3\overline{X_4})$	$L_1+L_2+L_3$	0.368 382	0.110 302	0.069 390	0.031 926
3	$Z_3(X_1X_2\overline{X_3}X_4)$	$L_1+L_2+L_4$	0.430 827	0.177 132	0.088 455	0.053 586
4	$Z_4(X_1\overline{X_2}X_3X_4)$	$L_1+L_3+L_4$	0.411 946	0.172 933	0.087 722	0.037 399
5	$Z_5(\overline{X_1}X_2X_3X_4)$	$L_2+L_3+L_4$	0.322 931	0.155 659	0.083 563	0.037 847
6	$Z_6(X_1X_2\overline{X_3}\overline{X_4})$	L_1+L_2	0.287 847	0.082 092	0.048 135	0.031 926
7	$Z_7(X_1\overline{X_2}\overline{X_3}X_4)$	L_1+L_4	0.331 411	0.144 723	0.066 467	0.037 399
8	$Z_8(\overline{X_1}\overline{X_2}X_3X_4)$	L_3+L_4	0.223 515	0.123 250	0.061 575	0.021 660
9	$Z_9(\overline{X_1}X_2X_3\overline{X_4})$	L_2+L_3	0.179 951	0.060 619	0.043 243	0.016 187
10	$Z_{10}(X_1\overline{X_2}\overline{X_3}\overline{X_4})$	L_1	0.188 431	0.049 683	0.026 147	0.015 739
11	$Z_{11}(\overline{X_1}X_2\overline{X_3}X_4)$	L_4	0.142 980	0.095040	0.040320	0.021660
12	$Z_{12}(\overline{X_1}\overline{X_2}X_3\overline{X_4})$	L_3	0.080535	0.028 210	0.021 255	0.000 000
13	$Z_{13}(\overline{X_1}X_2\overline{X_3}\overline{X_4})$	L_2	0.099 416	0.032 409	0.021 988	0.016 187
14	$Z_{14}(\overline{X_1}\overline{X_2}\overline{X_3}\overline{X_4})$	0	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000

$$C = \begin{pmatrix} 0.835 & 0.944 \\ 0.487 & 0.514 \\ 0.623 & 0.520 \\ 0.592 & 0.943 \\ 0.496 & 0.367 \\ 0.377 & 0.586 \\ 0.483 & 0.015 \\ 0.355 & 0.862 \\ 0.250 & 0.433 \\ 0.237 & 0.081 \\ 0.245 & 0.934 \\ 0.109 & 0.928 \\ 0.140 & 0.505 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (22)$$

4.2.4 系统效能评估值

将可用性向量式 (21)、可信性矩阵 (表 2)、能力矩阵式 (22) 代入式 (1) 计算得到系统的效能指数为 $E = 0.830\ 9$ 。从效能评估模型来看, 当技术系统在最理想状态下, 不存在系统故障和退服情况时, 效能指数会无限趋近于 1; 当技术系统在最坏状态下, 系统出现故障和退服情况时, 效能指数会无限趋近于 0, 即效能指数越趋近于 1, 系统效能越好。

5 结论与讨论

本文根据 ADC 方法的基本原理, 建立了基于系统可用性、可信性、能力三个维度的地震应急工作技术系统效能评估方法。对云南地震现场指挥部视频会议集成系统进行了效能评估。实践证明该方法对云南地震现场指挥部视频会议集成系统具有一定的适用性。

在效能评估时, 指标设计、权重赋值时征询了专家意见, 可用性向量值根据实际应用赋值, 计算过程较为科学。根据 ADC 模型计算出该系统的效能指数为 0.830 9, 接近理想状态指数, 说明该系统的效能较好。

地震应急技术系统应用效能评估方法是一种应用型评估方法, 是对系统建成后的应用效能的评估, 不适用于对系统设计和项目本身做出评价。本文构建了狭义上的地震应急技术系统 ADC 效能评估方法, 主要选取可用性、可信性、

能力三个维度的效能指标, 在实际评估工作中, 还可根据评估对象增加鲁棒性、效益、对象匹配度等效能指标。在评估过程中, 评估对象逻辑结构越复杂, 横向和纵向的评估指标越多, 算法的复杂度就越高。在评估时选取的效能指标要与对象情况和评估的时效性相适宜。底层树突向量是效能评估的基础, 其优劣标准的制定需要系统在长时间应用过程中不断积累。各层级的权重系数可采用 AHP 方法、德尔菲法等方法确定。ADC 方法的不足之处是收敛速度较慢, 在今后的系统效能评估工作中, 可根据系统结构选择适宜的指标, 以便提高评估过程的收敛速度, 迅速得到评估结果。

参考文献:

- 郝玉生, 李斯宇. 2018. 基于 ADC 方法的坦克火控系统效能评估[J]. 火力与指挥控制, 43(12): 109-115.
- 何霆, 陈修吾. 2019. 多渠道地震应急指挥信息发布关键技术研究及实现[J]. 华南地震, 39(3): 109-113.
- 洪旭瑜, 林苗禄, 关玉梅, 等. 2020. 地震应急自动触发计算产出历史地震活动性资料及前兆观测信息的研究[J]. 华南地震, 40(4): 42-48.
- 贾万才. 2017. ADC 效能评估方法分析与建模[J]. 电光系统, (3): 6-9.
- 姜立新, 聂高众, 帅向华, 等. 2003. 我国地震应急指挥技术体系初探[J]. 自然灾害学报, 12(2): 1-6.
- 蒋小杰, 方盛举. 2012. 省域地震应急联动协同的工作平台研究[J]. 震灾防御技术, 7(3): 303-312.
- 李罡风, 赵建和, 朱生水, 等. 2010. 安徽地震前兆台网监测效能综合分析[J]. 地震研究, 33(3): 280-286.
- 李敏, 李永强, 曹彦波. 2013. 省级地震应急指挥中心信息安全体系建设初探[J]. 地震研究, 36(3): 395-400.
- 潘震宇, 蔡欣欣, 方伟华. 2019. 厦门市地震应急避难场所(指南)网络服务系统[J]. 华南地震, 39(1): 31-39.
- 曲凯, 陈西选, 徐璐, 等. 2017. 可定制的效能评估系统研究与实现[J]. 软件工程, 20(2): 19-21, 11.
- 盛骤, 谢式千, 潘承毅. 2008. 概率论与数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社.
- 宋星, 贾红丽, 赵汝东, 等. 2019. 基于 ADC 和模糊综合评判法的合成旅装备保障效能评估[J]. 兵器装备工程学报, 40(8): 126-129.
- 魏玉人, 陈楠, 周学广. 2020. 基于 ADC 的舰载通信装备 FAHP 效能评估方法研究[J]. 舰船电子工程, 40(12): 109-113.
- 张方浩, 李永强, 曹彦波, 等. 2019. 基于云技术的云南地震现场应急指挥技术系统优化[J]. 地震研究, 42(2): 257-264.
- 张炜超, 郭安宁, 孙昱, 等. 2019. 现阶段我国地震应急技术框架分析及评价[J]. 中国安全生产科学技术, 15(11): 107-112.

Effectiveness Evaluation of the Integrated Video Conference System in Earthquake Field Headquarters Based on ADC Method

DENG Shurong, YU Qingkun, ZHANG Fanghao, HE Shifang, DU Haoguo, ZHANG Yuanshuo

(*Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China*)

Abstract

According to the principle of the ADC evaluation method, we propose the effectiveness indexes concerned with availability, dependability and capacity of the Technical System for Earthquake Emergency in Yunnan, and further construct an evaluation model of the system's application performance. Then, using this model, we evaluate the performance of one of the sub-systems of the Technical System, the Integrated Video Conferencing System for the Yunnan Earthquake Site Headquarters, and find that this sub-system is of good effectiveness. As for other sub-systems of the Earthquake-emergency System, whether software platforms or hardware platforms, if, on the basis of their logic structures and functions, the related effectiveness indexes are set up, the ADC evaluation method can also be applied to them.

Keywords: ADC method; Yunnan; technical system for earthquake emergency; ability matrix; effectiveness evaluation