

УДК 621.398.96

DOI: 10.31673/2412-9070.2021.031721

О. С. СИВИК, магістр;

Н. О. ОЛІЙНИК, магістр;

І. М. СПОДАРЦЕВ, магістр;

О. В. СИДОРЕНКО, магістр;

В. П. ЯКОВЕЦЬ, магістр;

Я. А. КРЕМЕНЕЦЬКА, доктор техн. наук,

Державний університет телекомунікацій, Київ

АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ МАЙБУТНІХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Очікується, що 6-те покоління (6G) мобільних мереж буде реалізовано найближчим десятиліттям. Розроблення прогнозів, додатків, технологій і стандартів 6G вже стало популярною темою досліджень. У статті розглянуто нові послуги та додатки, такі як голографічні медіапрограми, мультисенсорні технології. Проаналізовано базові технологічні вирішення, які розв'язують проблеми наявних мобільних мереж 5-го покоління (5G). Ці обмеження стосуються швидкості передавання даних, затримки, надійності, доступності, оброблення, щільності з'єднання та глобального покриття. Висвітлено соціальні та технологічні тенденції, які ініціюють рух до 6G. Обговорено найсучасніші дослідження, технічні проблеми, що сприяють розвитку телекомунікаційних технологій. Докладно розкрито вимоги та ключові технології, потрібні для реалізації додатків 6G.

Ключові слова: 5G; 6G; Network2030; голографічні комунікації; телеприсутність; мультисенсорні мережі; майбутні мережі.

ВСТУП

Останніми роками інновації у сфері хмарних обчислень, мультимедіа з високою роздільною здатністю, мобільних мереж, сенсорних технологій тощо сприяли створенню абсолютно нового набору додатків та галузевих вертикалей. Мережі мобільного зв'язку 5G вже розгортаються по всьому світу. 5G підтримує поліпшений мобільний широко-смуговий зв'язок (eMBB) для забезпечення пікової швидкості передавання даних до 10 Гбіт/с. Крім того, наднадійний зв'язок із малою затримкою (uRLLC) зводить до мінімуму затримки до 1 мс, тоді як масовий зв'язок машинного типу (mMTC) підтримує більш ніж у 100 разів більше пристроїв на одиницю площі порівняно з 4G. Очікувана надійність і доступність мережі становить понад 99,999%. Програмне забезпечення мережі – це відома технологія 5G, яка забезпечує динамічність, програмованість і абстракцію мереж. Можливості 5G дали змогу використовувати нові додатки, такі як віртуальна реальність (*Virtual Reality*, VR), доповнена реальність (*Augmented Reality*, AR), змішана реальність (*Mixed Reality*, MR), автономні транспортні засоби, Інтернет речей (*Internet of Things*, IoT) і автоматизована промисловість.

Як надається в прогнозуванні майбутніх технологій FG-NET-2030 [1], одна з ключових відмінностей між сучасними мережами та майбутніми мережами полягає в тому, що останні базуватимуться на абсолютно нових технологіях як апаратних, так і програмних. Вони мають бути сумісними з нинішнім та майбутніми поколіннями та новими утвореннями космічних мереж. Очікуєть-

ся, що мережі 6G будуть більш функціональними, інтелектуальними, надійними, масштабованими і енергоефективними, щоб задовольнити всі сподівання, які неможливо реалізувати за допомогою 5G. 6G також потрібно для задоволення будь-яких нових вимог, зокрема підтримки нових технологій, додатків і нормативних вимог, які з'являться найближчим десятиліттям. Мережі мобільного зв'язку 6G, як очікується, будуть забезпечувати екстремальні пікові швидкості передавання даних понад 1 Тбіт/с. Наскрізні затримки будуть непомітними і становитимуть менш як 0,1 мс. Мережі 6G нададуть доступ до потужних периферійних інтелектуальних засобів, в яких затримки оброблення даних впадуть нижче за 10 нс (рис. 1. [1; 2]).

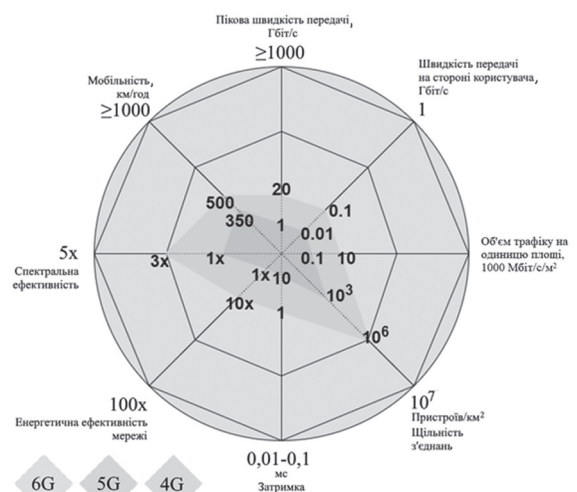


Рис. 1. Порівняння основних показників для мереж 4G, 5G та 6G

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Нові послуги та додатки

Наступний рубіж у мультимедіа після доповненої реальності та віртуальної реальності (AR/VR) міститиме голографічні медіа та мультисенсорні технології, включно з послугами тактильного зв'язку. Незабаром наш досвід роботи з AR/VR визначить, що вони недостатньо реальні, а отже, потребуватимуть створення нового медіа, не обтяженого HMD, що є набагато привабливішим та реалістичнішим через його справжнє відображення об'єкта. Голографічні медіапрограми не обмежуються сферою розваг та телеконференцій, але починають з'являтися більш цікаві програми, деякі з яких впливають на життя (наприклад, телехірургія), тоді як інші забезпечують чудову взаємодію (віддалена голографічна присутність).

Голографічні комунікації

Технологія голографічного дисплея досягла значного прогресу за останні роки, починаючи від дисплеїв світлового поля та закінчуючи різними видами HMD. Оскільки наука та техніка для створення та візуалізації голограм добре зрозумілі, голографічні програми перебувають на шляху до втілення в реальність. Ці програми охоплюватимуть не лише локальне відображення голограм, а й мережні аспекти, зокрема можливість передавати потокові голографічні дані з віддалених сайтів, які називають голографічним типом зв'язку (ГТЗ).

Далеко не просто технологічний трюк, ГТЗ має багато корисних застосувань. Наприклад, голографічна телеприсутність дасть можливість віддаленим учасникам проектувати присутність в одну кімнату. І навпаки, голографічні програми з ефектом занурення у віртуальну реальність перетворюють артефакти з віддаленого місця в кімнату, переводячи місцевих користувачів у віддалене місце. Дистанційне усунення несправностей і ремонтні програми дадуть змогу технічним фахівцям взаємодіяти з голографічними візуалізаціями предметів у віддалених і важкодоступних місцях, наприклад на платформі для буріння нафти або всередині космічного зонда. Голографічні вивіски, що передають голографічний вміст, яким централізовано керують і котрий розповсюджують, є природним подальшим кроком для цифрових вивісок. Навчальні та освітні програми можуть надати віддаленим студентам можливість взаємодіяти з предметами та іншими однокурсниками для активної участі в аудиторії. Крім того, є великі можливості у сферах захоплюючих ігор та розваг.

Щоб ГТЗ перетворився в реальність, у майбутньому мережам доведеться вирішувати численні проблеми. Вони мають забезпечувати дуже високу

пропускну здатність через великі обсяги даних, які беруть участь у передаванні високоякісних голограм (рис. 2). «Якість» голограми — це не тільки глибина кольору, роздільна здатність та частота кадрів, як у відео, а й також передавання об'ємних даних із різних точок бачення для врахування зрушень у нахилу кутів та положення спостерігача щодо голограми («Шість ступенів свободи»). Потік базових об'ємних даних та масивів зображень накладає додаткові вимоги до синхронізації, щоб забезпечити плавні переходи для перегляду користувачем.

Вперед до голографічного суспільства



Рис. 2. Застосування голографічного медіа

Виходячи за межі потокового передавання голографічної інформації, деякі програми можуть додатково поєднувати голографічні зображення з даними з інших потоків. Наприклад, відео- та аудіопотік може бути отриманий із точки спостереження того, де проектується голограма. Цього можна досягти накладанням голограм на відповідні камери, мікрофони чи інші давачі. Для того, щоб це працювало, потрібна чітка синхронізація між кількома потоками даних, а результатом стануть програми, які забезпечують ще більш реалістичне відчуття взаємодії користувачів.

Другий набір розширень стосується поєднання ГТЗ з тактильними мережними програмами, що дасть змогу користувачам «торкатися» голограми. Це відкриває нові можливості для таких додатків, як згадані для навчання та дистанційного ремонту. Додатки для тактильних мереж накладають вимоги надзвичайно низької затримки (для забезпечення точного відчуття зворотного зв'язку дотику) до базових мереж і, зокрема, що стосується критично важливих програм, таких як віддалена хірургія. З'єднання тактильних мереж із ГТЗ уводить додаткові вимоги до високоточної синхронізації, щоб забезпечити належну координацію всіх різних потоків даних.

Мультисенсорні (Multi-Sense) мережі

Під час обговорення мережних додатків, які містять не тільки оптичне (відео, голограми) та акустичне (аудіо) почуття, а й дотик (тактильне), постає питання: чому зупинятися на досягнутому; а як щодо інших органів чуття? Дійсно, щоб створити повністю захопливі враження, має сенс також залучити почуття запаху та смаку. На відміну від зору та слуху нюх і смак вважаються «нижчими» органами почуттів. Зазвичай вони не привертають уваги і не керують людською діяльністю, а більше пов'язані з почуттями та емоціями. Це «близькі почуття», оскільки їх сприйняття включає пряму (хімічну) реакцію агента, який розпізнається за допомогою рецептора. На противагу цьому такі органи чуття, як слух і зір, дають можливість сприймати інформацію з віддалених джерел, а артефакти передаються хвилями, а не хімічними або фізичними реакціями. Той факт, що відбувається хімічна реакція, створює значну перешкоду для подолання, а саме проблему того, як побудувати ефективні виконавчі механізми. Деяких обмежених успіхів було досягнуто за допомогою «цифрових льодяників», вставлених у рот людини пристроїв, які доставляють невеликі струми та перепади температури до сосочків язика (давачі смаку), щоб імітувати такі відчуття, як кислинка, солоність або солодкість. Запах є ще більш складною проблемою. Деякі дослідники запропонували транскраніальну магнітну стимуляцію [2], тобто набір електричних магнітів (наприклад, вбудованих у гарнітуру) для доставляння стимулів до ділянок мозку, відповідальних за створення сенсорних відчуттів.

Навіть більш ніж мережна індустрія, у стрімкому розвитку в цій сфері дуже зацікавлена харчова промисловість. Наприклад, здатність генерувати «цифрову солодкість» обіцяє можливість скоротити використання цукру або штучних підсолоджувачів. Хоча справжні прориви у виконавчих механізмах, які передають цифровий нюх і смак, здаються сьогодні далекими, але припускаючи, що ці завади можна подолати, вочевидь, цікавими будуть потенційні мережні програми. Наприклад, вирішення для дистанційного навчання, а також цифрова реклама мають змогу використовувати той факт, що збереження пам'яті можна покращити через асоціацію із запахами та смаками, оскільки запахи та смаки здатні виявляти або підсилити емоції. Так, певні зображення можуть бути пов'язані з певним запахом. Хмарні медичні рішення мають силу викликати гіркі смаки з віддалених місць, щоб запобігти вживанню певних продуктів у певний час у рамках дієтичного режиму.

Хоча існують й додаткові фактори, що впливають на відчуття смаку, зокрема текстура, з огляду на те, що кількість рецепторів у язичку (орієнтов-

но 8000) приблизно на чотири порядки менша, ніж кількість рецепторів у сітківці ока (майже 150 млн), обсяг «смакових» даних, які необхідно передати, буде значно меншим, ніж те, що потрібно для передавання зображень. Крім того, оскільки для виявлення смаку в людському тілі може знадобитися ціла секунда, жодних особливих вимог щодо підтримки наднизької затримки не висувається. Схожі міркування стосуються даних про аромати, незважаючи на те, що затримка, пов'язана з виявленням ароматів людиною, значно менша.

Програми, спроектовані з вимогою до точного часу

Людський інтелект, природно, пристосовується до порушень та непередбачуваних подій і може витримувати певні затримки в передаванні інформації. Ми адаптувалися до мережних послуг, які намагаються докласти максимум зусиль, очікуючи на повторне підімкнення та повторюючи спробу в разі збою, ми також здатні обробляти голосові або відеозв'язки, які зазнають втрати пакетів або значного тремтіння. Однак протягом останніх десятиліть з огляду на розвиток технологій наша залежність від мереж зв'язку зросла. Оскільки ми долучаємо все більше пристроїв та гаджетів, швидкі реакції та досвід роботи в режимі реального часу стали основними факторами для безперебійної роботи в повсякденні.

Зокрема, коли ми розглядаємо ринкові фактори, як-от промислова автоматизація, автономна система та великі мережі давачів, де люди не є кінцевою точкою, фактор часу стає ще значнішим, оскільки більшість машин не запрограмовано на адаптацію: їх спеціально створено для конкретних завдань та детермінованих ланцюгів керування. Те, що вказує на більш високий ступінь складності, — це тип часових атрибутів, притаманних Network2030. Це стосується не лише відносних характеристик, зокрема швидкий або повільний, а й точного часу події чи доставляння даних. Енергоефективність і застосування машин надзвичайно актуальні для економіки виробництва в автоматизації промисловості. Використання максимізується, коли час очікування кожної частини обладнання близький до нуля, а енергія економиться, коли усуваються повторні спроби. З'єднання об'єктів на коротких відстанях у промисловому інтернеті, такі як контролери з програмною логікою (КПЛ), давачі та виконавчі механізми, мають працювати з точністю часу в межах 10 мс.

Так само й автономні системи руху навіть на великій радіальній відстані в дві милі матимуть з'єднані кінцеві точки порядку десятків тисяч транспортних засобів, сигналів дорожнього руху, вмісту та інших компонентів. Для гармонізації роботи таких щільно взаємозв'язаних механізмів

мів потрібне своєчасне доставляння інформації. У цьому разі корисно знати, в якій саме час надходить інформація: все, що надходить рано чи пізно, не має сенсу.

Створення однакових цифрових середовищ у багатосторонніх додатках, таких як онлайн-ігри або віддалена співпраця, вимагатиме справжньої синхронізації об'єктів у системі відліку на кількох сайтах. Новий набір проблем виникає, коли переміщення фізичного об'єкта потрібно буде вчасно координувати між сайтами, які обслуговуються каналами зв'язку, котрі працюють із різною затримкою. Оскільки межі між цифровими об'єктами та об'єктами реального світу розмиваються, нам потрібна система зв'язку, яка може координувати між різними джерелами інформації, щоб усі залучені сторони мали синхронізований погляд на додаток.

Критична інфраструктура

Критична інфраструктура належить до тих основних активів, які вважаються життєво необхідними для безперебійного функціонування суспільства як цілісного утворення. Незважаючи на те, що кібер- та інтернет-безпека є центром уваги в нинішніх системах ІКТ, очікування щодо захисту та захисту суспільства від надзвичайних ситуацій за допомогою технологічного прогресу, як передбачається, зростуть у наступному десятилітті настільки, наскільки нові можливості будуть потрібні для забезпечення безпечного порятунку суб'єктів у будь-якому місці і в будь-який час у разі будь-якої надзвичайної ситуації. Виявлення цих можливостей також є однією з першочергових цілей Network2030. Забігаючи на перспективу, критичні операції з безпеки мають враховувати всі особливості суб'єктів, які перебувають у зоні надзвичайної ситуації. Наприклад, завжди мати доступне місцезнаходження, поки не врятують, наводячи його на мережний пристрій суб'єкта з посиленням на карту місцевості, до якої можна отримати доступ за допомогою навігаційної системи безпечного шляху, та забезпечуючи необхідні дії.

Зокрема, Network2030 має визначити, як суб'єкт, пов'язаний із терміналом (наприклад, телефон або планшетний пристрій), буде користуватися послугами, розробленими фахівцями з цих надзвичайних ситуацій для цього предмета та для цього типу надзвичайних ситуацій. Вочевидь, що послуги, зорієнтовані на час, згадані раніше, є засобами підтримки; крім того, потрібно додатково вивчити, що передбачає розвиток таких послуг у неоднорідних, незалежних інфраструктурах. Проблема, яку такі послуги могли б вирішити, з кожним роком стає все більш гострою та актуальною однаково для розвинених країн та країн, що

розвиваються. Це пояснюється як природними причинами, так і основними напрямками розвитку світу: спостерігається зростання активності глобальних процесів, таких як землетруси, повені тощо, існує тенденція до урбанізації населення, відбувається поглиблення співпраці всередині та між національними державами, що посилює зустрічний потік товарів та населення; зростає використання територій країн, розташованих у субтропічних та тропічних зонах.

Ключові комунікаційні технології, що пропонуються для майбутніх мереж, зображено на рис. 3.



Рис. 3. Ключові комунікаційні технології, що пропонуються для майбутніх мереж

Зв'язок з мегагрупованнями супутників на низькій навколосеземній орбіті (LEO) стане одним із нових рубежів зв'язку на шляху до 6G, доповнюючи наземні мережі для забезпечення глобального покриття. Проєкт партнерства 3-го покоління (3GPP) працює над адаптацією систем 5G для підтримання супутникового зв'язку. Як показано на рис. 4, тісна інтеграція наземних мереж із супутниковим доступом LEO матиме важливе значення для досягнення глобального покриття в епоху 6G [3-7].

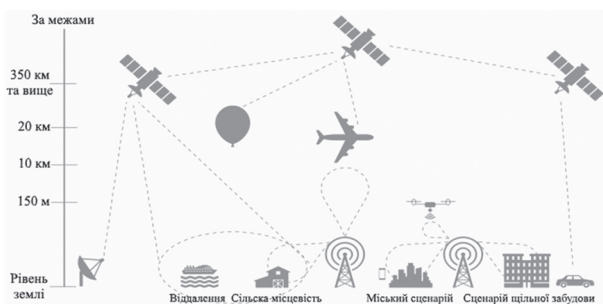


Рис. 4. Покриття 6G, що забезпечується щільною інтеграцією наземних мереж із супутниковим доступом LEO

Очікується, що в 2030-х роках з'явиться ще кілька нових ініціатив, таких як мобільні технології 5G і/або 6-го покоління (6G). Тоді позиціонування Network2030 має бути уточнене щодо досягнень мобільного зв'язку. Network2030 — це технологія, що пов'язана з фіксованою мережею.

Вона потребуватиме більш комплексного погляду на майбутню еволюцію мережі з огляду на програми та послуги, актуальні в даний період часу та за його межами.

ВИСНОВОК

Як впливає з аналізу, соціальні та технологічні тенденції, передбачені для майбутніх технологій FG-NET-2030, наголошують на обмеження сучасних мереж мобільного зв'язку 5G. У зв'язку з неординарними вимогами гіперпідімкнень у всесвітньому охопленні до 2030 року нові мережні технології покликані полегшити появу нових додатків.

Цим додаткам потрібні мережі 6G для забезпечення екстремальних швидкостей передавання даних, надзвичайно низьких затримок, виняткової надійності та доступності, величезної масштабованості, екстремальної енергоефективності та надзвичайної мобільності. Реалізація цього бачення 6G вимагає використання нових технологій, котрі, як передбачається, діятимуть як засоби реалізації 6G.

Список використаної літератури

1. *The Focus Group Network 2030 welcomes you to join and participate.* URL:

<https://itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Pages/default.aspx>.

2. *Saad W., Bennis M., Chen M. A Vision of 6G Wireless Systems: Applications, Trends, Technologies, and Open Research Problems // IEEE network. 2019. Vol. 34, no. 3. P. 134–142.*

3. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.globaltimes.cn/content/1209400.shtml>.

4. *Nanosatellite-5G Integration in the Millimeter Wave Domain: A Full Top-Down Approach / F. Babich, M. Comisso, A. Cuttin [et al.] // IEEE Transactions on Mobile Computing. Feb 2020. Vol. 19. P. 390–404.*

5. *Giordani M., Zorzi M. Non-terrestrial communication in the 6G era: Challenges and opportunities. arXiv preprint arXiv:1912.10226, December 2019.*

6. *Non-terrestrial networks in 5G & beyond: A survey / F. Rinaldi [et al.] // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 165178–165200.*

7. *Kremenetskaya Y., Markov S., Morozova S. Features of millimeter-wave ultra-wideband signals application in telecommunications: The IEEE 9th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS-18) (Ukraine, Kyiv, sept. 4-7. 2018 p.) Kyiv, 2018. P. 310–313.*

А. С. Сьвйк, Н. А. Олейник, И. Н. Сподарцев, А. В. Сидоренко, В. П. Яковец, Я. А. Кременецкая

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ БУДУЩИХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ожидается, что 6-е поколение (6G) мобильных сетей будет реализовано в ближайшее десятилетие. Разработка прогнозов, приложений, технологий и стандартов 6G уже стала популярной темой исследований. В статье рассмотрены новые услуги и приложения, такие как голографические медиапрограммы, мультисенсорные технологии. Проанализированы базовые технологические решения, которые помогут преодолеть проблемы существующих мобильных сетей 5-го поколения (5G). Эти ограничения касаются скорости передачи данных, задержки, надежности, доступности, обработки, плотности соединений и глобального покрытия. Освещены социальные и технологические тенденции, которые инициируют движение к 6G. Обсуждены самые современные исследования, технические проблемы, способствующие развитию телекоммуникационных технологий. Подробно представлены требования и ключевые технологии, необходимые для реализации приложений 6G.

Ключевые слова: 5G; 6G; Network2030; голографические коммуникации; телеприсутствие; мультисенсорные сети; будущие сети.

O. S. Syvyk, N. O. Oliinyk, I. M. Spodartsev, O. V. Sydorenko, V. P. Yakovets, Y. A. Kremenetska

ANALYSIS DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF FUTURE TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES

The sixth generation (6G) of mobile networks is expected to be implemented in the next decade. The development of forecasts, applications, technologies and 6G standards has already become a popular research topic. The article analyzes new services and applications, such as holographic media programs, multisensory technologies. Basic technological solutions that solve the problems of existing fifth generation (5G) mobile networks are analyzed. These limitations include data rates, latency, reliability, availability, processing, connection density, and global coverage. Highlighted social and technological trends that initiate the movement to 6G. The most modern researches, technical problems which promote development of telecommunication technologies are discussed. The requirements and key technologies required for the implementation of 6G applications are presented in detail.

Keywords: 5G; 6G; Network2030; holographic communications; telepresence; multisensor networks; future networks.