Software Engineering and Applications 软件工程与应用, 2024, 13(6), 773-781
Published Online December 2024 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/sea
https://doi.org/10.12677/sea.2024.136079

Hans汉斯

基于D-ANP的航空情报业务连续性能力评估

苏震亚[1]，赵　晶[1]，颜晨阳[1]，孙　禾[2]

[1]中国民用航空华东地区空中交通管理局飞行服务中心，上海
[2]中国民航大学空中交通管理学院，天津

收稿日期：2024年11月18日；录用日期：2024年12月13日；发布日期：2024年12月31日

摘　要

航空情报业务是确保航空运输系统安全运行的重要组成部分。针对情报业务连续性问题，在系统分析数据源与数据分类的基础上，首先建立了航空情报业务分类结构，描述数据之间的影响关系；其次，采用DEMATEL方法计算了数据的中心度和原因度；最后建立了ANP模型，并通过综合影响矩阵进行修正，得到了数据最终权重，应用于业务连续性能力评估。实验表明，研究提出的航空情报业务连续性能力评估综合评价体系可以有效支撑评价中小机场在航空情报原始资料、航行通告、飞行前和飞行后航空情报服务等业务能力，为提升飞行服务水平提供有利支撑。

关键词

航空情报，业务连续性，中小机场，决策实验室方法，网络层次分析法

Assessment of Aeronautical Information Business Continuity Capability Based on D-ANP

Zhenya Su[1], Jing Zhao[1], Chenyang Yan[1], He Sun[2]

[1]Flight Service Center, CAAC East China Regional Administration, Shanghai
[2]College of Air Traffic Management, Civil Aviation University of China, Tianjin

Received: Nov. 18th, 2024; accepted: Dec. 13th, 2024; published: Dec. 31st, 2024

Abstract

The aeronautical information business is an important part of ensuring the safe operation of the air transport system. Addressing the issue of business continuity in aeronautical information business, based on a systematic analysis of data sources and data classification, the study first establishes a classification structure for aeronautical information business, describing the impact relationships

文章引用: 苏震亚, 赵晶, 颜晨阳, 孙禾. 基于 D-ANP 的航空情报业务连续性能力评估[J]. 软件工程与应用, 2024, 13(6): 773-781. DOI: 10.12677/sea.2024.136079

among the data. Secondly, the DEMATEL method is employed to calculate the centrality and causality of the data. Finally, an ANP model is constructed and refined using a comprehensive impact matrix to obtain the final weights of the data, which are then applied to assess business continuity capabilities. Experimental results demonstrate that the comprehensive evaluation system proposed in this study for assessing the business continuity capabilities of aeronautical information business can effectively support the evaluation of small and medium-sized airports in terms of their capabilities in aeronautical information raw data, NOTAMs, preflight and postflight aeronautical information business, and other related areas. This system provides valuable support for enhancing flight service levels.

Keywords

Aeronautical Information, Business Continuity, Small and Medium Airports, Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory, Network Hierarchy Analysis

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

航空情报业务是确保航空运输系统安全运行的重要组成部分。近年来，航空业面临着越来越复杂的挑战，空中安全事故频发，航空器安全运行受到威胁，因此航空情报业务的重要性日益突出[1]。首先，航空情报业务的有效实施有助于预防事故和意外事件的发生。通过及时收集、分析和传递各种航空情报，包括天气信息、飞行路线、空域状况等，航空情报部门可以为飞行员和航空公司提供准确的信息支持，帮助他们做出正确的决策，减少事故风险[2]。其次，航空情报业务的优化能够提高航空运输系统的效率和流程。通过利用先进的技术手段，如人工智能和大数据分析，对航空情报进行快速准确地处理和分析，可以优化航班计划和资源调配，提高航空运输的运行效率，降低成本，同时减少延误和取消的情况，提升乘客和航空公司的满意度。另外，航空情报业务的发展还促进了与其他相关利益相关者的合作与沟通。目前，航空情报业务正在由服务向管理转变[3] [4]。航空情报部门与空管部门、航空公司、机场管理部门等相关方密切合作，共享信息，进行风险评估和协调行动，以确保航空系统的整体安全和可靠运行。因此，航空情报业务能力对于确保航空运输的安全性、高效性和可持续性至关重要。然而，当前空管分局站、中小机场业务能力和业务人员缺失，导致航空情报业务能力下降，无法满足运行的要求。

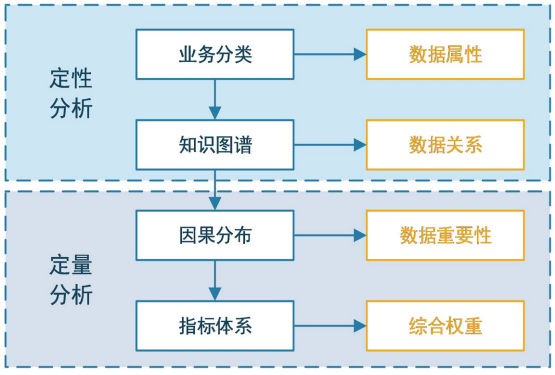

Figure 1. Aeronautical information data governance methodology flowchart
图 1. 航空情报数据治理方法流程图

业务连续性管理是指当一个机构的核心业务运行因外界因素干扰发生运行异常甚至中断后，该机构还能够提供可接受水平上的服务或产品的能力管理[5]。聚焦航空情报领域，基于分局(站)、地方机场依赖上一级航空情报服务机构实现业务连续性服务的现状，以华东地区部分空管局和中小机场为例，研究影响其业务连续性的主要指标[6]。系统分析在情报工作中主要的业务环节，形成定性与定量相结合的业务评价流程，综合评价各类指标的重要性，以支持业务能力连续性能力评估，研究流程图如图 1 所示。

2. 航空情报业务特征抽取

本文选择有航空情报业务具有代表性的数据进行分析，如表 1 所示。

Table 1. Classification table for air intelligence operations
表 1. 航空情报业务分类表

一级指标	二级指标
A 收集、初步审核、上报本机场及与本机场有关业务单位提供的航空原始资料	A1 原始资料通知单接受和审核
	A2 航空情报原始数据核实验证、编辑、上报
	A3 原始资料管理制度
B 接收、处理发布航行通告	B1 航行通告发布
	B2 航行通告接收、处理
	B3 航行通告管理制度
C 组织实施本机场飞行前和飞行后航空情报服务	C1 飞行前航空情报服务
	C2 飞行后航空情报服务
	C3 其他服务
	C4 航空情报服务管理制度
D 负责本单位及本机场空中交通管理部门所需的航空资料、航空地图的管理和供应工作	D1 重要航行通告的通报
	D2 航空资料和航空地图的提供
	D3 航空资料和航空地图的维护管理
	D4 航空资料管理制度
E 运行保障	E1 航空情报自动化系统
	E2 网络
	E3 人员
	E4 应急管理
	E5 运行保障制度

3. 基于 D-ANP 的航空情报业务评价指标体系

3.1. 基于 DEMATEL 的数据评价

决策试验和评估实验室(Decision-making Trial and Evaluation Laboratory)方法，简称 DEMATEL 方法[7] [8]，是一种识别和分析影响因素的科学方法。该方法简化复杂系统的结构，分析各要素之间的逻辑关系和因果关系，进而分析各因素之间的关系及其在系统中的重要性[9] [10]。

利用 0~3 标度法进一步细化各数据之间的相互影响关系，用数值表示指标 X_i 对指标 X_j 有无影响关

系以及影响关系的强弱[11]。

无影响为 0 分，弱影响为 1 分，中影响为 2 分，强影响为 3 分。形成直接影响矩阵如表 2 所示。当 $i=j$ 时，为无影响。

之后，利用公式(1)对直接影响矩阵进行归一化处理，得到规范化影响矩阵 N。

$$N=\frac{x_{ij}}{\max\left(\sum_{j=1}^{n}x_{ij}\right)} \tag{1}$$

其中 x_{ij} 为矩阵中第 i 行第 j 列对应的值。

将矩阵 N 进行自乘，直至矩阵中所有数值趋近于 0，得到综合影响矩阵 T，$T=N+N^2+\cdots+N^k=N*\left(I-N\right)^{-1}$，其中 $\lim\limits_{k\to\infty}N^k=0$，$I$ 为单位矩阵。

形成的航空情报业务综合影响矩阵如表 3 所示。

Table 2. Aeronautical information direct impact matrix
表 2. 航空情报业务直接影响矩阵

	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	E1	E2	E3	E4	E5
A1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B3	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
D4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	0	0	0	0	0	0
E1	3	3	0	3	3	0	3	3	3	0	3	3	0	0	0	0	1	0	1
E2	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	3	0	0	0	1
E3	3	3	0	3	3	0	3	3	3	0	3	3	0	0	3	0	0	3	1
E4	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1
E5	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	3	3	3	3	0

Table 3. Aeronautical information impact matrix T
表 3. 航空情报业务综合影响矩阵 T

	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	E1	E2	E3	E4	E5
A1	0.0027	0.0322	0.0304	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A2	0.0026	0.0027	0.0296	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	0.0887	0.0913	0.0053	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B1	0	0	0	0.0026	0.0026	0.0296	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B2	0	0	0	0.0026	0.0026	0.0296	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B3	0	0	0	0.0887	0.0887	0.0052	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C1	0	0	0	0	0	0	0.0026	0.0026	0.0026	0.0296	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	0	0	0	0	0	0.0026	0.0026	0.0026	0.0296	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	0	0	0	0	0	0	0.0026	0.0026	0.0026	0.0296	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	0.0889	0.0889	0.0889	0.0078	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0026	0.0026	0.0026	0.0296	0	0	0	0	0
D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0026	0.0026	0.0026	0.0296	0	0	0	0	0
D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0026	0.0026	0.0026	0.0296	0	0	0	0	0
D4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0889	0.0889	0.0889	0.0078	0	0	0	0	0
E1	0.0924	0.0952	0.0064	0.0924	0.0924	0.0063	0.0927	0.0927	0.0927	0.0091	0.0924	0.0924	0.0006	0.0064	0.0060	0.0029	0.0325	0.0056	0.0308
E2	0.0385	0.0396	0.0033	0.0385	0.0385	0.0032	0.0386	0.0386	0.0386	0.0044	0.0385	0.0385	0.0003	0.0032	0.0920	0.0030	0.0057	0.0034	0.0325
E3	0.1009	0.1039	0.0071	0.1009	0.1009	0.0070	0.1012	0.1012	0.1012	0.0100	0.1009	0.1009	0.0006	0.0070	0.0953	0.0058	0.0086	0.0921	0.0354
E4	0.0372	0.0383	0.0032	0.0372	0.0372	0.0031	0.0373	0.0373	0.0373	0.0042	0.0372	0.0372	0.0003	0.0032	0.0383	0.0325	0.0336	0.0058	0.0327
E5	0.0263	0.0271	0.0313	0.0263	0.0263	0.0313	0.0264	0.0264	0.0264	0.0321	0.0264	0.0264	0.0028	0.0314	0.1087	0.0921	0.0953	0.0977	0.0116

最后，计算要素的中心度 Q_i 与原因度 C_i，结果如图 2 所示。

$$\begin{cases} Q_i = D_i + R_i \\ C_i = D_i - R_i \end{cases} \tag{2}$$

其中，$D_i=\sum_{j=1}^{n}x_{ij},(i=1,2,\cdots,n)$，$R_j=\sum_{i=1}^{n}x_{ij},(j=1,2,\cdots,n)$

中心度表示因素在影响因素体系中的重要程度，原因度正值表示该因素对其他因素的影响程度比起自身被影响的程度更为突出，可被认定为原因因素；负值则表明该因素受其他因素的影响程度要大于它对其他因素的影响程度，可被认定为结果因素。

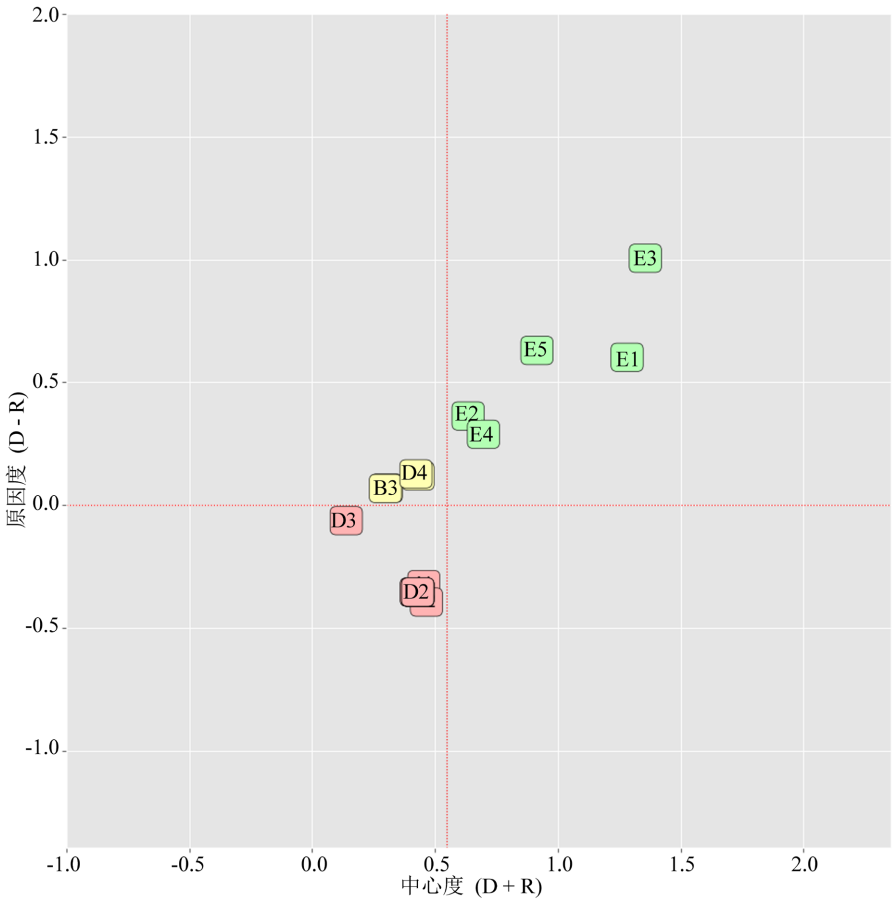

Figure 2. Data centre degree-cause degree
图 2. 数据中心度－原因度

3.2. 基于 ANP 的数据权重计算

ANP 是以层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)为基础的一种适应非独立、反馈递阶层次结构的决策方法[12]。虽然每项数据有它独立的指标定义和明显的界限分别，根据建立的指标体系模型可以看到，数据之间存在复杂的影响关系，因此基于指标体系的层次结构和相互关系，采用 ANP 确定数据指标体系权重，如图 3 所示。构建航空情报业务评价的超矩阵，并开展局部权重和全局权重计算。

指标体系模型从定性方面确定了各类数据之间的关联关系，但无量化过程；DEMATEL 方法的核心是判断因素之间的关系，找出因果因素，但只能判断各因素之间的关系，各影响因素的权重被认为是相同的；而 ANP 法的核心是明确指标的相关性，在一定标准下确定两个因素的重要性，然后计算指标的权重，然而当指标较多且复杂时，会出现较大偏偏差。因此，本文将三者相结合，以指标间关系为基础，明确了数据间依赖关系；利用 DEMATEL 方法获得的综合影响关系构建 ANP 方法所用的网络层次结构；最后综合加权 $Z=W+T*W$，其中 W 为 ANP 综合权重，T 为 DEMATEL 方法综合影响矩阵，并进行归

一化后得到数据指标的最终权重。这样通过 DEMATEL 方法的修正，有效减小了 ANP 计算得到的偏差。最终得到数据综合权重如表 4 所示。

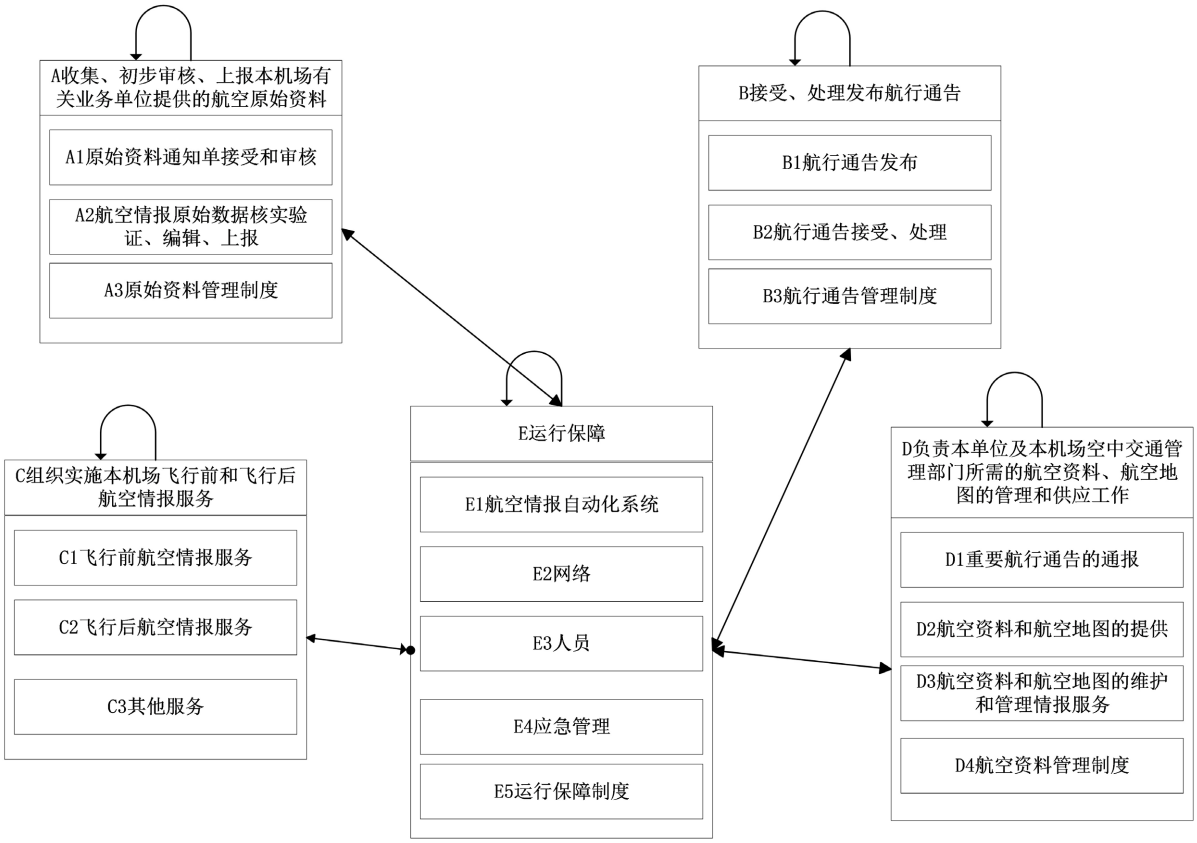

Figure 3. Index network hierarchy
图 3. 指标网络层次关系

Table 4. Combined weighting of aeronautical information
表 4. 航空情报业务综合权重

一级指标	二级指标	局部权重	ANP 综合权重	加权后综合权重
A 收集、初步审核、上报本机场及与本机场有关业务单位提供的航空原始资料	A1 原始资料通知单接受和审核	0.3125	0.077542	0.066418022
	A2 航空情报原始数据核实验证、编辑、上报	0.3125	0.077542	0.064520364
	A3 原始资料管理制度	0.375	0.09305	0.08594418
B 接收、处理发布航行通告	B1 航行通告发布	0.3125	0.077542	0.064515414
	B2 航行通告接收、处理	0.3125	0.077542	0.064515414
	B3 航行通告管理制度	0.375	0.09305	0.085775866
C 组织实施本机场飞行前和飞行后航空情报服务	C1 飞行前航空情报服务	0.16667	0.010339	0.009065642
	C2 飞行后航空情报服务	0.16667	0.010339	0.009065642
	C3 其他服务	0.16667	0.010339	0.009065642
	C4 航空情报服务管理制度	0.5	0.031017	0.027196926

续表

D 负责本单位及本机场空中交通管理部门所需的航空资料、航空地图的管理和供应工作	D1 重要航行通告的通报	0.25	0.019385	0.016413856
	D2 航空资料和航空地图的提供	0.15	0.011631	0.010214756
	D3 航空资料和航空地图的维护管理	0.15	0.011631	0.010214756
	D4 航空资料管理制度	0.45001	0.034894	0.031147633
E 运行保障	E1 航空情报自动化系统	0.12618	0.045951	0.07295474
	E2 网络	0.03155	0.011488	0.027772538
	E3 人员	0.51104	0.1861	0.190695613
	E4 应急管理	0.1183	0.043079	0.055162711
	E5 运行保障制度	0.21293	0.077542	0.099340283

DEMATEL 方法对 ANP 综合权重做出了有效的修正，其中最为明显的是 D3 航空资料和航空地图的维护管理与 E2 网络。在原始的 ANP 综合权重中，D3 与 E2 的值基本相等，而通过 DEMATEL 方法分析可知，D3 位于第三象限，E2 位于第一象限，E2 的重要程度更高，在修正后 E2 的综合权重大于 D3，更加符合数据实际的应用情况。

4. 业务连续性能力评估

通过加权后综合权重可以看到，根据现有航空情报业务运行情况，数据有着明显的重要度倾向。

首先，E3 人员综合权重最大，是重要的原因因素，直接影响着各类数据，因此需要加强情报人员的业务能力培训以及班组资源管理，不断提高专人的资料上报、处理、系统管理等能力。

其次，E5 运行保障制度、A3 原始资料管理制度、B3 航行通告管理制度等指标的综合权重中等，这几类数据是重要的结果因素和原因因素，作为主线，支持了情报工作重点业务的运行与管理，因此需要重点控制数据质量。

最后，C1 飞行前航空情报服务、C2 飞行后航空情报服务、C3 其他服务、D2 航空资料和航空地图的提供等指标的综合权重较低，这几类指标，一是应用场景逐渐减少，逐渐被其他技术或渠道所代替，二是指标偏静态数据，对于运行业务的直接影响较小，因此重要程度排在最末。

5. 结论

本文针对航空情报业务能力问题，建立了航空情报数据治理流程。首先根据具体业务组成，建立了评价指标，然后使用 DEMATEL 方法分析了数据中心度和原因度，最后通过 D-ANP 方法评价了航空情报业务连续性能力。研究从系统的角度解决了有什么数据，是什么关系，如何评价的问题。本文创新使用了 D-ANP 方法应用于航空情报业务连续性评估，首先通过指标体系发现数据间结构，其次通过 DEMATEL 方法判断数据因果关系，最后通过 ANP 方法量化指标权重。对比现有的研究方法，实现了定性于定量分析相结合，支撑航空情报业务水平的提升。

本文从航空情报业务具有代表性的数据进行分析，建立了两级评价指标，指标的颗粒度还需进一步划分；同时，针对不同的空管分局(站)及中小机场，其业务的侧重点也有所不同，需要针对实际工作环境，对指标进行更详细的设计。

基金项目

国家自然基金项目(U2133207)；民航华东空管局科技项目(KJ2301)。

参考文献

[1] 王润. 民航地区空管局航空情报规划和建设探讨[J]. 民航管理, 2021(5): 15-18.

[2] 胥帝. 我国民航情报管理和服务保障体系建设探讨[J]. 民航管理, 2023(4): 26-30.

[3] 张天. 试论我国航空情报业务由服务向管理迈进[J]. 民航管理, 2020(7): 59-63.

[4] 赖欣, 朱美玲, 梁昌盛. 航空情报交换模型发展历程与技术概述[J]. 民航学报, 2024, 8(3): 88-93.

[5] 刘朋泽. 面向容灾技术的业务连续性保障能力评估方法设计及应用[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京邮电大学, 2024.

[6] 杜郁. 电力信息系统业务连续性评价指标设计研究[J]. 光源与照明, 2022(6): 229-231.

[7] Cheng, L.H., Cao, D.Q. and Guo, H.M. (2020) Analysis of Coal Mine Occupational Disease Hazard Evaluation Index Based on AHP-DEMATEL. *Archives of Environmental & Occupational Health*, **76**, 372-384. https://doi.org/10.1080/19338244.2020.1835798

[8] Karamoozian, A., Wu, D., Abbasnejad, B. and Mirhosseini, S.A. (2023) A Hybrid DEMATEL-ANP and LCA Decision-Making Model for Selecting Pipe Materials in Hydrocarbon Pipeline Projects. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, **14**, 1-18. https://doi.org/10.1061/jpsea2.pseng-1324

[9] Göncü, K.K. and Çetin, O. (2022) A Decision Model for Supplier Selection Criteria in Healthcare Enterprises with Dematel ANP Method. *Sustainability*, **14**, Article No. 13912. https://doi.org/10.3390/su142113912

[10] 张天骄, 张子超, 黄堃, 等. 融合关联挖掘与 D-ANP 的数字经济下消费潜力多模态评估模型构建[J]. 农业图书情报学报, 2023, 35(2): 16-29.

[11] 王光崭. 基于 DEMATEL-ANP-云模型的航空公司应急资源配置合理性研究[D]: [硕士学位论文]. 德阳: 中国民用航空飞行学院, 2023.

[12] 袁健. 城市地铁车站运营系统脆弱性评价研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2023.