

Міністерство освіти і науки України

Державний вищий навчальний заклад  
«Донецький національний технічний університет»

Кафедра автоматики і телекомунікацій

Донецький науковий центр НАН України і МОН України



**«ТАК»**

Телекомунікації, автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані та інформаційні технології

Збірка доповідей Всеукраїнської науково-практичної  
конференції молодих учених

(Дрогобич, 12 грудня 2024 р.)



Дрогобич  
ДВНЗ «ДонНТУ»  
2024

**ТА**втоматика  
Телекомунікації

Рекомендовано до видання Вченою радою ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

**Редакційна колегія:**

Вікторія Воропаєва, к.т.н., проф., в.о. проректора з науково-педагогічної роботи ДонНТУ;

Гліб Ступак, ст. викл. кафедри автоматики та телекомунікацій, керівник мережної академії Cisco ДонНТУ, голова клубу підприємництва YEP!Club DNTU;

Валерій Поцєпаєв, к.т.н., доц., завідувач кафедри автоматики та телекомунікацій ДонНТУ;

Наталія Маслова, к.т.н., доц., завідувачка кафедри прикладної математики і інформатики ДонНТУ;

Сергій Ковальов, к.т.н., доц., в.о. завідувача кафедри електронної техніки ДонНТУ;

Олександр Колларов, к.т.н., доц., завідувач кафедри електричної інженерії ДонНТУ;

Едуард Петелін, к.т.н., доц., декан факультету комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації ДонНТУ;

Олена Кучер, к.ф.-м.н., в.о. директора Донецького наукового центру НАН України і МОН України;

Володимир Ставицький, к.т.н., інженер-програміст вбудованих систем, ТОВ «РЗА СИСТЕМЗ»;

Семен Батир, к.т.н., провідний інженер-розробник Ring Ukraine.

Відповідальність за зміст, новизну та оригінальність наданого матеріалу несуть автори.

Т 15 «ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології: зб. доповідей Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, 12 грудня 2024 р. / ДВНЗ «ДонНТУ»; відп. ред. Г.В. Ступак. – Дрогобич: ДВНЗ «ДонНТУ», 2024. – 215 с.

До збірника увійшли матеріали доповідей, представлених на Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених «ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології. Конференція проводилася кафедрою автоматики та телекомунікацій (АТ) ДВНЗ «Донецький національний технічний університет».

У збірнику представлені результати досліджень та розробок молодих вчених із технічних вузів та наукових закладів України.

Збірник призначений для викладачів, аспірантів і студентів вищих технічних навчальних закладів, а також фахівців з телекомунікацій, автоматизації, інформаційних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, електротехніки та електромеханіки.

УДК 621.39+681+004

© ДВНЗ «ДонНТУ», 2024

## TENSOR MODEL FOR DESCRIBING CRITICAL INFRASTRUCTURE

*Iaroslav Dorohyi<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, yaroslav.dorohyi@donntu.edu.ua;*

*Vasyl Tsurkan<sup>2</sup>, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, v.v.tsurkan@gmail.com;*

*Vlasyslav Kravchuk<sup>1</sup>, Postgraduate Student, vladkrava15@ukr.net*

<sup>1</sup> *Donetsk National Technical University, Drohobych, Ukraine*

<sup>2</sup> *Institute of Special Communications and Information Protection of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine*

### Introduction

The tensor approach to modeling critical infrastructure (CI) offers an effective tool for multidimensional analysis of complex systems. Critical infrastructure [1] encompasses diverse subsystems, including the energy sector, transportation networks, information and communication technologies, healthcare systems, and financial services, all characterized by intricate interconnections among themselves and with the external environment. By employing a tensor-based model, it becomes feasible to account for the numerous interdependencies among system elements  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ , their attributes  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ , and external influences  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_p\}$ , enabling more precise analysis and forecasting.

The use of tensors provides a structured representation of CI attributes, interactions, and risks, modeled as multidimensional arrays  $T \in R^{n \times m \times p}$ , where each dimension corresponds to a specific system aspect. For example, the element  $T(i, j, k)$  encapsulates the state of the  $j$ -th attribute of the  $i$ -th component at a given time or spatial context. Additional tensors such as the interaction tensor  $R \in R^{n \times n \times q}$  and the risk tensor  $\Theta \in R^{n \times m \times l}$  enrich the model, capturing system interdependencies and vulnerabilities. This multidimensional framework facilitates the identification and mitigation of threats such as cyberattacks, natural disasters, or technological failures.

### Foundations of Tensor Representation in CI

The tensor representation of CI enables a compact and flexible analysis framework. Tensor decompositions, including Tucker [2] and CP (CANDECOMP/PARAFAC) [3] decompositions, play a pivotal role in simplifying the analysis by identifying core interactions and latent patterns. For instance, the Tucker decomposition approximates the tensor  $T$  as (1):

$$T \approx G \times_1 U^{(1)} \times_2 U^{(2)} \times_3 U^{(3)}, \quad (1)$$

where  $G$  is the core tensor, and  $U^{(1)}, U^{(2)}, U^{(3)}$  are factor matrices along different dimensions. Such decompositions help isolate critical subsystems, uncover hidden dependencies, and determine clusters of interdependent components.

The model further integrates risk assessment through operations such as the Hadamard product of the characteristic tensor  $T$  and the risk tensor  $\Theta$ , yielding a modified tensor  $T'$  reflecting the impact of risks (2):

$$T' = T \odot \Theta, (2)$$

where  $T'(i,j,k)$  represents the risk-adjusted state of the  $j$ -th attribute of the  $i$ -th component under the  $k$ -th risk type.

### Practical Applications and Optimizations

The tensor model serves as a versatile tool for assessing system vulnerabilities, optimizing resource allocation, and predicting the effects of various threats. For example, maximum risks can be identified as (3):

$$R_{\max} = \max_{i,j,k} \Theta(i, j, k), (3)$$

enabling targeted mitigation efforts. Moreover, optimization strategies can minimize overall risks by redistributing resources, modeled as (4):

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l \Theta(i, j, k). (4)$$

Such methodologies ensure the sustainable and resilient operation of CI under diverse scenarios, from minor disruptions to large-scale crises.

### Conclusion

Tensor modeling provides a comprehensive and systematic approach to analyzing and optimizing critical infrastructure. Its multidimensional framework accounts for interconnections, vulnerabilities, and risks, offering valuable insights for proactive risk management and resilience enhancement. This methodology holds significant potential for addressing the challenges faced by CI in an increasingly interconnected and threat-prone world.

### References

1. Дорогий Я. Ю., Мохор В. В., Козлюк І. О., Цуркан В. В. Критична інфраструктура: вразливості, загрози, ризики / Я. Ю. Дорогий, В. В. Мохор, І. О. Козлюк, В. В. Цуркан // Тези доповідей II міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та взаємодії», Київ, 2015. С. 46–47.
2. Stolf F., Canale A. Bayesian Adaptive Tucker Decompositions for Tensor Factorization. 2024. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.10218>.
3. Kolda T. G., Bader B. W. Tensor Decompositions and Applications / T. G. Kolda, B. W. Bader // SIAM Review. – 2009. – Vol. 51, No. 3. – P. 455–500. URL: <https://doi.org/10.1137/07070111X>.

### **Анотація**

У цій роботі розглянуто тензорну модель для опису критичної інфраструктури (КІ), яка дозволяє здійснювати багатовимірний аналіз компонентів системи, їх атрибутів, взаємодій та пов'язаних ризиків. Запропонована модель використовує тензори для представлення атрибутів компонентів, функціональних взаємодій і загроз, забезпечуючи системний підхід до аналізу та прогнозування поведінки інфраструктури. Особливу увагу приділено математичним методам, таким як розклади тензорів і оптимізація ризиків, які дозволяють виявляти вразливості системи та розробляти стратегії її захисту. Математичні вирази деталізують запропоновану модель і її застосування для підвищення стійкості та ефективності функціонування КІ.

Ключові слова: тензорна модель, критична інфраструктура, багатовимірний аналіз, оптимізація ризиків, розклад тензорів, система захисту, оцінка вразливості.

### **Abstract**

This paper examines a tensor-based model for describing critical infrastructure (CI), enabling multidimensional analysis of system components, their attributes, interactions, and associated risks. The proposed model employs tensors to represent component attributes, functional interactions, and threats, providing a systematic approach to analyze and predict infrastructure behavior. Special emphasis is placed on mathematical methods such as tensor decompositions and risk optimization to identify system vulnerabilities and develop protection strategies. Mathematical expressions are provided to detail the proposed model and its application in enhancing the resilience and operational efficiency of CI.

Keywords: tensor model, critical infrastructure, multidimensional analysis, risk optimization, tensor decomposition, protection system, vulnerability assessment.