

КОНТРОЛЬ ТРАФІКУ У ГЕТЕРОГЕННИХ МЕРЕЖА 5G

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»;

²Шосткинський фаховий коледж ім. Івана Кожедуба Сумського державного Університету

Анотація

Запропоновано модель алгоритму, що керує мережевим трафіком за допомогою SDN у гетерогенній мережі, та забезпечує хорошу точність у визначенні завантаження трафіка.

Ключові слова: мережа 5G, гетерогенна мережа, програмно-визначена мережа, якість обслуговування.

Abstract

An algorithm model is proposed that manages network traffic using SDN in a heterogeneous network and provides good accuracy in determining traffic load.

Keywords: 5G network, heterogeneous network, software defined network, quality of service.

Вступ

Зараз широкого поширення набули мережі 5G, що має забезпечити високу якість обслуговування, низьку затримку, вищу захищеність мережі [1-8]. Крім того, у 4G використовуються гетерогенні мережі, тобто мережі з різними типами вузлів та різними операційними системами. Гетерогенна мережа може бути провідною або безпровідною [9-12]. Через спектр виділений під мережі четвертого покоління, оператори мають поєднувати різноманітні невеликі смуги разом, щоб забезпечити необхідну загальну пропускну здатність, якої потребує мережа четвертого покоління LTE [13-14].

У зв'язку зі збільшенням кількості нових пристроїв, наприклад пристроїв за технологіями D2D [15-18], M2M [19-21], IoT [22, 23], OFDM [24-27], поляризаційне рознесення [28-49] та просторове рознесення [50-53], у мережі, спостерігається зростання трафіка, що призводить до погіршення якості [54-56]. Для покращення якості обслуговування (QoS) було розроблено різноманітні механізми для провідних та безпровідних мереж. Вирішенням є створення з'єднань із лініями високої ємності та пере направлення трафіка на ці зв'язки. Також для вирішення цієї проблеми використовують програмно-визначену мережу (SDN), Ця SDN є новою технологією із логічним централізованим виглядом, що допомагає керувати великою кількістю хостів [57-58]. Але основною проблемою таких мереж є великі потоки даних, що є причиною перенавантаження мереж, що в свою чергу знижує продуктивність мережі. Оскільки на великі потоки витрачається більше енергії, то необхідні великі затрати часу на обчислення. Для подолання цих проблем можна використати алгоритм вибору вибірки, що скорочує час реакції мережі [59-70].

Метою роботи є удосконалення методу зменшення великих потоків даних у гетерогенній мережі за рахунок зменшення затримки та покращення якості обслуговування.

Результати дослідження

Виконання площинного контролю SDN може надати уніфіковану, прогресивну або децентралізовану структуру. Початок площинного керування SDN зосереджене на зібраній домовленості, де контроль елементів управління має всесвітньо перспективна система. Хоч це і спрощує виконання логіки керування, але вон має адаптивність обмеження як приросту розміру та елемента системи. Щоб обійти ці обмеження були запропоновані дві методології, що відокремлюються на вирівнювання та розподілення. У різних вирівнювальних рішеннях розподілені

контролери працюють у режимі розподіленої мережі. Але вибір, що вимагає організації широкої інформації, приймається відповідно уніфікованим кореневим контролером. У розподіленому підході контролери працюють на їх межах або вони можуть обмінюватися повідомленнями синхронізації. Розподілені домовленості поступово доцільно використовувати для підтримки універсальних додатків SDN. Архітектура SDN подана на рис. 1.

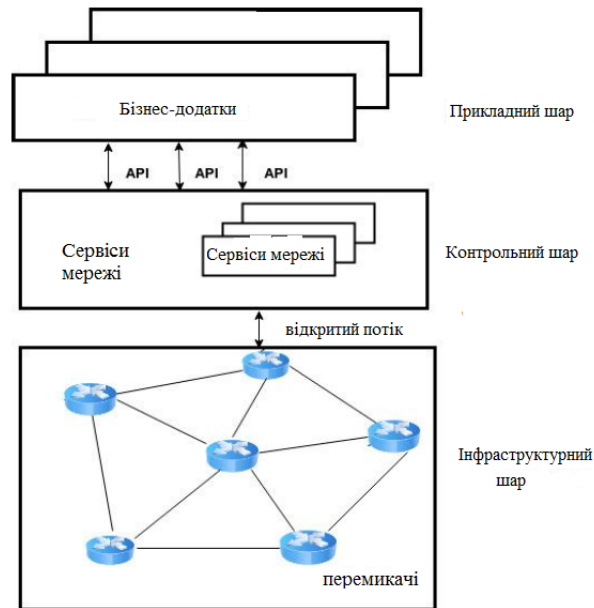


Рис. 1. Архітектура SDN

Ефективні алгоритми, такі як вибору великого потоку за допомогою зразка та вибору, що поданий на рис. 2 були обрані для ефективного виявлення величезного потоку в адапційному методі, що забезпечує SDN. Він також пропонує метод зв'язку між вузлами, та покращує якість зв'язку (QoS) та скорочує час затримок.

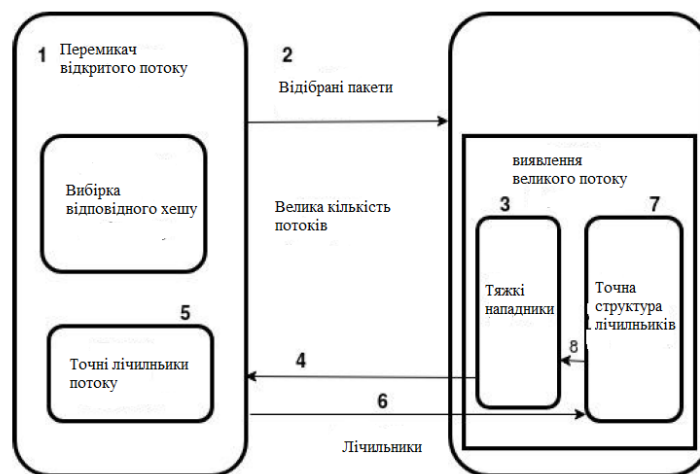


Рис. 2. Виявлення великого потоку за допомогою зразка та вибору

Рішення алгоритму проводить вибірку всіх пакетів всередині комутатора і передає кожен експериментований пакет контролеру. Це рішення досягає результатів з високою точністю, але величезна кількість лічильників та швидкість встановлення роблять його громіздким. Для вирішення цієї проблеми, у цих ситуаціях був запропонований алгоритм під зразка та вибору. Цей алгоритм займає всі проміжки в комутаторі, а також час, зайнятий контролером для установки правила в комутаторі. Отже, ми використовуємо окремі пороги, високий – використовується для оцінки важких потоків, а нижній поріг - використовується для виявлення великих потоків.

У комутаторі всі пакети, які входять у мережу, порівнюються з лічильними правилами, що містяться у комутаторах. Якщо він стикається з успішним співпадінням, то піднімається відповідна дія. Якщо пакет не зустрічається з успішним збігом, то будь-яке правило та його відповідність правилам вибірки разом з пакетом передаються в контролер.

У контролері обчислювальний модуль обробки великих даних захищає структуру даних. Ті пакети, які пересилаються комутатором, будуть прийняті блоком обробки важких даних всередині контролера. Він також служить на меті відновлення кількості пакетів, які є новими, ці пакети підраховуються. Додатковий лічильник, що знаходиться у контролері, призначений для підрахунку суми предметів введених в блок обробки важких даних. У будь-який момент часу важкі потоки можуть бути ідентифіковані як потоки модуля обробки важких даних, які переходять у високий поріг.

На рис. 3 наведені залежність використання смуги пропускання та дисперсії використаної лінії від часу моделювання.

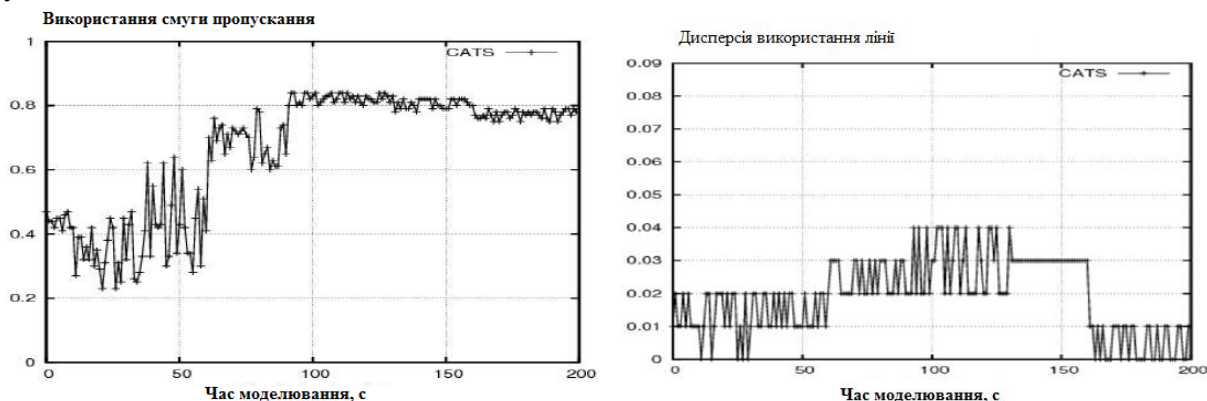


Рис. 3. Залежність використання смуги пропускання та дисперсії використаної лінії від часу моделювання

Рис. 3а показує кількість використаної смуги пропускання для заданого часу вимірювання. Спочатку спостерігається динамічна зміна у використанні смуги пропускання, а далі це є сталою величиною. Рис.3б. показує зміни при використанні зв'язків у гетерогенній мережі. Якщо зміна дуже велика, тоді виникнення перевантаження мережі дуже можливі. Лінія, що широко використовується як трафік у мережі перенаправляє їх на різні лінії.

Висновки

Таким чином, запропонований алгоритм у великих потоках SDN виявляє сильно завантажені вузли мережі та скорочує час затримки та якість обслуговування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Jaber M. 5G backhaul challenges and emerging research directions: a survey / M. Jaber, M.A. Imran, R. Tafazolli, A. Tukmanov // *IEEE Access*. – 2016. – Vol. 4. – pp. 1743-1766. DOI: 10.1109/ACCESS.2016.2556011.
2. Ghosh A. 5G evolution: a view on 5G cellular technology beyond 3GPP release 15 / A. Ghosh, A. Maeder, M. Baker, D. Chandramouli // *IEEE Access*. – 2019. – Vol. 7. – pp. 127639-127651. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2939938.
3. Abbou A.N. A software-defined queuing framework for QoS provisioning in 5G and beyond mobile systems / A.N. Abbou, T. Taleb, J. Song // *IEEE Network*. – 2021. – Vol. 35, No. 2. – pp. 168-173. DOI: 10.1109/MNET.011.2000441.
4. Weerasinghe N. A novel blockchain-as-a-service (BaaS) platform for local 5G operators / N. Weerasinghe, T. Hewa, M. Liyanage, S.S. Kanhere, M. Ylianttila // *IEEE Open Journal of the Communications Society*. – 2021. – Vol. 2. – pp. 575-6013. DOI: 10.1109/OJOMS.2021.3066284.
5. Naqvi S.H.R. 5G NR mmWave indoor coverage with massive antenna system / S.H.R. Naqvi, P.H. Ho, L. Peng // *Journal of Communications and Networks*. – 2021. – Vol. 23, No. 1. – pp. 1-11. DOI: 10.23919/JCN.2020.000031.

6. Antonioli R.P. Decentralized joint Beamforming, user scheduling, and QoS management in 5G and Beyond system / R.P. Antonioli, G. Fodor, P. Soldati, T.F. Maciel // *IEEE Communications Standards Magazine*. – 2021. – Vol. 5, No. 1. – pp. 62-69. DOI: 10.1109/MCOMSTD.001.2000029.
7. Ali K. Review and implementation of resilient public safety networks: 5G, IoT, and emerging technologies / K. Ali, H.X. Nguyen, Q.-T. Vien, P. Shah, M. Raza, V.V. Paranthaman, B. Er-Rahmadi, M. Awais // *IEEE Network*. – 2021. – Vol. 35, No. 2. – pp. 18-25. DOI: 10.1109/MNET.011.2000418.
8. Hayat S. Edge computing in 5G for drone navigation: what to offload / S. Hayat, R. Jung, H. Hellwagner, C. Bettstetter, D. Emini, D. Schnieders // *IEEE Robotics and Automation Letters*. – 2021. – Vol. 6, No. 2. – pp. 2571-2578. DOI: 10.1109/LRA.2021.3062319.
9. Piltyay S.I. Wireless sensor network connectivity in heterogeneous 5G mobile systems / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, 8-10 October 2020, Kharkiv, Ukraine, pp. 508–513.
10. Bulashenko A. New traffic model of M2M Technology in 5G wireless sensor networks / A. Bulashenko, S. Piltyay, A. Polishchuk, O. Bulashenko // *IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory*, 25-27 November 2020, Kyiv, Ukraine, pp. 125–131. <http://doi.org/10.1109/ATIT50783.2020.9349305>.
11. Zhu A. Adaptive multi-access algorithm for multi-service edge users in 5G ultra-dense heterogeneous networks / A. Zhu, M. Ma, S. Guo, S. Yu, L. Yi // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. – 2021. – Vol. 70, No. 3. – pp. 2807-2821. DOI: 10.1109/TVT.2021.3060573.
12. Bouali F. Multi-timescale QoE provisioning for adaptive video streaming in heterogeneous deployments / F. Bouali, K. Moessner, M. Fitch // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. – 2021. – Vol. 70, No. 2. – pp. 1894-1909. DOI: 10.1109/TVT.2021.3055490.
13. Cao J. A survey on security aspects for LTE and LTE-A networks / J. Cao, M. Ma, H. Li, Y. Zhang, Z. Luo // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. – 2013. – Vol. 16, No. 1. – pp. 283-302. DOI: 10.1109/SURV.2013.041513.00174.
14. Zilberman A. SDN wireless controller placement problem the 4G LTE-U case / A. Zilberman, Y. Haddad, S. Erlich, Y. Peretz, A. Dvir // *IEEE Access*. – 2021. – Vol. 9. – pp. 16225-16238. DOI: 10.1109/SURV.2021.3052892.
15. Bulashenko A.V. Energy efficiency of the D2D direct connection system in 5G networks / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology*, 8-10 October 2020, Kharkiv, Ukraine, pp. 324–329.
16. Bulashenko A.V. Evaluation of D2D Communications in 5G networks / A.V. Bulashenko // *Visnyk NTUU KPI Serii – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*. – 2020. – Vol. 81. – pp. 21–29. (in Ukrainian). <http://doi.org/10.20535/RADAP.2020.81.21-29>.
17. Bulashenko A.V. Combined criterion for the choice of routing based on D2D technology / A.V. Bulashenko // *Radio Electronics, Computer Science, Control*. – 2021. – Vol. 1. – pp. 7–13. (in Ukrainian). <http://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-1-1>.
18. Bulashenko A.V. Data upload system using D2D technology in the unlicensed frequency range as part of the 5G communication system / A.V. Bulashenko // *Technical Engineering*. – 2020. – Vol. 86, No. 2. – pp. 103–107. (in Ukrainian). [http://doi.org/10.26642/ten-2020-2\(86\)-103-107](http://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-103-107).
19. Bulashenko A.V. Resource allocation for low-power devices of M2M technology in 5G networks / A.V. Bulashenko // *KPI Science news*. – 2020. – Vol. 3. – pp. 7–13. (In Ukrainian). <http://doi.org/10.20535/kpi-sn.2020.3.203863>.
20. Barki A. M2M security: challenges and solutions / A. Barki, A. Bouabdallah, S. Gharout, Y. Traore // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. – 2016. – Vol. 18, No. 2. – pp. 1241-1254. DOI: 10.1109/COMST.2016.2515516.
21. He Y. Spatial group based access class barring for massive access in M2M / Y. He, G. Ren, S. Liang // *IEEE Communications Letters*. – 2020. – Vol. 25, No. 3. – pp. 812-816. DOI: 10.1109/LCOMM.2020.3039193.
22. Mazhar N. Role of device identification and manufacturer usage description in IoT security: a survey / N. Mazhar, R. Salleh, M. Zeeshan, M.M. Hameed // *IEEE Access*. – 2021. – Vol. 9. – pp. 41757-41786. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3065123.
23. Azrour M. New enhanced authentication protocol for Internet of Things / M. Azrour, J. Mabrouki, A. Guezzaz, Y. Farhaoui // *Big Data Mining and Analytics*. – 2021. – Vol. 4, No. 1. – pp. 1-9. DOI: 10.1109/BDMA.2020.9020010.

24. Myronchuk O. Algorithm of channel frequency response estimation in orthogonal frequency division multiplexing systems based on Kalman filter / O. Myronchuk, O. Shpylka, S. Zhuk // IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, 25-29 Feb. 2020, Lviv-Slavske, Ukraine. DOI:10.1109/TCSET49122.2020.235385.
25. Myronchuk A.Y. Channel frequency response estimation method based on pilot's filtration and extrapolation / A.Y. Myronchuk, O.O. Shpylka, S.Y. Zhuk // Visnyk NTUU KPI Serii - Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia. – 2019. – Vol. 78. – pp. 36-42. DOI: 10.20535/RADAP.2019.78.36-42.
26. Myronchuk O.Y. Two-Stage Method for Joint Estimation of Information Symbols and Channel Frequency Response in OFDM Communication Systems / O.Y. Myronchuk, A.A. Shpylka, S.Y. Zhuk // Radioelectronics Communications System. – 2020. – Vol. 63. – pp. 418-429. <https://doi.org/10.3103/S073527272008004X>.
27. Myronchuk O. Two-stage channel frequency response estimation in OFDM systems / O. Myronchuk, O. Shpylka, S. Zhuk // Path of Science. – 2020. – Vol. 6, No. 2. – pp. 1001-1007. DOI: 10.22178/pos.55-1.
28. Piltyay S.I. Compact Ku-band iris polarizers for satellite telecommunication systems / S.I. Piltyay, O.Yu. Sushko, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // Telecommunications and Radio Engineering. – 2020. – Vol. 79, no. 19. – pp. 1673-1690. DOI:10.1615/TelecomRadEng.v79.i19.10.
29. Piltyay S. Information resources economy in satellite systems based on new microwave polarizers with tunable posts / S. Piltyay, A. Bulashenko, H. Kushnir, O. Bulashenko // Path of Science. – 2020. – Vol. 6, No 11. – pp. 5001-5010. <http://doi.org/10.22178/pos.55-1>.
30. Bulashenko A.V. Optimization of a polarizer based on a square waveguide with irises / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // Science-Based Technologies. – 2020. – Vol. 47, No. 3. – pp. 287-297. (in Ukrainian). <http://doi.org/10.18372/2310-5461.47.14878>.
31. Bulashenko A.V. Waveguide polarizer with three irises for antennas of satellite television systems / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, H.S. Kushnir, O.V. Bulashenko // Science-Based Technologies. – 2020. – Vol. 49, No. 1. – pp. 39-48. (in Ukrainian). <http://doi.org/10.18372/2310-5461.49.15290>.
32. Bulashenko A.V. Wave matrix technique for waveguide iris polarizers simulation. Theory / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2020. – Vol. 12, no. 6. – pp. 06026-1-06026-5. DOI: 10.21272/jnep.12(6).06026.
33. Bulashenko A.V. Equivalent microwave circuit technique for waveguide iris polarizers development / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay // Visnyk NTUU KPI Serii - Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia. – 2020. – Vol. 83. – pp. 17-28. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2020.83.17-28>.
34. Piltyay S. New tunable iris-post square waveguide polarizers for satellite information systems / S. Piltyay, A. Bulashenko, H. Kushnir, O. Bulashenko // IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory, 25-27 November 2020, Kyiv, Ukraine, pp. 342-348. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349357.
35. Bulashenko A. Mathematical modeling of iris-post sections for waveguide filters, phase shifters and polarizers / A. Bulashenko, S. Piltyay, Ye. Kalinichenko, O. Bulashenko // IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory, 25-27 November 2020, Kyiv, Ukraine, pp. 330-336. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349321.
36. Piltyay S. FDTD and FEM simulation of microwave waveguide polarizers / S. Piltyay, A. Bulashenko, Ye. Herhil, O. Bulashenko // IEEE 2nd Int. Conf. on Advanced Trends in Information Theory, 25-27 November 2020, Kyiv, Ukraine, pp. 132-137. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349339.
37. Bulashenko A.V. Analytical technique for iris polarizers development / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T). – Kharkiv, Ukraine, 2020. – pp. 471-476.
38. Bulashenko A.V. Tunable square waveguide polarizer with irises and posts / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, Y.I. Kalinichenko, O.V. Bulashenko // Technical Engineering. – 2020. – Vol. 86, no 2. – pp. 108-116. [In Ukrainian]. DOI: 10.26642/ten-2020-2(86)-108-116.
39. Piltyay S.I. Numerical performance of FEM and FDTD methods for the simulation of waveguide polarizers / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, Y.Y. Herhil // Visnyk NTUU KPI Serii - Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia. – 2021. – Vol. 84. – pp. 11-21. DOI:10.20535/RADAP.2021.84.11-21.
40. Bulashenko A.V. Compact waveguide polarizer with three antiphase posts / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, H.S. Kushnir, O.V. Bulashenko // Visnyk VPI. – 2020. – Vol. 5. – pp. 97-104. [In Ukrainian]. DOI: 10.31649/1997-9266-2020-151-5-97-104.

41. Piltyay S.I. High performance waveguide polarizer for satellite information systems / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, Ye.I. Kalinichenko, O.V. Bulashenko // *Bulletin of Cherkasy State Technological University*. – 2020. – Vol. 4. – pp. 14–26. [In Ukrainian]. DOI: 10.24025/2306-4412.4.2020.217129.
42. Bulashenko A.V. Simulation of compact polarizers for satellite telecommunication systems with the account of irises' thickness / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // *KPI Science news*. – 2021. – Vol. 1. – pp. 25–33. <http://doi.org/10.20535/kpi-sn.2021.1.203863>.
43. Piltyay S.I. Analytical synthesis of waveguide iris polarizers / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2020. – Vol. 79, No 18. – pp. 1579–1597. <http://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v79.i18.10>.
44. Bulashenko A.V. Analytical technique for iris polarizers development / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology*, 8-10 October 2020, Kharkiv, Ukraine, pp. 464–469.
45. Piltyay S.I. Waveguide iris polarizers for Ku-band satellite antenna feeds / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. – 2020. – Vol. 12, No. 5. pp. 05024-1–05024-5. [http://doi.org/10.21272/jnep.12\(5\).05024](http://doi.org/10.21272/jnep.12(5).05024).
46. Dubrovka F. Boundary problem solution for eigenmodes in coaxial quad-ridged waveguides / F. Dubrovka, S. Piltyay // *Information and Telecommunication Science*. – 2014. – Vol. 5, no. 1. – pp. 48–61. DOI: 10.20535/2411-2976.12014.48-61.
47. Naydenko V. Evolution of radiopulses radiated by Hertz's dipole in vacuum / V. Naydenko, S. Piltyay // *IEEE International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic*, 1-2 July 2008, Odessa, Ukraine. DOI: 10.1109/MMET.2008.4580972.
48. Dubrovka F. Prediction of eigenmodes cutoff frequencies of sectoral coaxial ridged waveguides / F. Dubrovka, S. Piltyay // *IEEE International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*, 21-24 February 2012, Lviv, Ukraine.
49. Piltyay S.I. Enhanced C-band coaxial orthomode transducer / S.I. Piltyay // *Visnyk NTUU KPI Seriiia – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*. – 2014. – Vol. 58. – pp. 27–34. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2014.58.27-34>.
50. Bulashenko A.V. Beamforming principals of smart antennas / A.V. Bulashenko // *Visnik Sumy State University. Seriiia Technical sciences*. – 2010. – Vol. 1. – pp. 111-120.
51. Булашенко А.В. Живлення антенних решіток на основі лінз Ротмана (огляд) / А.В. Булашенко, Ф.Ф. Дубровка // *Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки*. - 2010. - №3, Т.2. - С. 113-120.
52. Bulashenko A.V. Multibeam arrays on the basis of Rotman lenses / A.V. Bulashenko // *Visnyk NTUU KPI Seriiia – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*. – 2010. – Vol. 42. – pp. 178–186. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2010.42.178-186>.
53. Imbert M. Assessment of LTCC-based dielectric flat lens antennas and switched-beam arrays for future 5G millimetre-wave communication systems / M. Imbert, J. Romeu, M. Baquero-Escudero, M.-T. Martinez-Ingles, J.-M. Molina-Garcia-Pardo, L. Jofre // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. – 2017. – Vol. 65, No. 12. – pp. 6453–6473. <http://doi.org/10.1109/TAP.2017.2767821>.
54. Nightingale J. 5G-QoE modeling for ultra-HD video streaming in 5G networks / J. Nightingale, P. Salva-Garcia, J.M.A. Calero, Q. Wang // *IEEE Transactions on Broadcasting*. – 2018. – Vol. 64, no. 2. – pp. 621–634. DOI: 10.1109/TBC.2018.2816786.
55. Alghamdi S.A. Cellular V2X with D2D communications for emergency message dissemination and QoS assured routing in 5G environment / S.A. Alghamdi // *IEEE Access*. – 2021. – Vol. 9. – pp. 56049–56065. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3071349.
56. Dong R. Deep learning for radio resource allocation with diverse quality-of-service requirements in 5G / R. Dong, C. She, W. Hardjawana, Y. Li, B. Vucetic // *IEEE Transactions on Wireless Communications*. – 2021. – Vol. 20, No. 4. – pp. 2309–2324. DOI: 10.1109/TWC.2020.3041319.
57. Ibrahim A.A.Z. Heuristic resource allocation algorithm for controller placement in multicontrol 5G based on SDN/NFV architecture / A.A.Z. Ibrahim, F. Hashim, N.K. Noordin, A. Sali, K. Navaie, S.M.E. Fadul // *IEEE Access*. – 2021. – Vol. 9. – pp. 2602-2617. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3047210.
58. Garg S. SDN-NFV-aided edge-cloud interplay for 5G-envisioned energy internet ecosystem / S. Gang, K. Kaur, G. Kaddoim, S. Guo // *IEEE Network*. – 2021. – Vol. 35, No. 1. – pp. 356-364. DOI: 10.1109/MNET.011.1900602.

59. Wu J. Big data analysis-based secure cluster management for optimized control plane in Software-Defined Networks / J. Wu, M. Dong, K. Ota, J. Li, Z. Guan // IEEE Transactions on Network and Service Management. – 2018. – Vol.15, No.1. – pp.27-38. DOI: 10.1109/TNSM.2018.2799000.
60. Shu Z. Traffic engineering in software-defined networking: measurement and management / Z. Shu, J. Wan, J. Lin, S. Wang, D. Li, S. Rho, C. Yang // IEEE Access. – 2016. – Vol. 4. – pp. 3246-3256. DOI: 10.1109/ACCESS.2016.2582748.
61. Li X. Software defined traffic engineering for improving quality of service / X.Li, J. Yan, H.Ren // IEEE Communications. – 2017. – Vol. 14, No.10. – pp.12-25. DOI: 10.1109/CC.2017.8107629.
62. Al-Saadi A. Routing Protocol for Heterogeneous Wireless Mesh Networks / A. Al-Saidi, R. Setchi // IEEE Transaction on Vehiclr Technology. – 2016. – Vol. 65, No. 12. – pp. 9773-9786. DOI:10.1109/TVT.2016.2518931.
63. Helmi M. Utilization of aerial heterogeneous cellular networks: Signal-to-interference ratio analysis / M. Helmi, H. Arslan // Journal o Communication and Networs. – 2018. – Vol. 20, No. 5. – pp. 484-495. DOI:10.1109/JCN.2018.000073.
64. Гнитецький В.А. Забезпечення дуже низьких затримок у стільниковій системі 5G на базі MEC / В.А. Гнитецький, А.В. Булашенко // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р — Київ, 2019. — С. 153 – 155.
65. Гладун В.В. Забезпечення високої якості мережі 5G за допомогою технології D2D / В.В. Гладун, А.В. Булашенко // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р — Київ, 2019. — С. 57 – 59.
66. Ляшко Д.Г. Спільне використання ресурсів D2D та мобільного зв'язку / Д.Г. Ляшко, А.В. Булашенко // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 170 –171.
67. Булашенко А.В. Побудова векторних діаграм за допомогою математичного пакету MathCAD / А.В. Булашенко // Науково-методична конференція викладачів, співробітників і студентів: тези доповідей, 27 квітня 2010 року. — Суми : СумДУ, 2010. — Ч.2. — С. 10-13.
68. Гладун В.В. Система вигризки на основі D2D / В.В. Гладун, А.В. Булашенко // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 166 –167.
69. Булашенко А.В. Конструкція портативного цифрового мегомметра та вимірювача струму витоку / А.В. Булашенко, І.В. Забегалов // Вісник ВПІ. – 2020. – Вип. 3. – с. 37–42. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-150-3-37-42>.
70. Aslan M. On the impact of network state collection on the performance of SDN applications / M. Aslan, A. Matrawy // IEEE Communications Letters. – 2016. – Vol. 20, No. 1. – pp. 5-8. DOI: 10.1109/LCOMM.2015.2496955.

Діктярук Іван Іванович — студент групи РС-п91, радіотехнічного факультету, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, e-mail: kotovan99@i.ua;

Забегалов Ігор Вікторович — викл. електротехнічного відділення, Шосткинський фаховий коледж імені Івана Кожедуба Сумського державного університету, м. Шостка, e-mail: igor_zabegalov@meta.ua.

Пільтяй Степан Іванович — канд., техн. наук, доцент кафедри теоретичних основ радіотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», e-mail: piltyay_stepan@ua.fm.

Булашенко Андрій Васильович — ст. викл. кафедри теоретичних основ радіотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ.

Diktyaruk Ivan I. — student of Department of Radio Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, e-mail: kotovan99@i.ua;

Zabegalov Igor V. — lecturer of Electromechanical Department, Ivan Kozhedub Shostka Professional College of Sumy State University, Shostka, Sumy region, e-mail: igor_zabegalov@meta.ua.

Piltyay Stepan Ivanovich — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Department of Theoretical Foundations of Radio Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», e-mail: piltyay_stepan@ua.fm.

Bulashenko Andrew V. — senior lecturer of the Department of Theoretical Foundations of Radio Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv.