

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

У статті розглядаються питання дослідження та аналізу створенню мобільних пакетних телекомунікаційних мереж, які не мають фіксованої інфраструктури - мережі стаціонарних (Ad Hoc) та мобільних абонентів (MANET). Такі телекомунікаційні мережі здатні до самоорганізації, поскільки їх вузли є не тільки кінцевими терміналами, але і ретрансляторами-маршрутизаторами, що ретранслюють пакети інших абонентів та беруть участь у знаходженні маршрутів до них. Проблема пропускної здатності їх каналів передачі є дуже актуальною.

Ключові слова: фіксована архітектура, телекомунікаційна система, пропускна здатність, змінна топологія, самоорганізація.

Вступ. Сучасні мобільні бездротові мережі зв'язку мають фіксовану інфраструктуру та з'єднані між собою за допомогою телекомунікаційних каналів передачі даних. Сьогодні велика увага приділяється створенню мобільних пакетних телекомунікаційних мереж, які не мають фіксованої інфраструктури - мережі стаціонарних (Ad Hoc) та мобільних абонентів (MANET). Такі телекомунікаційні мережі є здатними до самоорганізації, поскільки їх вузли є не тільки кінцевими терміналами, але і є ретрансляторами-маршрутизаторами, що ретранслюють пакети інших абонентів і беруть участь у знаходженні маршрутів до них. На відміну від мереж із ієрархічною структурою і централізованим управлінням, ці мережі без інфраструктури складаються із однотипних вузлів, де кожен вузол має комплекс програмно-апаратних засобів, що дозволяють організувати передачу даних від джерела до одержувача

безпосередньо і тим самим розподілити навантаження на мережу та підвищити сумарну пропускну здатність телекомунікаційної мережі. Мережі із багаторазовою ретрансляцією називаються багато скаковими (multihop). При розробці таких телекомунікаційних мереж основними проблемами є маршрутизація пакетів від вузла джерела до вузла одержувача, масштабованість мереж, адресація кінцевих пристроїв, підтримання зв'язності в умовах змінної топології.

Завдання підвищення пропускну здатності та створення ефективних алгоритмів і протоколів управління потоками інформації телекомунікаційних мереж передачі даних Ad Hoc / MANET із використанням аналізу повідомлень про поточне навантаження у мережі є однією з основних проблем розподілених та само організованих мереж. Існуючі алгоритми управління навантаженням і протоколи передачі даних для бездротових мереж Ad Hoc, і в особливості MANET, виявилися невідповідними та малоефективними при їх застосуванні для високошвидкісної передачі пакетних даних у телекомунікаційних мережах зі змінною топологією.

Постановка проблеми. У статті досліджуються та розглядаються питання вирішення задач підвищення пропускну здатності транспортного з'єднання телекомунікаційних мереж зі змінною топологією, проблеми удосконалення алгоритмів побудови групових незалежних маршрутів від джерела до отримувача інформації, методи управління навантаженням і напрямом передачі пакетних даних та оцінка ефективності запропонованих підходів. Вирішення цих питань дозволить об'єднати функції маршрутизації, зокрема пошук маршрутів до кінцевого отримувача, безпосередньо із передачею сегментів транспортного рівня. Використовуючи один протокол як для маршрутизації, тобто пошуку та підтримки маршрутів, так і для передачі сегментів даних транспортного рівня, що відповідає концепції взаємодії (cross-layer) дозволяє одержати вигоду у часі встановлення з'єднання і швидкості відновлення з'єднання при відмові одного або декількох маршрутів, а отже, і в пропускну здатності з'єднання. Аналітичні дослідження та моделювання показують, що пропускну здатність з'єднання в середньому буде вище на 6-7% у порівнянні з відомими методами передачі пакетних даних.

Також потребує дослідження та удосконалення алгоритм, дозволяє визначити тимчасово недоступні вузли-ретранслятори, тобто вузли, де сталася втрата пакетів, на підставі середніх значень продуктивності використовуваних маршрутів, що дозволяє транспортному рівню обминати за можливістю такі вузли. Це дозволить управляти в режимі реального часу напрямком та інтенсивністю передачі пакетних даних, тим самим, зменшуючи ймовірність втрати сегментів даних і збільшуючи сумарну пропускну спроможність транспортного з'єднання. Такий алгоритм передбачає використання інформації від нижчих рівнів, в рамках концепції взаємодії. Вигода від використання такого алгоритму побудови групових незалежних маршрутів і визначення тимчасово недоступних вузлів буде становити від 7 до 17% у порівнянні з використанням відомих протоколів групової маршрутизації.

Потребує удосконалень метод управління навантаженням транспортного з'єднання за допомогою адаптивних інтервалів повторної передачі. Це дає змогу більш адекватно підлаштувати параметри таймеру повторної передачі транспортного з'єднання до умов функціонування конкретної телекомунікаційної мережі та дозволить зменшити час простою системи та уникнути передачі неінформативних даних або дублювання вже переданої інформації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Аналіз та дослідження особливостей функціонування та принципів передачі даних в телекомунікаційних мережах зі змінною топологією дозволяє оцінити ефект від їх застосування та продуктивність різних протоколів множинного доступу. Децентралізовані телекомунікаційні мережі не мають постійної структури бо всі клієнтські пристрої з'єднуються "на льоту", утворюючи собою мережу. При цьому вузол мережі є не тільки кінцевим користувальницьким терміналом абонента, але і ретранслятором та маршрутизатором, що пересилає всі дані, призначені іншим абонентам.

Визначення того, якому вузлу пересилати дані, проводиться автоматично та динамічно, на підставі зв'язків у мережі. Це є основною відмінністю від звичайних дротових мереж та керованих бездротових, в яких завдання управління передачею даних виконують маршрутизатори чи точки доступу. Децентралізовані телекомунікаційні мережі можливо розділити на 3 типи: меш мережі (mesh), сенсорні мережі (Ad Hoc) і мобільні однорангові мережі (MANET)[1].

При передачі потоків інформації транспортний рівень є невід'ємною частиною будь-яких пристроїв, що працюють в мережах, заснованих на стеку протоколів TCP / IP. Розташовуючись у цьому стеку між рівнем додатків та мережевим рівнем, він грає ключову роль по доставці даних додаткам, функціонуючим безпосередньо на кінцевих пристроях системи. Для реалізації послуг та сервісів на прикладному рівні, цей рівень реалізує два методи функціонування - із встановленням логічного з'єднання та без встановлення з'єднання. В даному випадку під логічним чи віртуальним з'єднанням розуміється відстеження логічного стану абонента в процесі обміну даними, у тому числі в умовах тривалих пауз між повідомленнями [2]. Наприклад, у мережі Інтернет перший метод реалізується протоколом керування передачею TCP, другий метод - протоколом користувальницьких дейтаграм UDP. На основі цих протоколів будуються всі вищестоящі служби та сервіси в Інтернет – електронна пошта, голосовий зв'язок по мережах IP, передача файлів тощо. Транспортний протокол TCP у свій час розроблявся в першу чергу для застосування у провідних мережах передачі даних, враховуючи всі особливості їх функціонування, що робить застосування цього протоколу у його первинній модифікації в бездротових телекомунікаційних мережах менш ефективним, по скільки бездротові середовища передачі даних мають особливості та накладають певні обмеження. Це відноситься в першу чергу до само організованих мереж зі змінною топологією типу MANET. Схема управління навантаженням, запропонована для протоколу TCP, є ефективною для дротових мереж, де ємність каналів зв'язку, постійна, а втрати пакетів відбуваються через перевантаження у мережі. Проте ця схема практично не працює в телекомунікаційних мережах зі змінною топологією, де втрати пакетів обумовлені не тільки перевантаженням цієї мережі, але і частими змінами архітектури мережі. Тому втрата пакетів у таких мережах відбувається, насамперед, через постійні зміни топології телекомунікаційної мережі, мобільність абонентів, що ретранслюють пакети, зміни у маршрутах передачі та якості каналів передачі.

Із проведеного аналізу та дослідження можна зробити висновок про наявність пропозицій щодо адаптації протоколу TCP до умов функціонування телекомунікаційних мереж зі змінною топологією. Хоча всі вони враховують лише окремі особливості бездротового середовища передачі та мереж MANET або вимагають модернізації мережевого обладнання, яке успішно експлуатується сьогодні [2]. Тому виникає актуальна задача – дослідити методи підвищення пропускної здатності та підходи до управління навантаженням на транспортному рівні в телекомунікаційних мережах зі змінною топологією, що враховують особливості функціонування таких мереж. На пропускну здатність само організованих мереж MANET впливають не тільки протоколи множинного доступу та маршрутизації транспортного рівня, але і властивості використовуваних сигналів, видів модуляції тощо. У статті розглядаються застосування імпульсних над широкосмугових сигналів, що дозволяють спростити механізм випадкового множинного доступу до каналу передачі та підвищують пропускну спроможність з'єднання у цілому. Над широкосмуговими сигналами загалом називаються сигнали, ширина спектру яких не менше чверті від частоти несучої або більше ніж 500МГц. Основним діапазоном для роботи над широкосмугових систем передачі даних є діапазон 3,0 - 10,5 ГГц, де максимальна спектральна щільність потужності не може перевищувати - 41дБмВт/МГц, щоб не створювати перешкод іншим системам.

Сама природа таких сигналів, із одного боку ускладнює застосування відомих MAC-протоколів вузько смугових мереж, а з іншого боку володіє унікальними властивостями, що

дозволяють реалізувати додаткові корисні функції на MAC-рівні [3]. Зокрема, властивостями даних таких сигналів є:

- можливість одночасної багатоканальної передачі, що обумовлена дуже короткою тривалістю імпульсів та їх дискретної природою по відношенню до тривалості передачі одного біта інформації та дає можливість паралельної передачі багатьма абонентами одночасно. Властивість багато каналів потенційно дозволяє збільшити пропускну спроможність IR-UWB-мереж в порівнянні з вузько смуговим мережами;

- при накладенні бітів двох чи більше абонентів кореляційні методи прийому дозволяють виділити «свій» код із суміші сигналів, що приходять до приймача;

- доступність каналу бо канал в таких мережах не є абсолютно зайнятим. Ця унікальна властивість зумовлено дискретністю сигналу та дозволяє використовувати найпростіший протокол множинного доступу.

Також слід зазначити, що у силу надзвичайно короткої тривалості імпульсів при реалізації протоколів доступу є проблема синхронізації передавача та приймача. Хоча є варіанти прийому таких сигналів без синхронізації. Розглянемо функціональну модель телекомунікаційної мережі зі змінною топологією MANET, де кожен мобільний абонент рухається зі визначеною швидкістю, знаходиться в певних координатах та має визначену пропускну спроможність. При наявності прямої видимості абонента зв'язуються між собою через загальний ширококомовний канал, а за відсутності прямого радіозв'язку - використовують маршрутизацію пакетів та ретрансляцію через проміжні вузли. Таким чином, абонентські термінали являють собою багатофункціональні пристрої, тобто приймально-передавальний пристрій імпульсних над широкосмугових сигналів, процесор, який здійснює обробку пакетів та маршрутизатор.

Таким чином, можливі наступні варіанти передачі даних між абонентами:

1) пропускну здатність маршруту m_{sd} між завданою парою відправник – отримувач: $s_{m_{sd}} \geq s^0, s, d = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}$, де N – кількість абонентів у мережі, M – кількість маршрутів в мережі, s^0 – мінімально допустима пропускну здатність маршруту;

2) затримка передавання за маршрутом між завданою парою відправник – отримувач повинна бути у межах: $t_{Dsd} \leq t_D^0 (l(m_{sd}) \leq l^0)$, де t_{Dsd} – гранична затримка;

3) існування структурної зв'язності на всіх відрізках маршруту між завданою парою відправник – отримувач: $d_{ij} \leq d^0 \forall ij \parallel ik \in m_{sd}, i, j, s, d = \overline{1, N}, k = \overline{1, K}$, де d_{ij}, d^0 – дальність між сусідніми абонентами та відповідне обмеження зверху.

Тому така мережа може бути представлена спрямованим зваженим графом $G = (V, E)$, де V – множина вузлів (абонентів) мережі, E – множина каналів. Кожний вузол має свій ідентифікаційний номер. Кожен канал $e = (v_l, v_r) \in E$ та будь-який вузол $v_l \in V$ на момент часу може характеризуватися вектором оптимізаційних параметрів $\bar{X} = |x_1, x_2, \dots, x_i|, i = \overline{1, I}$.

Для здійснення управління навантаженням транспортного з'єднання джерело потоку даних здійснює цикл управління, який складається з етапу збору даних про стан каналу зв'язку, що включає в себе аналіз стану поточної ситуації в мережі по числу сусідніх вузлів, їх доступної пропускну здатності, середньої затримки при передачі пакетів, кількість відкинутих при передачі пакетів і прийняття керуючого рішення з метою вибору тих метрик пошуку маршруту передачі, які задовольняють вимогам якості обслуговувань прикладної задачі. При цьому вважається, що на момент прийняття рішення про пошук маршрутів відома інформація про розподіл навантаження γ_{sd} , що надходить від прикладного рівня. Використовуючи вище зазначені вихідні дані, загальний висновок можна сформулювати наступним чином: максимальний потік потоку даних у телекомунікаційній мережі γ_{sd} , в мережі для максимізації пропускну здатності віртуального з'єднання пари абонентів буде

$$S = \sum_{s=1}^N \sum_{d=1}^N s_{m\ sd}(\gamma) \rightarrow \max_{\gamma \in \Omega}, \quad (1)$$

Розглянемо методику оцінки зв'язності вузлів телекомунікаційної мережі зі змінною топологією. Необхідно: оцінити наявність та тривалість структурної зв'язності вузлів мережі MANET, а також можливість передачі заданого обсягу інформації за визначений час. Для реалізації необхідні наступні кроки:

- пошук маршрутів від джерела даних до одержувача;
- прогнозування середньої тривалості зв'язності $T_{c\ ij}^R$ вузлів мережі зі змінною топологією за маршрутом на основі моделі;
- перевірка можливості забезпечення заданої пропускної здатності та затримки при передачі при заданій динаміці топології мережі, що визначається умовами $T_{c\ ij} \leq T_c^0$. Якщо умови виконуються, то підвищення пропускної здатності з'єднання в умовах змінної топології мережі можливо, інакше - використання такого методу неможливо.

- перевірка визначених умов для пари абонентів. Під забезпеченням структурної зв'язності віртуального з'єднання розуміється наявність мінімум одного маршруту від джерела до одержувача в момент часу. Якщо умови виконуються, то абоненти є структурно пов'язаними на момент часу, інакше - передача даних від джерела до одержувача неможлива.

Висновки. У статті досліджено та проаналізовано забезпечення інформаційного потоку даних на основі протоколів реального часу. Проведено дослідження і визначено параметри при яких використання технології багато адресної передачі даних для IP - телебачення та відео конференцій дозволяє оптимізувати та збільшити продуктивність роботи телекомунікаційної мережі та зекономити ресурси смуги пропускання каналів передачі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Романюк В.А. Мобильные радиосети – перспективы беспроводных технологий / В.А. Романюк // Сети и телекоммуникации. – 2013. – № 12. – С. 62 – 68.
2. Сальник С.В. Аналіз методів виявлення вторгнень у мобільні радіомережі класу MANET / С.В. Сальник, О.Я. Сова, Д.А. Міночкін // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки. – К.: НУОУ, 2015. – № 1(22). – С. 103-112.
3. Бунін С.Г., Войтенко Ю.Ю. Швидкість передачі інформації в імпульсних надширокопasmових мережах / Бунін С.Г., Войтенко Ю.Ю. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ КПІ, 2010р. – №1. – С. 4-10.

REFERENCES:

1. Romanyuk VA Mobylnnye radyosety - Prospects besprovodnyh technology / VA Romaniuk // Networks and telecommunications. - 2013. - № 12. - P. 62 - 68.
2. Seal SV Analysis methods for intrusion detection in mobile radio class MANET / SV Seal, AJ Owl, DA Minochkin // Modern information technology security. - K. : NUOU, 2015. - № 1 (22). - WITH. 103-112.
3. Bunin SG, JJ Voitenko The data transfer speed in momentum over broadband networks / Bunin SG, Voitenko YU.YU // Proceedings of Viti NTU KPI, 2010. - №1. - P. 4-10.

Рецензент: д.т.н., проф. Шворов С.А., Національний університет біоресурсів і природокористування

к.т.н., доц. Хмельницький Ю.В., к.т.н., доц. Браун В.О., Березовская Ю.В., Филипчук А.А.
ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КАНАЛОВ
ПЕРЕДАЧИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

В статье рассматриваются вопросы исследования и анализа созданию мобильных пакетных телекоммуникационных сетей, не имеющих фиксированной инфраструктуры - сети стационарных (Ad Hoc) и мобильных абонентов (MANET). Такие телекоммуникационные сети

способны к самоорганизации, по сколько их узлы являются не только конечными терминалами, но и являются ретрансляторами-маршрутизаторами, которые ретранслируют пакеты других абонентов и участвуют в нахождении маршрутов к ним. Проблема пропускной способности их каналов передачи является очень актуальной.

Ключевые слова: фиксированная архитектура, телекоммуникационная система, пропускная способность, переменная топология, самоорганизация.

**Ph.D. Khmelnitsky Yu.V., Ph.D Braun V.O., Berezovska J.V., Filipchuk A.A.
RESEARCH AND ANALYSIS BANDWIDTH IN TELECOMMUNICATIONS TRANSMISSION**

The article deals with the study and analysis of packet creation of mobile telecommunications networks that do not have a fixed infrastructure - fixed network (Ad Hoc) and mobile subscribers (MANET). Such telecommunications networks are capable of self-organization, on how many units are not only end terminals, but are repeaters, routers that relay packets and other parties involved in finding routes to them. The problem of bandwidth channels is very important.

Keywords: fixed architecture, telecommunication system, bandwidth, variable topology, self-organization.

