

Интеграция на сателитни и наземни мрежи в 6G

Теодора Пасарелска
Росен Пасарелски

Integration of Satellite and Terrestrial Networks in 6G

Teodora Pasarelska
Rosen Pasarelski

Резюме: Шестото поколение мобилни комуникации (6G) се очаква да осигури глобална свързаност чрез интеграция на наземни и сателитни мрежи. Тази концепция, известна като Non-Terrestrial Networks (NTN) има възможността да преодолее ограниченията на традиционните клетъчни мрежи и да предостави покритие в отдалечени и труднодостъпни райони. Настоящата статия има за цел да анализира архитектурата и принципите на функциониране на интегрираните мрежи, както и да оцени тяхната роля в бъдещите 6G системи. Разгледани са ключови технологични аспекти като взаимодействие между различни типове орбити (LEO, MEO, GEO), управление на ресурсите и осигуряване на непрекъсната свързаност. Анализирани са основните проблеми, свързани със закъсненията, интерференцията и сложността при интеграцията между наземни и сателитни сегменти. Специално внимание е отделено на регулаторните изисквания и ролята на стандартизационни организации като ETSI, ITU и 3GPP за осигуряване на съвместимост и глобална хармонизация. В резултат от изследването се установява, че ефективната интеграция на NTN е съществен фактор за постигане на универсална свързаност и развитие на 6G мрежите. Основният принос на статията се изразява в систематизирането на архитектурните модели и идентифицирането на критичните фактори за успешното внедряване на интегрирани комуникационни системи.

Ключови думи: 6G, NTN, сателитни мрежи, ETSI, ITU, 3GPP, интеграция на мрежи.

Abstract: The sixth generation of mobile communications (6G) is expected to provide global connectivity through the integration of terrestrial and satellite networks. This concept, known as Non-Terrestrial Networks (NTN), has the potential to overcome the limitations of traditional cellular networks and provide coverage in remote and hard-to-reach areas. This article aims to analyze the architecture and operating principles of integrated networks, as well as to assess their role in future 6G systems. Key technological aspects such as interaction between different types of orbits (LEO, MEO, GEO), resource management and ensuring continuous connectivity are considered. The main problems associated with delays, interference and complexity in the integration between terrestrial and satellite segments are analyzed. Special attention is paid to regulatory requirements and the role of standardization organizations such as ETSI, ITU and 3GPP in ensuring compatibility and global harmonization. As a result of the study, it is established that the effective integration of NTN is an essential factor in achieving universal connectivity and the development of 6G networks. The main contribution of the article is expressed in the systematization of architectural models and the identification of critical factors for the successful implementation of integrated communication systems.

Keywords: 6G, NTN, satellite networks, ETSI, ITU, 3GPP, network integration.

1. Въведение

С развитието на мобилните комуникации се наблюдава стремеж към пълна глобална свързаност. Докато 5G постави основите чрез подобряване на капацитета и латентността, 6G има за цел да осигури безпроблемна свързаност „навсякъде и по всяко време“. Това налага интеграция на наземни (terrestrial) и неназемни (non-terrestrial) мрежи, включително сателити, безпилотни летателни апарати и височинни платформи (HAPS). Тази хетерогенна инфраструктура е ключов компонент на бъдещите 6G системи. Интеграцията на различни комуникационни платформи създава предпоставки за значително разширяване на

покритието извън традиционните клетъчни мрежи, включително над океани, въздушно пространство и отдалечени региони. Това е особено важно за приложения като автономен транспорт, интелигентно земеделие и управление на бедствия. В същото време подобна интеграция изисква разработването на нови мрежови архитектури, способни да управляват динамични и хетерогенни среди. Допълнително предизвикателство представлява осигуряването на надеждна и непрекъсната свързаност при различни условия на разпространение и мобилност на потребителите. Необходимо е също така внедряване на интелигентни механизми за управление на ресурсите и адаптация към променящото се натоварване на мрежата. В този контекст ролята на стандартизацията и международното сътрудничество става съществена за постигане на съвместимост и ефективност. Така интеграцията на наземни и неназемни мрежи се очертава като основен фактор за реализирането на визията за 6G като глобална и универсална комуникационна система.

2. Инфраструктура на интегрираните 6G мрежи

2.1. Наземни мрежи (Terrestrial Networks)

Наземните мрежи представляват традиционната инфраструктура на мобилните комуникации, изградена върху физически елементи, разположени на земната повърхност. Те включват базови станции, които осигуряват радиодостъп за потребителите и се класифицират според обхвата и мощността си като макро клетки, микро клетки и малки клетки, предназначени за среди с висока плътност на трафика. Тези елементи са свързани чрез оптична инфраструктура, която осигурява висока пропускателна способност, ниска латентност и надеждност на преноса на данни. В допълнение, съвременните мрежи включват edge computing центрове, разположени в близост до крайните потребители, които позволяват локална обработка на данни и значително намаляване на закъсненията.

Наземните мрежи се отличават с висока скорост на предаване, ниска латентност и стабилна производителност, което ги прави основа за повечето съвременни комуникационни услуги. Те позволяват ефективна интеграция с локални приложения и услуги, като например интелигентни градове и индустриални системи. Въпреки това, тяхното основно ограничение е свързано с географското покритие, което е силно ограничено в отдалечени, планински, океански или слабо населени райони. Освен това изграждането на инфраструктура в такива региони често е икономически неефективно. Това налага търсенето на допълващи решения, които да разширят обхвата на комуникационните услуги. В контекста на 6G наземните мрежи ще продължат да играят ключова роля, но ще бъдат част от по-широка и по-гъвкава комуникационна екосистема.

Оценка на параметрите и характеристиките:

Наземните мрежи демонстрират отлични показатели по отношение на скорост, латентност и надеждност, което ги прави незаменим компонент на 6G архитектурата. В същото време тяхната ограничена географска приложимост намалява ефективността им при глобални комуникационни сценарии. Инфраструктурните разходи също представляват съществен фактор, особено при разширяване на покритието в труднодостъпни райони. Като цяло, наземните мрежи осигуряват високо качество на услугата, но се нуждаят от допълващи технологии за постигане на универсално покритие.

2.2. Сателитни мрежи (Non-Terrestrial Networks – NTN)

Сателитните мрежи (Non-Terrestrial Networks) представляват мрежова инфраструктура, базирана на космически платформи, която има за цел да осигури комуникационни услуги извън обхвата на традиционните наземни мрежи. Тези мрежи играят ключова роля в постигането на глобално покритие и непрекъсната свързаност,

независимо от географските ограничения. Сателитните системи се разделят основно на три типа орбити – ниска (LEO), средна (MEO) и геостационарна (GEO), като всяка от тях предлага различен баланс между латентност, покритие и сложност на внедряване.

Сателитите LEO се намират на ниска околоземна орбита и осигуряват много ниска латентност, близка до тази на наземните мрежи, което ги прави особено подходящи за съвременни 6G услуги. Въпреки това, те изискват изграждането на големи системи от сателити, което увеличава сложността и разходите. MEO системите предлагат компромис между покритие и производителност, като се използват широко в навигационни системи и комуникации със средни изисквания към латентността. GEO сателитите, разположени на голяма височина, осигуряват изключително широко покритие с малък брой устройства, но страдат от висока латентност, което ги прави по-малко подходящи за интерактивни приложения.

Сателитните мрежи позволяват осигуряване на комуникации в океани, планински региони, пустини и други труднодостъпни зони, както и за въздушен и морски транспорт. Те също така играят важна роля при извънредни ситуации, когато наземната инфраструктура е повредена или недостъпна. Въпреки предимствата си, NTN мрежите поставят предизвикателства, свързани с управление на интерференцията, латентността и координацията с наземните системи. Поради това тяхната интеграция с terrestrial мрежите е от съществено значение за изграждането на ефективна 6G архитектура.

Оценка на параметрите и характеристиките:

Сателитните мрежи осигуряват уникално предимство по отношение на глобалното покритие и достъпността, което ги прави незаменими за 6G. Въпреки това, параметри като латентност и сложност на управлението варират значително в зависимост от типа орбита. Системите LEO предлагат най-добра производителност, но изискват значителни ресурси за поддръжка, докато GEO системите осигуряват стабилност за сметка на по-високо закъснение. Като цяло, ефективността на NTN зависи от балансираното използване на различните орбитални слоеве.

2.3. Хибридна архитектура

Хибридната архитектура в 6G представлява интеграция между наземни и неназемни мрежи, която цели създаването на единна, гъвкава и интелигентна комуникационна среда. Тя позволява динамично преминаване между различни слоеве на инфраструктурата, включително наземни клетки, сателитни системи и въздушни платформи, без прекъсване на услугата. Това е ключово изискване за бъдещите приложения, които изискват непрекъсната свързаност и висока надеждност.

Един от основните елементи на тази архитектура е ефективното управление и споделяне на спектъра между различните мрежови сегменти. Това включва използване на общи честотни ресурси и внедряване на интелигентни механизми за динамично разпределение на спектъра, които минимизират интерференцията и оптимизират използването на ресурсите. Важна роля играе и стандартизацията на протоколите, която осигурява съвместимост между различните технологии и позволява безпроблемна интеграция между наземни и сателитни системи.

Интелигентното управление на ресурсите е ключов фактор за ефективността на хибридната архитектура, като се базира на използването на изкуствен интелект и машинно обучение. Тези технологии позволяват прогнозиране на натоварването, автоматично пренасочване на трафика и адаптация към динамични условия в реално време. Освен това те подпомагат оптимизацията на мрежовите параметри и подобряват цялостната

производителност на системата. Хибридната архитектура създава основа за бъдещите 6G мрежи, които ще бъдат не само по-бързи, но и значително по-гъвкави, адаптивни и глобално достъпни.

Оценка на параметрите и характеристиките:

Хибридната архитектура предлага най-високо ниво на гъвкавост и ефективност чрез комбиниране на предимствата на различните мрежови технологии. Тя позволява оптимално използване на ресурсите и осигурява непрекъсната свързаност в глобален мащаб. Въпреки това, сложността на управлението и необходимостта от усъвършенствани алгоритми представляват сериозно предизвикателство. Успешната реализация на този модел зависи от развитието на AI-базирани решения и ефективна стандартизация.

3. Основни предизвикателства

3.1. Латентност и забавяне

Сателитните комуникации, особено при използване на геостационарни (GEO) сателити, са свързани със значително закъснение на сигнала поради голямото разстояние между Земята и орбитата, достигащо приблизително 35 786 km. Това води до едностранно закъснение от около 250–300 ms и до обща латентност до 600 ms при двустранна комуникация. Подобни стойности са критични за приложения, изискващи работа в реално време, като интерактивни услуги, видео комуникация, автономни системи и индустриална автоматизация.

В допълнение, високата латентност влияе негативно върху качеството на услугата, особено при динамични и чувствителни към закъснение приложения. Това налага разработването на нови архитектурни решения и технологии за намаляване на времето за реакция. Също така, различните орбитални слоеве водят до хетерогенност в латентността, което усложнява управлението на мрежата. В контекста на 6G се търсят подходи за минимизиране на тези ефекти чрез интелигентно управление и оптимизация.

Оценка на параметрите и характеристиките:

Латентността е един от най-критичните параметри при оценката на сателитните комуникации, като GEO системите показват най-слаби резултати в това отношение. В същото време LEO решенията значително подобряват този показател и се доближават до наземните мрежи. Въпреки това, вариациите в закъснението и сложността на управлението остават предизвикателство. Намаляването на латентността е ключов фактор за успешната интеграция на NTN в 6G.

3.2. Технически решения

За преодоляване на проблема с латентността се разработват редица технологични решения, сред които използването на LEO сателити и внедряването на периферни системи (edge computing) в сателитните мрежи. Системите LEO, разположени на височина между 300 и 1500 km., значително намаляват закъснението и позволяват постигане на стойности, сравними с тези на наземните мрежи. Това ги прави особено подходящи за приложения в реално време и масови комуникационни услуги. Паралелно с това, периферните системи позволяват изчислителните ресурси да бъдат разположени по-близо до потребителите или дори върху самите сателити. Това води до локална обработка на данни, намаляване на необходимостта от комуникация с централни сървъри и съответно до по-ниска ефективна латентност. Освен това, тези технологии подпомагат по-добро управление на трафика и натоварването в мрежата. Комбинацията от LEO системи и периферни изчисления променя изцяло начина за изграждане на високоефективни NTN системи.

Тези решения също така осигуряват по-гъвкава адаптация към динамични условия и мобилност на потребителите. Въпреки това, тяхното внедряване изисква значителни инвестиции и сложни механизми за координация. Развитието на тези технологии е ключово за бъдещата реализация на 6G.

Оценка на параметрите и характеристиките:

Сателитите LEO и периферните изчисления значително подобряват параметрите на латентност и производителност в NTN мрежите. Те осигуряват по-висока адаптивност и по-добро качество на услугата в сравнение с традиционните GEO решения. Въпреки това, сложността на внедряване и необходимостта от голям брой ресурси представляват съществено ограничение. Общата ефективност зависи от балансираното интегриране на тези технологии.

3.3. Управление на спектъра

Ефективното управление на радиочестотния спектър е ключов фактор за успешната интеграция на наземни и сателитни мрежи в 6G. Тъй като спектърът е ограничен ресурс, неговото разпределение между различни участници като мобилни оператори и сателитни системи изисква внимателна координация. Различните технологии често използват близки или припокриващи се честотни диапазони, което увеличава риска от интерференция.

Един от основните проблеми е свързан със смущенията между различни системи, включително между наземни базови станции и сателити, както и между различни орбитални слоеве. За ограничаване на тези ефекти се използват технологии като насочени антени, динамично управление на мощността и интелигентни алгоритми за достъп до спектъра. Допълнително предизвикателство е нарастващото търсене на честотни ресурси, което налага използването на по-високи честоти и внедряване на механизми за динамично споделяне на спектъра.

Глобалната координация между различни държави и организации е от съществено значение за ефективното управление на спектъра. Това включва разработване на международни стандарти и политики, които да осигурят съвместимост и предотвратяване на конфликти. В този контекст ролята на регулаторните органи е ключова за постигане на балансирано и ефективно използване на спектъра.

Оценка на параметрите и характеристиките:

Управлението на спектъра се характеризира с висока сложност и стратегическо значение за 6G. Основните параметри, като спектрална ефективност и интерференция, са критични за качеството на услугата. Въпреки усъвършенстването на технологиите за управление, ограниченият ресурс остава основен проблем. Ефективността на този процес зависи от глобалната координация и внедряването на интелигентни решения.

4. Европейски стандарти и регулации

4.1. Роля на European Telecommunications Standards Institute (ETSI)

Европейският институт за телекомуникационни стандарти (ETSI) е една от водещите организации в разработването на стандарти за бъдещите 6G мрежи. Той играе ключова роля в дефинирането на техническите изисквания и архитектури, необходими за интеграцията на наземни и сателитни комуникации. ETSI създава рамка за съвместимост между различните технологии и осигурява основа за тяхното ефективно взаимодействие. Организацията активно подпомага развитието на иновации чрез координация между

индустрията, научните среди и регулаторните органи. Нейната дейност е от съществено значение за изграждането на хармонизирана европейска телекомуникационна среда.

Основни дейности на ETSI включват:

- дефиниране на архитектури за интегрирани 6G мрежи;
- разработване на протоколи за комуникация и управление;
- изследвания върху интероперативност между различни системи;
- анализ и моделиране на нови комуникационни сценарии;
- подпомагане на стандартизацията на NTN технологии.

4.2. Роля на 3rd Generation Partnership Project (3GPP)

Проектът 3rd Generation Partnership Project (3GPP) е глобална организация, която разработва стандарти за мобилни комуникации и играе централна роля в еволюцията към 6G. В последните си версии, започвайки от Release 17, 3GPP вече включва поддръжка на не-терестриални мрежи, което представлява важна стъпка към интеграцията на сателитни комуникации. Организацията осигурява техническата основа за изграждане на съвместими и мащабируеми мрежи. Тя също така дефинира ключови механизми за управление на мобилността, качеството на услугата и сигурността. Ролята на 3GPP е критична за превръщането на концепциите за 6G в реални технологични решения.

Основните направления в стандартите на 3GPP са:

- интеграция на сателити в 5G и бъдещи 6G мрежи;
- разработване на комуникационни протоколи за NTN;
- дефиниране на мрежова архитектура за хетерогенни системи;
- управление на мобилността между наземни и сателитни сегменти;
- осигуряване на качество на услугата (QoS) в динамична среда.

4.3. Роля на International Telecommunication Union (ITU)

Международният съюз по далекосъобщения (ITU) има ключова роля в глобалната координация и регулация на телекомуникационния сектор. Чрез инициативата IMT-2030 организацията разработва стратегическата рамка за развитие на 6G на световно ниво. ITU определя честотните диапазони и създава регулаторни насоки, които осигуряват ефективно използване на спектъра. Освен това тя координира сътрудничеството между държави, региони и международни организации. Дейността на ITU гарантира, че новите технологии ще бъдат внедрени по съвместим и устойчив начин в глобален мащаб.

Основните функции на ITU включват:

- разпределение и управление на радиочестотния спектър;
- международна координация между държави и организации;
- разработване на регулаторни политики и препоръки;
- осигуряване на глобална хармонизация на стандартите;
- подпомагане на внедряването на IMT-2030 (6G).

4.4. Европейски инициативи

Европейският съюз играе водеща роля в глобалното развитие на 6G чрез стратегически инициативи, научноизследователски програми и значителни инвестиции. Основната цел е създаването на устойчива, сигурна и високоефективна комуникационна инфраструктура, която да интегрира наземни и сателитни мрежи. ЕС се стреми да изгради собствена технологична екосистема и да намали зависимостта от външни доставчици. В този процес ключова роля играят съвместните проекти между индустрията, академичните среди и регулаторните органи. Тези инициативи определят посоката на развитие на 6G в Европа и подпомагат глобалната конкурентоспособност на региона.

Основни европейски инициативи включват:

- **Неха-X и Неха-X II**
 - разработване на фундаментална 6G архитектура, включително NTN интеграция;
 - създаване на AI-native мрежи с автономно управление;
 - изследвания върху sub-THz спектър и нови модулационни техники;
 - дефиниране на нови приложения като XR и холографска комуникация;
 - подобряване на сигурността и енергийната ефективност.
- **Smart Networks and Services Joint Undertaking (SNS JU)**
 - финансиране на изследвания и пилотни 6G проекти;
 - разработване на интегрирани архитектури с NTN и въздушни платформи;
 - стимулиране на сътрудничество между индустрия и академия;
 - изграждане на тестови и експериментални платформи;
 - подпомагане на стандартизацията чрез ETSI и 3GPP.
- **Стратегически цели на Европейския съюз**
 - утвърждаване на лидерство в 6G технологиите;
 - изграждане на независима и конкурентоспособна екосистема;
 - интеграция на сателитни комуникации и LEO системи;
 - създаване на сигурна и устойчива мрежова инфраструктура;
 - гарантиране на дигитален суверенитет на Европа.

5. Перспективи за развитие

Интеграцията на сателитни и наземни мрежи е ключова за постигане на глобална свързаност и реализация на новите приложения на 6G като XR, холографска комуникация и тактилен интернет, които изискват минимална латентност, както и автономни системи и индустриална автоматизация, при които надеждността и качеството на услугата са от критично значение. Освен това, развитието на IoT и масовите свързани устройства поставя високи изисквания към ефективното управление на спектъра и мрежовите ресурси.

В бъдеще се очаква значително нарастване на ролята на изкуствения интелект в управлението на мрежите, като AI-базираните решения ще позволят динамична оптимизация на трафика, адаптация към променящите се условия и повишаване на енергийната ефективност. Също така ще се развиват нови архитектурни подходи, включително AI-native мрежи и самоуправляващи се системи, които ще подобрят надеждността и гъвкавостта на комуникациите.

Друг важен аспект е развитието на нови честотни диапазони, включително mmWave и sub-THz спектър, които ще осигурят необходимия капацитет за бъдещите приложения. Това ще изисква внедряване на усъвършенствани технологии като massive MIMO, beamforming и интелигентни повърхности (RIS). В същото време ще се увеличи значението на хибридните мрежови архитектури, които комбинират предимствата на различни комуникационни технологии.

Глобалното сътрудничество между регулатори, индустрия и научни организации ще бъде ключово значение за създаването на унифицирани стандарти и ефективна регулаторна рамка. Това ще позволи съвместимост между различните системи и ще ускори внедряването на 6G на световно ниво. Не на последно място, ще се обръща все по-голямо внимание на устойчивото развитие, включително намаляване на енергийното потребление и екологичното въздействие на мрежите.

Успешната реализация на 6G ще зависи от комбинация от ефективна интеграция на NTN, технологични иновации и стратегическо планиране. Само чрез координирани усилия може да се постигне визията за интелигентна, адаптивна и глобално достъпна комуникационна инфраструктура, която да отговори на нарастващите изисквания на дигиталното общество.

6. Заключение

Интеграцията на сателитни и наземни мрежи представлява фундаментална стъпка в реализирането на визията за шестото поколение мобилни комуникации (6G). Тя създава възможност за изграждане на глобална, непрекъсната и високоефективна комуникационна инфраструктура, която съчетава предимствата на наземните базови станции с широкия обхват на не-терестриалните мрежи. По този начин се постига универсално покритие, включително в отдалечени, планински, океански и слабо населени региони, където традиционните мрежи са ограничени или икономически неефективни.

Въпреки значителния капацитет, интеграцията между тези мрежи е съпътствана от редица технологични предизвикателства. Необходимо е осигуряване на съвместимост между различни типове сателитни системи, наземни клетки и edge-инфраструктура, което изисква високо ниво на координация и сложни инженерни решения. Управлението на спектъра, динамичното разпределение на ресурсите и оптимизацията на трафика налагат внедряването на интелигентни AI-базирани механизми. Допълнително усложнение представляват фактори като високата латентност при GEO сателитите и доплеровите ефекти при LEO системите.

От регулаторна гледна точка, глобалният характер на NTN изисква координация между международни организации и национални регулатори. Хармонизирането на честотните ресурси, стандартите и протоколите е ключово за предотвратяване на интерференция и за гарантиране на съвместимост между различните системи. Това налага тясно сътрудничество между организации като ITU, ETSI и 3GPP, които играят съществена роля в изграждането на обща рамка за развитие на 6G.

Икономическите аспекти също са от съществено значение, тъй като изграждането и поддръжката на сателитни системи, наземна инфраструктура и edge системи изискват значителни инвестиции. За да бъде устойчив този модел, е необходимо разработването на ефективни стратегии за управление на ресурсите, както и създаването на партньорства между различни участници в индустрията. Иновативните бизнес модели ще играят ключова роля за осигуряване на възвръщаемост и дългосрочно развитие.

В този контекст ролята на европейските стандарти и инициативи е изключително важна. Те осигуряват унифициране на техническите решения, ускоряват внедряването на нови технологии чрез разработване на тестови платформи и обезпечават съвместимост между различните мрежови компоненти. Програми като Hexa-X и Smart Networks and Services демонстрират значението на координираните усилия между научните среди, индустрията и регулаторите. В крайна сметка, успешното реализиране на 6G ще зависи от способността да се преодолеят тези предизвикателства и да се изгради интегрирана, интелигентна и надеждна комуникационна система.

ИЗПОЛЗВАНИ ИЗТОЧНИЦИ REFERENCES

- [1] DANG, Shuping, AMIN, Osama, SHIHADA, Basem, and Mohamed-Slim ALOUIN. What should 6G be?. *Nature Electronics* [online]. 2019, (3), pp. 20-29 [viewed 16.06.2026]. eISSN 2520-1131. Available from: 10.1038/s41928-019-0355-6.

- [2] RAPPAPORT, T.S. et al. Wireless Communications and Applications Above 100 GHz: Opportunities and Challenges for 6G and Beyond. *IEEE Access* [online]. 2019, vol. 7, pp. 78729-78757 [viewed 16.06.2026]. ISSN 2169-3536. Available from: 10.1109/ACCESS.2019.2921522.
- [3] KODHELI, Oltjon, GUIDOTTI, Alessandro and Alessandro VANELLI-CORALLI. Integration of Satellites in 5G through LEO Constellations. *GLOBECOM 2017 - 2017 IEEE Global Communications Conference*. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2017, pp.2 938-2945. ISBN 978-150-905-020-8.
- [4] GIORDANI, Marco and Michele ZORZI. Non-Terrestrial Communication in the 6G Era: Challenges and Opportunities. *IEEE Network* [online]. vol. 35(2), pp. 244-251 [viewed 16.06.2026]. eISSN 1558-156X. Available from: 10.1109/MNET.011.2000493
- [5] IVANOVA, Y., R. PASARELSKI and G. PETROV. Advanced Methods for Development of Microwave Antennas for Integration in Space-Based Radar Systems. *32nd National Conference with International Participation (TELECOM), Sofia, Bulgaria* [online]. 2024, pp. 1-4 [viewed 16.06.2026]. eISBN 979-8-3503-5500-0. Available from: doi: 10.1109/TELECOM63374.2024.10812259.
- [6] ANGELOV, K., S. SADINOV and P. KOGIAS. Modelling and Study of the Downlink Physical Layer in 5G NR Mobile Network. *International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES), Veliko Tarnovo, Bulgaria* [online]. 2022, pp. 1-4 [viewed 16.06.2026]. eISBN 978-1-6654-9149-5. Available from: doi: 10.1109/CIEES55704.2022.9990892.
- [7] SADINOV, S. M. K., K. ANGELOV, P. G. KOGIAS and M. N. MALAMATOU DIS. Approach for MIMO Wireless Channel Modelling and System Characterization for an Indoor Environment. *27th National Conference with International Participation (TELECOM), Sofia, Bulgaria* [online]. 2019, pp. 54-57 [viewed 25.03.2025]. ISBN 978-1-7281-4061-2. Available from: doi: 10.1109/TELECOM48729.2019.8994892.
- [5] IVANOVA, Y. Methods and means for researching microwave devices. *International Journal on Information Technologies and Security (IJITS)* [online]. 2023, vol.15 (4), pp. 3-14 [viewed 16.06.2026]. ISSN 1313-8251. Available from: <https://ijits-bg.com/2023.v15.i4.01>
- [9] СИМЕОНОВА, Цв. Особености на комуникационни услуги, изисквания и приложения при 6G. *Годишник Телекомуникации* [онлайн]. 2021, Т.8, с. 23-33 [прегледан 16.06.2026]. eISSN 2534-854X. Достъпен на: DOI: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.21.8.3> [СИМЕОНОВА, Tsv. Osobenosti na komunikatsionni uslugi, iziskvania i prilozhenia pri 6G. *Godishnik Telekomunikatsii* [onlayn]. 2021, Т.8, s. 23-33 [pregledan 16.06.2026]. eISSN 2534-854X. Dostapen na: DOI: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.21.8.3>]
- [10] DOBREVA, A. Impact of new technologies and artificial intelligence in brand management. *Yearbook Telecommunications* [online]. 2024, vol. 11, pp. 107-117 [viewed 16.06.2026]. eISSN 2534-854X. Available from: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.24.11.11>
- [11] ДОБРЕВА, А. Защита на личните данни при предоставяне на електронни съобщителни услуги. *Годишник Телекомуникации* [онлайн]. 2022, Т. 9, с. 97-105 [прегледан 16.06.2026]. eISSN 2534-854X. Достъпен на: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.22.9.10> [ДОБРЕВА, А. Zashchita na lichnite dannii pri predostavyane na elektronni saobshtitelni uslugi. *Godishnik Telekomunikatsii* [onlayn]. 2022, Т. 9, s. 97-105 [pregledan 16.06.2026]. eISSN 2534-854X. Dostapen na: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.22.9.10>]
- [12] СТЕФАНОВА, Тереза. Въздействия от внедряването на изкуствения интелект. В: *Сборник доклади от научна конференция „Знание, наука, иновации, технологии“* [онлайн]. 2025, год. 1(4), с. 483-494 [прегледан 16.06.2026]. CEEOL. eISSNп 2815-3480. Достъпен на: <https://www.cceol.com/>
- [13] СТЕФАНОВА, Тереза. *Новите технологии: приложения, професии, умения: монография*. София: Аскони-издат, 2024. ISBN 978-954-383-151-7. [СТЕФАНОВА, Tereza. *Novite tehnologii: prilozhenia, profesii, umenia: monografia*. Sofia: Askoni-izdat, 2024. ISBN 978-954-383-151-7.]
- [14] ITU-R Recommendation M.2160- IMT-2030 Framework Recommendation. *International Telecommunication Union* [online]. 2023 [viewed 17.06.2026]. Available from: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2160-0-202311-I!!PDF-E.pdf.
- [15] IMT towards 2030 and beyond. *International Telecommunication Union* [online]. 2026 [viewed 17.06.2026]. Available from: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2030/Pages/default.aspx>
- [16] Smart Networks and Services Joint Undertaking. *Funding programmes portal* [online]. 2026 [viewed 17.06.2026]. Available from: <https://www.fundingprogrammesportal.gov.cy/en/programs/smart-networks-and-services-joint-undertaking-sns-j/>
- [17] CHEN, Wanshi. RAN Rel-19 Status and a Look Beyond. *3GPP* [online]. 2024 [viewed 17.06.2026]. Available from: <https://www.3gpp.org/technologies/ran-rel-19>

TEODORA PASARELSKA
ROSEN PASARELSKI

проф. д-р Росен Пасарелски, НБУ департамент „Телекомуникации“, rpassarelski@nbu.bg
ас. д-р инж. Теодора Пасарелска, НБУ, департамент „Телекомуникации“, tivanova@nbu.bg

Contacts:

Prof. Rosen Pasarelski, PhD, New Bulgarian University, Department „Telecommunications“, rpassarelski@nbu.bg
Asst. Prof. Dr. Eng. Teodora Pasarelska, NBU, Department of Telecommunications, tivanova@nbu.bg

Дата на постъпване на ръкописа (Date of receipt of the manuscript): 25.06.2025

Дата на приемане за публикуване (Date of adoption for publication): 30.09.2025