

АНАЛІЗ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ТРАФІКОМ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ QoS В МОБІЛЬНИХ РАДІОМЕРЕЖАХ ТАКТИЧНОЇ ЛАНКИ УПРАВЛІННЯ

У статті запропоновані класифікація типів трафіка і аналіз відомих методів управління трафіком при забезпеченні QoS з точки зору доцільності їх застосування в мобільних радіомережах тактичної ланки управління. Обґрунтована необхідність вдосконалення методів (протоколів) управління трафіком при забезпеченні QoS в даній мережі.

Кротов В.Д., Ткаченко А.Л., Науменко А.Г. Анализ методов управления трафиком при обеспечении QoS в мобильных радиосетях тактического звена управления. В статье предложены классификация и анализ известных методов управления трафиком при обеспечении QoS с точки зрения целесообразности их применения для мобильной радиосети тактического звена управления. Обоснована необходимость улучшения и разработки новых методов для управления трафиком с заданным качеством обслуживания в рассматриваемой сети.

V. Krotov, A. Tkachenko, A. Naumenko Analysis of the Traffic Control Methods for QoS Applicable to Improve Performance of Tactical Mobile Radio Network. In this paper, analysis of the known traffic control methods for QoS assurance in terms of the feasibility of their application to increase the performance of the tactical mobile radio network are offered. The necessity of developing methods to managing traffic intensity with quality of service in this network is proved.

Ключові слова: мобільна радіомережа, управління трафіком, якість обслуговування, продуктивність мережі, доставка даних.

Постановка завдання. Проведення сучасних операцій і бойових дій вимагає, особливо в умовах початкового періоду війни, великої кількості переміщень військ та їх пунктів управління. Саме тому найважливішими напрямками в будівництві Збройних сил є створення нових перспективних і вдосконалення існуючих систем управління, пошук нових підходів до організації зв'язку.

Високими перспективами щодо побудови мобільних радіомереж тактичної ланки управління є використання безпроводових технологій, представником яких є мобільні радіомережі (MP) класу MANET (Mobile Ad-Hoc Networks) [11], які характеризуються динамічною топологією, передбачують відсутність базових станцій та фіксованих маршрутів передачі інформації, а також надають можливість мобільним абонентам безперервного і стійкого обміну інформацією під час знаходження в рухомих об'єктах (КШМ, бронетехніці, автомобілях) або переміщенні пішим порядком. Вплив мобільності вузлів робить трафік MANET більше нестационарним, непередбачуваним, що призводить до швидкої зміни інтенсивності потоків і, відповідно, пропускну здатності.

Специфічна побудова мереж класу MANET передбачає постійне підвищення вимог до якості передачі різних типів трафіка, що робить їх залежними від нижніх рівнів моделі OSI. Більшість типів трафіка чутливі до перевантажень мережі, затримок та втрати пакетів з даними, що передаються в ній, а отже, вимагають реалізації методів управління трафіком з забезпеченням відповідної якості обслуговування. Тому, ефективно управління трафіком при забезпеченні QoS є актуальним питанням при створенні мереж даного класу.

Аналіз предметної області. Під якістю обслуговування розуміють [3] інтегральний корисний ефект від обслуговування, який визначається ступенем задоволення користувача як від отриманої послуги, так і від самої системи обслуговування. Критерій якості обслуговування представляють у вигляді інтегрального показника досконалості обслуговування, що враховує не тільки якість послуги, але і здатність мережі обробляти навантаження.

Функції QoS полягають у забезпеченні гарантованого та/або диференційованого обслуговування трафіка мережі, за запитами тих чи інших додатків на основі різних

механізмів розподілу ресурсів, обмеження інтенсивності трафіка, обробки черг і пріоритетизації. QoS є набором вимог до ресурсів мережі при транспортуванні потоку даних.

Впровадження механізмів QoS припускає забезпечення з боку мережі з'єднання з певними обмеженнями щодо продуктивності, основними характеристиками якої є смуга пропускання, затримка, джиттер і рівень втрати пакетів. Характеристики QoS особливо важливі у тому випадку, коли мережа передає одночасно трафік різного типу, наприклад, веб трафік і голосовий, оскільки різні типи трафіка пред'являють різні вимоги до характеристик QoS. Врахувати одночасно усі характеристики QoS для усіх видів трафіка складно, тому види трафіка, що існують в мережі, класифікують, а потім намагаються досягти одночасного виконання певного набору вимог для цих типів трафіка.

Розробці методів управління потоками даних та забезпечення якості обслуговування трафіка присвячена велика кількість досліджень. Так, в роботі [1] пропонується метод балансування трафіка, заснований на використанні децентралізованої накладеної мережі, що самоорганізується, з прогнозуванням інтенсивності вхідного трафіка, який дозволяє розподіляти надлишкове навантаження за маршрутами, незадіяним у випадку традиційної маршрутизації за найкоротшим шляхом. У статті [2] проведено аналіз механізмів балансування мережевого трафіка. Показано, що рішення, які застосовуються є недостатніми для забезпечення ефективного використання існуючої мережевої інфраструктури. В роботах [4, 6, 8, 13, 15] наведені протоколи транспортного рівня моделі OSI такі як SCTP, TCP та їх модифікації, які розглядалися в провідних та безпроводних мережах зв'язку. У статті [5] запропоновано поточкову модель багатошляхової маршрутизації з гарантіями якості обслуговування. Отримано в аналітичному вигляді умови забезпечення якості обслуговування одночасно за множиною різнорідних показників – швидкості передачі, середньої затримки та ймовірності втрат пакетів, забезпечується мінімальна та рівна для всіх розрахованих шляхів середня затримка, що сприяє мінімізації джиттера пакетів, обумовленого реалізацією багатошляхової стратегії маршрутизації.

Кожна розглянута вище робота вирішує вузькоспеціалізоване завдання щодо управління трафіком та якості обслуговування. Тому *метою статті є* проведення аналізу відомих методів управління трафіком при забезпеченні QoS в контексті доцільності їх застосування в мобільних радіомережах тактичної ланки управління.

Вимоги до якості обслуговування різних типів трафіка

Основними критеріями класифікації прийняті три характеристики трафіка [3]: відносна передбачуваність швидкості передачі даних, чутливість трафіка до затримок пакетів і чутливість трафіка до втрат і спотворень пакетів (рис. 1).

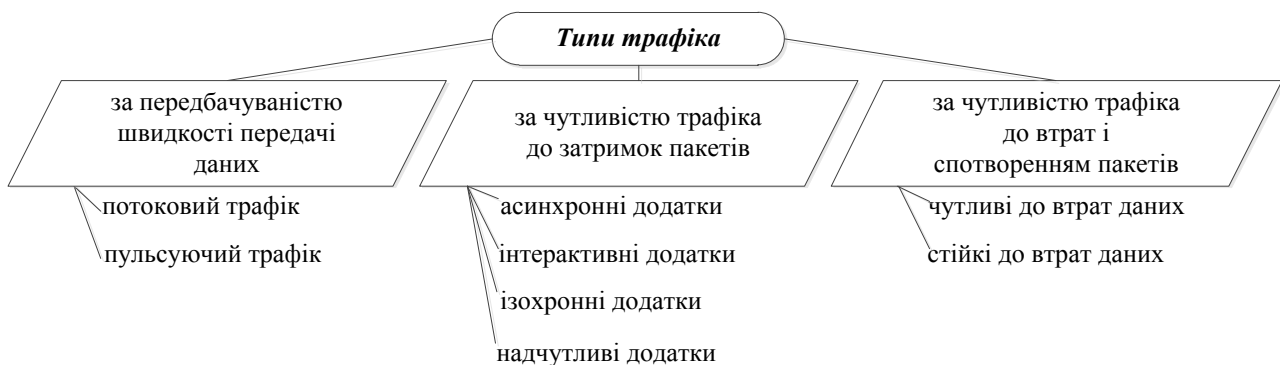


Рис. 1. Класифікація типів мережевого трафіка

Додатки з поточковим трафіком породжують рівномірний потік даних, який поступає в мережу з постійною бітовою швидкістю. При використанні методу комутації пакетів трафік таких застосувань є послідовністю пакетів однакового розміру, які поступають один за одним через один і той же інтервал часу.

Додатки з пульсуючим трафіком відрізняються високою мірою непередбачуваності, коли періоди мовчання змінюються пульсацією, впродовж якої пакети „щільно” слідуєть один за одним. В результаті трафік має змінну бітову швидкість. Практично будь-який трафік, навіть трафік поточкових застосувань, має ненульовий коефіцієнт пульсації (для пульсуючого трафіка – від 2:1 до 100:1, для поточкового – приблизно 1:1).

До *асинхронних додатків* відносяться додатки, які практично не мають обмежень на час затримки (еластичний трафік), приклад – електронна пошта.

Інтерактивні додатки – це додатки, на функціональності яких затримки не позначаються негативно, наприклад: текстовий редактор, який працює з видаленим файлом.

Ізохронні додатки – мають поріг чутливості до варіацій затримок, перевищення якого різко знижує функціональність додатка, приклад – передача голосу.

Функціональність *надчутливих до затримок додатків* затримка зводить до нуля, приклад – додатки, що управляють технічним об'єктом в реальному часі.

Додатки, чутливі до втрати даних – додатки, передавальні алфавітно-цифрові дані (текстові документи, коди програм, числові масиви і т. п.). Усі традиційні мережеві застосування (файловий сервіс, сервіс баз даних, електронна пошта і т. д.) відносяться до цього типу додатків.

Додатки, стійкі до втрати даних – додатки, які передають трафік з інформацією про інерційні фізичні процеси. Їх стійкість до втрат пояснюється тим, що невелику кількість відсутніх даних можна визначити на основі прийнятих. До цього типу відноситься велика частина додатків, що працюють з мультимедійним трафіком (аудіо- і відеододатки). Проте відсоток втрачених пакетів не може бути великим (наприклад, не більше 1 %).

Механізми управління трафіком при забезпеченні якості обслуговування

З точки зору економічної доцільності необхідно прагнути до як найповнішого завантаження мережевих ресурсів. Мережа працює ефективно, коли кожен її ресурс істотно завантажений, але непереобтяжений. Отже, з одного боку, необхідно прагнути до поліпшення якості обслуговування трафіка, тобто намагатися понизити затримки при обміні пакетів, зменшити втрати пакетів і збільшити інтенсивності потоків трафіка, з іншого боку, необхідно намагатися максимально збільшити завантаження усіх ресурсів мережі з метою підвищення економічних показників.

На теперішній час існує декілька варіантів реалізації QoS в мережах, але кожен з них не є оптимальним. Для забезпечення якості обслуговування у рамках мережевих елементів використовуються такі засоби QoS:

- класифікація, ідентифікація і маркування потоків;
- управління перевантаженням, організація черг, диференційоване обслуговування потоків;
- уникнення перевантажень, запобігання заповненню черг, а також вжиття заходів для загального зниження вірогідності перевантажень;
- підвищення ефективності каналу, методи зменшення затримок в каналах;
- управління мережевим трафіком, мережеве планування і оптимізація.

Для здійснення функцій контролю і управління інтенсивністю трафіка, а також забезпечення якості обслуговування існують спеціальні алгоритми, які ґрунтуються на принципі „кошику маркерів” (Token Bucket) або його модифікаціях. Цей алгоритм має два режими функціонування – полісінг (traffic-policing), при якому відбувається скидання неконформного навантаження, а також шейпінг (traffic-shaping), де буферизуються неконформні пакети. Алгоритм полісінга використовується для виміру і управління інтенсивністю трафіка. Алгоритм шейпінгу, на відміну від полісінга, буферизує пакети, які не відповідають заданому профілю, не відкидає їх, а обробляє при першій нагоді. Це дозволяє зменшити втрати при подальшій обробці трафіка, але затримки, які вносяться, обмежують застосування алгоритму для систем обробки інформації реального часу. Таким чином, шейпінг і полісінг можна класифікувати як методи статичного завдання пропускнуої спроможності.

Алгоритми управління чергами – це механізми боротьби з перевантаженнями в мережах. Найбільш поширеним механізмом обслуговування черг є алгоритм FIFO. Він досить ефективний, але не передбачає пріоритетної обробки чутливого до затримок трафіка шляхом його переміщення в початок черги, проведення дій із запобігання перевантаженню або зменшення розміру черги для зниження часу затримки.

Частина методів боротьби з перевантаженнями заснована на використанні спеціальних процедур, які пов'язані з маршрутизацією інформаційних потоків. В основу цих методів, полягає розвантаження ділянок мережі, на яких не забезпечується необхідний рівень обслуговування. Ця ідея закладена, в методах QoS-based Routing (маршрутизація на основі якості обслуговування) і Load-Balance Routing (маршрутизація збалансованого навантаження), що реалізуються у рамках технології Traffic Engineering (інжиніринг трафіка) [2]. Ця технологія застосовується для досягнення збалансованості навантаження ресурсів мережі за рахунок раціонального вибору шляхів проходження трафіка. Розробці ефективних методів маршрутизації, у тому числі в MANET, присвячена велика кількість робіт [5, 8, 14].

Алгоритм довільного раннього виявлення (Random Early Detection, RED) [3] дозволяє запобігти перевантаженню мережі шляхом превентивного відкидання пакетів для повідомлення про можливе перевантаження за допомогою механізму наскрізного адаптивного управління зі зворотним зв'язком. Метод дозволяє пом'якшити ефект від втрати пакетів при великих навантаженнях. Цей алгоритм, спочатку розроблений для протоколу TCP, може бути застосований до трафіка будь-якого протоколу, коли мережа не гарантує доставку. Модифікація цього алгоритму – зважений алгоритм довільного раннього виявлення (Weighted Random Early Detection, WRED), який дозволяє налаштувати різні параметри залежно від значення поля пріоритету або класу трафіка. Алгоритм WRED на основі потоку (flow WRED) є розширенням алгоритму WRED, що передбачає можливість призначення штрафу з ненульовою вірогідністю тим потокам, які намагаються оволодіти занадто великою часткою доступних ресурсів. Алгоритм явного повідомлення про перевантаження (Explicit Congestion Notification, ECN) дозволяє попередити про початок перевантаження мережі, шляхом маркування (а не відкидання) пакетів.

Ідею завчасного відкидання пакетів можна використати для підвищення продуктивності МРМ в процесі передачі даних. Для цього з урахуванням специфіки трафіка мобільної радіомережі доцільно розробити теоретично обґрунтований метод управління вірогідністю відкидання пакетів, що поступають в маршрутизатори.

Метод пріоритетних черг використовується для обслуговування трафіка, чутливого до затримок і має невелику інтенсивність, наприклад, голосового. При обслуговуванні великої інтенсивності чутливого до затримок трафіка, наприклад, відеотрафіка, якість обслуговування інших типів трафіка буде дуже низькою. На відміну від пріоритетного, замовлене обслуговування черг забезпечує мінімальну смугу пропускання для кожного типу трафіка.

Черги на основі класів (Class Based Queuing, CBQ) – це алгоритм, при якому трафік ділиться на декілька класів. Кожен клас має власну чергу і йому виділяється деяка частина пропускнуої спроможності каналу. Зважена справедлива черга (Weighted Fair Queuing, WFQ) [12] – окремий випадок CBQ, коли класам відповідають незалежні потоки. Виділення додаткової пропускнуої спроможності для великих потоків дозволяє зменшити затримку при їх обробці.

Здатність мережі забезпечувати різні рівні обслуговування, для тих або інших мережевих додатків, разом з проведенням контролю за характеристиками продуктивності – смугою пропускання, затримкою/третинням і втратою пакетів – може бути класифікована за трьома перерахованими нижче категоріями.

Негарантована доставка даних (best-effort service), забезпечення зв'язності вузлів мережі без гарантії часу і самого факту доставки пакета в пункт призначення. Відкидання пакета може статися тільки у разі переповнення буфера вхідної або вихідної черги

маршрутизатора. Насправді негарантована доставка пакетів не є частиною QoS внаслідок відсутності гарантії якості обслуговування і гарантії забезпечення доставки пакетів.

Архітектура IntServ [3] пропонує два види послуг: гарантований сервіс (guaranteed service) і сервіс з максимальними зусиллями. Кожен пакет зв'язується з потоком даних і механізм IntServ дозволяє користувачеві запросити необхідну якість обслуговування для усього потоку, при цьому забезпечується попереднє планування і резервування мережевих ресурсів з метою задоволення специфічних вимог до обслуговування з боку потоків трафіка. В якості сигнального протоколу пропонується протокол резервування ресурсів (Resource Reservation Protocol, RSVP), який дозволяє кінцевому обладнанню, що вимагає певні гарантовані послуги, проводити наскрізну сигналізацію своїх QoS-вимог. Гарантоване обслуговування досить часто називають ще жорстким QoS (hard QoS) у зв'язку з пред'явленням строгих вимог до ресурсів мережі. На жаль, резервування ресурсів на усьому шляху дотримання окремих потоків трафіка неможливо реалізувати у великих масштабах мережі.

Іншим способом забезпечення QoS в мережах є архітектура диференційного обслуговування (differentiated service, DifServ) [14], яка була розроблена з метою забезпечення підтримки легко масштабованих диференційованих послуг в межах Internet. Диференційне обслуговування припускає розділення трафіка на класи на основі вимог до якості обслуговування. Кожен клас трафіка диференціюється і обробляється мережею відповідно до заданих для цього класу механізмів QoS. Подібна схема забезпечення якості обслуговування (QoS) досить часто називається схемою CoS. Слід зазначити, що диференційне обслуговування саме по собі не припускає забезпечення гарантій надання послуг. Відповідно до цієї схеми трафік розподіляється по класах, кожен з яких має свій власний пріоритет. З цієї причини диференційне обслуговування досить часто називають м'яким QoS (soft QoS). Такий механізм знижує обсяг службової інформації у порівнянні з архітектурою IntServ. Модель DifServ підтримує три види обслуговування: гарантоване обслуговування, переважне обслуговування і сервіс з максимальними зусиллями. DifServ не вимагає складного і дорогого обладнання мережі – в цьому її перевага перед IntServ. Недолік цієї моделі полягає в тому, що, незважаючи на високий пріоритет, дані все одно можуть бути схильні до непередбачуваних затримок при перевантаженнях в мережі. Диференційне обслуговування зручно застосовувати в мережах з інтенсивним трафіком додатків.

Доповнюючим компонентом до DifServ є технологія багатопроTOCOLЬНОЇ комутації по мітках MPLS, що дозволяє оптимізувати розподіл трафіка з різними вимогами до якості обслуговування і підтримує механізми маркування пакетів і управління чергами.

Основні вимоги до обміну даними в МР та класифікація методів управління трафіком

Крім основних функцій, які повинні бути реалізовані в МР, методи управління трафіком повинні також задовольняти основні вимоги до передачі даних в МР:

- децентралізоване управління;
- розподілене функціонування;
- мінімальне завантаження мережі службовою інформацією;
- можливість здійснювати функції управління трафіком на різних рівнях моделі OSI;
- можливість боротьби з перевантаженнями;
- обмін різними видами трафіка.

Враховуючи функції методів управління трафіком, що повинні бути реалізовані в мережах класу MANET та вимоги до передачі даних пропонується виділити наступні класифікаційні ознаки методів управління трафіком (рис. 2):



Рис. 2. Класифікація методів (протоколів) управління трафіком

Методи (протоколи) управління трафіком транспортного рівня моделі OSI

У проводових мережах забезпечення надійної та якісної передачі потоків даних здійснюється завдяки функціонуванню протоколів транспортного рівня моделі OSI, зокрема TCP (Transmission control protocol), SCTP (Stream Control Transmission Protocol) та UDP (User datagram protocol), а також їх модифікацій. Більш детально співвідношення можливостей перерахованих протоколів та вимог до передачі потоків даних в МР наведено в табл. 1 [4].

Таблиця 1

Співвідношення вимог до передачі трафіка в МР та можливостей протоколів транспортного рівня моделі OSI

Протоколи / Вимоги	UDP	TCP	SCTP
Децентралізоване управління	Відсутнє управління трафіком	Управління не децентралізоване	
Розподілене функціонування	Відсутнє	Здійснюється у взаємодії з протоколами інших рівнів моделі OSI	
Мінімальне завантаження мережі службовою інформацією	Задовольняє	Дуже навантажує мережу службовою інформацією	
Управління трафіком на різних рівнях моделі OSI	Відсутня	Управління можливе на транспортному рівні	
Можливість боротьби з перевантаженнями	Відсутня	Є чутливі до перевантажень, але не може відрізнити перевантаження від розриву маршрутів	
Доставка різних видів трафіка	Відео, голос	Передача даних	Передача даних, відео, голос

Протокол транспортного рівня UDP відповідає за передачу мультимедійної інформації в режимі реального часу, але в ньому відсутні механізми управління потоками даних, децентралізоване управління, розподілене функціонування та гарантована доставка інформації. Тому, надалі цей протокол не будемо розглядати, оскільки він не задовольняє

більшості вимог до передачі даних в МР. Більш детально звернемо увагу на протоколи SCTP, TCP та їх модифікації, які в порівнянні з протоколом TCP більше задовольняють вимогам передачі даних в МР.

Протоколи TCP та SCTP є основними протоколами управління трафіком в провідних мережах зв'язку, які забезпечують узгодження швидкостей передачі між усіма елементами мережі, запобігають перевантаженню у мережі, а також забезпечують гарантовану доставку інформації шляхом встановлення віртуального з'єднання між відправником та адресатом. Протокол SCTP – надійний транспортний протокол, який забезпечує стабільну, упорядковану передачу даних між двома кінцевими точками (подібно до TCP). Крім того, протокол забезпечує збереження меж окремих повідомлень (подібно до UDP). Однак, у відмінності від протоколів TCP і протоколу UDP протокол SCTP має додаткові переваги, такі як підтримка множинного адресування і багатопоточність – кожна з цих можливостей збільшує доступність вузла передачі даних.

Але все таки дані протоколи мають низку недоліків [15], які особливо відчутні при їх використанні в мережах з динамічною топологією:

–перший і основний недолік полягає в тому, що TCP та SCTP не можуть відрізнити втрату пакета через розрив маршруту від втрати через перевантаження мережі, тому втрата пакетів в МР завжди розцінюється протоколом як така, що виникла внаслідок перевантаження. Це призводить до низької ефективності використання методу вікна перевантаження в безпроводових мережах, де ймовірність розриву маршруту передачі є значною через високу динаміку топології мережі. В цій ситуації замість пошуку та побудови нових маршрутів передачі, дані протокол продовжують генерувати повторні передачі, заповнюючи МР службовим трафіком;

–„нечесна поведінка” TCP та SCTP передбачає змагання вузла за смугу пропускання каналу. Для визначення максимально можливого вікна перевантаження здійснюється стрімке збільшення інтенсивності відправки сегментів, яке відбувається до втрати пакета, після чого проводиться більш стрімке скорочення розміру вікна, щоб уникнути перевантаження мережі. Цей недолік приводить до сплесків навантаження в мережі і, відповідно, до збільшення ймовірності втрати сегментів;

–управління потоками даних здійснюється, в основному, кінцевими вузлами без можливості проміжних вузлів на маршруті впливати на передачу пакетів.

У зв'язку з вищеперерахованими недоліками протоколів на протязі останніх років дуже багато зусиль дослідників були спрямовані на адаптацію TCP для роботи в мережах MANET. Однак, як показав проведений аналіз [6, 10, 12], існуючі методи орієнтовані на статичні або квазістатичні умови функціонування МР і не усувають проблеми протоколу TCP, яка пов'язана з неможливістю виявлення причини втрати пакетів. На сьогодні основна увага дослідників, які займаються удосконаленням протоколу TCP для використання в мережах класу MANET, спрямована на забезпечення взаємодії зазначеного протоколу з протоколами інших рівнів моделі OSI (зокрема мережевого і каналного).

Висновок. Існує значна кількість методів для підвищення та забезпечення QoS в телекомунікаційних мережах, але проведений аналіз показав неспроможність існуючих методів (протоколів) управління на різних рівнях еталонної моделі взаємодії відкритих систем задовольнити всім вимогам, які пред'являються до мобільних радіомереж. Методи управління трафіком при забезпеченні якості обслуговування поділяється на такі основні методи, як: управління перевантаженням, управління чергами, управління відновленням передачі після втрати зв'язності мережі, управління відновленням втрачених пакетів та пакетів, які надійшли з помилками. У основі цих методів використовуються цікаві ідеї, застосування яких могло б підвищити ефективність управління трафіком в мобільних радіомережах. Проте, в МР реалізація цих ідей неприйнятна, тому що ґрунтуючись на евристичних алгоритмах і досить грубих, наближених моделях, не сприяє ухваленню адекватних рішень в умовах впливу мобільності абонентів і деструктивних чинників.

Незважаючи на реалізацію в деяких існуючих радіозасобах іноземного виробництва підтримки технології Ad Hoc [9], проблема забезпечення необхідного рівня QoS в радіомережах тактичної ланки управління досі залишається актуальною.

Враховуючи проведений аналіз, основна увага *подальших досліджень* буде приділена міжрівневим протоколам, які мають можливість передбачати та запобігати перевантаженням, використовуючи параметри MP, що характерні для різних рівнів моделі OSI (час затримки, зміна часу затримки, наявність вільного маршруту, RTT, ширина смуги пропускання та ін.) та вдосконалення методів (протоколів), застосування яких дало б можливість визначити причину втрати пакетів (внаслідок перевантажень, або помилок в мережі).

ЛІТЕРАТУРА

1. Дорт-Гольц А. Разработка и исследование метода балансировки трафика в пакетных сетях связи: дис. на соискание учёной степени кандидата технических наук / А.А. Дорт-Гольц. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2014.
2. Ибраева Л. Механизмы балансировки сетевого трафика / Л.О. Ибраева, К.У. Мухамедрахимов // Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина (Астана), Казахстан.
3. Кучерявый Е. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е.А. Кучерявый. – СПб.: Наука и техника, 2004. – 336 с.
4. Лейкин А. Протоколы транспортного уровня UDP, TCP И SCTP: достоинства и недостатки// Первая миля – 2013 – № 5. – С. 14 – 21.
5. Лемешко А. Тензорная модель многопутевой маршрутизации с гарантией качества обслуживания одновременно по множеству разнородных показателей / А.В. Лемешко, О.Ю. Евсеева // Электронное научное специализированное издание журнал „Проблемы телекоммуникаций”. – 2012. – № 4 (9). – С. 42 – 46.
6. Міночкін А. Аналіз методів управління навантаженням в мобільних радіомережах на транспортному рівні моделі OSI / А.І. Міночкін, В.А. Романюк, О.Я. Сова // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2006. – № 3. – С.51 – 62.
7. Олифер В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
8. Польщиков К. Управление интенсивностью передаваемых данных в информационных сетях, что осуществляется на транспортном уровне модели OSI: методы, проблемы та шляхи удосконалення / К.О. Польщиков, Н.В. Рвачова, В.В. Шкіцькій // Інформаційні інфраструктури та технології. – Полтава, 2009. – Вип. 1. – С. 55 – 58.
9. Сальник С. Аналіз мобільних засобів зв'язку тактичної ланки управління військами / С.В. Сальник, К.О. Єфанова, С.П. Бригадир // Збірник наукових праць ХНУ ПС. – 2018. – № 4 (58).
10. Allman M. TCP Congestions control [Електронний ресурс] / M. Allman, V. Paxson, E. Blanton // RFC 5681. – Режим доступа: <http://www.faqs.org/rfcs/rfc5681.html>
11. Basagni S. Mobile Ad Hoc Networking / S. Basagni, M. Conti, S. Giordano , I. Stojmenovic // IEEE Press, 2004. – 461 p.
12. Cisco, Class-Based Weighted Fair Queueing-White paper. Available online at: <http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12-0t/12-0t5/feature/guide/cbwfq.pdf>.
13. Larsen E. TCP in MANETs – challenges and Solutions// Norwegian Defence Research Establishment (FFI). – 27 September 2012 – 57 p.
14. Polschikov K. Methods and Technologies Analysis of The Real-Time Traffic Transmission Re-quests Servicing / K. Polschikov , K. Kubrakova, O. Odaruschenko // World Applied Programming. – Vol. 3, Issue 9. – 2013. – P. 446–450.
15. Sadouni S. Sctp-manet new extension of sctp protocol for the optimization of manet performances / Sadouni S., Benslama M., Beylot A. //International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 8, No. 5, 2016 – pp. 53 – 66.