

ФУНКЦИОНАЛНИ ОСОБЕНОСТИ И ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ВНЕДРЯВАНЕТО НА ТАКТИЛЕН ИНТЕРНЕТ

Цветелина Симеонова, Васил Къдрев

FUNCTIONAL FEATURES AND POSSIBILITIES FOR THE IMPLEMENTATION OF TACTILE INTERNET

Tsvetelina Simeonova, Vasil Kadrev

Резюме: Според ИТУ, тактилен Интернет е мрежа, която съчетава ултраниска латентност с изключително висока наличност, надеждност/безотказност и сигурност. Тактилният Интернет предвижда наблюдение в реално време, мениджмънт и управление на отдалечена инфраструктура и устройства, поддържащи хаптични комуникации. Целта на настоящата работа е да се обособят функционалните особености и възможности за внедряване на тактилен Интернет. Резултатите са свързани с направеното обобщение на характерни случаи на използване, базирано на ключовите параметри латентност и надеждност. Приносен момент е направеният сравнителен анализ на случаите на използване по отношение на ключови параметри и сектори на влияние.

Ключови думи: тактилен Интернет, хаптични комуникации, латентност, надеждност.

Abstract: According to the ITU, tactile Internet is a network that combines ultra-low latency with extremely high availability, reliability and security. Tactile Internet provides real-time monitoring, management and control of remote infrastructure and devices that support haptic communications. The purpose of this work is to identify the functional features and capabilities for the implementation of tactile Internet. The results are related to the summary of typical use cases, based on the key parameters latency and reliability. A key point is the comparative analysis of the use cases in terms of key parameters and sectors of influence.

Key words: tactile Internet, haptic communications, latency, reliability.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

ИТУ разглежда Тактилния интернет като мрежа, която съчетава ултраниска латентност с изключително висока наличност, надеждност/безотказност и сигурност [1, 2]. Тактилният Интернет предвижда наблюдение в реално време, мениджмънт и управление на отдалечена инфраструктура и устройства, поддържащи хаптични комуникации.

В известен смисъл терминът „Тактилен Интернет“ може да е малко неточно наименование, тъй като усещането за допир (tactile) е само един от двата типа хаптична обратна връзка (haptic feedback), отнасящ се до неща, които човек може да почувства при докосване на повърхността, като натиск, текстура, вибрации, температура [3]. Другият тип хаптична обратна връзка е кинестетична, отнасяща се до сили (напр. гравитация, придърпване), които действат върху „изпълнителен механизъм“ също както на мускулите, ставите и сухожилията на ръка, допринасяйки (заедно с други неща) за усещане с осъзнаване на позицията. И двата типа хаптична обратна връзка са важни за приложенията при работа в мрежа.

Комуникации, включващи единия или и двата вида хаптична обратна връзка, наричаме „хаптична комуникация“ (Haptic Communications).

Ключово значение при разработването на стандарт има точното разбиране на използваната терминология. Най-напред е необходимо да се дефинира самият ТИ, особено като се има предвид, че ТИ е претърпял различни "гълкувания" от различни внедрители,

**ФУНКЦИОНАЛНИ ОСОБЕНОСТИ И ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ВНЕДРЯВАНЕТО НА ТАКТИЛЕН
ИНТЕРНЕТ
ЦВЕТЕЛИНА СИМЕОНОВА, ВАСИЛ КЪДРЕВ**

като всеки има различни цели за използването на технологията. Приета е следната дефиниция за ТІ (в рамките на IEEE 1918.1): „Мрежа (или мрежа от мрежи) за отдалечен достъп, възприемане, манипулиране или управление на реални или виртуални обекти или процеси, във възприемано от хора или машини реално време.“ [4, 5]

Също така е необходимо да се определят контекстът на работа и взаимодействията при ТІ, като в тази връзка (въз основа на дефиницията за ТІ в IEEE 1918.1) може да се опишат седем основни аспекта на ТІ.

- ТІ осигурява среда за дистанционно осъществяване на физическо взаимодействие, което често изисква обмен на хаптична информация.
- Взаимодействието може да бъде между хора или машини или хора и машини.
- В контекста на операция на ТІ, терминът „обект“ се отнася до всяка форма на физическа единица (physical entity), вкл. хора. Машините могат да включват роботи, мрежови функции, софтуер или друга свързана единица.
- Сценариите, обхващащи физическото взаимодействие на човека в цикъла с тактилна обратна връзка, често се наричат "двустранна хаптична телеоперация". Целта на ТІ в такива сценарии е хората да не могат да правят разлика между локално изпълнение на манипулативна задача в сравнение с дистанционно изпълнение на същата задача чрез ТІ.
- Резултатите от физическите взаимодействия на машината в цикъла с тактилна обратна връзка (в идеалния случай) ще бъдат същите, както ако машините взаимодействат с обекти директно или близо до местоположенията на тези обекти.
- Има две категории хаптична информация: тактилна и кинестетична, или комбинация от тях.
 - Тактилната информация се отнася до информацията, възприемана от различните механорецептори на човешката кожа, като повърхностна текстура, триене и температура.
 - Кинестетичната информация се отнася до информацията, възприемана от скелета, мускулите и сухожилията на човешкото тяло, като сила, въртящ момент, позиция и скорост.
- Определението за "възприемано реално време" може да се различава за хората и машините, и следователно е специфично за всеки конкретен случай.

В съответствие с дефинирането на ТІ и идентифицирането на обхвата на неговите взаимодействия, е необходимо общо разбиране на използваните метрики/ключови показатели за ефективност KPIs (key performance indicators), например, определението за латентност, прието от 3GPP. Латентност (Latency) на мрежата има различен смисъл в различните мрежови равнини - в потребителската равнина означава абсолютно закъснение (забавяне) във времето (delay), а в управляващата равнина означава периода от време за преход от пасивно в активно състояние (реактивността) на управлението.

2. НАСОКИ И РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ТАКТИЛЕН ИНТЕРНЕТ

Органите по стандартизация, които са свързани пряко и работят върху спецификациите на тактилен интернет ТІ (Tactile Internet), по отношение на архитектура, случаи на използване и др., са IEEE, IETF, 3GPP и ITU [6]. Едни от първите изследвания за тактилният интернет са отразени в доклад на ITU-T [1].

- Работната група на IEEE от 2016 г. [4] има за цел да разработи базов стандарт (IEEE 1918.1), осигуряващ като цяло бърза, надеждна/безотказна, сигурна и налична/достъпна платформа за ТІ, като част от изискванията за услуги на новите поколения мобилни мрежи (5G и следващи). Тази платформа включва мрежовата архитектура, хаптични кодеци и други свързани аспекти за ТІ.

Стандартизацията на мрежовата архитектура е въз основа на въпроси относно сценариите на използване и изискванията при тях, техническите допускания, дефинициите,

градивните елементи, функциите, интерфейсите и други свързани съображения. Архитектурата на TI включва също така нови аспекти и диференциращи фактори. Стандартизацията на хаптични кодеци дава насоки позволяващи оперативна съвместимост на различни хаптични (кинестетични и тактилни) входни и изходни устройства, което е необходимо за постигане на необходимия пазарен мащаб при реализацията на технологии, устройства и приложения за TI.

Стандартът въвежда слоест подход по отношение на хаптичните данни (съдържащи разнообразна сензорна информация), което би било от решаващо значение за работа в типично предизвикателните безжични среди. В обхвата на стандарта са включени и специфични механизми и протоколи за комуникация по отношение например на:

- работно пространство,
- брой на степените на свобода DoF (Degree of Freedom) на ръка на робот,
- обхват на амплитудата на хаптичен сигнал,
- времева и пространствена разделителна способност на хаптични устройства.

Също така, за да може TI да се използва като надстройка над други мрежи (или комбинации от мрежи), в TI се разглежда например функционалността URLLC на 5G, както и свързаните изисквания на които стандартът трябва да отговаря.

- Тактилният Интернет е обсъждан в IETF основно като случай на използване, който изисква подобряване на мрежовите технологии за задоволяване на строгите му изисквания за ресурси.

Например, във връзка със специфични изисквания на нововъзникващи случаи на използване (като услуги на TI), някаква комбинация от компоненти на мрежата за радиодостъп и на основната мрежа може да бъде изолирана в мрежови дялове (slices)¹ [7]. Също така, с цел осигуряване на интерактивност в реално време за многомерни и мобилни приложения с тактилни и чувствителни към времето данни, се акцентира на изискванията към компютинг в мрежата, което включва нови Интернет архитектури с подобрена производителност в периферията на мрежата, позволяващи съвместна работа (и оптимизиране на протокол от по-висок слой) за намаляване на латентността, както и позволяващи функционалност на специфични приложения (с използване на мулти-поточност и мулти-адресиране, и при наличие на много устройства).² [8]

Направено е предложение хаптичните данни да се представят като хаптичен тип медия от най-високо ниво, във връзка и с факта на приемане на "haptics" като медиен тип от първи ред в ISO BMFF (ISO Base Media File Format), което е исторически първи опит за регистриране на хаптичните данни като медиен формат.³ [9] Признаването на хаптичните данни като медиен тип от най-високо ниво, позволява като естествен процес дефинирането на хаптични под-формати на данни (например кинестетични, вибротактилни). Предвид на такова развитие, може към списъка с типове медии от най-високо ниво, признати от IETF да се добави и хаптичната технология.

- Изначално, 5G системите на 3GPP са проектирани да предоставят:
 - високонадеждни комуникации (например URLLC) базирани на услуги,

¹ Изследователска група по виртуализация на мрежовите функции NFVRG (Network Function Virtualization Research Group).

² Изследователска група за компютинг в мрежата COINRG (Computing In the Network Research Group).

³ В доклад на работната група DISPATCH на IETF.

ФУНКЦИОНАЛНИ ОСОБЕНОСТИ И ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ВНЕДРЯВАНЕТО НА ТАКТИЛЕН ИНТЕРНЕТ

ЦВЕТЕЛИНА СИМЕОНОВА, ВАСИЛ КЪДРЕВ

- комуникации с ниска латентност (напр. на базата на структурата Edge Computing),
- средства за индустриална автоматизация, например чувствителни към времето комуникации TSC (Time Sensitive Communications),
- разслояване в мрежата (Network Slicing).

Независимо от тези възможности, има множество възможни случаи на използване, които трябва да бъдат изследвани, например поддръжка през 5G системата на комуникационни услуги със строги изисквания (тактилни и мултимодални).

Във връзка с тези нови предизвикателства е предвиден анализ на разликите между новите потенциални изисквания и съществуващите изисквания и функционалности, поддържани от 3GPP (TR 22.847), особено за случаи на използване, които са многомерни преживявания в реално време, включително обратна връзка в затворен контур и управление при различен брой степени на свобода (DoFs), поддържани от дадено устройство. Изискванията за разглежданите случаи включват паралелно предаване на множество разновидности на реализация, свързани с едно и също приложение.

Също така, за конкретни случаи на използване, се вземат предвид параметри като надеждност, наличност, сигурност, поверителност, таксуване и идентифициране, според ключовия индикатор за ефективност KPI (Key Performance Indicator).

От друга страна, в документите на 3GPP, свързани с концепциите на 5G (TR 22.847 и TR 22.858) се разглеждат примери за удовлетворяване на предизвикателни приложения от здравната индустрия, както и за реализация на кабелна и безжична конвергенция при използване в жилищни среди.

- В отчет за 2020 г. на Фокус групата по технологии за развитие на мрежата 2030 (The Focus Group on Technologies for Network 2030) на ITU-T, са дадени проучвания на възможностите на мрежите към 2030 г. и след това, като TI се избира като представителен случай на използване за мрежа 2030, наред с другите, като комуникации от холографски тип и космическо-наземна интегрирана мрежа [10].

3. ОСОБЕНОСТИ НА 5G, СВЪРЗАНИ С РЕАЛИЗАЦИЯ НА ТАКТИЛЕН ИНТЕРНЕТ

Разработването на свързани стандарти е от основно значение за усъвършенстване на телекомуникационните мрежи, което, в контекста на TI, да ги прави подходящи за пренасяне, наред с други видове трафик, и на хаптичен трафик. [4]

Например, според дефинираните от ITU-T изисквания за 5G комуникационни системи [11], режимът на работа URLLC би могъл да обслужва и случаи на използване на TI. В стандартите на 3GPP за мобилни комуникационни системи, тези изисквания са реализирани [12], например в радио интерфейса на 5G NR (New Radio), където са групирани функции за намаляване на латентността и функции за повишаване на надеждността [13], формирайки функционалността на URLLC, ползвана от приложенията.

3.1. Особености на модулацията

NR се основава на множествен достъп с ортогонално честотно разделяне OFDM (orthogonal frequency-division multiple access) на каналите (подобно на 3GPP радиоинтерфейса на LTE). За разлика от LTE, NR осигурява гъвкава процедура, така че за генериране на сигнал може да се използват различни отстояния на подносещите (subcarrier spacings), което води до различни дължини на OFDM символа. [14]

По такъв начин, чрез увеличаване на отстоянието между OFDM подносещите от 15 kHz (както се използва в LTE) на 120 kHz, продължителността на 14-символния слот за предаване може да бъде намален от 1 ms на 125 μ s. Освен това са въведени минислотове, което позволява URLLC трафикът да може да използва дори по-кратки времеви слотове;

също така URLLC трафикът може и да изпревари текущите други предавания, за да намали времето за чакане в опашката на предавателя.

За връзката нагоре, за URLLC трафик е специфицирана схема за разпределение на ресурси без необходимост от предварителна заявка. С това се намалява времето за предаване, в сравнение с нормалната процедура за разпределяне на ресурси, при която устройството първо изисква от базовата станция ресурси за предаване и след това тези ресурси му се разпределят. За URLLC услуги такава схема позволява предварително конфигуриране на ресурсите за предаване по връзката нагоре, така че данните по нея да могат да бъдат предавани при следващата разпределена възможност за предаване.

3.2. Гарантиране на определена латентност

Посочените от 3GPP функции за повишаване на надеждността за NR, е с цел да се гарантира, че предаването на данни през радиоинтерфейса е в рамките на определена граница на латентност.

Те включват дефинирането на повишена стабилност, както при режимите на предаване, при схемите за кодиране и модулация, така и при режимите за предаване с много антени. В тази връзка, други характеристики са мултисвързаността, при която данните се дублират в предавателя и едновременно се предават към приемника чрез различни радиовръзки.

При реални мрежови внедрявания на URLLC в NR, практическите ограничения определят кои от тези функции и как може да се използват.

За приложения на TI при свързаност „от край до край“ (E2E), трябва да се вземат предвид, както параметрите на 5G мрежата за радиодостъп, така и на основната мрежа на 5G.

3.3. Нови комуникационни принципи при 5G

Комуникационната система 5G се базира на някои нови комуникационни принципи, които са от полза за TI [15].

Първият принцип е трансформирането на мрежовия дизайн при изграждането на мрежата - от хардуерен към софтуерно базиран (SDN). Това означава вместо да се изпълняват специфични мрежови функции в специализирани хардуерни възли, комуникационната инфраструктура е изградена от разпределена компютинг платформа, а мрежовите функции се реализират като софтуер, който се изпълнява на подходящ мрежови възел, което позволява да се конфигурира оптимизирана мрежова топология.

Също така, тъй като мрежовата инфраструктура представлява разпределена облачна (компютинг) платформа, в мрежата може да бъде реализирана както мрежовата функционалност, така и да се включват и изпълняват и приложни функции. Това позволява, за да се сведе до минимум латентността, локализирането на приложенията на места, които осигуряват най-добра производителност в базовата станция, като периферен компютинг (edge computing).

Основно предизвикателство остава, когато услугите на TI се прилагат на по-дълги разстояния.

4. ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ВНЕДРЯВАНЕ НА ТАКТИЛЕН ИНТЕРНЕТ

Основа за проектирането на системи, с използване на TI, е дефинирането на случаите на използване, съгласно базовия стандарт IEEE 1918.1, както и основните изисквания за всеки от тях, по отношение на ключови индикатори за производителност или ефективност, и други характеристики на трафика. [4]

4.1. Телеоперация (Teleoperation)

Терминът телеоперация (или дистанционна работа/операция/управление) се използва в изследователските и технически общности като стандартен термин за обозначаване на работа/операция от разстояние.

Телеоперацията позволява на хората да си взаимодействат с отдалечената среда при изпълнение на сложни задачи в далечна или недостъпна среда (по начин, който може да бъде многомерен).

Типичната телеоперационна система работи на принципа "главен-подчинен" (master-slave) и се състои от потребител (master) и подчинено (управлявано) устройство (slave), които обменят различни хаптични сигнали (сили, въртящи моменти, позиция, скорост, вибрации и т.н.), както и видео и аудио сигнали през комуникационна мрежа. По-специално, комуникацията (пренасянето) на хаптична информация налага строги изисквания за латентност и надеждност към комуникационната мрежа, тъй като затваря глобален управляващ контур между потребителя и управляваното устройство. TI има важно приложение за осигуряване на отдалечени взаимодействия на големи разстояния чрез безжични връзки.

Например, забавянето на комуникацията между тях може да застраши стабилността на телеоперацията и да се отрази негативно на качеството на приеманата информация от потребителя. С напредъка на системите за телеоперация чрез TI, те могат да се възползват от предлаганите комуникационни услуги със свръхниско закъснение (delay).

Изискванията за качество на услугата QoS (Quality of Service) и възможностите на системите за телеоперация варират значително в зависимост от динамиката на отдалечената среда, където е управляваното устройство. [4]

- Когато средата е силно динамична (напр. телефутбол, където потребителят управлява дистанционно своя роботизиран аватар във футболна игра), обменът на хаптични сигнали е изключително важен във времето, с изискване за латентност от 1–10 ms, за да може да се осигури взаимодействие с бързо движещи се обекти.

- За телеоперация в средно динамична среда (например телехирургия и телерехабилитация), управляваното устройство може да реагира с намалена скорост, като изискването за латентност при хаптичен обмен на данни при този сценарий се удължава до 10–100 ms.

- За телеоперация в статична или полустатична среда (напр., дистанц. поддръжка), изискването за латентност може да бъде допълнително удължено до 100ms–1s.

- **Безжични мрежови системи за управление NCS (Networked Control Systems):**

Безжичните NCS са разпределени системи, състоящи се от сензори, изпълнителни механизми и контролери, в които сигналите за управление и обратна връзка се обменят в обща комуникационна мрежа с помощта на глобален контур за управление със строги ограничения на латентността.

NCS се сблъскват с предизвикателството на неустойчивост/нестабилност в безжичните канали поради наличието на латентност и загуби на пакети. В тази връзка, комуникационни решения с използване на TI може да предоставят на безжичните NCS висока надеждност/безотказност и свръхниска латентност. [16]

- **Интелигентни енергийни системи (Smart Energy Systems):**

С напредъка в технологиите за интелигентни енергийни мрежи, съществуващата енергийна екосистема ще се трансформира до Интернет на енергията (Internet of Energy), което дава възможност за различни функции, като разпределено производство на енергия, взаимосвързана мрежа за съхранение и адекватна реакция по отношение на търсенето.

TI може да осигури гъвкава свързаност, за да отговори на предизвикателството за постигане на динамично управление на разпределените блокове за енергоснабдяване. [16]

- **Тактилни роботи (Tactile Robots):** Въз основа на развитието на електрониката, технологиите за взаимодействие човек-машина, техниките за изкуствен интелект и хаптичните устройства, т.нар. кинестетичен софт робот (kinesthetic soft robot) ще се развие към следващо поколение, т.е. тактилен робот (Tactile Robot).

Тактилният робот е предвиден да осигури на човека оператор на значителни разстояния напълно многомерно дистанционно представяне на човек, подобро чрез AI и с възможност за извършване на физически взаимодействия и обратна връзка с висока точност. Такава обратна връзка от тактилния робот до човека се осигурява с помощта на свързани носими устройства и различни модули (за тактилно усещане, температура, налягане и аудиовизуално възприятие).

В сравнение със сегашното поколение софт роботи (soft robots), тактилният робот предоставя някои предимства, включително алгоритми за безопасност, двустранна тактилна обратна връзка и подобрени показатели за качество [16].

- **Индустриална автоматизация (Industrial Automation):** Индустриалната автоматизация в интелигентните фабрики е една от ключовите области на приложение на IT. Индустриалната революция, (т.нар. Индустрия 4.0), състояща се от системи за съхранение, интелигентни машини и производствени съоръжения, се очаква да има възможности за реакция в реално време, автономен обмен на информация с използване на безжична свързаност, подобрена гъвкавост и възможности за самоорганизация. За разлика от днешните системи за управление, се очаква бъдещите индустриални системи за управление да използват изцяло или частично безжична свързаност, за да се подобри гъвкавостта на производствения процес. Това налага паралелното разглеждане на въпроси свързани с надеждност, латентност, консумация на енергия и сигурност. Различните индустриални приложения могат да имат различна скорост на предаване на данни, латентност "от край до край" и изисквания за сигурност.[16, 17, 18, 19].

4.2. Автомобили (Automotive)

Бъдещите автомобили изискват постоянна връзка с други автомобили и инфраструктури, за да може да реагират при критични ситуации.

За вземане на адекватно решение по време на разнообразните събития при шофиране, данните от сензорите на превозното средство, използвани от водача, трябва да се предават в реално време с почти нулево закъснение.

В рамките на стандартите IEEE 802.1 (IEEE 802.1BA, IEEE 802.1AS, IEEE 802.1Qat и IEEE 802.1Qav) понастоящем са стандартизирани вътрешните мрежи в превозните средства, като се отчитат тенденциите в автомобилните високоскоростни мрежи и изискванията за свръхниска латентност.

Добавянето на нови приложения в превозни средства, като камери с висока разделителна способност (4K и 8K) и сензори, всички те генериращи голям обем на данни, се ръководи от тези изисквания. Такъв голям обем от данни в рамките на превозното средство се използва за подпомагане на водача при шофиране в критични ситуации.

За да се намали латентността при предаване между електронните блокове за управление, в IEEE 802.1 се предлагат нови Ethernet стандарти, конкретно за мрежите на превозни средства.

В тази връзка, предстои стандартизация на автомобилните аудио-видео свързващи мостове (Automotive audio–video bridging) и на мрежите чувствителни към времето (time-sensitive networks). Това ще позволи използване на нови подобрени приложения за

дистанционно управление на функциите за шофиране, които да се базират на съвместяване на данните от сензори в превозното средство и от външни сензори.

Целевата горна граница на закъснението (delay) на вътрешната мрежа в автомобила (in-vehicular network) е под 1 ms.

За да се поддържат горните граници на латентността, може да е подходящо използването на компютинг устройство в периферията на мрежата (edge unit), което ще подпомага локалното вземане на решение между различен брой автомобили (при 5G мрежи). [4]

4.3. Многомерна виртуална реалност IVR (Immersive Virtual Reality):

Многомерната виртуална реалност IVR (Immersive Virtual Reality) описва случай на човек, който взаимодейства с виртуални обекти в отдалечена среда, така че да се постига възприятие за взаимодействие с реален физически свят. Тази технология се използва за предоставяне на хора на мултисензорна информация (аудио, видео и хаптична) при различни условия на околната среда. За пълна многомерност във виртуалната среда, потребителите трябва да възприемат с всичките пет сетива (зрение, звук, докосване, мирис и вкус).

За виртуална реалност VR (Virtual Reality) съществуват много приложения, особено в областта на видео приложенията и игрите, т.е. най-вече от развлекателната индустрия.

От друга страна, IVR системите вече имат приложения, както и голям потенциал да бъдат използвани в множество области, включително образование, здравеопазване и трансфер на умения, като обучение на шофьори, пилоти и хирурзи.

Колко реална е създадената виртуална среда при IVR се определя от степента на многомерност (degree of immersion).

При използване на системи за VR може да се забележи дори малка грешка или несъответствие при подготовката на отдалечената среда, тъй като хората са доста чувствителни към тях.

Ето защо, за постигане в крайна сметка на многомерно изживяване, е от съществено значение виртуалната среда да е с високо качество (изображения с висока разделителна способност и 3-D стерео аудио).

Освен това, при TI като платформа за IVR, интерес представлява латентността. За да се избегне "болестта на симулатора", забавянето (delay) на движението и на фотоните (времената разлика между движението на потребителя и съответната промяна на видео изображението на дисплея) трябва да бъде по-малко от 20 ms. Понастоящем най-добрите VR комплекти имат латентност по-малко от 5 ms. Следователно, латентността на комуникацията за аудио-видео медии през TI трябва да бъде по-малка от 15 ms.

Що се отнася до хаптичната обратна връзка, за точно завършване на хаптични операции, латентността трябва да бъде по-малка от 25 ms.

Тъй като представянето/изобразяването и хардуерът въвеждат известно забавяне, забавянето на комуникацията за хаптична модалност (modality) трябва да бъде (от разумна гледна точка), по-малко от 10 ms. В резултат на това, за IVR системи, е доста подходяща TI платформа със свръхниска латентност. [4]

4.4. Интернет на дроне (Internet of Drones)

Интернет на дроне IoD (Internet of Drones) се дефинира като конкретна телекомуникационна структура, базирана на мрежова архитектура, специално насочена към поддържане на комуникации между автономни летящи превозни средства и редица наземно разположени мрежови обекти.

Безпрецедентното развитие на безпилотните летателни апарати (дроне) води до тяхното широко използването за разнообразни цели - доставка на колети или жизненоважни предмети (напр. спешни медикаменти или медицинско оборудване за пациенти и критични спешни компоненти за дадени задачи).

Понастоящем някои иновативни фирми (Amazon, Google и DHL) вече са тествали осъществимостта на системите за доставка чрез дроне (независимо, че много малък брой дроне са участвали в тестването).

Тъй като се увеличава мащабът на използване на системите за доставка чрез дроне, в дългосрочна перспектива ще е необходимо управление на трафика за доставка чрез дроне (подобно на системата за управление на въздушното движение, прилагана за гражданската авиация).

Като се има предвид, че броят на използваните дроне се очаква да бъде много голям (с различни набори от дроне, дори управлявани от различни компании), и въпреки, че дроновете следват предписани и внимателно проектирани маршрути, сблъсъците и други конфликти между дроне ще бъдат неизбежни.

В резултат на това, с цел динамично определяне (разпределяне) на маршрутите, към център за управление ще е необходимо да се предават в реално време: GPS данни, аудио/видео данни, и т.н., получени от различни сензори в дроновете.

Поради високата скорост на дроновете и сложността на системата за доставка, за да се избегнат повреди на дроне и доставяни пакети, както и имущество и хора по маршрутите (поради сблъсъци с дроне), ще е необходима обслужваща комуникационна мрежа с ниска латентност. Системата за доставка чрез дроне, изградена на базата на ПИ, ще бъде възможно да гарантира свръхниската латентност, ефективност, надеждност и цялостна безопасност.

В обзримо бъдеще дроновете ще бъдат многофункционални и ще могат да изпълняват сложни задачи, като търсене и спасяване на хора или ценни предмети на опасни места, поддръжка и ремонт на устройства разположени на труднодостъпни места.

В този контекст хора, а не машини, могат да действат като управляващи (master), а дроновете са подчинени (slaves). Следователно ще бъдат включени не само GPS, аудио и видео данни, но през комуникационната мрежа ще се предава и хаптична (кинестетична и тактилна) информация.

Мрежовата латентност за предаване на аудио изображение и за управление в реално време ще трябва да бъде по-малка, съответно, от 40 и 20 ms. [4]

4.5. Междуличностна комуникация (Interpersonal Communication)

Междуличностната комуникация е обмен на информация между двама или повече души, свързано с разбирането как хората използват вербални и невербални знаци, за да постигнат редица лични и релационни цели.

Човешкото докосване под различни форми, включително ръкостискане, потупване или прегръдка, е от основно значение за физическото, социалното и емоционалното развитие на хората. Например, при близки отношения, като при семейство и приятели, докосването играе важна роля за ефективна комуникация.

Хаптичната междуличностна комуникация НИС (Haptic Interpersonal Communication) има за цел да улесни опосредствено докосване чрез предаване на сигнали (кинестетични и/или тактилни знаци) през компютърна мрежа, за да се усети присъствието на отдалечен потребител и да се извършат социални взаимодействия.

Спектърът на приложения на системи за НИС се простира от социални мрежи, игри и забавления до образование, обучение и здравеопазване.

Типичната НИС система се състои от локален потребител и локален потребителски модел в отдалечената среда, както и отдалечен участник и модел на отдалечен участник в локалната среда.

Поддържането на "човешки" модел за дистанционно използване включва обмен на хаптични данни (позиция, скорост, сили на взаимодействие и т.н.) и нехаптични данни (жестове, движения на главата и поза, контакт с очите, изражения на лицето и т.н.).

Системата НИС поддържа два типа взаимодействия:

- диалогово взаимодействие, което включва присъствие и въздействие на отдалечен участник;
- наблюдение на взаимодействието, което включва възприемане на присъствието на отдалечен участник.

Трябва да се обърне внимание, че човешките модели (отдалечен участник или локален потребител) могат да бъдат или физически обект/субект (entity) (като социален робот), или виртуално представяне (като аватар на виртуалната реалност).

С напредъка на ТІ, междуличностните комуникационни системи могат да се възползват от високото ниво на съвместно присъствие чрез предлаганите свръхнадеждни комуникационни услуги в реално време.

Изискванията за качество на обслужване QoS и възможностите на НИС системите варират значително в зависимост от динамиката на взаимодействието с отдалечения участник.

В диалогов режим, при който взаимодействието е силно динамично (например взаимодействие терапевт-пациент, където терапевтът управлява дистанционно локален роботизиран аватар, за да помогне на местния пациент да изпълнява рехабилитационни упражнения), забавянето (delays) и надеждността на хаптичната комуникация на данни са от първостепенно значение за безопасната комуникация (изискване за закъснение 0–50 ms).

За режима на наблюдение, при който взаимодействието е статично или квазистатично (например система за телеобучение, където обучаемият ще наблюдава представянето на дистанционен учител), изискването за латентност може да бъде допълнително разширено до 0–200 ms. [4]

4.6. Излъчване на живо с активирани хаптични компоненти (Live Haptic-Enabled Broadcast)

Излъчването е свързано с продължаващото развитие в качеството на картината (от „4К“ вече до „8К“), поточно видео (streaming), както на пост-продуцирано, така и на съдържание на живо (вкл. спорт), използване на нови аудио формати и на виртуална реалност. Потребителите са зрители у дома и в движение, използващи смартфони и таблети, (като основен или „втори екран“) за гледане на телевизия, което води до предизвикателства и възможности за онлайн ползване на новите технологии.

По този начин, на потребителите се предоставят различни видове персонализирано и многомерно "изживяване" (experience), което те търсят.

От друга страна, дори с всички тези съществени подобрения в качеството на видео и аудио излъчването, все още липсва един важен аспект - да се даде възможност на зрителя способността действително да „почувства“, „усети“ или „възприеме“ действието на екрана, чрез създаване на наистина многомерен и персонализиран образ.

Хаптично-тактилно излъчване е използване на технология "от край до край" (E2E), включваща: улавяне, кодиране и излъчване, след това предаване и транспортиране с всякакви подходящи средства, и накрая декодиране, преобразуване и доставяне на „усещането“ или на „въздействието“ или на „движението“ на събитие както е на живо, така че отдалеченият зрител да може да изпита същото хаптично-тактилно изживяване на събитието на живо.

Именно добавянето на този хаптично-тактилен компонент е съществено допълнение към аудио и видео компонентите, което прави такова излъчване съществено различно от традиционните поточни излъчвания на съдържание.

Този случай на използване има за цел да осигури средства за осигуряване на хаптично-тактилен компонент като неразделна част от събитие на живо, което се разпространява до крайния потребител по Интернет. За крайния потребител, независимо къде се намира, хаптично-тактилните данни се декодират и преобразуват в цифров или аналогов сигнал, който се използва от подходящия потребителски хаптично-тактилен хардуер, така че крайният потребител да може да изпита по същество същите хаптично -тактилни ефекти като оригиналното хаптично -тактилно събитие. [4]

4.7. Кооперативно автоматизирано шофиране (Cooperative Automated Driving)

- Кооперативно шофиране: Кооперативно шофиране означава, че отделните превозни средства и шофьорите действат съвместно в рамките на трафика. Това означава, че отделните участници в трафика координират своите индивидуални цели и действия за да се постигне подобрен цялостен ефект.
- Автоматизирано шофиране: Автоматизацията изпълнява процеси и процедури без човешка намеса, т.е. автоматизирано шофиране е шофиране без човешка намеса. Понякога се прави допълнителна диференциация между напълно автоматизирано шофиране и различните нива на автоматизация (според SAE (Society of Automotive Engineers)).

Повечето съществуващи понастоящем самоуправляващи се превозни средства използват функции за наблюдение и управление на дадено превозно средство, които обаче имат ограничено възприятие и способности за маневриране.

Без наличие на сътрудничество (cooperation) полето на възприятие на превозното средство е ограничено до локалното покритие на бордовите сензори.

Също така, без информация за това как ще се държат съседните превозни средства, автономната автоматизирана система за управление трябва самостоятелно да определи граница на безопасност в планираната траектория, което от своя страна ще доведе до намаляване на интензивността на трафика.

В резултат, за да се гарантира едновременно безопасност и ефективност на движението, особено при висока плътност на самоуправляващи се превозни средства, е необходима промяна на принципите на възприемане и управление "от всеки един автомобил към много превозни средства".

Такава възможност се предоставя от TI за случаите при комуникации "превозно средство-превозно средство/ инфраструктура" V2V/V2I (vehicle-to vehicle/ infrastructure) или "превозно средство-към всичко" V2X (vehicle-to-any).

TI при V2X позволява бърз и надежден обмен на детайлни сензорни данни между превозните средства, заедно с хаптична информация за траекториите на шофиране, позволявайки съвместно възприятие и функционалности за маневриране.

Чрез свързаност с използване на TI, превозните средства могат съвместно да възприемат средата на шофиране въз основа на бързо съвместяване на данните от локални и отдалечени карти (с висока разделителна способност), изградени от бордовите сензори на околните превозни средства (например, видео стрийминг от камера, радар или лидар). Това позволява да се увеличи обхватът на засичане от всяко превозно средство и да се разшири времевият хоризонт за прогнозиране на ситуацията, с очевидни ползи за безопасността.

Освен това, при съвместно маневриране, непрекъснатото споделяне и договаряне на планираните траектории позволяват на превозните средства да се синхронизират с общ модел на мобилност. Тъй като се намалява несигурността по отношение на динамиката на

**ФУНКЦИОНАЛНИ ОСОБЕНОСТИ И ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ВНЕДРЯВАНЕТО НА ТАКТИЛЕН
ИНТЕРНЕТ
ЦВЕТЕЛИНА СИМЕОНОВА, ВАСИЛ КЪДРЕВ**

съседните превозни средства, пространството може да бъде намалено до безопасно, формирайки тесни автономни колони, с ясни ползи за ефективността на движението.

Автономните, интелигентни и кооперативни автомобилни системи изискват бъдещите системи на ТІ да отговарят на строгите ограничения по отношение на латентност, надеждност/безотказност и управление на стабилността.

В съществуващите V2X стандарти (т.е. IEEE 802.11p/WAVE и ETSI ITS-G5) се описват услуги за помощ на водача (driver assistance) и за частична автоматизация, но понастоящем те не са в състояние да покрият изискванията при по-високи нива на автоматизация.

Като пример, в съществуващите системи първо поколение (1G V2X), скоростта на данни е ограничена до 3 – 27 Mbps (поддържа се само обмен на силно обобщена информация), скоростта на актуализиране на съобщението е 10 Hz, а забавянето "от край до край" (E2E) варира от 100 ms до 20 ms.

От друга страна, за стабилен контрол на колона от превозни средства, е необходима латентност до 1 – 10 ms. Скоростта на данни за осигуряване на съвместно възприемане е в зависимост от разделителната способност на обменяните карти и варира от няколко десетки Mbps до 1 Gbps (в перспектива). Също така, понастоящем, бордовите сензори на самоуправляващите се автомобили генерират потоци от данни до 1 Gbps.

Всички тези изисквания за свързване на превозни средства и инфраструктура с цел осигуряване на услуги за съвместно шофиране, водят до нови мрежови архитектури и използване на мрежи със свръхниска латентност, базирани на ТІ. [4]

5. СПЕЦИФИКА НА ФУНКЦИОНАЛНИТЕ ОСОБЕНОСТИ ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕТО НА ТАКТИЛЕН ИНТЕРНЕТ

В табл. 1, въз основа на анализа на случаите на използване, е дадено влиянието на категориите на ТІ върху различни сектори.

Таблица 1. Влияние на категориите на ТІ върху отделните сектори.

- ✓ силно влияние
- средно влияние
- слабо влияние

Категория	Сектор								
	Комуникации	Индустрия	Образование	Транспорт	Енергетика	Икономика	Медицина	Земеделие	Развлечения
1. Телеоперация	✓	✓	•	•	✓	✓	✓	✓	✓
2. Автомобили	✓	✓	-	✓	-	✓	-	•	-
3. Многомерна виртуална реалност	✓	-	•	-	-	•	-	-	✓
4. Интернет на дронове	✓	✓	•	✓	-	•	-	✓	-
5. Междуличност на комуникация	✓	-	✓	-	-	•	•	-	✓
6. Излъчване на живо с активирани хаптични компоненти	✓	-	•	-	-	•	-	-	✓
7. Кооперативно автоматизирано шофиране	✓	✓	-	✓	-	•	-	•	-

Въз основа на анализ на случаите на използване на ТІ (с отчитане на URLLC в 5G), както и въз основа на табл. 1, може да се обобщят характерни случаи (по отношение на предизвикателствата към основната комуникационна мрежа с ТІ), базирани на изискванията към ключови параметри, както следва. [4]

5.1. Пример за случай на използване на ТІ при екстремни изисквания: Телеоперация

При този случай комуникацията е двупосочна.

Надеждност: изключително високи изисквания.

Целта е да се избегне всякакъв риск от значителни (скъпи) щети в индустриални или телеоперативни сценарии, или дори по-лошо, когато увреждането може да доведе до смърт в случай на дистанционна хирургия.

Латентност: най-строги изисквания 1 ms двупосочно.

При машина с много по-бърза реактивност (в сравнение с човек) може да се действа като локално управление (като клиент на хаптична услуга),

При силно динамична отдалечена среда също може да са необходими най-строги изисквания за латентност.

В такива случаи отдалечената среда може да бъде по-трудна за подражание, като се има предвид по-високата степен на необходимата надеждност и потенциално други аспекти като динамичност.

5.2. Пример за случай на използване на ТІ при средни изисквания: Междупersonна комуникация.

При този случай комуникацията е двупосочна.

Надеждност: по-облекчени изисквания

Латентност: двупосочно "от край до край", 5 ms или повече може да бъде приемливо, предвид по-бавната човешка реактивност.

Дистанционното моделиране в такива случаи ще бъде опростено, като се има предвид аспектът на сравнително намалената надеждност. Това е уместно, тъй като този случай на използване дава добър пример за потенциалното използване на поддръжка на локална крайна/ периферна (edge) мрежа на ТІ (Support Engine) чрез локални модели на отдалечените участници, които се поддържат във всяка периферия.

5.3. Пример за случай на използване на ТІ със силно облекчени изисквания: Излъчване на живо с активиран хаптичен компонент.

При този случай комуникацията е еднопосочна.

Латентност: може да е приемлива в рамките на стотици милисекунди или дори секунди.

При такава продължителна латентност всички компоненти във възпроизвеждания поток може да отговарят на изискванията за синхронизация. Това се отнася и за хаптичната обратна връзка, която също трябва да бъде синхронизирана, тъй като е наложително крайните потребители да свързват хаптично-тактилни ефекти както с видеото, така и с аудио съдържанието, излъчвано в програмите.

При високо динамично екшън видео съдържание синхронизирането на аудио, видео и хаптични данни е много важно, тъй като потребителите могат да свържат хаптични ефекти дори по-тясно с това, което виждат на екраните си, отколкото с това, което чуват. Очакванията им се изразяват в това, че трябва да „усетят“ или „изживеят“ визуално изобразени събития, докато се случват, независимо дали събитието се чува.

Заб.:

1. Синхронизирането на данни от различни типове модалности, във всички случаи на използване на ТИ, винаги е от първостепенно значение за качеството на изживяването QoE (quality of experience) на потребителите.
2. Синхронизирането на аудио, видео и хаптични данни може да бъде постигнато чрез буфериране на приемника, като по този начин се премахва изцяло предизвикателството за комуникационната мрежа при постигане на необходимата латентност (например джитер).
3. Синхронизацията трябва да е с точност в мащаб на наносекунда.

Надеждност:

Изискванията към надеждността също са намалени значително, дори до степента, в която каналът е еднопосочен, и няма обратна връзка или друг механизъм за възстановяване на надеждността.

Заб.:

Използването на разпръсквателна комуникационна среда с обширно кодиране или многосвързани решения за излъчване, може да доведе до висока степен на надеждност, а в случай на мултисвързаност, дори може да се счита за изявено решение за надеждност за 5G.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направен е сравнителен анализ на случаите на използване по отношение на ключови параметри (надеждност, латентност, динамичност) и сектори на влияние.

Случаят на използване "телеоперация" се очаква да присъства във всички сектори, докато "автомобили" и "Интернет на дроне", се очаква да имат ограничено присъствие, а "многомерна виртуална реалност" се очаква да има сравнително специфично приложение. От друга страна, секторът "комуникации" ще бъде най-силно повлиян от случаите на използване, в сравнение с другите сектори, например "енергетика" и "образование".

Направено е обобщение на характерни случаи на използване, базирано на ключовите параметри латентност и надеждност (при строги, средни и ниски изисквания).

ЛИТЕРАТУРНИ ИЗТОЧНИЦИ (REFERENCES):

- [1] The Tactile Internet ITU-T Technology Watch Report August 2014. *International Telecommunication Union* [online]. [viewed November 2020]. Available from: https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/23/01/T23010000230001PDFE.pdf
- [2] СИМЕОНОВА, Цветелина. *Развитие на перспективните технологии в „Интернет на свързаните неща“ IoT (Internet of Things)*. София: Асеневи, 2021. ISBN 978-619-7586-25-1. [SIMEONOVA, Tsvetelina. *Razvitie na perspektivnite tehnologii v „Internet na svarzanite neshta“ IoT (Internet of Things)*. Sofia: Asenevtsi, 2021. ISBN 978-619-7586-25-1.]
- [3] New Services and Capabilities for Network 2030: Description, Technical Gap and Performance Target Analysis. Focus Group on Technologies for Network 2030. *International Telecommunication Union* [online]. 2019 [viewed November 2020]. Available from: https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Documents/Deliverable_NET2030.pdf
- [4] HOLLAND, O., et al. The IEEE 1918.1 „Tactile Internet“ Standards Working Group and its Standards. *Proceedings of the IEEE* [online]. 2019, vol. 107(2), pp. 256-279 [viewed 16 January 2023]. ISSN 0018-9219. Available from: DOI 10.1109/JPROC.2018.2885541
- [5] Tactile Internet Working Group. *IEEE Standards Association* [online]. 2016 [viewed 10 January 2023]. Available from: <http://ti.standards.comsoc.org>
- [6] SARATHCHANDRA, Chathura, et al. Enabling Bi-directional Haptic Control in Next Generation Communication Systems: Research, Standards, and Vision. *Arxiv.org* [online]. [viewed 10 January 2023]. Available from: <https://arxiv.org/pdf/2104.04297.pdf>
- [7] BERNARDOS, C. J., et al. Network virtualization research challenges. *IETF Datatracker* [online]. 2019 [viewed 10 January 2023]. Available from: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-irtf-nfvrg-gaps-network-virtualization-10>
- [8] KUNZE, I., K. WEHRLE, D. TROSSEN, and M. MONTPETIT. Use cases for in-network computing. *IETF Datatracker* [online]. 2022 [viewed 10 January 2023]. Available from: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-irtf-coinrg-use-cases>

- [9] MUTHUSAMY, Y. K. and C. ULLRICH. The „haptics“ top-level media type. *IETF Datatracker* [online]. 2022 [viewed 10 January 2023]. Available from: <https://www.ietf.org/id/draft-ietf-mediama-haptics-02.html>
- [10] Representative use cases and key network requirements for network 2030. Technical Report. *International Telecommunication Union* [online]. 2020 [viewed 10 January 2023]. Available from: <https://www.itu.int/pub/T-FG-NET2030-2020-SUB.G1>
- [11] Minimum Requirements Related to Technical Performance for IMT-2020 Radio Interface(s). *International Telecommunication Union* [online]. 2017 [viewed 10 January 2023]. Available from: <https://www.itu.int/md/R15-SG05-C-0040>
- [12] The Work Plan. *3GPP Specifications* [online]. 2018 [viewed 10 January 2023]. Available from: <http://www.3gpp.org/specifications/work-plan>
- [13] SACHS, J., et al. 5G radio network design for ultra-reliable low-latency communication. *IEEE Network* [online]. 2018, vol. 32(2), pp. 24-31 [viewed 10 January 2023]. ISSN 0890-8044. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8329620>
- [14] 5G Extreme Requirements: Radio Access Network Solutions. *Next Generation Mobile Networks* [online]. [viewed 10 January 2023]. Available from: <https://www.ngmn.org/publications/5g-extreme-requirements-radio-access-network-solutions.html>
- [15] SACHS, J., et al. Adaptive 5G low-latency communication for tactile Internet services. *Proceedings of the IEEE* [online]. 2019, vol. 107(2), pp. 325-349 [viewed 10 January 2023]. ISSN 0018-9219. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8454733>
- [16] SHARMA, Shree Krishna, Isaac WOUNGANG, Alagan ANPALAGAN, and Symeon CHATZINOTAS. Towards Tactile Internet in Beyond 5G Era: Recent Advances, Current Issues and Future Directions. *IEEE Xplore* [online]. 2020, vol. 8, pp. 56948 - 56991 [viewed 10 January 2023]. ISSN 2169-3536. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9034103>
- [17] ПАСАРЕЛСКИ, Росен и Теодара ПАСАРЕЛСКА. Анализ, мониторинг и контрол на мрежовия трафик в интернет. *Сборник доклади от Годишна университетска научна конференция 03 - 04 юли 2014 г. на Национален военен университет „Васил Левски“: Научно направление „Технически науки“*. Т. 9. Велико Търново: Издателски комплекс на НБУ „Васил Левски“, 2014, с. 53-66. ISSN 1314-1937. [PASARELSKI, Rosen i Teodora PASARELSKA. Analiz, monitoring i kontrol na mrezhovia trafik v internet. V: *Sbornik dokladi ot Godishna universitetska nauchna konferentsia 03 - 04 yuli 2014 g. na Natsionalen voenen universitet „Vasil Levski“: Nauchno napravlenie „Tehnicheski nauki“*. Т. 9. Veliko Tarnovo: Izdatelski kompleks na NVU „Vasil Levski“, 2014, s. 53-66. ISSN 1314-1937.]
- [18] ПЕТРОВ, Георги Костадинов. *Развитие на Интернет и отворените системи*. Ч. 1. София: Авангард Прима, 2017. ISBN 978-619-160-834-8. [PETROV, Georgi Kostadinov. *Razvitie na Internet i otvorenite sistemi*. Ch.1. Sofia: Avangard Prima, 2017. ISBN 978-619-160-834-8.]
- [19] IVANOVA, Yoana. Assessment of the probability of cyberattacks on transport management systems. Publication of Union of Scientists in Bulgaria. *International Journal on Information Technologies and Security (IJITS)* [online]. 2018, vol. 10(4), pp. 99-106 [viewed 10 January 2023]. ISSN 1313-8251. Available from: <https://ijits-bg.com/contents/IJITS-No4-2018/2018-N4-10.pdf>

Информация за автора:

ас. д-р инж. Цветелина Симеонова, НБУ, департамент "Телекомуникации", ул. Монтевидео № 21, Тел.: 02 8110609, tsvsimeonova@nbu.bg
доц. д-р Васил Къдрев, НБУ, департамент "Телекомуникации", Тел.: 02 8110609, vkadrev@nbu.bg

Contacts:

Assist. Prof. Tsvetelina Simeonova, PhD, New Bulgarian University, Department "Telecommunications", Tel.: 02 8110609, e-mail: tsvsimeonova@nbu.bg
Assoc. Prof. Vasil Kadrev, PhD, New Bulgarian University, Department "Telecommunications", Tel.: 02 8110609, vkadrev@nbu.bg

Дата на постъпване на ръкописа (Date of receipt of the manuscript): 15.02.2022

Дата на приемане за публикуване (Date of adoption for publication): 30.09.2022