Предмет: ''Надійність, діагностика та експлуатація комп’ютерних систем та мереж".

Дата \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Група \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Тема заняття:** Методи забезпечення якості обслуговування мережі.

**Мета навчальна**: отримання студентами теоретичних знань з існуючих методів забезпечення якості обслуговування мережі.

**Мета виховна:** виховувати інформаційну культуру, увагу, активність.

**Мета розвивальна:** розвивати у студентів вміння аналізувати та систематизувати інформацію, висловлювати власну думку.

**Обладнання**: настінні плакати.

**Предмети забезпечуючі**: ''Комп’ютерні системи та мережі".

**Предмети забезпечувані**: Дипломне проектування.

**Література:** 4. ОлиферВ.Г., ОлиферН.А.- Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2010 – 944с.

Хід заняття.

1. Організаційний момент.

2. Актуалізація опорних знань учнів: фронтальне опитування з елементами бесіди.

3. Повідомлення теми, мети, переліку питань. Мотивація діяльності учнів. Постановка проблемного завдання.

**Знати**: методи забезпечення якості роботи мережі.

**Завдання**: отримання студентами знань стосовно реалізації методів забезпечення якості роботи мережі.

4. Зміст та послідовність питань теми:

1. Загальне поняття про методи забезпечення якості обслуговування (QoS), огляд методів QoS.

2. Застосування і якість обслуговування. Передбачуваність швидкості передачі даних

3. Чутливчсть тарфіку до затримок пакетів.

4. Чутливчсть тарфіку до втрат і спотворень пакетів.

5. Класи застосувань.

5. Перевірка якості засвоєння матеріалу:

1. Що таке методи QoS?

2. Що таке чутливість тарфіку до втрат і спотворень?

3. Які існують класи застосувань?

6. Підведення підсумків заняття.

7. Домашнє завдання: [4]с.184-187, Сам.: [4]с.187-189

Викладач:

Згідно прогнозам компанії Cisco Systems у 2021 році світовий місячний IP -трафік досягне 35 ГБ на душу населення у порівнянні з 13 ГБ - в 2016 році [1]. В умовах стрімкого зростання об’єму даних, що передаються по мережах, зростають вимоги до забезпечення якості обслуговування (QoS - Quality of Service). За рекомендацією ITU-T E.800 QoS - це сумарний ефект продуктивності обслуговування, який визначає ступінь задоволеності користувача послуг.

Впровадження мобільного зв’язку 4G в Україні ще більше актуалізувало питання забезпечення його якості. Офіційно на даний час мережами мобільного зв’язку четвертого покоління признані LTE - Advanced, яка більш відома широкому загалу населення, оскільки є результатом еволюції попередніх поколінь стільникового зв’язку, і WiMAX - Advanced, яка із самого початку створювалася як мережа пакетної передачі даних, тому має більш просту архітектуру, високий рівень захисту у порівнянні з LTE та, в основному, використовується для вирішення специфічних задач, де застосовуються ці переваги.

Значний внесок у розвиток концепції QoS вносить Міжнародний союз електрозв’язку (ITU): ряд рекомендацій ITU-T безпосередньо стосується QoS. Інститут інженерів електротехніки та електроніки (IEEE) і Асоціація обчислювальної техніки (ACM) кожний рік організують міжнародні симпозіуми з якості обслуговування (IWQoS). По цій тематиці написано багато книг та статей. Окремо можна виділити монографії: Дісана Д., Засецького А.В., Іванова А.Б., Кучерявого Е.А. та ін.

Об’єктами дослідження є технологія QoS та механізми її реалізації в мережах мобільного зв’язку четвертого покоління. Ціль - висвітлити основні концепції технології QoS в мережах LTE - Advanced і WiMAX - Advanced та дослідити їх відмінності. Для досягнення мети були поставлені наступні задачі: проаналізувати рекомендації ITU-T, які стосуються QoS, інші інформаційні джерела та надати порівняльну характеристику механізмів QoS в мережах мобільного зв’язку 4G. Дослідження проводилися із застосуванням загальнонаукових методів шляхом аналізу науково -технічної інформації за даною тематикою.

Основними параметрами QoS є смуга пропускання (Bandwidth), затримка при передачі пакета (Packet Delay) або латентність (latency), коливання затримки при передачі пакетів (Jitter) і втрата пакетів (Packet Loss). Степінь важливості забезпечення тих чи інших параметрів залежить від типу трафіка, управління доставкою якого реалізується QoS.

Управління пропускною здатністю при перевантаженні здійснюється за допомогою механізмів планування черг пакетів на вузлах транспортної телекомунікаційної мережі. Якщо перевантажень немає - черги не працюють. При перевантаженні пакети відкидаються на підставі оцінки середньої довжини черги, а їх джерело попереджається про зменшення швидкості передачі.

**1. Вимоги до якості обслуговування додатків різних типів**

Сучасна тенденція конвергенції мереж різних типів, про що розповідалося в розділі 1, привела до необхідності перенесення мережею всіх видів трафіку, а не тільки традиційного для комп'ютерних мереж трафіку додатків доступу до файлів і електронної пошти.

У попередньому розділі ми перерахували різні характеристики QoS, за допомогою яких оцінюється якість передачі трафіку через мережу. Характеристики QoS особливо важливі в тому випадку, коли мережа передає одночасно трафік різного типу, наприклад трафік веб-додатків і голосовий трафік. Це пов'язано з тим, що різні типи трафіку пред'являють різні вимоги до характеристик QoS. Домогтися одночасного дотримання всіх характеристик QoS для всіх видів трафіку дуже складно. Тому зазвичай використовують наступний підхід: класифікують всі види трафіку, існуючі в мережі, відносячи кожен з них до одного з поширених типових видів трафіку, а потім домагаються одночасного виконання певного підмножини з набору вимог для цих типів трафіку.

До теперішнього часу проведено велику роботу по класифікації трафіку додатків. В якості основних критеріїв класифікації були прийняті три характеристики трафіку:

- відносна передбачуваність швидкості передачі даних;

- чутливість трафіку до затримок пакетів;

- чутливість трафіку до втрат і спотворень пакетів.

# 2. Передбачуваність швидкості передачі даних

Відносно передбачуваності швидкості передачі даних трафік додатків ділиться на два великі класи:

- потоковий трафік (stream);

- пульсуючий трафік (burst).

Додатки з потоковим трафіком породжують рівномірний потік даних, який надходить в мережу з постійною бітовою швидкістю (Constant Bit Rate, CBR). При використанні методу комутації пакетів трафік таких додатків є послідовність пакетів однакового розміру (рівного У біт), що слідують один за одним через один і той же інтервал часу Т (рис. 7.1).

Постійна швидкість потокового трафіку (CBR) може бути обчислена шляхом усереднення на одному періоді:

CBR - В / Т біт / с.

У загальному випадку постійна швидкість потокового трафіку менше номінальної максимальної бітової швидкості протоколу, за допомогою якого передаються дані, так як між пакетами існують паузи. Як буде показано в главі 12, максимальна швидкість передачі даних за допомогою протоколу Ethernet становить 9,76 Мбіт / с (випадок кадрів максимальної довжини), що менше номінальної швидкості цього протоколу, яка дорівнює 10 Мбіт / с.

Додатки з пульсуючим трафіком відрізняються високим ступенем непередбачуваності, коли періоди мовчання змінюються пульсацією, протягом якої пакети «щільно» слідують один за одним. В результаті трафік характеризується змінною бітовою швидкістю (Variable Bit Rate, VBR), що ілюструє рис. 7.2. Так, при роботі додатків файлового сервісу інтенсивність трафіку, що генерується додатком, може падати до нуля, коли файли не передаються, і підвищуватися до максимально доступною, обмеженою тільки можливостями мережі, коли файловий сервер передає файл.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
|  | 1 Ш ШР | ч \* 'Ш'Ф ............ <.. | w |  |
|  | Т \*: З = PIR | Т2 : С = 0 | Т3 : З = PIR | W |
|  | ^ w3T: С = Ссередн |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

|  |
| --- |
| Мал. 7.2. пульсуючий трафік |

На малюнку показано три періоди вимірювань Ть Т2 і Т3. Для спрощення розрахунків прийнято, що пікові швидкості на першому і третьому періодах рівні між собою і дорівнюють PIR, а всі три періоди мають однакову тривалість Т. З огляду на це, можна обчислити величину пульсації В, яка дорівнює кількості бітів, переданих на періоді пульсації:

В = PIR х Т.

Таким чином, величина пульсації для періодів Т{ і Т3 дорівнює В, а на періоді Т2 - Нулю.

Для наведеного прикладу можна підрахувати коефіцієнт пульсації. (Нагадаємо, що він дорівнює відношенню пікової швидкості на будь-якому невеликому періоді часу до середньої швидкості трафіку, виміряної на тривалому періоді часу.) Так як пікова швидкість на періоді Tj (або Т3) Дорівнює В / Т, а середня швидкість на сумарному періоді Tj + Т2 + Т3 дорівнює 2В / ЗТ, то коефіцієнт пульсації дорівнює 3/2.

Практично будь-який трафік, навіть трафік потокових додатків, має ненульовий коефіцієнт пульсації. Просто значення коефіцієнтів пульсації у потокового і пульсуючого трафіків істотно розрізняються. У додатків з пульсуючим трафіком він зазвичай знаходиться в межах від 2: 1 до 100: 1, а у потокових додатків близький до 1: 1. У локальних мережах коефіцієнт пульсації зазвичай вище, ніж в глобальних, оскільки на магістралях глобальних мереж трафік є сумою трафіків багатьох джерел, що згідно із законом великих чисел призводить до згладжування результуючого трафіку.

**3. Чутливість трафіку до затримок пакетів**

Ще один критерій класифікації додатків за типом трафіку - чутливість до затримок пакетів і їх варіацій. Далі перераховані основні типи додатків в порядку підвищення чутливості до затримок пакетів.

- Асинхронні додатки. Практично немає обмежень на час затримки (еластичний трафік). Приклад такого додатка - електронна пошта.

- Інтерактивні програми. Затримки можуть бути помічені користувачами, але вони не позначаються негативно на функціональності додатків. Приклад - текстовий редактор, який працює з віддаленим файлом.

- Ізохронні додатки. Є поріг чутливості до варіацій затримок, при перевищенні якого різко знижується функціональність програми. Приклад - передача голосу, коли при перевищенні порога варіації затримок в 100-150 мс різко знижується якість відтвореного голосу.

- Надчутливі до затримок програми. Затримка доставки даних зводить функціональність програми до нуля. Приклад - додатки, що керують технічним об'єктом в реальному часі. При запізненні керуючого сигналу на об'єкті може статися аварія.

Взагалі кажучи, інтерактивність програми завжди підвищує його чутливість до затримок. Наприклад, широкомовлення аудіоінформації може витримувати значні затримки передачі пакетів (залишаючись чутливим до варіацій затримок), а інтерактивний телефонний або телевізійний розмова їх не терпить, що добре помітно при трансляції розмови через супутник. Тривалі паузи в розмові вводять співрозмовників в оману, часто вони втрачають терпіння і починають чергову фразу одночасно.

Поряд з наведеною вище класифікацією, тонко диференціює чутливість додатків до затримок і їх варіацій, існує і більш грубий поділ додатків з цього ж ознакою на два класи - асинхронні і синхронні. До асинхронним відносять ті додатки, які нечутливі до затримок передачі даних в дуже широкому діапазоні, аж до декількох секунд, а всі інші додатки, на функціональність яких затримки впливають істотно, відносять до синхронних додатків.

Інтерактивні додатки можуть ставитися як до асинхронним (наприклад, текстовий редактор), так і до синхронних (наприклад, відеоконференція).

**4. Чутливість трафіку до втрат і спотворень пакетів**

І, нарешті, останнім критерієм класифікації додатків є їх чутливість до втрат пакетів. Тут зазвичай ділять додатки на дві групи.

- Додатки, чутливі до втрати даних. Практично всі програми, що передають алфавітно-цифрові дані (до яких відносяться текстові документи, коди програм, числові масиви і т. П.), Мають високу чутливість до втрати окремих, навіть невеликих, фрагментів даних. Такі втрати часто ведуть до повного знецінення іншої, успішно прийнятої інформації. Наприклад, відсутність хоча б одного байта в коді програми робить її абсолютно непрацездатною. Всі традиційні мережеві додатки (файловий сервіс, сервіс баз даних, електронна пошта і т. Д.) Відносяться до цього типу додатків.

- Додатки, стійкі до втрати даних. До цього типу належать багато додатків, передають трафік з інформацією про інерційних фізичні процеси. Стійкість до втрат пояснюється тим, що невелика кількість відсутніх даних можна визначити на основі прийнятих. Так, при втраті одного пакета, що несе кілька послідовних вимірів голосу, відсутні виміри при відтворенні голоси можуть бути замінені аппроксимацией на основі сусідніх значень. До такого типу належить більшість додатків, що працюють з мультимедійним трафіком (аудіо- і відеододатки). Однак стійкість до втрат має свої межі, тому відсоток втрачених пакетів не може бути більшим (наприклад, не більше 1%). Можна відзначити також, що не будь-який мультимедійний трафік так стійкий до втрат даних, наприклад, компрессированний

голос і відеозображення дуже чутливі до втрат, тому відносяться до першого типу додатків.

**5. класи додатків**

Взагалі кажучи, між значеннями трьох характеристик якості обслуговування (відносна передбачуваність швидкості передачі даних; чутливість трафіку до затримок пакетів; чутливість трафіку до втрат і спотворень пакетів) немає суворої взаємозв'язку. Тобто додаток з рівномірним потоком може бути як асинхронним, так і синхронним, а, наприклад, синхронне додаток може бути як чутливим, так і нечутливим до втрат пакетів. Однак практика показує, що з усього різноманіття можливих поєднань значень цих трьох характеристик є кілька таких, які охоплюють велику частину використовуваних сьогодні додатків.

Наприклад, наступне поєднання характеристик додатка «породжуваний трафік - рівномірний потік, додаток ізохронними, стійке до втрат» відповідає таким популярним додаткам, як IP-телефонія, підтримка відеоконференцій, аудіомовлення через Інтернет. Існують і такі поєднання характеристик, для яких важко привести приклад програми, наприклад: «породжується трафік - рівномірний потік, додаток асинхронне, чутливе до втрат».

Стійких поєднань характеристик, що описують певний клас додатків, існує не так вже й багато. Так, при стандартизації технології ATM, яка спочатку розроблялася для підтримки різних типів трафіку, були визначені 4 класу додатків: А, В, С і D. Для кожного класу рекомендується використовувати власний набір характеристик QoS. Крім того, для всіх додатків, які не включені ні в один з цих класів, було визначено клас X, в якому поєднання характеристик програми може бути довільним.

Класифікація ATM є на сьогодні найбільш детальної і загальної, вона не вимагає від нас знання технологій, що використовуються для передачі цих типів трафіку, тому наведемо її тут (табл. 7.1).

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблиця 7.1. класи трафіку   |  |  | | --- | --- | | клас трафіку | Характеристики | | А | Постійна бітова швидкість, чутливість до затримок, передача з встановленням з'єднання (наприклад, голосовий трафік, трафік телевізійного зображення). Параметри QoS: пікова швидкість передачі даних, затримка, джиттер | | В | Мінлива бітова швидкість, чутливість до затримок, передача з встановленням з'єднання (наприклад, компрессированний голос, компрессированное відеозображення). Параметри QoS: пікова швидкість передачі даних, пульсація, середня швидкість передачі даних, затримка, джиттер | |

|  |
| --- |
| продовження & |

|  |  |
| --- | --- |
|  | Глава 7. Методи забезпечення якості обслуговування |
| Таблиця 7.1 (продовження) |  |
| клас трафіку | Характеристики |
| С | Мінлива бітова швидкість, еластичність, передача з встановленням з'єднання (наприклад, трафік комп'ютерних мереж, в яких кінцеві вузли працюють по протоколах з встановленням з'єднань - frame relay, Х.25, TCP). Параметри QoS: пікова швидкість передачі даних, пульсація, середня швидкість передачі даних |
| D | Мінлива бітова швидкість, еластичність, передача без встановлення з'єднання (наприклад, трафік комп'ютерних мереж, в яких кінцеві вузли працюють по протоколах без встановлення з'єднань - IP / UDP, Ethernet). Параметри QoS не визначені |
| X | Тип трафіку і його параметри визначаються користувачем |

Наведена класифікація програм лежить в основі типових вимог до параметрів і механізмів забезпечення якості обслуговування в сучасних мережах.

2.1 Аналіз QoS в мережах LTE - Advanced

Технологія LTE-Advanced реалізується в новій мережевій інфраструктурі SAE (System Architecture Evolution). Загальне ядро мережі LTE дозволяє підтримувати мобільні послуги не тільки технології стандартів стільникового зв’язку від GSM до LTE-Advanced, але також мереж за іншими радіотехнологіями (WIMAX, WiFi, CDMA2000 та ін.). На Рис.1 представлена базова модель архітектури LTE, яка поділяється на чотири сегменти: абонентське обладнання (UE), мережа радіодоступу (Access), ядро мережі (EPC, Evolved Packet Соге)/Транспортна мережа (Transport Network) та сервісна мережа (Service Network).

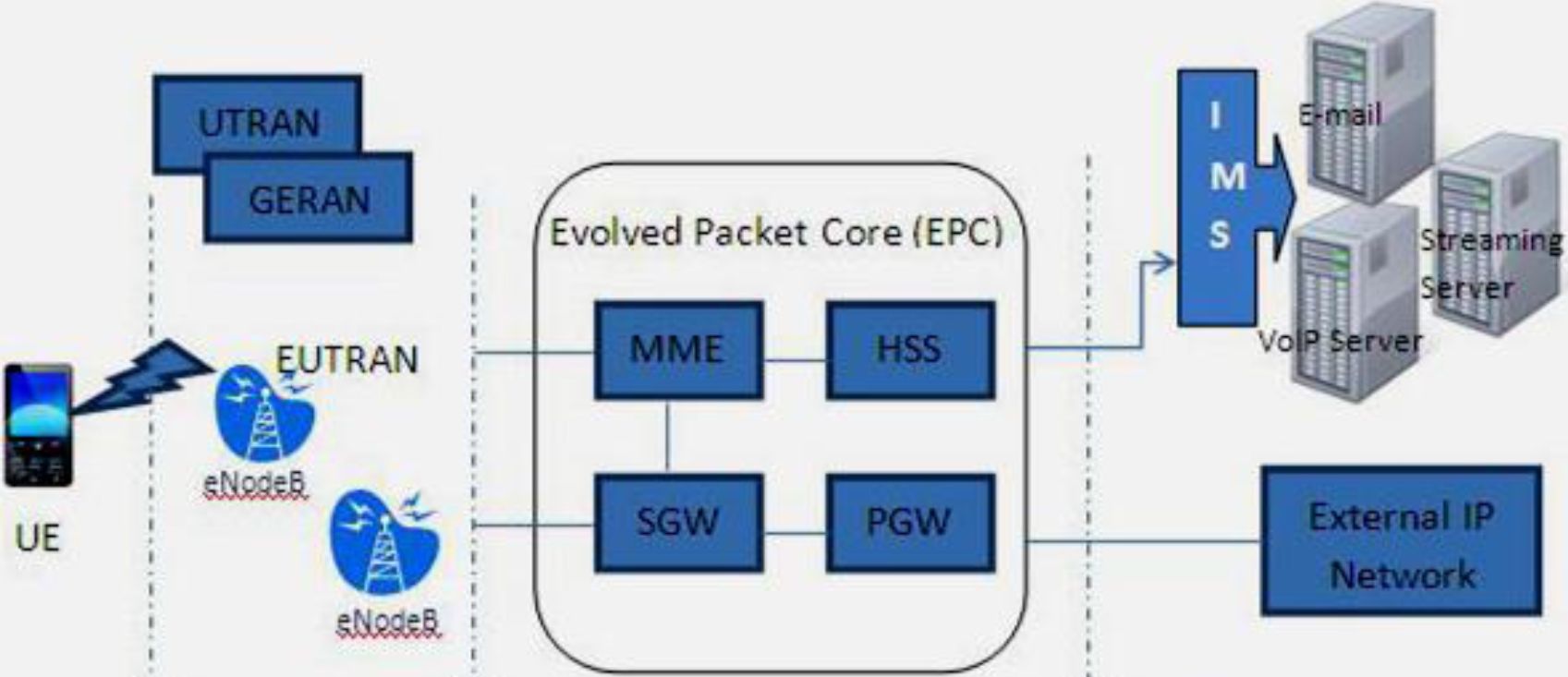




Рис. 1 - Базова архітектура LTE/SAE [2]

В ядро мережі входять такі елементи як: модуль управління мобільністю (MME, Mobiliti Menegement Entity); сервер абонентських даних (HSS, Home Subscriber Server); шлюз обслуговування (SGW, Serving Gateway), який транслює дані між базовою станцією (eNodeB) і шлюзом зв’язку (PGW або PDN GW, Public Data Network Gateway) - пакетним шлюзом доступу до зовнішніх мереж зв’язку, а також іншими мобільними мережами; мультимедіа підсистема (IMS, IP Multimedia Subsystem).

В LTE забезпечення QoS відбувається на рівні встановлення логічного каналу EPS (Evolved Packet System) між абонентським обладнанням і PDN-шлюзом. Логічні канали поділяються на два типи: GBR (Guaranteed Bit Rate) - з’єднання з гарантованою бітовою швидкістю, що є мінімальною довгостроковою середньою швидкістю передачі даних, яку може очікувати мобільний пристрій (при наявності вільних ресурсів можлива передача із швидкістю до MBR - Maximum Bit Rate), і Non-GBR - з’єднання без гарантій по швидкості передачі, що може приводити до втрати пакетів при перевантаженні мережі. У випадку Non- GBR - з’єднань оператор може диференціювати абонента між групою абонентів, підключених до одного й того ж PDN при передачі однакового типу трафіку шляхом присвоєння більш високих значень у межах сукупної максимальної бітової швидкості (AMBR, Aggregate MBR) клієнтам з більш високим пріоритетом.

Тип трафіка однозначно характеризується ідентифікатором класу обслуговування QCI (QoS Class Identifier). Це 8-бітове число, за яким визначаються чотири основні параметри (див.Табл.1): тип ресурсу, рівень пріоритету ARP (Allocation Retention Priority - визначає черговість обробки пакетів даних), допустима затримка і допустимі втрати пакетів. Кожний односпрямований EPS канал транспортує один або більше двонаправлених потоків (SDF, Service Data Flow). Мережа може транспортувати потоки, використовуючи один канал EPS, якщо вони мають однакові QCI і ARP, в іншому випадку повинні використовуватися два канали EPS.

Таблиця 1.

Характеристики стандартних QCI

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| CI | ип  ресурсу | Рів  ень  Пріоритет  у | Д  опустимі  з  атримки  (мс) | Д  опустимі  втрати  пакетів | | Приклади послуг |
|  |  | 2 | 1  00 ms | 0-2 | 1 | Телефонія у реальному  часі |
|  |  | 4 | 1  50 ms | 0-3 | 1 | Відео, відеотелефонія в реальному часі |
|  | BR | 3 | 5  0 ms | 0-3 | 1 | Ігри в реальному часі |
|  |  | 5 | 3  00ms | 0-6 | 1 | Відео з буферизацією |
|  |  | 1 | 1  00 ms | 0-6 | 1 | IMS - сигналізація |
|  |  | 6 | 3  00 ms | 0-6 | 1 | Відео з буферизацією, послуги на основі TCP |
|  | on-  GBR | 7 | 1  00 ms | 0-3 | 1 | Аудіо, відео в реальному часі, інтерактивні ігри |
|  |  | 8 | 3 |  | 1 | Відео з буферизацією, послуги на основі TCP (WWW, email, FTP, chat та ін.) |
|  |  | 9 | 00 ms | 0-6 |  |

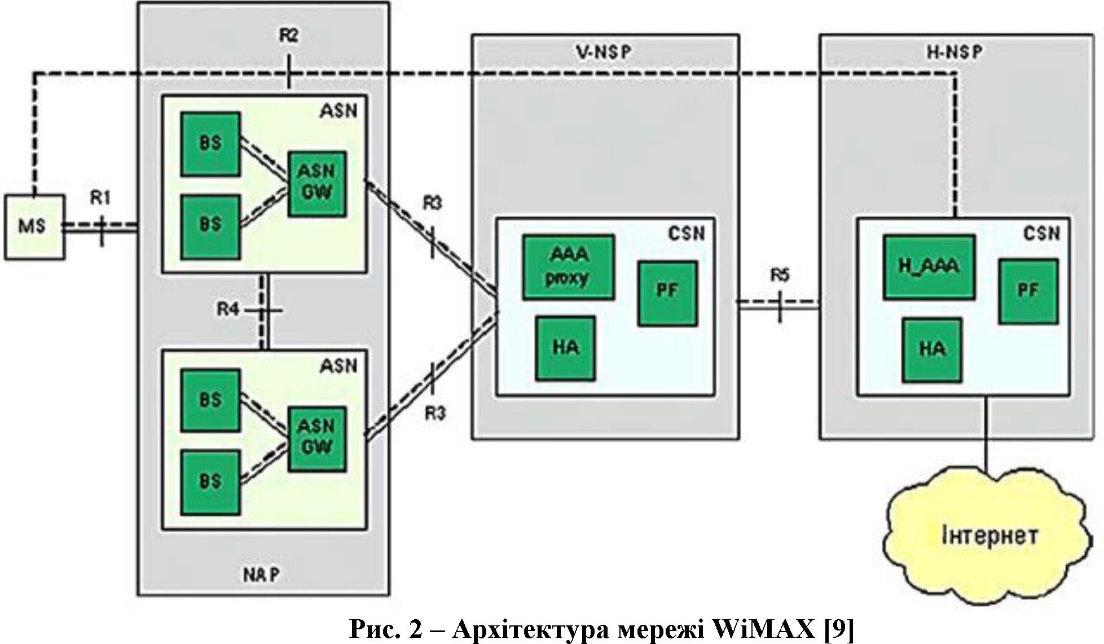
Є два типи каналу передачі даних: виділений канал (може бути як GBR, так і Non - GBR) і канал за замовчуванням (він завжди Non - GBR). Встановлюється хоча б один канал за замовчуванням, коли UE приєднується до мережі LTE, в той час як виділений канал завжди встановлюється, коли існує необхідність забезпечення QoS для конкретної послуги (наприклад, VoIP).

Управління QoS в LTE відбувається згідно правил контролю якості обслуговування та тарифікації (PCC, Policy and Charging Control). Правила PCC складаються з імені правила, ідентифікатора QCI, фільтрів SDF (фільтр потоку - набір значень/діапазонів параметрів заголовка потоку пакетів, які використовуються для ідентифікації одного або декількох потоків пакетів, що складають потік даних служби), пріоритету ARP та ін.

PCRF (Policy Control and Charging Rules Function) є функціональним вузлом мережі, який визначає правила PCC на основі динамічної інформації і політик управління. PCEF (Policy and Charging Enforcement Function) - функціональний елемент (зазвичай поєднаний з пакетним шлюзом доступу PDN GW), який здійснює застосування PCC - правил, отриманих від PCRF. При надходженні пакетів PCEF відправляє запит в PCRF з метою їх класифікації. PCEF посилає в PCRF їх IP - адресу, тип оброблюваних даних та ін. На підставі цих параметрів PCRF формує і відсилає назад в PCEF той чи інший QCI. Залежно від значення, прийнятого QCI в PCRF, до пакета застосовується той чи інший тип обслуговування. Обмін PCC - правилами між PCRF і PCEF може проходити у двох режимах: або PCEF запитує PCC - правила на PCRF, або PCRF у відповідності зі своєю внутрішньою логікою повідомляє PCEF про зміну правил чи про нові правила обслуговування [3, 4].

2.2 Аналіз QoS в мережах WiMAX - Advanced

Базова модель мережі WiMAX включає три основних елементи (див. Рис.2): абонентські мобільні станції (MS), сукупність мереж доступу (ASN, Access Service Network) і сукупність мереж підключення (CSN, Connectivity Service Network).



Мережа доступу ASN належить провайдеру мережі доступу (NAP, NetWork Access Provider) - організації, що надає доступ до радіомережі для одного або декількох сервіс- провайдерів (NSP, NetWork Service Provider) мережі WiMAX. Так само, сервіс - провайдер надає IP-підключення та послуги кінцевим абонентам. Саме сервіс-провайдери укладають угоди з інтернет-провайдерами, операторами інших мереж, угоди щодо роумінгу. Сервіс- провайдери по відношенню до абонента можуть бути домашніми (H-NSP), з якими абонент укладає договір, і гостевими (V-NSP), які забезпечують роумінг. Кожний сервіс - провайдер має свою мережу CSN.

У мережу доступу ASN входять безліч базових станцій (BS) і шлюзів (ASN GW, Access Service Network Gateway). ASN GW зв'язує базові станції однієї ASN з іншими мережами доступу і з мережею підключення CSN.

Основним елементом BS є планувальник задач, що здійснює управління частотно - часовими ресурсами мережі при організації обміну в низхідному та висхідному каналах зв'язку. В процесі хендоверу ASN - шлюз здійснює перемикання каналу передачі даних до необхідної BS. Крім іншого, шлюз забезпечує цілісність переданих даних для мінімізації затримок і зниження кількості втрачених пакетів, підтримку QoS та інші функції. Ще одним компонентом ASN є зовнішній агент (FA, Foreign Agent) - маршрутизатор, що відслідковує належність MS до тієї чи іншої BS в кожен момент часу для розподілу інформаційних потоків.

Мережа CSN сервіс-провайдера WiMAX містить сервер аутентифікації, авторизації і контролю доступу (AAA, Authentication, Authorisation, Accounting), модуль управління стратегіями роботи (PF, Policy Function) - базу даних, що вміщує сценарії виконання додатків для різних послуг, та домашній агент (HA, Home Agent) - роутер - шлюз, який містить таблицю відповідності IP - адреси мобільної станції та IP-адреси зовнішнього агенту FA, до якого належить ця MS. Таким чином, HA має інформацію про те, до якого FA відправляти пакети, призначені цій MS.

В технологіях WiMAX забезпечення QoS пов’язане з конкретним сервісним потоком (SF, Service Flows) - потоком даних певного додатку. Кожний потік має свій QoS - клас обслуговування, при цьому абоненту виділяється необхідна полоса пропускання - відповідний віртуальний канал, якому присвоюється 16-розрядний ідентифікатор з’єднання (CID, Connection Identifier). Абоненту WiMAX доступний заданий набір сервісних потоків - QoS-профіль. Інформація про це зберігається в системі керування абонентами (наприклад, у базі даних ААА-сервера або в спеціальному сервері політик). У разі статичної моделі керування QoS абонентська станція не може в ході сеансу зв’язку змінювати параметри сервісних потоків або створювати нові сервісні потоки. Однак у випадку динамічної моделі керування QoS абонентська або базова станції можуть динамічно змінювати, створювати або видаляти сервісні потоки. Переключення/створення нових сервісних потоків може відбуватися, наприклад, коли MS звертається до будь-якої функції CSN на рівні додатків.

Клас обслуговування може задаватися для кожного абонентського терміналу або призначатися для груп користувачів за МАС-, ІР - адресами та ін. До параметрів QoS в мережах WiMAX відносяться: максимальна тривала швидкість трафіка (MSTR);

максимальний пакет трафіка; мінімальна зарезервована швидкість трафіка (MRTR); максимальна латентність (Max latency); допустимий джіттер (Max jitter); пріоритет трафіка (Traffic priority).

У WiMAX - Advanced є 6 класів послуг обслуговування (див. Табл.2). Новий сервіс планування aGPS (Adaptive Granting and Polling) підтримує адаптацію параметрів QoS потоку послуг. Для кожного потоку можна вибрати кілька наборів параметрів QoS. Це досягається у взаємодії між MS і BS, які узгоджують параметри QoS під час процедури динамічного налаштування потоку послуг. MS може вимагати від BS замінити набір параметрів QoS потоку послуг з явною сигналізацією. Потім BS розподіляє ресурс відповідно до нового набору параметрів потоку послуг[5].

WiMAX використовує сервісний потік класу BE, який називається початковим SF (ISF), для встановлення IP - з’єднання під час підготовки до будь-якої передачі та прийому пакетів.

Основні елементи мережі WiMAX, що реалізують функції QoS, - це модуль керування сервісними потоками (SFM - Service Flow Management) і модуль авторизації сервісних потоків (SFA - Service Flow Authorization), а також система зберігання даних про дозволені ресурси абонента.

Модуль SFM завжди розташований у базовій станції. Він відповідає за створення, відключення, дозвіл або модифікацію сервісних потоків. Структурно SFM включає функцію керування дозволом (АС - admission control) і базу даних про локальні ресурси. Функція АС на підставі аналізу інформації про локальні радіо - та інші ресурси визначає, чи може бути доданий новий сервісний потік.

Таблиця 2.

Співставлення параметрів QoS з послугами обслуговування [6]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Класи QoS | Засто  сування | Технічні  характеристики QoS |
| UGS  Un-Solicited Grant Service  Клас доступу за першою вимогою, при якій абонентській станції миттєво надається заздалегідь оговорена фіксована швидкість передачі | VoIP | Maximum  Sustained Rate, Maximum Latency Tolerance, Jitter Tolerance |
| rtPS  Real-Time Packet Service  Клас доступу із змінною швидкістю з передачею даних в режимі реального часу, при якому абонентська станція передає інформацію, чутливу до затримок, із змінною швидкістю без втрати якості | Strea ming Audio, Video | Minimum  Reserved Rate, Maximum Sustained Rate, Maximum Latency Tolerance, Traffic Priority |
| ErtPS  Extended Real-Time Packet Service Розширений клас доступу із змінною швидкістю, з передачею даних в режимі реального часу, який забезпечує постійну швидкість і затримку | Voice with Activity Detection (VoIP) | Minimum  Reserved Rate, Maximum Sustained Rate, Maximum Latency Tolerance, Jitter Tolerance, Traffic Priority |
| nrtPS  Non-Real-Time Packet Service  Клас доступу із змінною швидкістю без передачі даних в режимі реального часу для передачі інформації, нечутливої до затримок, але потребуючої гарантованої швидкості | FTP | Minimum  Reserved Rate, Maximum Sustained Rate, Traffic Priority |
| BE  Best-Effort Service  Клас доступу у режимі максимально можливої у даний момент швидкості, що застосовується для передачі даних, некритичних до швидкості передачі і часу затримки | Data Transfer, Web Browsing | Maximum  Sustained Rate, Traffic Priority |
| aGPS  Adaptive Granting and Polling  Служба планування для підтримки неперіодичних додатків реального часу | Appli  cation  Agnostic | Maximum  Sustained Traffic Rate, the Request / Transmission Policy, Primary Grant and Polling Interval, Primary Grant Size |

Модуль SFA призначений для того, щоб постійно забезпечувати SFM заданої BS інформацією про QoS - параметри конкретного абонента, тобто служить мостом між BS і глобальною базою даних про параметри абонента, яка зберігається в ААА-сервері або аналогічному пристрої в домашній CSN-мережі абонента. Розташований цей пристрій в шлюзі ASN GW. Оскільки мова йде про мобільних абонентів, доцільно розглянути поняття анкерного (базового) та сервісного SFA. Анкерний SFA визначається під час підключення МБ до мережі і не змінюється до її повторної реєстрації протягом усієї сесії. В анкерний SFA передається інформація про QoS - профілі абонента під час його реєстрації в мережі. Якщо MS опиняється в зоні іншого ASN-шлюзу, вона взаємодіє вже з новим SFA. Такий SFA називають сервісним. Сервісний SFA виконує функцію ретранслятора між модулем SFM БS, із якою в даний момент працює MS, і анкерним SFA для даної MS. У функції анкерного та/або сервісного SFM входить реалізація так званої локальної політики QoS для даної ASN- мережі, пов’язаної із завантаженням і розподілом мережевих ресурсів [6].

Обговорення результатів дослідження QoS в мобільних мережах 4G

Порівняння QoS в LTE-Advanced та WiMAX-Advanced доцільно проводити за чотирма ключовими факторами:

Базовим транспортом в WiMAX-Advanced є SF (односпрямований сервісний потік пакетів або UL від MS, або DL від BS). В LTE основним транспортом QoS є канал між UE і PDNGW. Всі потоки пакетів, що відповідають одному каналу, отримують однакову обробку.

В WiMAX - Advanced є шість типів планування: UGS, ertPS, rtPS, nrtPS, BE та aGPS. LTE підтримує два способи передачі даних - GBR і Non - GBR. GBR забезпечує гарантовану якість обслуговування пакетів, таку ж як за класом планування UGS в мережі WiMAX, а Non - GBR не надає ніяких гарантій, і обслуговування відбувається як в мережі WiMAX за класом BE.

Залежно від типу SF, в мережі WiMAX - Advanced можна контролювати максимальну затримку пакетів і джиттер, максимальну стійку швидкість (MSTR), мінімальну зарезервовану швидкість (MRTR) і пріоритет трафіка. В LTE MBR і GBR аналогічні MSTR і MRTR в WiMAX - Advanced відповідно, проте, MBR і GBR є тільки атрибутами GBR каналів, в той час як в WiMAX - Advanced швидкість може бути змінена використанням його MSTR навіть у сервісному потоці (SF) класу BE: у оператора мережі є можливість вибрати незалежні значення для MSTR і MRTR. З іншого боку, в LTE оператор має можливість для каналу Non - GBR диференціювати абонентів, присвоюючи більш високі значення сумарної максимально досяжної швидкості AMBR для абонентів з вищим пріоритетом, але тільки у межах своєї мережі.

Параметри QoS SF сигналізуються в WiMAX - Advanced за допомогою повідомлень (додавання, змінення або вилучення динамічної послуги). У LTE QCI і пов’язані з ним стандартизовані параметри не сигналізуються ні на якому інтерфейсі. В WiMAX - Advanced оператор може підтримувати як керований сервіс, так і некерований незалежно від того, ким ініційовані певні вимоги QoS (клієнтом або мережею). Гнучка архітектура дає мобільні можливості для диференціації клієнтів. LTE підтримує QoS тільки через контроль, ініційований в мережі.

Забезпечення QoS у мережах 4G та наступних поколінь за передовими технологіями LTE і WiMAX має дуже важливе значення. Проведені дослідження висвітлили особливості забезпечення якості обслуговування у розглянутих мережах, їх подібності та розбіжності. Можна зробити висновок, що існує міцний зв’язок між підходом до QoS в WiMAX і LTE, що випливає із подібності технологій їх побудови, але WiMAX створювалася як зовсім нова технологія, не прив’язана до попередніх технологій мобільного зв’язку (на відміну від LTE, яка веде свою історію від GSM), тому технологія QoS в мережі WiMAX більш гнучка і проста. Розвиток LTE направлений на встановлення компромісу між високими показниками швидкості передачі даних і гарантованим QoS для кінцевого користувача. На даний час іде повним ходом розробка технологій мобільного зв’язку 5G, поява яких очікується у 2020 році, і в яких якість обслуговування значно покращиться. Але проблеми узгодженого і гнучкого управління QoS в мобільних мережах попередніх поколінь, які асимільовані із сучасними мережами, поки що залишаються.