JSST Journal of Space Science and Technology

Vol. 16 / Issue 2 / 2023 / (No. 56)
Print ISSN: 2008-4560 / Online ISSN: 2423-4516
https://doi.org/10.30699/jsst.2023.1405

OPEN ACCESS

Pages: 27-42 / Review Paper / Received: 30 May 2022 / Revise: 24 October 2022 / Accepted: 01 February 2023

Journal Homepage: https://jsst.ias.ir

An Overview of the Applications of Artificial Intelligence in Improving the Performance of Space-Air and Ground Integrated Networks

Pedram Hajipour[1*], Roghieh Karimzaeh Baee[2], Houman Zarrabi[3], Roghayeh Doost[4], Leila Mohammadi[5]

1. Instructor, Satellite Communication Group, Faculty of Communications Technology, ICT Research Institute, Tehran, Iran

2-5. Assistant Professor, Satellite Communication Group, Faculty of Communications Technology, ICT Research Institute, Tehran, Iran

*Corresponding Author's E-mail: hajipour@itrc.ac.ir

Abstract

According to the technical specifications of the future generations of telecommunication, which should provide new services, the use of hybrid networks space-air-ground is essential. It should be noted that the management of this type of hybrid satellite networks have major challenges in providing new services. Meanwhile, the intelligent management of resources in hybrid satellite networks will lead to increased capacity and improved service quality. In this paper, a comprehensive review of the use of artificial intelligence in the field of satellite communications will be discussed. Finally, in the field of service quality improvement, such as how to model and intelligently predict traffic and how to deal with harmful environmental conditions will be presented.

Keywords: Satellite, Intelligent management, Capacity, Service quality, Hybrid networks

1. Introduction

Today, terrestrial networks are facing an exponential increase in traffic, generated by various objects connected to this type of communication networks [1]. Due to the advances in the space industry, such as mega satellite constellation and the new generation of high throughput satellites in geostationary orbit (GEO-HTS), results into a significant reduction of communication costs and increase in the capacity, it won't take long, when the earth will be surrounded by a large amount of satellites that provide new and diverse services. In this kind of satellite communication networks, due to the limited access of resources, achieving high energy efficiency for satellite communication is more challenging than terrestrial networks [2-3]. Therefore, the designers of space missions demand the use of automation for various reasons, including reducing the amount of delay in the round trip in satellite communications. Therefore, the increase use of intelligence and the implementation of automation in the management of equipment in the satellite systems (both in the terrestrial and in the space parts) is the key element in this type of communication systems, which requires expert and intelligent systems [3-4]. The general classification of artificial intelligence functions in the field of satellite communications is presented in Figure 1. As it is clear in this figure, artificial intelligence and its various algorithms can be used in various fields in Space-air-ground integrated network (SAGIN).

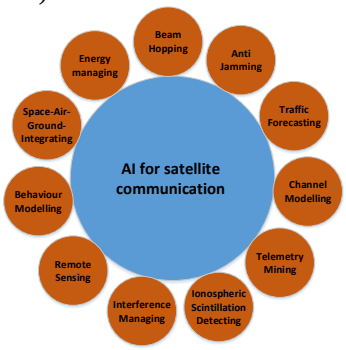


Figure 1. Different applications of artificial intelligence in satellite communications [5]

2. Results and Discussion

In this paper, at first, by using scientometrics, Artificial intelligence and algorithms that can be used in improving SAGIN resource management are introduced, and later, the factors that can increase the capacity of SAGIN network and have an impact on increasing the quality of the services

COPYRIGHTS
© 2023 by the authors. Published by Aerospace Research Institute. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

How to cite this article:
P. Hajipour, R. Karimzadeh Baee, H. Zarrabi, R. Doost and L. Mohammadi, "A Review of the Applications of Artificial Intelligence in Improving the Performance of Integrated Space-Air and Ground Networks," *Journal of Space Science and Technology*, Vol. 16, No. 2, pp. 27-42, 2023 (in Persian), https://doi.org/10.30699/jsst.2023.1405.

provided by them, has been examined and evaluated according to artificial intelligence and algorithms related to it, relying on the current and valid references available in this field. The findings of science, technology and innovation measurement and evaluation studies are one of the most important policy tools for the development of science, technology and innovation in every country [6]. This measurement should be done in such a way that based on its results, a more realistic picture of the state of artificial intelligence applications in satellite communications in the world can be drawn [7]. As shown in Figure 2, the largest amount of research since 2017 has been in two major areas, including satellite positioning and navigation systems (GNSS) and remote sensing, respectively, in the amount of 1959 And 1442 documents are in the relevant software.

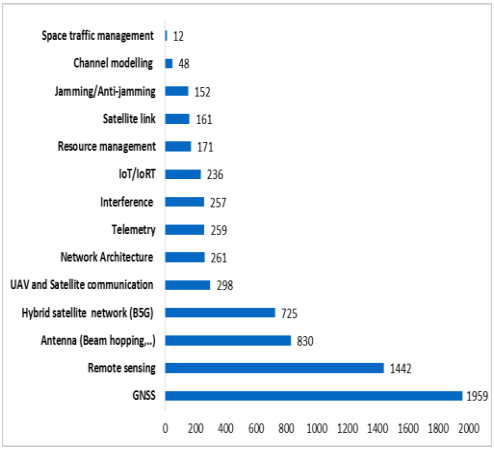


Figure 2. The frequency of research on the use of artificial intelligence in the field of satellite applications (From 2017 to 15 October 2022)

Figure 3, also shows the frequency of using artificial intelligence methods in satellite communications. As it is clear from Figure 2, in the field of satellite communications, Deep learning (DL) and machine learning (ML) methods are the most used in this field with 44.23 percentage and 39.27 percentage, respectively.

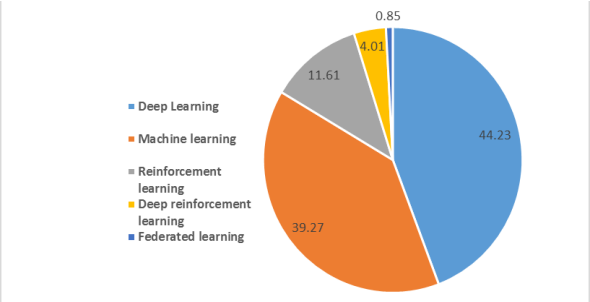


Figure 3. The percentage of using artificial intelligence methods in satellite communications (From 2017 to 15 October 2022)

Finally, according to the available information and statistics in the field of the artificial intelligence in satellite communications, the following factors, according to Figure 1, have been further investigated and analyzed based on the available sources, which include:

- Smart configure know how
- Intelligent management of resources including power, frequency and energy
- Intelligent interference management
- Routing and traffic prediction know how
- How to intelligently deal with destructive environmental conditions

3. Conclusions

According to the investigations carried out in different departments of SAGIN, it has been seen that by using artificial intelligence and its various algorithms, it is possible to use this type of combined communication networks to provide better services in its fifth generation (5G) and beyond. It is predicted that in the near future, the necessary standards and suitable platforms for the use of artificial intelligence in satellite communications will be developed. Of course, according to the investigations carried out in the article, the challenges ahead in the implementation of this type of communication network, based on artificial intelligence, include the following:

- Increasing Capacity
- Intelligent modeling of the satellite communication channel
- Increasing the quality of service
- Smart dealing with jamming
- How to securely exchange data in the structure of satellite systems
- Designing and building an efficient space shield according to the existing space radiation database
- Designing smart satellite antennas

4. References

[1] B. Mao, et al., "Routing or Computing? The Paradigm Shift Towards Intelligent Computer Network Packet Transmission Based on Deep Learning," *IEEE Trans. Comp.*, vol. 66, pp. 1946–1960, November 2017, https://ieeexplore.ieee.org/document/7935536

[2] J. Manning, et al., "Machine-Learning Space Applications on Small Sat Platforms with Tensor Flow," in 32th Annual AIAA/USU Conf. Small Satellite, pp. 1-8, 2018.

[3] F. Pacheco, E. Exposito, and M. Gineste, "A framework to classify heterogeneous Internet traffic with Machine Learning and Deep Learning techniques for satellite communications," *Comp. Net.*, vol. 173, pp. 1-32, May 2020, https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107213.

[4] C. Niephaus, M. Kretschmer and G. Ghinea, "QoS Provisioning in Converged Satellite and Terrestrial Networks: A Survey of the State-of-the-Art," *IEEE Commun. Surv.Tutor.*, vol. 18, no. 4, pp. 2415-2441, April 2016, https://ieeexplore.ieee.org/document/7463014.

[5] F. Fourati, M-S. Alouini, "Artificial Intelligence for Satellite Communication: A Review," arXiv:2101.10899v1 [eess.SP], Available at://https://arxiv.org/abs/2101.10899, 2021, https://ieeexplore.ieee.org/document/9622204.

[6] H. Eftekhari and et al., "Using the co-occurrence word analysis method to analyze the fifth generation (5G) of communication networks," *The 8th international conference on sustainable development, construction and urban regeneration*, March 2019, pp.1-14.

[7] A. R. Chakli and M.A.Hassan zadeh,"Development of science, technology and innovation; Access to scientific indicators," *Health Info. Mgmt.*, vol. 7, no. 4, pp. 475-484, February 2011, https://doi.org/10.1016/j.respol.2009.01.018.

JSST
علوم و فناوری فضایی
دوره ۱۶ / شماره ۲ / ۱۴۰۲ / (پیاپی ۵۶)
شاپای چاپی: ۴۵۶۰- ۲۰۰۸ / شاپای الکترونیکی: ۴۵۱۶-۲۴۲۳
https://doi.org/10.30699/jsst.2023.1405
OPEN ACCESS
ص. ص. ۴۲-۲۷ / مقاله مروری / دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۹ / بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۰۲ / پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲
Journal Homepage: https://jsst.ias.ir

مروری بر کاربردهای هوش مصنوعی در بهبود عملکرد شبکه‌های یکپارچه فضایی، هوایی و زمینی

پدرام حاجی‌پور[۱*]، رقیه کریم‌زاده بائی[۲]، هومن ضرابی[۳]، رقیه دوست[۴] و لیلا محمدی[۵]

پژوهشکده فناوری ارتباطات، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تهران، ایران

***ایمیل نویسنده مخاطب: hajipour@itrc.ac.ir**

چکیده

با توجه به مشخصات فنی نسل‌های آینده مخابرات (نسل پنجم و بعد ازآن) که می‌بایست سرویس‌های نوین با نرخ داده بسیار بالارا در حداقل زمان و یک پوشش گسترده ارایه نماید و همچنین افزایش تصاعدی ترافیک، بکارگیری شبکه های ترکیبی فضایی- هوایی- زمینی امری ضروری است. باید توجه داشت که مدیریت این نوع شبکه‌های ترکیبی، دارای چالش‌هایی اساسی در ارایه چنین سرویس‌هایی می‌باشند. این درحالی است که مدیریت هوشمند منابع در شبکه‌های ترکیبی مبتنی بر ماهواره، منجر به افزایش ظرفیت و بهبود کیفیت ارائه سرویس خواهد شد. به همین منظور در این مقاله به بررسی جامع بکارگیری هوش مصنوعی در حوزه ارتباطات ماهواره‌ای پرداخته خواهد شد. در حوزه افزایش هوشمند ظرفیت، عوامل مختلفی مانند نحوه پیکربندی شبکه، نحوه تخصیص منابع از قبیل طیف، انرژی و توان با ملاحظه مدیریت هوشمند تداخل مورد بررسی قرار خواهد گرفت. نهایتا در حوزه بهبود کیفیت سرویس عواملی مانند نحوه مدل‌سازی و پیش‌بینی هوشمند ترافیک و همچنین نحوه مقابله با شرایط مخرب محیطی ارائه خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: ماهواره، مدیریت هوشمند، ظرفیت، کیفیت سرویس، شبکه‌های ترکیبی

مقدمه

امروزه شبکه‌های زمینی با افزایش تصاعدی ترافیک مواجه هستند که توسط اشیاء مختلف متصل به این نوع شبکه ارتباطی تولید می‌شوند [۱]. از آنجاکه پیشرفت‌های پیش‌رو در صنعت فضایی مانند ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای و نسل جدید سیستم‌های ماهواره‌ای پرظرفیت در مدار زمین ثابت (GEO-HTS)[6]، به طور قابل توجهی هزینه‌های ارتباطی را کاهش و ظرفیت را افزایش خواهد داد، در آینده نه چندان دور، اطراف زمین با حجم زیادی از ماهواره‌ها برای ارایه خدمات نوین و متنوع احاطه خواهد شد. این امر باعث می‌شود برای پشتیبانی خدمات در هر زمان و در هر مکان، شبکه‌های یکپارچه فضایی- هوایی- زمینی (SAGIN)[7] به سرعت توسعه یابند. ظهور شبکه‌های SAGIN می‌تواند در راستای پاسخگویی به نیازهای آینده ارایه انواع خدمات، انتخاب‌های متعددی را در اختیار کاربران قرار دهد.

این شبکه‌های سه بعدی، به دلیل داشتن تحرک بالا در بخش فضایی و هوایی، بسیار پیچیده‌تر از شبکه‌های زمینی فعلی خواهند بود. با توسعه ارتباطات ماهواره‌ای، پوشش جهانی بهبود یافته و کیفیت ارتباطات افزایش پیدا کرده، اما چالش‌های متعددی نیز پیشِ روی توسعه شبکه‌های ارتباطی مبتنی بر ماهواره وجود دارد. ماهواره‌ها، به‌ویژه ماهواره‌های با مدار ارتفاع پایین (LEO)[8]، منابع

۱. مربی
۲. استادیار
۳. استادیار
۴. استادیار
۵. استادیار

6. Geostationary orbit High throughput satellites

7. Space-air-ground integrated networks

8. Low earth orbit

COPYRIGHTS
©2023 by the authors. Published by Aerospace Research Institute. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

داخلی محدودی دارند و با سرعت زیادی در مدار حرکت می‌کنند و دینامیک بالایی را برای دسترسی به شبکه ارتباطی دارند. علاوه بر این، به دلیل دسترسی محدود به منابع، دستیابی به راندمان انرژی بالا برای ارتباطات ماهواره‌ای چالش برانگیزتر از شبکه‌های زمینی است - [۲-۳]. بنابراین، می توان چالش‌هایی که ارتباط نزدیکی با عملکرد SAGIN دارند، با دسته بندی زیر عنوان کرد:

- کنترل شبکه
- مدیریت طیف
- مدیریت انرژی
- مدیریت مسیریابی[1] و دست‌سپاری[2] (تحویل دادن)
- تضمین امنیت[3]

نسل بعدی ماهواره‌ها، انعطاف‌پذیری زیادی دارند و در آن‌ها پارامترهایی از قبیل توان و پهنای باند، فرکانس، نشانه روی۴ و شکل هر یک از پرتوها، به صورت جداگانه قابل تنظیم هستند. امروزه، بخش‌هایی از پیکربندی ارتباطات ماهواره‌ای توسط متخصصان و به‌صورت دستی[5] انجام می‌شود، این موضوع باعث بالابودن هزینه‌های عملیاتی[6] و همچنین تاخیر ضمنی عملیات اجرایی و امکان بروز خطاهای انسانی می‌شود که در مجموع موجب افت کیفیت سرویس در سیستم‌های ارتباطی غیرزمینی است. با وجود به‌کارگیری الگوریتم‌های بهینه‌سازی در بخش مدیریت منابع، تعدد عناصر موجود در این نوع شبکه‌ها، تخصیص مناسب منابع به بخش‌های مختلف با حداقل زمان امکان پذیر نیست. بنابراین، استفاده از روش‌هایی که بتواند تخصیص بهینه منابع را در حداقل زمان ممکن ارایه دهد، بسیار مهم و ضروری خواهد بود. بنابراین، طراحان مأموریت‌های فضایی خواستار به‌کارگیری اتوماسیون خودکار به دلایل مختلف از جمله کاهش میزان تأخیر در مسیر رفت و برگشت در ارتباطات ماهواره‌ای هستند. در سناریوهایی که در آن، زمان تأخیر قابل‌توجه است سیستم ماهواره باید قادر به تصمیم‌گیری مستقل باشد [۲]. لذا به‌کارگیری و افزایش هوشمندی و اجرای اتوماسیون در مدیریت تجهیزات در سیستم ماهواره‌ای (در بخش‌های زمینی و در بخش‌های فضایی)، عنصر کلیدی این نوع سیستم‌های ارتباطی بوده که نیازمند سیستم‌های خبره و هوشمند است [۳-۴]. در حالت کلی از میان شیوه‌های موجود در حوزه هوش مصنوعی[7] (AI)، یادگیری عمیق[8] - (DL)، مطلوب‌ترین شیوه یادگیری ماشین با قابلیت کارکرد در حوزه ارتباطات ماهواره‌ای است [۵]. به طور کلی، هوش مصنوعی توانایی حل مسائل بسیار پیچیده را داراست و می‌تواند تنها از اطلاعات ذاتی موجود در داده‌ها بهره‌برداری کند. این نوع روش قادر است تا پردازش‌های مورد نیاز را تا حد زیادی کاهش دهد. علاوه بر این، راه را برای دوره جدیدی از الگوریتم‌ها با تمرکز مستقیم بر اطلاعات موجود در داده‌ها هموار کند و ویژگی‌های مرتبط را برای یک برنامه مشخص استخراج نماید. این شیوه یادگیری ماشین، بهینه سازی عملیاتی را در نظر می‌گیرد و پتانسیل فوق العاده‌ای در مدیریت حجم وسیعی از داده‌ها دارد. یکی از مهمترین کاربردهایی که در این حوزه نیاز به هوش مصنوعی را الزامی می‌نماید، جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز[9] سیستم‌های ماهواره‌ای و استفاده از شیوه‌های داده محور خدمات ابری و خوشه‌بندی برای مدیریت کارآمد این نوع داده‌ها است [۶]. در شبکه‌های ارتباطی ماهواره‌ای، با توجه به چرخه حرکت و ارتباطات این نوع سیستم‌ها، برای تبادل بهتر داده در هر خوشه، نیازمند روش‌های هوشمند مدیریت منابع هستند. هوش مصنوعی می‌تواند در طول چرخه حیات ماهواره، از تولید تا اجرای عملیات، کارآیی‌های زیادی را ایجاد کند. از سوی دیگر، با توجه به اینکه ماهواره‌های رصد زمین[10] (EO) می‌بایست سطوح بالایی از وضوح را به خود اختصاص دهند، AI می‌تواند نحوه پردازش داده‌ها را هم در فضا و هم در زمین تغییر دهد. به همین منظور با مجازی سازی شبکه‌های ماهواره‌ای و لزوم استفاده از حجم عظیم داده‌های در دسترس، الگوریتم یادگیری ماشین[11] (ML) در ارتباطات ماهواره‌ای قادر است تا کارها و عملیات‌های پشتیبانی را در SAGIN خودکار کند. امروزه، پردازش پیشرفته داده بر روی ماهواره با استفاده از پردازنده‌های سیگنال مبتنی بر ML مطرح می‌باشد، به گونه‌ای که ماهواره تبدیل به جمع‌کننده و یا پخش‌کننده داده می‌شود. این کار به ماهواره‌ها، امکان تحویل اطلاعات مورد نیاز در زمان مناسب را فراهم می‌سازد. امروزه فراوانی تصاویر ماهواره‌ای، پتانسیل زیادی برای کمک به شرکت‌ها، سرمایه‌گذاران و دولت‌ها در تصمیم‌گیری‌های مهم ایجاد کرده است، اما تجزیه و تحلیل این حجم از داده، توسط روش‌های سنتی بسیار کند و یا حتی غیر ممکن است. بنابراین، با خودکار کردن تجزیه و تحلیل و حتی یکپارچه‌سازی آن با داده‌های دیگر، و به کارگیری هوش مصنوعی می‌تواند در این مسیر راهگشا باشد. همچنین AI سرعت توسعه و آزمایش ماهواره‌ها را افزایش می‌دهد. به عنوان نمونه، ماهواره‌های هوشمند[12] در حال باز کردن درها به روی الگوی اکتشافی و تشخیص ناهنجاری است که توسط AI فعال شده و انعطاف‌پذیری امنیت سایبری را با بروز رسانی‌های خودکار به منظور مقابله با تهدیدات جدید، بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، با افزایش

1. Routing
2. Handover
3. Security Guarantee
4. Pointing
5. Manual
6. Operational expenditure
7. Artificial intelligence
8. Deep learning
9. Data set
10. Earth observation
11. Machine learning
12. Smart satellites

تعداد پرتاب، ماهواره‌ها باید امکان جابجایی در مسیر حرکت مانند مانورهای چرخش را باید به صورت مستقل داشته باشند، فرایندی که در بعد زمانی، چالشی برای اپراتورهای ماهواره است. با کمک الگوریتم یادگیری ماشین می‌توان این نوع محاسبات را به لبه منتقل نمود تا ماهواره بتواند مانورهای بعدی خود را با یا بدون کمک از ایستگاه زمینی برنامه‌ریزی کند و با تهدیدات احتمالی مقابله کند [۷]. پیشرفت‌های اخیر در تجهیزات الکترونیکی و مخابراتی باعث شده تا یک نسبت کارآمد بین محاسبه و مصرف انرژی فراهم گردد که این امر اجرای الگوریتم‌های AI را عملیاتی می‌سازد. به این ترتیب، تنها داده‌های معنی‌دار و مفید به کاربر نهایی منتقل می‌شوند. در نتیجه، پهنای باند جهت ارسال داده مورد نیاز به حداقل می‌رسد و همچنین تاخیر کاهش می‌یابد. استفاده از یادگیری ماشین در سیستم‌های ماهواره‌ای منجر به بهینه‌سازی داده‌ها، کاهش هزینه‌های عملیات و کمک به مدیریت پیچیده سیستم‌های خودکار شده است [۵]. از مهمترین عواملی که می‌تواند به مدیریت مناسب منابع SAGIN کمک نماید، شامل:

۱. نحوه پیکربندی هوشمند
۲. مدیریت هوشمند منابع شامل توان، فرکانس و انرژی
۳. مدیریت هوشمند تداخل
۴. نحوه مسیریابی و پیش بینی هوشمند ترافیک
۵. نحوه مقابله هوشمند با شرایط محیطی مخرب

هوش مصنوعی در خدمات انتها به انتها به منظور دستیابی به یک سیستم مدیریت تداخل هوشمند یکپارچه در شبکه‌های نوین مخابراتی مبتنی بر ماهواره، بکار گرفته خواهد شد. استفاده از هوش مصنوعی منجر به توسعه ساز وکار می‌شود که می‌تواند پیکربندی محموله ماهواره‌ای را از نظر تخصیص توان به ازای هر عنصر، تخصیص پهنای باند و طراحی شکل‌دهی پرتو، با توجه به تغییر ناگهانی در سطح توان و تداخل یک منطقه خاص تحت پوشش، مدیریت نماید [۸].

از طرفی، یکپارچه‌سازی و ادغام پایانه‌ها، استانداردها، خدمات، طیف‌ها و شبکه‌ها در SAGINها (در شبکه‌های ارتباطی آینده B5G)، کیفیت تجربه[1] (QoE) را ارائه می‌دهد. علاوه بر این، ادغام طیف می‌تواند اشتراک‌گذاری طیف در SAGIN و در نتیجه تخصیص مشترک باند فرکانس ماهواره‌ای و باند فرکانس زمینی را محقق کند که موجب استفاده بهینه از طیف فرکانسی می‌شود. با این حال، طرح‌های سنتی تخصیص منابع در SAGINها، تداخل شدید فرکانسی شبکه ماهواره‌ای و شبکه زمینی را مرتفع نمی‌کند [۹]. بنابراین، با توجه به اهمیت و ضرورت بکارگیری روش‌های هوشمند که قادرند نسبت به روش‌های سنتی و مرسوم امروزی با سرعت و کارآیی بهتری، منابع SAGIN (مانند تخصیص بهینه منابع، انرژی، جریان داده، تداخل و طیف ماهواره) را تخصیص و مدیریت نمایند، در این مقاله به این موضوع مهم پرداخته شده است. برای این منظور در ابتدا با استفاده از علم سنجی در بخش‌هایی که هوش مصنوعی و الگوریتم‌هایی که قادرند در بهبود مدیریت منابع SAGIN مورد استفاده قرار گیرند، معرفی شده و نهایتاً عواملی که می‌تواند موجب افزایش ظرفیت شبکه SAGIN و تاثیرگذار در افزایش کیفیت خدمات ارایه شده توسط آنها باشد، بر حسب هوش مصنوعی و الگوریتم‌های مرتبط با آن با تکیه بر مراجع بروز و معتبر موجود در این حوزه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. در ادامه به بررسی هرکدام از عوامل تاثیرگذار بر مدیریت مناسب SAGIN با توجه به مراجع و منابع معتبر پرداخته می شود.

علم سنجی کاربردهای هوش مصنوعی در ارتباطات ماهواره‌ای

در این بخش به بررسی منابع منتشر شده در جهان در حوزه کاربردهای هوش مصنوعی در ارتباطات ماهواره‌ای، با استفاده از علم‌سنجی پرداخته شده است. یافته‌های حاصل از مطالعات سنجش و ارزیابی علم، فناوری و نوآوری از مهم‌ترین ابزارهای سیاست‌گذاری توسعه علم، فناوری و نوآوری در هر کشور به‌شمار می‌آید [۱۰]. این سنجش باید به‌گونه‌ای صورت پذیرد که با تکیه بر نتایج آن بتوان تصویری واقعی‌تر از وضعیت کاربردهای هوش مصنوعی در ارتباطات ماهواره ای موجود در دنیا ترسیم نمود [۱۱].

برای این منظور و در ابتدا در پایگاه استنادی اسکوپوس جستجوی مدارک حوزه استفاده از هوش مصنوعی در ارتباطات ماهواره ای انجام شده است. تعداد مدارک منتشر شده از سال ۲۰۱۷ به بعد، برابر با ۲۴۱۸ مدرک (شامل مقاله، کتاب و...) است که در تاریخ ۱۴۰۱/۰۷/۲۳ از این پایگاه بازیابی شده است. جهت ترسیم ساختار دانشی این حوزه در جهان، در ابتدا با استفاده از خروجی‌های حاصل از پایگاه «اسکوپوس» و با بهره‌گیری از نرم‌افزار Bibexcel، تحلیل واژگان مربوطه در مدارک انجام شده و مرتبط‌ترین واژگان از میان آن‌ها جهت نمایش در شبکه انتخاب شده‌اند. اینکار باعث می‌شود که لغاتی که اهمیت کمتری در این مدارک دارند، حذف شده و شبکه نیز فقط بر روی نمایش لغات مهم در این حوزه متمرکز شود. همانگونه که در شکل (۱) نشان داده شده است، بیشترین میزان پژوهش از سال ۲۰۱۷ میلادی به بعد به دو حوزه عمده شامل سیستم‌های ماهواره‌ای تعیین موقعیت و ناوبری[2] (GNSS) و

1. Quality of experience

2. Global Navigation Satellite System

همچنین سنجش از راه دور[1] به ترتیب به میزان ۱۹۵۹ و ۱۴۴۲ سند در نرم افزار مربوطه می‌باشد. اما در کنار این دو حوزه پژوهش‌های دیگر با رشد خوبی در حال تحقیق و بررسی در این حوزه می‌باشد که از جمله آنها می‌توان به بکارگیری هوش مصنوعی در مدیریت ترافیک، تخصیص منابع، کاهش تداخل و غیره در حوزه ارتباطات ماهواره‌ای، اشاره کرد.

در شکل (۲) نیز، میزان درصد فراوانی روش‌های هوش مصنوعی در ارتباطات ماهواره‌ای نشان داده شده است. همانگونه که از شکل (۲) مشخص است، در حوزه ارتباطات ماهواره‌ای روش یادگیری عمیق و روش یادگیری ماشین به ترتیب با ۴۴/۲۳ درصد و ۳۹/۲۷ درصد بیشترین کاربرد را در این حوزه به خود اختصاص داده‌اند. البته امروزه در کنار این روش‌ها روش‌های یادگیری عمیق و یادگیری فدرال در ساختارهای جدید شبکه‌های ماهواره‌ای به خصوص در قالب منظومه-های ماهواره‌ای در حال تحقیق و بررسی به منظور بکارگیری از آنها خواهد بود. نهایتا شکل ۳ نیز میزان فراوانی الگوریتم‌های هوش مصنوعی در حوزه ارتباطات ماهواره‌ای را نشان دهد. همانگونه که در شکل (۳) دیده می‌شود، الگوریتم شبکه‌های عصبی با فراوانی ۷۷۶ در مراجع مختلف بیشترین سهم را در این بخش به خود اختصاص داده است. اما الگوریتم‌های مانند back propagation، شبکه‌های عصبی کانولوشن، الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های عصبی عمیق و غیره به ترتیب با فراوانی ۲۶۱،۲۴۹،۲۰۳ و ۱۷۹ در این حوزه دارای درصد بالای فروانی در پژوهش بوده که بیانگر توجه محققین به این نوع الگوریتم‌ها و سایر الگوریتم‌های موجود در این حوزه را دارد.

در ادامه، کاربردهای هوش مصنوعی در حوزه ارتباطات ماهواره‌ای دسته‌بندی شده است و مهمترین کارکردهای هوش مصنوعی در شبکه‌های مخابراتی ترکیبی نسل آینده پرداخته می‌شود.

نحوه پیکربندی هوشمند شبکه SAGIN

دسته‌بندی کلی کارکردهای هوش مصنوعی در حوزه ارتباطات ماهواره‌ای در شکل (۴)، ارائه شده است. همانگونه که در این شکل مشخص است، هوش مصنوعی و الگوریتم‌های متنوع آن در زمینه‌های مختلفی در SAGIN می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. برخی از این موارد مانند نحوه پیکربندی شبکه، نحوه تخصیص منابع، نحوه مسیریابی و پیش بینی ترافیک، نحوه مدلسازی کانال و غیره، منجر به افزایش ظرفیت و راندمان نهایی این نوع شبکه خواهد بود. همچنین به کارگیری هوش مصنوعی در مقابله با اثرات شرایط محیطی، تداخل، نویز و غیره نیز منجر به افزایش کیفیت خدمات خواهد شد. مطابق شکل (۴) و همچنین جدول (۱)، برخی از مهمترین کارکردهای هوش مصنوعی در شبکه‌های SAGIN که کاربردهای مهمتری دارند، ارایه شده است. تحقیقات فعلی بر روی شبکه‌های زمینی متمرکز شده‌اند و ویژگی‌های پیش‌بینی شده در SAGIN را در نظر نمی‌گیرند. ناهمگونی بخش‌های مختلف در SAGIN عامل مهمی است که بر عملکرد شبکه تأثیر می‌گذارد و همچنین منجر به پیچیدگی‌های بیشتر می‌شود. هنگام طراحی الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری عمیق برای SAGIN، نیازهای ذاتی هر بخش و شیوه‌های مناسب باید در نظر گرفته شوند. برای مثال، در استراتژی‌های فعلی مسیریابی مبتنی بر یادگیری عمیق، معماری‌های شبکه مورد مطالعه معمولاً ثابت هستند [۲۴-۲۵].

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های SAGIN تحرک بالا، به ویژه در بخش‌های فضایی و هوایی استکه منجر به پیچیده‌تر شدن مسئله مسیریابی میگردد. علاوه بر این، در SAGIN، بخش‌های مختلف ظرفیت‌های محاسباتی مختلفی دارند و اشکال متنوعی از داده‌ها را به دست می‌آورند که به طور قابل‌توجهی بر معماری یادگیری عمیق و شیوه‌های آموزشی تأثیر می‌گذارد. در شبکه‌های زمینی کنونی نیز مشابه SAGIN با مشکلات مذکور اما با پیچیدگی کمتر وجود دارد. برای رفع این مشکلات، بکارگیری هوش مصنوعی شامل شیوه یادگیری عمیق، جهت‌گیری آینده‌نگر برای بهینه‌سازی عملکرد SAGIN در سال‌های اخیر بوده است و نتایج حاصله، مزایای آن را نسبت به استراتژی‌های سنتی نشان داده است. به عنوان مثال، مسئله مسیریابی در [۱۲] مورد شبیه‌سازی قرار گرفته و نشان داده شده که بکارگیری یادگیری عمیق منجر به مدیریت بهتر ترافیک، افزایش نرخ گذردهی شبکه، کاهش نرخ تلفات بسته و در نتیجه بهینه‌سازی عملکرد SAGIN می‌شود. همانطور که در جدول (۲) نشان داده شده است، معماری‌های مختلف یادگیری عمیق و همچنین روش‌های آموزشی مختلف، این شیوه را قادر می‌سازد که به طور انعطاف‌پذیری در سناریوهای مختلف به کار گرفته شود.

مدیریت هوشمند طیف درSAGIN

در حال حاضر، طرح‌های موجود در اشتراک‌گذاری طیف برای SAGIN عمدتاً به دو طرح اشتراک‌گذاری استاتیکی طیف[2] و طرح اشتراک‌گذاری پویای طیف[3] تقسیم می‌شوند. به‌کارگیری طیف با استفاده از طرح‌های اشتراک‌گذاری سنتی استاتیکی، نسبتاً کم است. اشتراک‌گذاری پویای طیف بر تشخیص طیف باند باریک موجود، متمرکز است. از آنجاکه، در سنجش طیف باریک نیازی به اطلاعات قبلی در مورد سیگنال کاربر اصلی نیست، سنجش براساس آشکارساز انرژی، صورت می‌گیرد. با این حال، تعداد زیاد کاربران با اشتراک‌گذاری پویا[4] (DSUs)، مصرف انرژی و بار محاسباتی را

1. Remote sensing

2. Static spectrum sharing schemes
3. Dynamic spectrum sharing schemes
4. Dynamic sharing users

برای شبکه‌های B5G افزایش می‌دهند. تأخیر زمانی زیاد و نسبت سیگنال به نویز[1] (SNR) کم، محدودیت‌های اصلی هستند و بزرگترین چالش‌ها را در سنجش طیف و پیش‌بینی طیف[2] (SP) به همراه دارند. علاوه بر این، اغلب منابع کمتری نسبت به نیازهای ترافیکی واقعی، فراهم می‌کنند. پیش‌بینی طیف می‌تواند با کاهش درخواست‌های مکرر برای منابع توسط کاربران، به طور مؤثر تأخیر زمانی را کاهش دهد. بنابراین پیش‌بینی مؤثر و معقول، مزایای قابل‌توجهی را به همراه خواهد داشت. الگوریتم SP به‌طور فعال وضعیت‌های طیف آینده را ارائه می‌کند. این درحالی است که SP سنتی، نمی‌تواند مطابق آخرین نتایج سنجش طیف به منظور به‌روزرسانی مجموعه آموزشی، تنظیم دقیقی انجام دهند.

بنابراین، دقت پیش‌بینی SP سنتی، نسبتاً پایین است. علاوه بر این، با توجه به نتایج پیش‌بینی، منابع مختلفی به انواع مختلف کاربران اختصاص داده می‌شود. مدیریت منابع، از جمله سنجش طیف، SP و تخصیص منابع را می‌توان با استفاده از یادگیری ماشین، بهبود بخشید [۲۷]. در راستای مدیریت هوشمند منابع، با تمرکز بر مزایای کارآیی طیف به دست آمده با استفاده از سنجش و پیش‌بینی طیف، چارچوب سلسله مراتبی برای اشتراک‌گذاری طیف زمینی و ماهواره‌ای بر اساس یک واحد مدیریت طیف (SMU)[3] در [۲۸] پیشنهاد شده است. علاوه بر این، طرح هوشمند مدیریت منابع که متشکل از سنجش، پیش‌بینی و تخصیص طیف به‌منظور بهبود کارآیی طیف با تراکم‌های مختلف کاربر است، در SMU فرموله شده است. لذا، طرح هوشمند مدیریت منابع شامل سنجش طیف، پیش‌بینی و تخصیص براساس اولویت‌ها و نیازهای کاربران برای بهبود استفاده از طیف، پیشنهاد شده است مدل سیستمی سیستم یکپارچه زمینی- ماهواره‌ای با هدف B5G در شکل (۵)، نشان داده شده است. این سیستم یکپارچه ماهواره‌ای-زمینی، سرویس‌های پخش همگانی و مخابراتی را با پوشش یکپارچه در تمام روز۴ ارائه می‌دهد. این سیستم همچنین، از مزایای کامل شبکه‌های ماهواره‌ای و 5G بهره می‌برد که پتانسیل فوق‌العاده‌ای را برای تسهیل مدیریت منابع برای بهبود استفاده از طیف ارائه می‌دهد. نرخ استفاده از طیف طرح پیشنهادی مدیریت منابع هوشمند، می‌تواند با چگالی کاربر سازگار شود. با افزایش تراکم کاربر، استفاده از طیف در طرح پیشنهادی، بهتر از طرح اشتراک طیف استاتیک عمل می‌نماید که تضمین می‌کند DSUs می‌توانند به طور موثر و کارآمدی از طیف فرکانس یک ماهواره یا سیستم زمینی برای تحقق اشتراک طیف پویا استفاده کند. نرخ استفاده از طیف با افزایش تراکم کاربر، کمی افزایش می‌یابد. بنابراین، مدیریت هوشمند طیف می‌تواند به طور خودسازگاری، طیف موجود در SAGIN را با توجه به تراکم کاربر به اشتراک بگذارد. در مقابل، نرخ استفاده از طیف با استفاده از در طرح اشتراک استاتیک طیف، یکسان باقی می‌ماند.

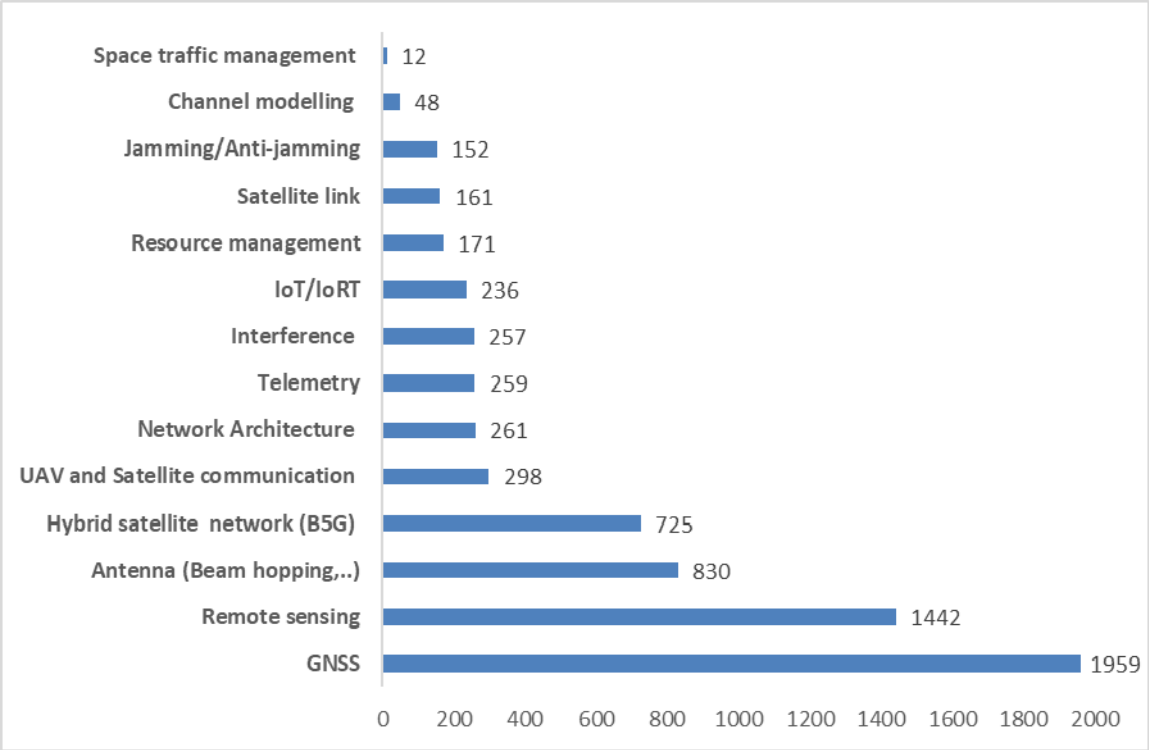
مدیریت هوشمند انرژی و تخصیص توان در SAGIN

برای ارائه سرویس بهتر به تقاضای فزاینده داده‌های پهن باند از فضا، سیستم‌های ماهواره‌ای نسل آینده، دارای محموله‌های پیشرفته‌ای با صدها (یا حتی هزاران) پرتوی همزمان خواهند بود که باید پارامترهای آنها را به‌صورت پویا تغییر دهند. این افزایش انعطاف‌پذیری، رویکردهای تخصیص منابع سنتی را ناکارآمد می‌سازد، زیرا رویکردهای سنتی عمدتاً براساس تخصیص ثابت و استفاده از حاشیه‌های محافظه‌کارانه هستند. در عوض، اپراتورهای ماهواره‌ای با چالش خودکارسازی استراتژی‌های تخصیص منابع خود برای بهره برداری از این انعطاف‌پذیری و استفاده از آن برای ارایه ظرفیت بیشتر سرویس مواجه هستند. سیستم‌های مدیریت پویای منابع، کلید رقابت در این بازارهای جدید خواهند بود. یکی از عناصر مهم این سیستم‌ها، الگوریتم بهینه‌سازی است که تخصیص بهینه منابع از قبیل توان را انجام دهد تا در این پرتوها، تخصیص توان به طور هوشمند، خودکار و با کارآیی بالایی صورت گیرد. در حالی که منابع ماهواره‌ای مانند توان، ذاتاً پیوسته هستند و گسسته‌سازی ممکن است موجب افزایش قابل‌توجهی در هزینه محاسباتی شود [۲۹].

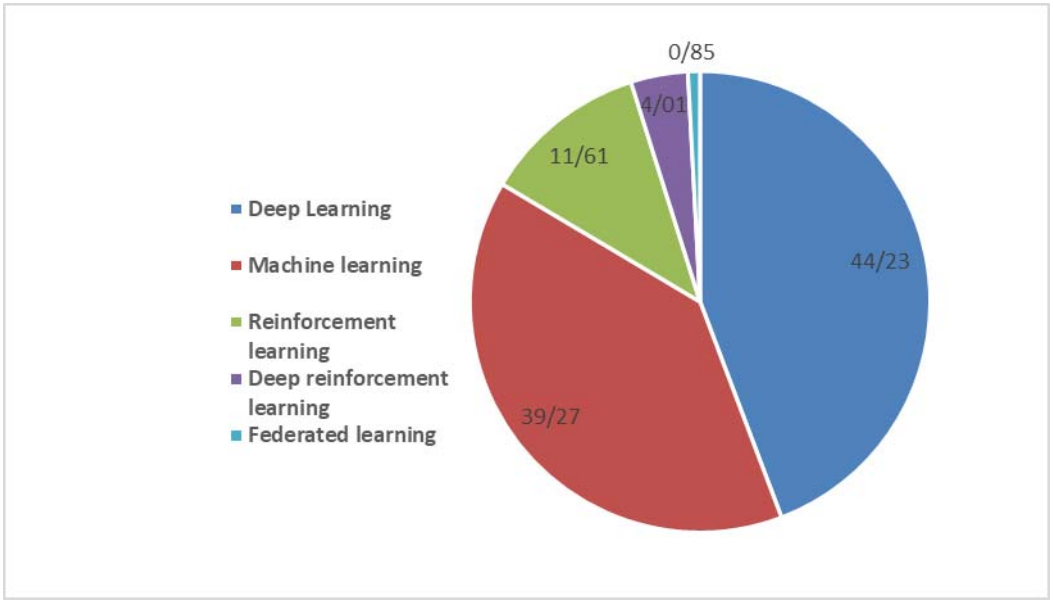
در [۳۰] یک معماری یادگیری تقویتی عمیق DRL[5] برای تخصیص توان بررسی شده است، که در آن نیازی به گسسته‌سازی نیست. در [۲۷] فقط بر روی یک منبع ماهواره تمرکز شده است و تخصیص توان برای هر پرتو در حالی که تمام پارامترهای دیگر ثابت می‌باشند، بهینه می‌شود. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم تخصیص توان مبتنی بر هوش مصنوعی نشان داده است که می‌توان در پیک‌های تقاضا، تخصیص بهینه‌ای انجام داد [۹]. در غیاب نور خورشید، ماهواره‌ها به انرژی باتری وابسته هستند، که بار سنگینی بر باتری ماهواره وارد می‌کند و می‌تواند طول عمر آن‌ها را کاهش دهد و منجر به افزایش هزینه‌ها برای شبکه‌های ارتباطی ماهواره‌ای شود. از طرفی، توجه روزافزون به ماهواره‌ها منجر به افزایش نیازهای مصرف انرژی شده است. بنابراین، می‌توان گفت مدیریت انرژی ماهواره نیز یک موضوع تحقیقاتی داغ در مدیریت منابع و برای توسعه بیشتر ارتباطات ماهواره‌ای است. علاوه بر آن، یک ماهواره LEO به دلیل اندازه کوچکش، ظرفیت انرژی محدودی دارد.

1. Signal to noise ratio
2. Spectrum prediction
3. Spectrum management unit
4. All-day seamless coverage

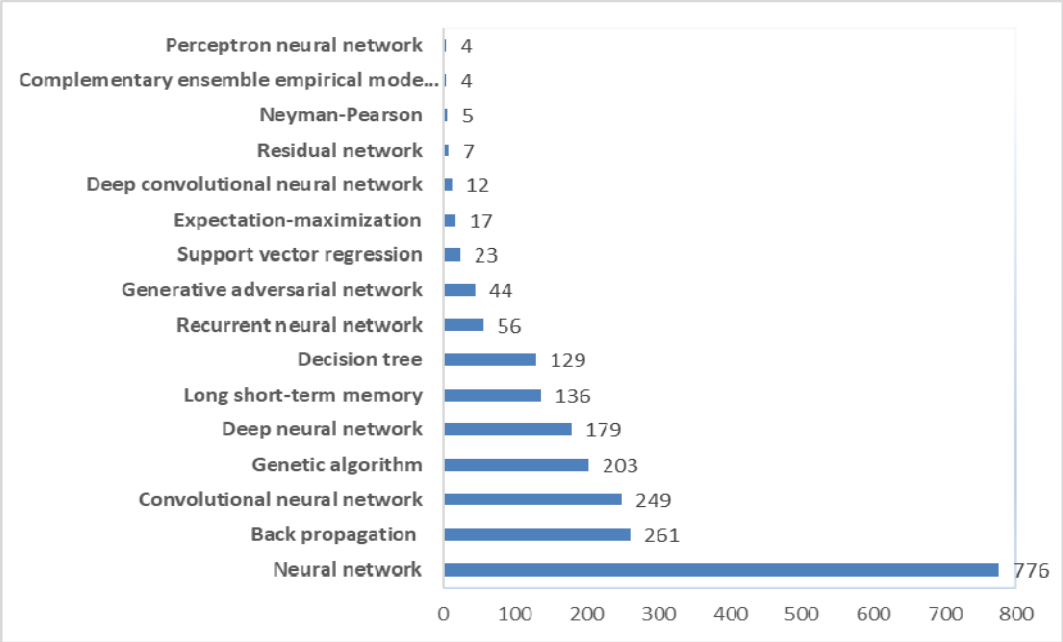
5. Deep reinforcement learning



شکل ۱– فراوانی پژوهش‌های به‌کارگیری هوش مصنوعی در حوزه کاربری‌های ماهواره (از سال ۲۰۱۷ میلادی به بعد در تاریخ ۱۴۰۱/۰۷/۲۳)



شکل ۲– درصد به‌کارگیری روش‌های هوش مصنوعی در ارتباطات ماهواره‌ای (از سال ۲۰۱۷ میلادی به بعد در تاریخ ۱۴۰۱/۰۷/۲۳)



شکل ۳- فراوانی الگوریتم‌های هوش مصنوعی در حوزه ارتباطات ماهواره‌ای

شکل ۴- کاربردهای مختلف هوش مصنوعی در ارتباطات ماهواره‌ای [۱۲]

جدول ۱- الگوریتم‌های بکار رفته در مقالات مورد بررسی مبتنی بر AI، ML، DL ،RL[1]

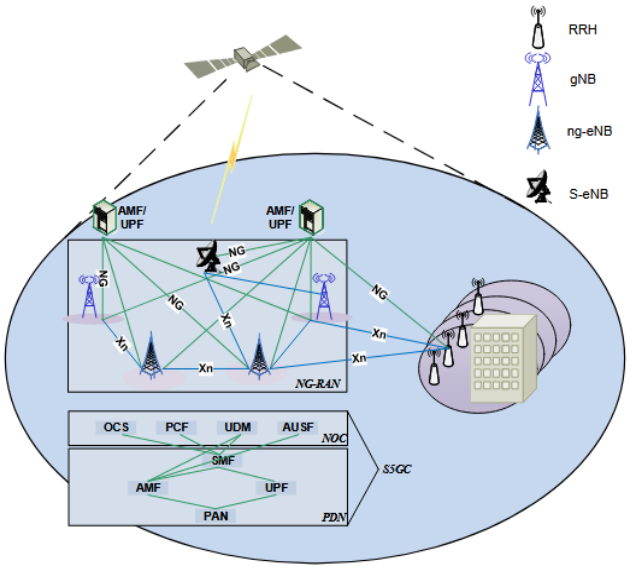
موضوعات تحقیقاتی شناسایی شده	مراجع	حوزه عملیاتی مورد تحقیق			
		AI سنتی	ML	DL	RL
ایجاد پیکربندی هوشمند	[۱۳]			■	
مدیریت منابع	[۱۴-۱۶]		■	■	■
مقابله با تداخل و جمینگ	[۱۷]		■		
پیش‌بینی ترافیک	[۱۸-۲۲]	■	■	■	
نحوه مقابله با شرایط محیطی	[۲۳]		■		

1. Reinforcement learning

جدول ۲- برخی از زمینه‌های تحقیقاتی شبکه‌ای موجود بر اساس یادگیری عمیق

مرجع	چالش‌های SAGIN	نحوه آموزش	معماری یادگیری عمیق	استراتژی	هدف
[۲۶]	هر بخش به طور جداگانه، نیازمندی‌های ذاتی و شیوه‌ها و پروتکل‌های متناسب با آن را دارد. از این رو، برنامه‌های کاربردی متداول مبتنی بر یادگیری عمیق برای هر بخش نمی‌تواند راه حلی هوشمندانه و جامع ارائه دهد. بنابراین، بررسی چگونگی استفاده از یادگیری عمیق برای شبکه‌های یکپارچه SAGIN ضروری است.	یادگیری تحت نظارت	DBA*	مسیریابی	**کنترل ترافیک**
		آموزش تقویتی	Deep Q-Network	تخصیص Cache	**تخصیص منابع**
		یادگیری تحت نظارت	DBA, CNN**	واگذاری کانال	

*. Deep belief architecture
**. Convolutional neural network



شکل ۵- مدل پیشنهادی سیستم یکپارچه ماهواره‌ای- زمینی با هدف B5G [۲۷]

برخی از محققان به راه‌حل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای صرفه جویی در مصرف انرژی روی آورده‌اند. مثلا در [۳۱]، استفاده از فشرده‌سازی شبکه‌های عصبی عمیق[1] (DNN) قبل از انتقال داده برای بهبود تاخیر و صرفه‌جویی در مصرف انرژی پیشنهاد شده است. برای بهینه‌سازی تخصیص توان در ارتباطات ماهواره‌ای به زمین با استفاده از ماهواره‌های LEO و در نتیجه افزایش عمر باتری آنها، نویسندگان در [۳۲] از الگوی RL برای به اشتراک گذاشتن حجم داده ماهواره‌های پرکار با ماهواره‌های نزدیک با بار کمتر استفاده کرده‌اند. همچنین بخش گسترده‌ای از کارهای انجام شده در سیستم‌های مدیریت منابع انرژی روی مدیریت توان و انرژی متمرکز هستند. در مرجع [۳۳]، بر روی طراحی یک الگوریتم مدیریت توان تمرکز که می‌تواند عملکرد و طول عمر ماهواره‌های کوچک را بهبود بخشد، کار شده است. در جدول ۳ بر اساس بررسی مقالات و کارهای انجام شده در حوزه مدیریت هوشمند انرژی، خلاصه عملیاتی از برخی پژوهش‌های انجام شده ارائه شده است.

1. Deep neural network

مدیریت هوشمند تداخل

یکی از چالش‌های امروزی SAGIN، کمبود منابع طیفی برای ارایه خدمات نوین به کاربران نهایی این نوع شبکه‌های ارتباطی است. بواسطه کمبود منابع طیف، همزیستی فرکانسی برای شبکه‌های مختلف ارتباطی موضوعی است که در استانداردها و مراجع مختلف برای کمبود طیف، مطرح شده است. از طرفی، تداخل بر کانال ارتباطی تأثیر منفی می‌گذارد و منجر به کاهش کیفیت سرویس، راندمان عملیاتی کمتر و در نتیجه از دست دادن درآمد می‌شود، علاوه بر این، تداخل یک رویداد رایج است که با افزایش ازدحام باند فرکانس ماهواره‌ای در حال افزایش است، زیرا کشورهای بیشتری ماهواره پرتاب می‌کنند و برنامه‌های کاربردی بیشتری انتظار می‌رود. با افزایش تعداد کاربرانی که باند فرکانسی یکسانی را به اشتراک می‌گذارند، امکان تداخل افزایش می‌یابد و همچنین خطر تداخل عمدی نیز افزایش می‌یابد. بنابراین، مدیریت تداخل در SAGIN موضوع بسیار مهم و چالش برانگیز خواهد بود. بنابراین، مدیریت

تداخل در SAGIN موضوع مهم و چالش‌برانگیز خواهد بود [۴۴]. در مدیریت تداخل مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی سه فاز تشخیص، طبقه‌بندی و حذف تداخل می‌بایست در نظر گرفته شود. در سال‌های اخیر، سرویس‌های سیار به سرعت توسعه یافته‌اند و روش‌های سنتی قادر به پشتیبانی از آنها نبوده‌اند. مشکل آنها در چگونگی مکان‌یابی دقیق پایانه‌های سیار و پردازش داده‌هایی است که با سرعت بالایی به‌دست می‌آیند. به این منظور، یک روش نشانه‌روی و ردیابی مبتنی بر هوش مصنوعی برای ایستگاه‌ها و پایانه‌های سیار در شبکه ماهواره‌ای زمینی در مرجع [۴۵] ارائه شد، تا ایستگاه‌ها و پایانه‌های سیار بتوانند به بهترین سیگنال آنتن دسترسی داشته باشند و کمترین تداخل را از سایر ایستگاه‌ها و پایانه‌ها متحمل شوند. از این رو یک چارچوب شبکه خودآموز مبتنی بر هوش مصنوعی (ASL)[1] برای پشتیبانی از فیلترینگ و تصحیح داده‌های نمونه اصلی، ردیابی سیار ایستگاه‌ها و پایانه‌های سیار، و انتخاب ماهواره بدون نظارت[2] و طرح مطابقت آنتن[3] طراحی شده است. در واقع در این روش، DL داده‌های اطلاعات قبلی و گذشته ایستگاه‌ها و پایانه‌ها، برای دستیابی به نشانه‌روی و ردیابی بلادرنگ و پیش‌بینی توزیع ایستگاه‌ها و پایانه‌ها در زمانی از آینده صورت می‌گیرد. در نهایت، ASL با سیستم‌های موجود مقایسه می‌شود تا عملکرد و قابلیت آنها ارزیابی شود. علاوه بر تداخل، جمینگ نیز به‌عنوان یکی از عوامل کاهش کیفیت خدمات SAGIN خواهد بود. جمینگ می‌تواند به سمت تجهیزات حیاتی یک شبکه SAGIN باعث کاهش یا حتی عدم ارائه خروجی شود. تا به امروز، روش‌های مختلفی برای مقابله با هر دو عامل در SAGIN مطرح بوده که با توجه به وسعت اندازه و افزایش خدمات نیاز به روش‌های هوش مصنوعی و الگوریتم‌های آن برای این منظور ارائه شده است. در جدول ۴ برخی از روش‌های پیشنهادی در این دو حوزه مبتنی بر هوش مصنوعی و الگوریتم‌های مرتبط بدان ارائه شده است.

نحوه مدل‌سازی و پیش‌بینی هوشمند ترافیک در شبکه‌های ماهواره‌ای

مسیریابی[4] قابل اعتماد، کارآمد و قوی، تضمین‌کننده انتقال قابل اعتماد داده است. استراتژی‌های مسیریابی اولیه، عمدتاً بر روی اتصال متمرکز است که به‌دلیل محاسبات آفلاین منجر به ایجاد تأخیر به‌دلیل مسیریابی می‌شود. به‌همین دلیل، این استراتژی‌ها با مسیریابی پویا و غیراتصال‌گرا، جایگزین شدند. استراتژی‌های زیادی پیشنهاد شده که عمدتاً بر روی به اصطلاح آدرس مسیریابی تمرکز دارند. این استراتژی‌ها در نهایت به مسئله کوتاه‌ترین مسیر تبدیل می‌شوند. با توسعه ML، بسیاری از مدل‌های شبکه عصبی غیرخطی هوشمند پیشنهاد شده‌اند. مدل‌هایی مانند شبکه‌های عصبی پس انتشار[5] (BP)، ماشین‌های بردار پشتیبان[6] (SVMs) [۴۹] و سایر مدل‌های بهبودیافته، می‌توانند ماهیت ترافیک شبکه را بهتر توصیف کنند و عملکرد پیش‌بینی را تا حد زیادی بهبود بخشند. از آنجاکه مدل‌های شبکه عصبی BP مستعد قرارگرفتن در مقادیر بهینه محلی و بیش‌برازش[7] هستند، در مرجع [۵۰]، از یک الگوریتم ژنتیک[8] (GA) برای بهینه‌سازی الگوریتم شبکه عصبی BP استفاده می‌شود که به پیشرفت‌های مشخصی در قیاس با معایب آن دست می‌یابد و توانایی تخمین شبکه عصبی BP را بهبود می‌بخشد. با این حال، دو الگوریتم GA در کنار BP نسبتاً پیچیده هستند، انتخاب پارامترها دشوارتر است و نرخ همگرایی کند و مستعد همگرایی زودرس[9] است. مرجع [۵۱]، از روش حداقل مربعات[10] SVM (LS-SVM) استفاده کرده که یک مدل بهبودیافته از نوع SVM است. با وجود آنکه LS-SVM می‌تواند نسبت به SVM عملکرد بهتری داشته باشد، اما دقت پیش‌بینی مدل LS-SVM برای یک شبکه ماهواره‌ای پیچیده کافی نیست. در مرجع [۵۲]، از تحلیل مؤلفه اصلی و پیش‌بینی شبکه عصبی رگرسیون تعمیم‌یافته[11] (PCA-GRNN) برای پیش‌بینی ترافیک شبکه ماهواره‌ای استفاده شده است. تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی ابعاد ورودی را کاهش می‌دهد و در عین حال ویژگی‌های اصلی داده‌ها را حفظ می‌کند، بنابراین PCA کارآیی آموزش را بهبود می‌بخشد. روش GRNN، PCA-GRNN به دقت پیش‌بینی بالاتر و زمان آموزش کوتاه‌تر دست می‌یابد، اما مدل GRNN پیچیدگی محاسباتی بالاتری دارد که برای شبکه‌های ماهواره‌ای مناسب نیست. در [۵۳]، یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر متعادل‌سازی بار و پیش‌بینی ازدحام[12] پیشنهاد شد که در آن فقط حالت ازدحام پیش‌بینی می‌شود، اما منجر به اطلاعات مسیریابی ناقص می‌شود. از این‌رو با درنظرگرفتن توپولوژی شبکه پویا، رویکردهای مبتنی بر AI ارائه شده است [۵۴-۶۱]. اگرچه برخی از استراتژی‌های سنتی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی[13] (ANN)

1. AI-based self-learning (ASL) network framework
2. Unsupervised satellite selection
3. Antenna adjustment scheme
4. Routing

5. Back propagation neural networks
6. Support vector machines
7. Overfitting
8. Genetic algorithm
9. Premature convergence
10. Least squares SVM
11. Principal component analysis and a generalized regression neural network forecast
12. Congestion
13. Artificial neural network

کیفیت خدمات[1] (QoS) را درنظر می‌گیرند، اما به‌دلیل فرآیند آموزشی پیچیده، اغلب زمان‌بر هستند. یکی دیگر از معایب این است که آنها فقط بر روی اطلاعات مسیریابی فعلی بدون درنظرگرفتن وضعیت آینده متمرکز هستند. فرآیند آموزش ML نیز زمان‌بر است اما ظهور یادگیری افراطی ماشین[2] (ELM) پیشرفتی برای افزایش سرعت یادگیری است [۶۲]. یکی از استراتژی‌های مسیریابی توزیع شده براساس ELM در ادامه توضیح داده شده است. در این استراتژی در مرحله اول، ELM برای پیش‌بینی بار ترافیکی آینده در گره‌های ماهواره‌ای استفاده می‌شود. سپس، عوامل متحرک[3] (MAs) اطلاعات شبکه را جمع‌آوری می‌کنند تا با استفاده از بار ترافیکی پیش‌بینی شده، تصمیم مسیریابی را اتخاذ کنند. در نهایت، با توجه به تصمیم مسیریابی، گره‌های ماهواره‌ای مجاور به‌صورت پویا بار ترافیک را تنظیم می‌کنند.

نحوه مقابله هوشمند با شرایط محیطی مخرب

در مراجع مختلف، مطالعات گسترده‌ای در مورد اثرات مخرب محیط فضایی شامل تشعشعات فضایی موجود بر روی عملکرد سیستم ماهواره‌ای انجام شده است. با توجه به راهکارهای پیشنهادی ارایه شده برای این دسته از اثرات مخرب مانند به‌کارگیری حفاظهای نوین در برابر تشعشعات فضایی مانند ساختارهای لانه زنبوری، جانمایی بهینه قطعات حساس در برابر تشعشعات در بخش‌های ایمن سازه ماهواره، به‌کارگیری شیلدهای محلی و غیره، می‌توان تا حد زیادی با این نوع اثرات مخرب مقابله کرد [۶۳-۶۵]. یکی از این نوع اثرات مخرب فضایی که در لایه یونسفر قرار دارد، پدیده سینتیلیشن[4] است. به‌طورکلی، شدیدترین اثرات سینتیلیشن یونسفر معمولاً در ارتفاعات پایین مداری به‌دلیل اثرات ناپایداری پدیده رایلی- تیلور در اطراف زمین رخ می‌دهد. علاوه بر این، وجود حباب‌های موجود در پلاسما در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر، اثر سینتیلیشن را تشدید می‌کند [۶۶]. از آنجاکه این پدیده با عبور سیگنال از ساختارهای نامنظم در پلاسمای یونسفری تولید می‌شود، پیش‌بینی و مدل‌سازی وقوع سینتیلیشن لایه یونسفر کاری دشوار است، زیرا تحت تأثیر عوامل بسیار متغیر و متعددی شامل فعالیت‌های میدان مغناطیسی خورشیدی و بین سیاره‌ای، میدان‌های الکتریکی موجود در لایه یونسفر، فرآیندهای همرفتی، برهمکنش‌های موجی و غیره می‌شود. پدیده سینتیلیشن اغلب در نواحی استوایی، شفق قطبی و نواحی قطب‌ها رخ می‌دهد. موارد مشاهده شده از این نوع اثر در ناحیه استوایی (در عرض جغرافیایی ۲۰± درجه در اطراف استوای مغناطیسی) به ویژه بین غروب محلی و نیمه شب بسیار متداول و شدید هستند. بنابراین، بررسی اثرات سینتیلیشن یونسفر و روش‌های مقابله با آنها برای طراحی سیستم‌های گیرنده فضایی امری ضروری خواهد بود. معمولاً، اثرات سینتیلیشن را می‌توان به سینتیلیشن دامنه و فاز طبقه‌بندی کرد. شاخص‌های دامنه (S_4) و فاز (σ_ϕ) برای ارزیابی اثرات سینتیلیشن در لایه جوی هستند. شاخص S_4 نشان‌دهنده انحراف استاندارد توان سیگنال نرمال شده است [۶۶]. همچنین شاخص σ_ϕ نیز نشان‌دهندهٔ انحراف استاندارد فاز سیگنال نرمال شده خواهد بود. مطابق با جدول ۵، می‌توان از روش‌های نوین با استفاده هوش مصنوعی به‌منظور تشخیص و مقابله با اثرات سینتیلیشن لایه یونسفری استفاده کرد.

به‌طورکلی، روش‌های هوشمند که به برخی از آن‌ها برای تشخیص اثرات سینتیلیشن لایه یونسفری، در این بخش اشاره گردید، نیازمند پایگاه داده معتبر برای استخراج رفتاری فرآیند سینتیلیشن در لایه یونسفر خواهد بود. از این پایگاه داده در روش‌های مدیریت هوشمند مقابله با اثرات سینتیلیشن در لایه یونسفری به عنوان فرآیند داده کاوی نام برده می‌شود [۶۸-۶۹]. داده کاوی را می‌توان فرآیند استخراج اطلاعات مفید یا یافتن الگوهای پنهان از پایگاه‌های داده با استفاده از شیوه‌های آماری، هوش مصنوعی و تشخیص الگو تعریف نمود. الگوهای مفید در تعریف فوق، اجازه می‌دهد تا پیش‌بینی‌های غیرضروری در مورد داده‌های جدید انجام شود. در حوزه شرایط محیطی موجود در فضا برای بررسی عملکرد شرایط محیطی بر روی سیگنال ارسالی، الگوهای مناسبی که شامل مجموعه‌ای از پارامترها از شرایط محیط فضا است، انتخاب می‌شود. به عنوان نمونه، می‌توان به همان سینتیلیشن در محیط مغناطیسی استوا اشاره نمود. برای ارزیابی و داشتن داده مناسب از شاخص سینتیلیشن می‌توان از پایگاه داده موجود در شهر سائو خوزه دوس کامپوس (جنوب شرقی برزیل) که شامل منطقه‌ای است که در آن شاخص فرآیند سینتیلیشن به دلیل نزدیکی به لایه ناهنجاری‌های یونسفر بسیار شدید است اشاره کرد. علاوه بر این، می‌توان از فعالیت مغناطیسی ارایه شده توسط شاخص [Kp 10]، شاخص شار خورشیدی (F10.7) و رانش عمودی سرعت پلاسما در استوا، برای داده کاوی اطلاعات مورد نیاز برای آموزش و ارزیابی اثرات سینتیلیشن در لایه یونسفر بهره برد [۷۰].

1. Quality of service
2. Extreme learning machine
3. Mobile agents
4. Scintillation

جدول ۳- خلاصه برخی پژوهش‌های انجام شده در حوزه مدیریت هوشمند منابع انرژی سیستم‌های ارتباطات ماهواره‌ای

ردیف	مراجع	نوع سیستم ماهواره‌ای	نوع مدیریت منابع	نمونه کاربرد
۱	[۳۴]	ریزماهواره‌ها	تخصیص توان تغذیه و پهنای باند- تخصیص منابع انرژی براساس درخواست‌ها- اعمال مدیریت به روش ML	در ارتباطات فراگیر اینترنت اشیا
۲	[۵] و [۳۵]		استفاده از روش‌های DL برای بهینه‌سازی و تخصیص منابع انرژی	در ارتباطات بین سیستم‌های نظامی
۳	[۳۶]	شبکه‌های ترکیبی زمینی، هوایی و فضایی	سیستم کیفیت خدمات توام با مدیریت منابع انرژی	در سامانه‌های نجات، ارائه سرویس‌های یکپارچه صوتی و تصویری مدرن مبتنی بر ماهواره
۴	[۱۴]		مدیریت منابع انرژی با استفاده از DRL، مساله یادگیری تقویتی چند هدفه و یادگیری تقویتی چند عاملی	در مدیریت منابع نوآورانه شبکه‌های ماهواره‌ای ناهمگن نسل بعدی
۵	[۳]		مدیریت منابع انرژی برای جلوگیری از تاخیر و هدر رفت اطلاعات، اعتبارسنجی مدل مدیریت منابع و کیفیت سرویس، استفاده از پروتکل‌های ارتباطی مختلف در حفظ پایداری ارتباط	در کاهش خطاهای مرتبط با از دست‌دادن اطلاعات و تأخیر دریافت داده‌ها در ارتباطات ماهواره‌ای مختلط
۶	[۳۹-۳۷]		روش‌های هوشمند مبتنی بر تعامل تکراری، استفاده از روش‌های تقریب محدب متوالی و بسط تیلور* برای حداکثر کردن کارآیی مصرف منابعی مثل انرژی	در مدیریت دستگاه‌های اینترنت اشیا، مدیریت و کنترل شبکه پهپادها
۷	[۴۰]		نظارت و مدیریت منابع رادیویی شبکه برای مدیریت مصرف منابع انرژی و غیره	در نظارت از راه دور مانند شبکه برق
۸	[۴۱]	شبکه‌های ترکیبی زمینی، هوایی و فضایی به همراه بکهال	مدیریت منابع انرژی با روش‌های مدیریتی نرم‌افزاری هوشمند تخمینی با ماهیت خودآگاه و با قابلیت اعتماد بالا	در بهبود عملکرد شبکه دسترسی رادیویی با رویکرد استفاده در 6G، در جذب و ردیابی ** (PAT)در شبکه هوایی
۹	[۴۲]	سیستم‌های ماهواره‌ای با نرخ انتقال داده بسیار بالا (VHTS)با معماری بار قابل انعطاف	استفاده از یک شبکه عصبی و ML برای مدیریت منابع انرژی موجود در معماری‌های بار انعطاف‌پذیر در سیستم‌های ماهواره‌ای با نرخ انتقال داده زیاد*** (VHTS) با توجه به تقاضای حوزه زمان	در افزایش تقاضای پویای ترافیک در حوزه سیستم‌های خدماتی
۱۰	[۴۳]	شبکه‌های اطلاعات فضایی(SIN) **** بر اساس شبکه‌های تعریف شده توسط نرم‌افزار(SDN)	ارتقاء کارآیی شبکه‌های SIN در حل مشکلات مدیریت منابع با استفاده از الگوریتم A3C در یادگیری تقویتی عمیق برای مدلسازی فرآیند تخصیص منابع انرژی	در مدیریت منابع ناهمگون در شبکه‌های اطلاعات فضایی

**. Pointing, Acquisition and Tracking
*. Taylor series
****. Space Information Network
***. Very High Throughput Satellite

جدول ۴- خلاصه برخی پژوهش‌های انجام شده در حوزه تداخل و جمینگ در سیستم‌های ارتباطات ماهواره‌ای

نوع	روش پیشنهادی به منظور مقابله با تداخل و نویز	مراجع
تداخل	استفاده ترکیبی از رویکردهای هوش مصنوعی شامل SVM، یادگیری بدون نظارت و DRL برای انتخاب ماهواره، نشانه‌روی و ردیابی آنتن	[۴۶]
	مقایسه سیگنال دریافتی با طیف پیش بینی شده اولیه با استفاده از روش LSTM	[۴۵]
	بکارگیری توام رویکردهای هوش مصنوعی شامل DNN، AEs* و LSTM ، در روش پیشنهادی فوق AE با سیگنال‌های بدون تداخل آموزش داده می‌شود تا در برابر سیگنال‌های دیگر بدون تداخل آزمایش می‌شود. در مرحله بعدی، تفاوت خطای سیگنال‌ها با و بدون تداخل برای تشخیص تداخل مورد استفاده قرار می‌گیرد.	[۴۷]
جمینگ	کاهش زمان تشخیص جمینگ موجود در سیگنال بواسطه همگام سازی سیگنال FH با یک شبکه LSTM	[۴۸]
	بکارگیری الگوی ML برای مسدود کردن جمینگ در اینترنت ماهواره‌ای** (IoS) با استفاده از روش مسیریابی بهینه در قالب یک بازی مسیریابی استکلبرگ***	[۱۲]

* Autoencoder ** Internet of Satellite (IoS) *** Stackelberg game theory

جدول ۵- خلاصه برخی از روش‌های به‌کارگرفته شده در حوزه مقابله با شرایط محیطی در سیستم ماهواره‌ای

روش آموزش	مشخصات (هدف و روش آموزش، نوع دادگان)	مراجع
یادگیری ماشین	در سال ۲۰۱۰ میلادی به منظور تشخیص اثرات سینتیلیشن، داده‌های مورد نیاز برای آموزش از گیرنده‌های GNSS و سیستم دیجیسوند (دارای قابلیت صدای دیجیتالی قابل حمل* (DPS)) نصب شده در کشور برزیل برای پیش‌بینی شاخص سینتیلیشن یونسفری S4 در بازه زمانی یک روزه استفاده شده است.	[۲۳]
منحنی مشخصه عملیاتی گیرنده**(ROC) و ماتریس درهم ریختگی	در این روش می‌توان مدلی برای تشخیص اثرات سینتیلیشن بر اساس داده‌های موجود و ارائه یک درخت تصمیم‌گیر برای بررسی اثرات سینتیلیشن لایه یونسفر از سایر اثرات مانند تداخلات، چندمسیرگی و غیره با دقت بالا استفاده نمود.	[۶۷]
روش SVM	برای غلبه بر نقاط ضعف آشکارساز نیومن-پیرسون*** (NP)، می‌توان از SVM استفاده نمود. با روش SVM، هیچ فرضی در مورد توزیع احتمال پارامترهای سیگنال سینتیلیشن نباید قبل از آموزش، ارایه شود. SVM ویژگی‌های کلاس‌های مختلف را با داده‌های آموزشی داده شده یاد می‌گیرد. هنگامی که سیستم آموزش داده شد، آشکارساز می‌تواند روی داده‌های جدید در زمان واقعی کار کند بنابراین، در این روش ورودی آشکارساز، اندازه‌گیری شدت سیگنال خام است. همچنین در روش فوق، آموزش و آزمایش در حوزه فرکانس انجام می‌شود که در آن ویژگی‌ها با ابعاد بالاتر توسط الگوریتم‌های یادگیری ماشین استخراج شده تا یک مرز تصمیم‌گیری قوی ارائه شود. هنگامی که سیستم آموزش داده شده باشد، آشکارساز می‌تواند داده‌های جدید را در زمان واقعی پردازش کند. در روش فوق، یک گروه تحقیقاتی، از اطلاعات جمع‌آوری شده توسط داده‌های GNSS در مناطق شفق قطبی و استوایی برای مقایسه رفتاری واقعی اثرات سینتیلیشن با نتایج حاصله از الگوریتم SVM بهره بردند. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه از چهار مکان استوایی شامل جزیره معراج****، هنگ‌کنگ، چین، جامائیکا، پرو و سنگاپور استفاده کرده است.	[۶۸]

* Digital portable sound ** Receiver operating characteristic *** Neyman-Pearson ****Ascension island

نتیجه‌گیری

محققان و طراحان شبکه‌های ترکیبی شامل ساختارهای زمینی و غیرزمینی، به دنبال ایجاد ساختاری چند لایه و چند بعدی هستندکه در آن از مزایای ارتباطات ماهواره‌ای استفاده نمایند. طراحی، ساخت و پیاده‌سازی این نوع شبکه‌های ترکیبی، نیازمند هماهنگی بین لایه‌های مختلف آن بوده تا پویایی و کارآمدی مناسبی در کل زنجیره ارتباطی ایجاد گردد. با توجه به بررسی‌های انجام شده در بخش‌های مختلف SAGIN، دیده شده است که با استفاده از هوش مصنوعی و الگوریتم‌های متنوع آن، می‌توان از این نوع شبکه‌های ارتباطی ترکیبی برای ارایه خدمات بهتر نسل پنجم و بعد از آن بهره برد. همانطور که در مقاله اشاره شد پژوهش‌های متعددی در راستای چگونگی استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت هوشمند بخش‌های مختلف این شبکه‌ها از جمله نحوه پیکربندی، مدیریت طیف به همراه مدیریت هوشمند انرژی و تخصیص توان در کنار مدیریت هوشمند تداخل، ترافیک و نحوه مقابله هوشمند با شرایط محیطی و غیره در حال انجام است. در همین راستا، چالش‌های متعدد پیش رو در پیاده‌سازی عملیاتی آنها به همراه راهکارهایی به منظور مرتفع نمودن این چالش‌ها، در حال بررسی است. علاوه بر موارد بررسی شده در این مقاله، ضروری است که در حوزه‌های دیگری از جمله:

- افزایش ظرفیت
- مدلسازی هوشمند کانال ارتباطات ماهواره‌ای
- افزایش کیفیت سرویس
- مقابله هوشمند با جمینگ
- نحوه تبادل امن داده در ساختار منظومه‌های ماهواره‌ای
- طراحی و ساخت شیلد فضایی کارآمد با توجه به پایگاه داده‌های تشعشعی فضایی موجود
- طراحی آنتن‌های هوشمند ماهواره

مورد توجه قرار گیرند. پیش‌بینی می‌شود که در آینده‌ای نزدیک، استانداردهای لازم تدوین و بسترهای مناسب بکارگیری هوش مصنوعی در ارتباطات ماهواره‌ای توسعه خواهند یافت. از طرفی، با توجه به تنوع جغرافیایی کشور، توزیع جمعیتی و به منظور بالا بردن ضریب اطمینان، ضریب نفوذ دسترسی و همچنین نیازمندی‌های آتی ارتباطی، استفاده از این نوع شبکه های ترکیبی سه بعدی در آینده، اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. از سوی دیگر براساس علم‌سنجی صورت گرفته در این مقاله، بکارگیری هوش مصنوعی در ارتباطات ماهواره ای نسل آینده، روند رو به رشدی خواهد داشت. لذا، با تمرکز بر پژوهش‌ها و مشارکت‌های بین‌المللی می‌توان در توسعه این نوع فناوری، مشارکت مناسبی مطابق با نیازمندی‌های کشورمان داشته باشیم.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

مراجع

[1] B. Mao, et al., "Routing or Computing? The Paradigm Shift Towards Intelligent Computer Network Packet Transmission Based on Deep Learning," *IEEE Trans. Comp.*, vol. 66, pp. 1946–1960, November 2017, DOI: 10.1109/TC.2017.2709742.

[2] J. Manning, et al., "Machine-Learning Space Applications on SmallSat Platforms with TensorFlow," in 32th Annual AIAA/USU Conf. Small Satel., 2018, pp. 1-8.

[3] F. Pacheco, E. Exposito, and M. Gineste, "A framework to classify heterogeneous Internet traffic with Machine Learning and Deep Learning techniques for satellite communications," *Comp. Net.*, vol. 173, pp. 1-32, May 2020, https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107213

[4] C. Niephaus, M. Kretschmer and G. Ghinea, "QoS Provisioning in Converged Satellite and Terrestrial Networks: A Survey of the State-of-the-Art," *IEEE Commun. Surv.Tutor*., vol. 18, no. 4, pp. 2415-2441, April 2016, DOI: 10.1109/COMST.2016.2561078 .

[5] P. V. R. Ferreira, et al. ,"Reinforcement Learning for Satellite Communications: From LEO to Deep Space Operations," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 57, no. 5, pp. 70-75, May 2019, DOI: 10.1109/MCOM.2019.1800796

[6] S. Geng, S. Liu and Z. Fang,"Resilient communication model for satellite networks using clustering technique," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 215, pp. 1-11, November 2021, https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107850.

[7] 10 Ways AI is Making a Difference in the Satellite Industry, [Online]. Available: https://interactive.satellitetoday.com/via/october-2020/whats-at-stake-for-commercial-and-civil-space-in-the-2020-election/.

[8] H. Fenech, et al., "Satellite Antennas and Digital Payloads for Future Communication Satellites: The quest for efficiencies and greater flexibility," *IEEE Ant. Propag. Mag*., vol. 61, no. 5, pp. 20-28, October 2019, DOI: 10.1109/MAP.2019.2932307.

[9] P. hajipour, et al., "Intelligent resource management methods considering interference in next generation satellite networks," Excerpt from project: recognition and feasibility of using new methods of optimal resource management and interference adjustment in next generation satellite networks,ICT Res. Inst. (ITRC), Project code: 420000290, pp. 1-114, March 2022.

[10] H. Eftekhari and et al.," Using the co-occurrence word analysis method to analyze the fifth generation (5G) of communication networks, " The 8th international conference on sustainable development, construction and urban regeneration, March2019, pp.1-14.

[11] A. R. Chakli and M.A.Hassan zadeh," Development of science, technology and innovation; Access to scientific indicators," *Health Info. Mgmt*., vol. 7, no. 4, pp. 475-484, February 2011.

[12] F. Fourati, M-S. Alouini, "Artificial Intelligence for Satellite Communication: A Review,"arXiv:2101.10899v1 [eess.SP], available at://https://arxiv.org/abs/2101.10899, 2021.

[13] N. Kato, et al.,"Optimizing Space-Air-Ground Integrated Networks by Artificial Intelligence," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 26, no. 4, January 2019, DOI: 10.1109/MWC.2018.1800365.

[14] B. Deng, et al. ,"The Next Generation Heterogeneous Satellite Communication Networks: Integration of Resource Management and Deep Reinforcement Learning," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 27, no. 2, pp. 105-111, April 2020, DOI:10.1109/MWC.001.1900178.

[15] M. Sheng, et al.,"Toward a Flexible and Reconfigurable Broadband Satellite Network: Resource Management Architecture and Strategies," *IEEE Wirel.Commun.*, vol. 24, no. 4, pp. 127-133, August 2017, **DOI:** 10.1109/MWC.2017.1600173.

[16] L. Xiao, et al.,"Two-Dimensional Antijamming Mobile Communication Based on Reinforcement Learning," *IEEE Trans. Veh. Technol*., vol. 67, no. 10, pp. 9499-9512, October 2018, DOI: 10.1109/TVT.2018.2856854

[17] M. Vazquez, et al.,"On the Use of AI for Satellite Communications," arXiv: 2007.10110v1, 2020, DOI: 10.1109/ TVT.2018.2856854.

[18] Y. Jin, et al., "A Modular Machine Learning System for Flow-Level Traffic Classification in Large Networks," *ACM Trans. Knowl. Discov. Data*, vol. 6, no. 1, March 2012, https://doi.org/10.1145/2133360.2133364.

[19] H. Fenech, et al. ,"Satellite Antennas and Digital Payloads for Future Communication Satellites: The quest for efficiencies and greater flexibility," *IEEE Ant. Propag. Mag*., vol. 61, no. 5, pp. 20-28, October 2019, DOI: 10.1109/MAP.2019.2932307.

[20] Y. Bengio, A. Lodi, and A. Prouvost, "Machine learning for combinatorial optimization: A methodological tour d'horizon," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 290, no. 2, pp. 405-421, April 2021.

[21] G. Aceto , et al. ,"Mobile Encrypted Traffic Classification Using Deep Learning: Experimental Evaluation, Lessons Learned, and Challenges," *IEEE Trans. Netw. Service Manag*., vol. 16, no. 2, pp. 445-458, June 2019.

[22] L. He, C. Xu, and Y. Luo, "vTC: Machine Learning Based Traffic Classification as a Virtual Network Function, "in Proc. the ACM Int. Workshop on Security in Software Defined Networks & Netw. Func. Virtualization, Association for Comput. Machinery, March 2016, pp. 53–56

[23] R. Imam, F. Dovis, " Distinguishing Ionospheric Scintillation from Multipath in GNSS Signals Using Bagged Decision Trees Algorithm," in IEEE Int. Conf. Wirel. Space Extreme Envir. (WiSEE), October 2020, pp. 83-88.

[24] N. Kato et al.,"The Deep Learning Vision for Heterogeneous Network Traffic Control: Proposal, Challenges, and Future Perspective," *IEEE Wirel. Commun*., vol. 24, no. 3, pp. 146–153, June 2017.

[25] B. Mao et al., "Routing or Computing? The Paradigm Shift Towards Intelligent Computer Network Packet Transmission Based on Deep Learning," *IEEE Trans. Comput.*, vol. 66, no. 11, pp.1946–1960, November 2017.

[26] N. Kato, et al., "Optimizing Space-Air-Ground Integrated Networks by Artificial Intelligence," *IEEE Wirel. Commun*., vol. 26, no. 4, pp.140-147, August 2019.

[27] M. Jia, X.Zhang, J.Sun, X.Gu, and Q.Guo, "Intelligent Resource Management for Satellite and Terrestrial Spectrum Shared Networking toward B5G," *IEEE Wirel. Commun*., vol. 27, no. 1, pp. 54-61, February 2020.

[28] P. Henarejos, M.Á. Vázquez, and A.I. Pérez-Neira, "Deep Learning For Experimental Hybrid Terrestrial and Satellite Interference Management," in IEEE 20th Int. Workshop on Signal Process. Adv. Wirel. Commun. (SPAWC), Cannes, France, 2019, pp. 1-5.

[29] J .J. Garau Luis et al., "Deep Reinforcement Learning for Continuous Power Allocation in Flexible High Throughput Satellites," IEEE Cogn. Commun. Aerospace Applications Workshop (CCAAW),Cleveland,OH,USA, 2019.

[30] P. V. Rodrigues Ferreira et al.,"Multi objective reinforcement learning for cognitive satellite communications using deep neural network ensembles," *IEEE J. Sel. Areas in Commun*., vol. 36, no. 5, pp. 1030-1041, May 2018. DOI: 10.1109/JSAC.2018. 2832820

[31] V. Kothari, , E. Liberis and N.D. Lane, "The Final Frontier: Deep Learning in Space," in 21th Int. Workshop on Mobile Computing Systems and Applications,2020, available at: https://doi.org/10.48550/arXiv.2001.10362.

[32] Z. Qu, et al.," LEO Satellite Constellation for Internet of Things," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 18391-18401, August 2017.

[33] V. Thakurta, et al., "Design and Implementation of Power Management Algorithm for a Nano-Satellite," IEEE Aerospace Conference,Big Sky,MT,USA, 2019, pp.1-11.

[34] N. U. L. Hassan, et al., "Dense Small Satellite Networks for Modern Terrestrial Communication Systems: Benefits, Infrastructure, and Technologies," *IEEE Wirel. Commun*., vol. 27, no. 5, pp. 96-103, October 2020.

[35] X. Hu, , et al., "Multi-Agent Deep Reinforcement Learning-Based Flexible Satellite Payload for Mobile Terminals," *IEEE Trans. Veh. Technol*, vol. 69, no. 9, pp. 9849-9865, September 2020.

[36] M. Hein, et al., "Perspectives for mobile satellite communications in Ka-band (MoSaKa)," in Proceedings of the Fourth Euro. Conf. Antennas and Propag.Barcelona, Spain, 2010, pp. 1-5.

[37] D. H. Jung, et al., "Performance Analysis of Satellite Communication System Under the Shadowed-Rician Fading: A Stochastic Geometry Approach," *IEEE Trans. Commun*., vol. 70, no. 4, pp. 2707-2711, April 2022.

[38] Z. Lin, et al., "Supporting IoT With Rate-Splitting Multiple Access in Satellite and Aerial-Integrated Networks," *IEEE Internet of Things J*., vol. 8, no. 14, pp. 11123-11134, July 2021.

[39] Z. Lin, et al. ,"Secure and Energy Efficient Transmission for RSMA-Based Cognitive Satellite-Terrestrial Networks," *IEEE Wirel. Commun. Letters*., vol. 10, no. 2, pp. 251-255, February 2021.

[40] A. Vaccaro, and D. Villacci, "Performance analysis of low earth orbit satellites for power system communication," *Electr. Power Syst. Res*., vol. 73, no. 3, pp. 287-294, March 2005.

[41] M. S. Hadi, et al. ,"Patient-Centric HetNets Powered by Machine Learning and Big Data Analytics for 6G Networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 85639-85655, May 2020.

[42] F. G. Ortiz-Gómez, et al., "Supervised machine learning for power and bandwidth management in very high throughput satellite systems," *Int. J. Satellite Commun. Netw*, pp.1-16, August 2021.

[43] X. Meng, et al, " Research on Resource Allocation Method of the SIN Based on SDN," in IEEE Int. Geosci. Remote Sens. Symp. Yokohama, Japan , 2019, pp. 10071-10074.

[44] C. Politis, S. MalekiSina, M. Christos, G. TsinosChristos, G. T. Show, "On-board the Satellite Interference Detection with Imperfect signal Cancellation," 17th Inte. Workshop on Signal Processing Adv. Wirel. Commun. (SPAWC), Edinburgh, UK .2016, pp.1-5.

[45] Q. Liu, J. Yang, C. Zhuang, A. Barnawi, and B. A Alzahrani, "Artificial Intelligence Based Mobile Tracking and Antenna Pointing in Satellite- Terrestrial Network, " *IEEE Access*, vol. 7, pp. 177497–177503 , November 2019.

[46] J. Hu, D. Bian, Z. Xie, Y. Li, and L. Fan, "An approach for narrow band interference detection in satellite communication using morphological filter," in Int. Conf. Inf. Technol. Manag. Innov, October 2015, pp. 1015-1020.

[47] L. Pellaco, N. Singh, and J. Jald´en, "Spectrum Prediction and Interference Detection for Satellite Communications, " arXiv preprint arXiv:1912.04716, 2019.

[48] S. Lee, S. Kim, M. Seo and D. Har, " Synchronization of Frequency Hopping by LSTM Network for Satellite Communication System," *IEEE Commun. Letters*, vol. 23, no. 11, pp. 2054-2058, August 2019.

[49] Q M. Wang, A W. Fan, H S. Shi, "Network traffic prediction based on improved support vector machine," *Int. J. Syst. Assur. Eng. Manag*., vol. 8, pp.1976-1980, November 2017.

[50] W.Y. Fan, G.P. Wang, H.D. Liu, Z.J. Xie, Y.P. Chen, Z.F. Yang and H.C. Wang, "Short-Term Wind Power Dynamic Prediction Based on GA-BP Neural Network," *Adv. Mater. Res*., vol. 986, pp. 524-528, July 2014.

[51] J X. Liu, Z H. Jia, "Telecommunication Traffic Prediction Based on Improved LSSVM, " *Int. J. Pattern Recognit. Artif. Intell*, vol. 32, no. 3, pp. 1-16, *August* 2017.

[52] L. Ziluan, L. Xin, "Short-term traffic forecasting based on principal component analysis and a generalized regression neural network for satellite networks", *J. China Univ. Posts Telecommun*., vol. 25, no. 1, pp .15-28, Feburary 2018.

[53] H. Nishiyama, D. Kudoh, N. Kato, and N. Kadowaki, "Load balancing and QoS provisioning based on congestion prediction for GEO/LEO hybrid satellite networks," in Proceedings of the IEEE. June 2011, vol. 99, no. 11, pp.1998–2007.

[54] A. Jankowska, M. C. Schut, and N. Ferreira-Schut, "A wireless actuator-sensor neural network for evacuation routing," in 3th Int. Conf. Sens. Technol. Applications (SENSORCOMM), Athens, Greece , June 2009, pp. 139–144.

[55] S.-Z. Huang and L.-Y. Huang,"The optimal routing algorithm of communication networks based on neural network," in Inte. Conf. Intelligent Computation Technol. Automation (ICICTA), Changsha, China, May 2010, vol. 3, pp. 866–869.

[56] P. P. Repoussis, C. D. Tarantilis, O. Br ¨ aysy, and G. Ioannou, "A hybrid evolution strategy for the open vehicle routing problem," Comput.Oper. Res, vol. 37, no. 3, pp. 443–455, March 2010.

[57] X. Zhang, L. Ding, and Y. Rao,"QoS routing by genetic algorithm for LEO satellite networks," in 2th Int. Symp. Comput. Intell. Design, Changsha, China, 2009, vol. 1, pp. 341-344.

[58] B.B. Jiang, H.-M. Chen, L.-N. Ma, and L. Deng,"Time dependent pheromones and electric-field model: a new ACO algorithm for dynamic traffic routing," *Int. J. Model. Identif. Control*., vol. 12, no. 1, pp. 29–35, January 2011.

[59] X.-M. Wang and A. N. Xiao-Ming, "An energy and location aware ACO based routing algorithm for wireless sensor networks," *Tien Tzu Hsueh Pao/Acta Electron*. Sin, vol. 38, no. 8, pp.1763–1769. August 2010.

[60] G. Zihe, G. Qing, and N. Zhenyu, "A distributed routing algorithm with traffic prediction in LEO satellite networks," *Inf. Technol. J*., vol. 10, no. 2, pp. 285–292, October 2010.

[61] Z. Na, Z. Gao, Y. Cui, L. Chen, and Q. Guo,"Agent-based distributed routing algorithm with traffic prediction for LEO satellite network", *Comput. Sci.*, vol. 6, no. 3, pp. 67–84, une 2013.

[62] G. B. Huang, Q. Y. Zhu, and C. K. Siew, "Extreme learning machine: a new learning scheme of feedforward neural networks," in IEEE Int. Joint Conf. Neural Netw, Budapest, Hungary, 2004, vol. 2, pp. 985–990.

[63] N. Eidi esfiani and P. Hajipour," Calculation of ionizing and non-ionizing damage parameters in space," Excerpt from project: Designing, building, assembling, testing and delivering the engineering model of one transponder and the quality model of two transponders of the Ku-band geospatial satellite telecommunication payload .ICT Res. Inst. (ITRC), Project code: 912960480, pp.1-30, Januarary 2020.

[64] H. Daneshvar and et.al.," Investigating and measuring the feasibility of using parts with different categories from the point of view of radiation damage in LEO and GEO orbits,"*J.Space Sci and Technol*., pp.11-23, December 2021.

[65] S. shoorian and P. Hajipour," New materials in the field of shielding and the possibility of combining radiation and thermal shields in order to reduce mass," Excerpt from project: Designing, building, assembling, testing and delivering the engineering model of one transponder and the quality model of two transponders of the Ku-band geospatial satellite telecommunication payload, ICT Res. Inst. (ITRC), Project code: 912960480, pp.1-18, May2020.

[66] K. Guo, Y. Liu, Y. Zhao and J. Wang, " Analysis of Ionospheric Scintillation Characteristics in Sub-Antarctica Region with GNSS Data at Macquarie Island," *Sensors*, vol. 17, no. 1, pp. 1-17, January 2017.

[67] Y. Jiao, J. J. Hall and Y. T. Morton," Automatic Equatorial GPS Amplitude Scintillation Detection Using a Machine Learning Algorithm," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst*., vol. 53, no. 1, pp. 405-418, February 2017.

[68] Y. Jiao, J. Hall, Y. Morton, "Performance Evaluations of an Equatorial GPS Amplitude Scintillation Detector Using a Machine Learning Algorithm ," in Proc. the 29th Int. Technic. Meeting of the Satel. Division of The Institute of Navigation, Portland, Oregon, 2016, pp.195-199.

[69] P. hajipour, et al.," Providing smart methods to improve the quality of transmitted signals and methods that can be used in next generation satellite networks," Excerpt from project: recognition and feasibility of using new methods of optimal resource management and interference adjustment in next generation satellite networks, ICT Res. Inst. (ITRC), Project code: 420000290, pp. 1-149, Januarary 2022.

[70] The Kp index, [Online]. available at: https://www. spaceweatherlive.com/en/help/the-kp-index.html.