

УДК 004.7.654

Ткаліч О.П., к.т.н., Одарченко Р.С., к.т.н.,
Устинов О.Ю., Колодинський Д.О.

РОЗРАХУНОК ЗОНИ ПОКРИТТЯ БЕЗДРОВОЇ МЕРЕЖІ WI-FI ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ АБОНЕНТІВ В АЕРОПОРТУ

Національний авіаційний університет

tkalich@nau.edu.ua

Зростаюча кількість розумних мобільних пристроїв вимагає від підприємств поліпшення сервісу для своїх користувачів, до таких підприємств можна віднести великі транспортні вузли: аеропорти, залізничні та автовокзали. На таких підприємствах виникає потреба в оптимізації та розподілу трафіку і визначення місцезнаходження користувачів для надання якісного сервісу

Ключові слова: мобільний абонент, навантаження, інформаційна послуга, інформаційно-комунікаційна мережа, місцезнаходження

Вступ

Аеропорти – це високозагружені споруди з людьми, що поспішають в магазини, до ліній контролю безпеки, зон посадки і до місць отримання багажу. Міжнародна рада по аеропортах (*Airports Council International*) опублікував статистику, що в середньому 2,5 мільярда людей користуються авіатранспортом і послугами аеропортів за один рік. З такою величезною кількістю людей, які перебувають в одній зоні, а також з появою та зникненням абонентів, інформаційні центри аеропорти шукають шляхи для більш ефективного управління трафіком. Навантаження на інформаційно-комунікаційну мережу аеропорту можна розділити на декілька типів трафіку: для служб аеропорту та гостей (пасажирів, проводжачих, зустрічаючих). Для служб: потокове відео (системи відеоспостереження, системи безпеки аеропорту). Для гостей: мультимедіа (перегляд он-лайн відеотрансляцій, радіо-трансляцій, скачування та завантаження в мережу відео файлів), контекстна реклама, інформація щодо прильотів вильотів, місць відпочинку, служб перевезення пасажирів та вантажів, соціальні мережі, визначення місцеположення гостя (для поліпшення орієнтування гостей на території терміналів аеропорту), інформація стосовно пересування вантажу і т.п.

За 2013 рік в аеропорті «Київ» кількість пасажирів досягла 1,8 мільйонів пасажирів, а в аеропорті «Бориспіль» – 7,9 мільйонів. За 12 місяців минулого року пасажиропотік міжнародного аеропорту «Бориспіль» склав 6,9 мільйонів осіб, що на 14% менше порівняно з 2013 роком. Як було неодноразово відзначено, значне скорочення обсягів авіаперевезень на вітчизняному ринку є очікуваним результатом економічної та політичної ситуації в Україні. Тому проблема доведення інформації, як оперативної так і розважальної для гостей в межах аеропорту є актуальною.

Як приклад вирішення такого завдання можемо розглянути досвід компанії *SITA* (Женева / Швейцарія), якою був розроблений спеціальний програмний комплекс, що використовує мережу стандарту *Wi-Fi*, як платформу. Цей комплекс виконує відстеження переміщення пасажирів, використовуючи частоти *Wi-Fi* і *Wi-Fi*-сигнали, що випромінюються з мобільних пристроїв пасажирів (смартфони, ноутбуки, планшети з *Wi-Fi* і т.п.). В системі локації мережі *Wi-Fi* кожен пасажир представлений однією точкою. Різні кольори цих точок визначають різницю між прибуваючими і вилітаючими пасажирами, а також працюючим персоналом і спеціальними предметами (наприклад,

контейнери, багаж та баки з мітками *RFID* і т.п).

Збір статистичних даних по пересуванню пасажирів дозволяє поліпшити «інтер'єр» аеропорту, тобто зробити його більш адаптованим під потреби більшості гостей, розділивши на певні зони. Також це дозволить збільшити прибутковість аеропорту за рахунок розваженої орендної плати за приміщення аеропорту, оптимізувати кількість зон посадки та висадки пасажирів, зменшити час отримання багажу, зменшити витрачений час гостем для пошуку потрібної служби або місця для дозвілля. Також є можливість доведення до пасажирів оперативної інформації. Найбільші прибутки приносять аеропорту крім аеропортових зборів кошти за аренду місць торгівлі.

За дослідженнями «*Airport Revenue News*» пасажирів в Північній Америці витрачають в середньому приблизно \$ 7,65 в аеропорту до посадки в літак. З новим розумінням потреб пасажирів очікується збільшення цього показника на \$ 5- \$ 10. Для допомоги пасажирам в пошуку того, що їм необхідно, а також для збільшення загальної прибутковості в аеропорту, було розроблено мобільний додаток для *Apple iPhone*. Ця програма, працюючи з мережею *Wi-Fi*, дозволяє:

- Визначити місце розташування пасажирів,
- Знайти найкоротшу чергу в зоні огляду безпеки,

- Знайти шлях до своєї зони посадки,

- Знайти інформацію по акціях та розпродажів в магазинах аеропорту.

З демонстрацією збільшення прибутковості і практичним розумінням того, як до цього можна прийти багато аеропортів зможуть дозволити собі програмний комплекс від *SITA* або його аналогів, таких як: *SDK* для *Apple iOS* та *SDK* для платформ *Android*. Додатки дозволяють отримувати повідомлення про присутності з сервісу *Mobility Services Engine (MSE)*, налаштування з *MSE* та посилати *Push*-повідомлення на додаток (через *Google /Apple*), зв'язуватися з мобільними клієнтами, та може бути опитаний іншим сервером додатків (який встановлений в організації).

Постановка завдання

Існують алгоритми та програмні засоби визначення місцезнаходження мобільних абонентів, розрахунки навантажень на мережу, розрахунки кількості комутаційного обладнання, тому виникає завдання уніфікації різних моделей розрахунків навантаження в інформаційних та комунікаційних мережах з наступними визначенням місцезнаходження абонентів та наданням якісних інформаційних послуг в транспортному вузлі з рівномірною щільністю навантаження (мобільних абонентів).

Виклад основного матеріалу

Топологію мережі аеропорту зображено на рис.1.

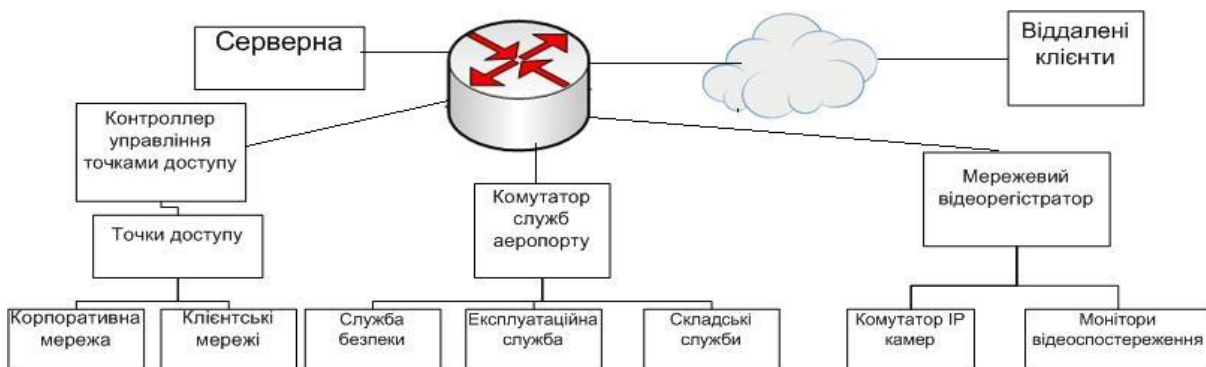


Рис. 1. Топологія мережі аеропорту.

Система, створена SITA, на даний момент працює з точністю визначення місця розташування до 3 метрів з використанням функціоналу локації мережі Wi-Fi.

Проблема розміщення точок доступу при проектуванні мереж WLAN може бути зведена до вирішення задачі розміщення в приміщенні такої кількості точок доступу, яке забезпечує надійний обмін даними між абонентами в мережі. Пропонується покривати прямокутники відповідних приміщень будівлі окружностями з вписаними в них квадратами або шестикутниками. При покритті площі зонами в формі квадрата для розрахунку мінімальної необхідної кількості точок доступу S можна використати наступний вираз:

$$S = \left[\frac{a}{\sqrt{2} \times (R - t)} \right] \times \left[\frac{b}{\sqrt{2} \times (R - t)} \right],$$

де r – радіус дії точки доступу, a – довжина приміщення, b – ширина приміщення, t – необхідний перетин зон для забезпечення роумінга.

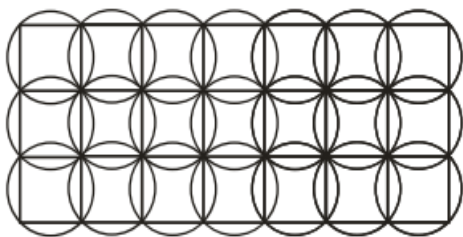


Рис.2. Покриття приміщення зонами в формі квадрата

При покритті площі зонами в формі шестикутника з розмірами A і B для розрахунку мінімальної необхідної кількості точок доступу S можна використати наступний вираз:

$$S = \left[\frac{A}{\sqrt{3} \times (R - T)} \right] \times \left[1 + \frac{\frac{B}{R - T} - 1}{1.5} \right]$$

де R – радіус точки доступу, T – перетин зон для забезпечення роумінгу, розміри прямокутного приміщення A і B .

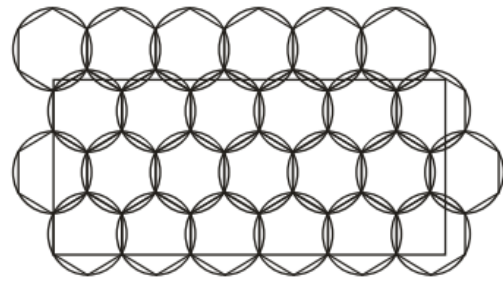


Рис.3. Покриття приміщення зонами в формі шестикутника.

Зона покриття з вписаним шестигранником представлена на (рис 4). YOM являє собою рівнобедрений трикутник $YO = MO = R$ з вершиною $\angle YOM = 60^\circ$. У свою чергу, трикутник QOM також є рівнобедреним трикутником з вершиною $\angle QOM = 60^\circ$. Відривки QZ і ZY є одночасно бісектрисами і медіанами.

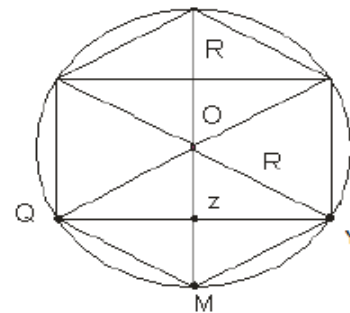


Рис. 4 Шестигранник, вписаний в коло

Тому $\angle OYZ = \angle OQZ = 30^\circ$. Тоді $OZ = R/2$. Визначимо основні характеристики шестикутника:

$$QY = ZY^2 + OZ^2, R^2 = ZY^2 + \frac{R^2}{4},$$

$$ZY = \frac{\sqrt{3}}{2} \times R, QY = 2 \times ZY, QY = \sqrt{3} + R$$

При вирішенні задачі покриття необхідно врахувати можливість роумінгу. Тому довжина відривка QY визначається як:

$$QY = \sqrt{3} + (R - T)$$

де T – зона покриття, яку необхідно врахувати для роумінгу.

Отже розрахунок мінімальної кількості точок доступу S для покриття шес-

тигранниками можна визначити виразом:

$$S = \left[\frac{A}{\sqrt{3} \times R - T} \right] \times \left[1 + \frac{\frac{B}{R-T} - 1}{1.5} \right] + \left[\frac{\frac{B}{R-T} - 1}{3} \right]$$

Схема передачі сигналів між «розумними» мобільними пристроями та конт-

ролерами точок доступу (базовими станціями) *Wi-Fi* зображена на рис.5.

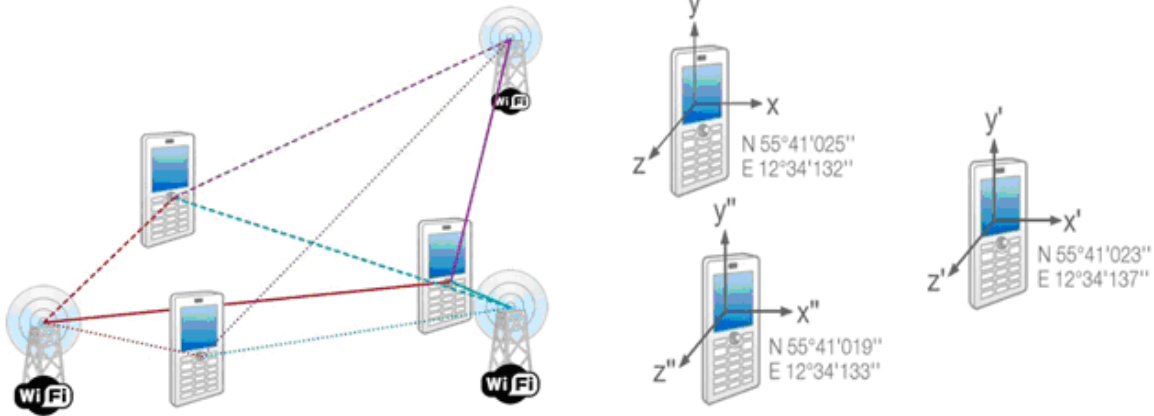


Рис.5. Обробка сигналів, що надходять від мобільних станцій до базових станцій *Wi-Fi* та занесення їх до системи координат

Мережа в аеропорту має типову для «hot spot»-систем топологію «стілник»: в центрі стільника знаходиться базова станція, навколо якої знаходяться мобільні станції. Мережа «hot spot» зображена на рис.5.

Трафік від МС до БС направлений у зовнішню мережу, а від БС до МС – із зовнішньої мережі, тобто між абонентами бездротової мережі відсутні інформаційні потоки. Крім того, передбачається рівномірність розподілення трафіка від БС до всіх МС, тобто поточний пакет БС призначений будь-якій МС i з вірогідністю $1/N$.

Нехай дві станції знаходяться на відстанях $R_{|1|}$ та $R_{|2|}$ ($R_{|1|} > R_{|2|}$) від БС. Тоді при одночасній передачі БС успішно прийме сигнал від станції №2, як шум на фоні сигналу від станції №1, якщо відношення цих сигналів більше величини A [дБ], тобто:

$$10 \times \log \left(\frac{R_{|2|}}{R_{|1|}} \right)^v > A,$$

де коефіцієнт загасання у просторі $v = 2$ для вакууму або коротких дистанцій (ме-

реж в приміщенні) і $v \approx 3,3$ для міських умов.

Таким чином, станція $MC|i|$ з радіус-вектором $R|i|$ буде конкурувати тільки з тими станціями, які розташовані не далі ніж на відстані $R'_{|i|} = R_{|i|} 10^{A+10v}$ від БС. Саме ці станції визначають імовірність колізії та імовірність передачі для $MC|i|$.

До питання про наявність пристроїв стандарту *Wi-Fi* у пасажирів (як основи для трекінгу) - за статистикою *SITA* близько 40% пасажирів вже зараз мають пристрої з підтримкою *Wi-Fi* і включеним радіо модулем.

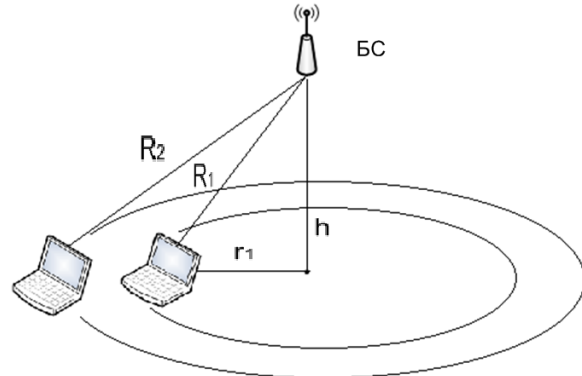


Рис.6. Схема мережі «hot spot».

Для того, щоб дати оцінку пропускну́й здатності бездротової мережі, необхідно врахувати її навантаження. Існує декілька моделей для розрахунку: модель з високим навантаженням та рівномірним (нормальним).

Для прикладу розглянемо модель, що застосовується для оцінки продуктивності мережі при нормальному навантаженні, слід врахувати два важливих фактори:

1) станція після передачі пакета і при відсутності наступного пакета в черзі переходить в стан відстрочки з мінімальним конкурентним вікном і лише після закінчення часу відстрочки – в стан простою (якщо черга залишилась пустою);

2) пакет, який надійшов в чергу станції, що знаходиться в стані простою, негайно передається, якщо як в момент надходження, так і протягом попереднього інтервалу *DIFS* (*DCF InterFrame Spacing* – міжкадровий інтервал *DCF*) або *EIFS* (*Extended InterFrame Space* – розширений міжкадровий інтервал) канал був вільним.

Проведемо оцінку ймовірності p_a , а також часу синхронного обслуговування T_s і основного показника продуктивності T .

Для знаходження ймовірності p_a і середнього часу синхронного обслуговування розіб'ємо пакети, які обслуговуються синхронно і надходять протягом усіх можливих віртуальних слотів (i, k), на наступні 4 категорії:

- 1) надходження протягом слотів ($i \geq 0, k$);
- 2) надходження протягом слотів ($-1, k > 0$);
- 3) надходження протягом передачі іншої станції під час слота ($-1, 0$);
- 4) надходження під час асинхронної передачі даної станції.

Можна розрахувати середню кількість надходячих синхронно обслуговуваних пакетів

n_i та n_i^0 ($i = 1, \dots, 4$), де n_i – їх загальна кількість, а n_i^0 – кількість таких пакетів, що надходять в порожню чергу.

Очевидно,

$$T_s = \frac{\left[\left(T_s^* + \Delta^* \right) \sum_{i=1}^4 \left(n_i - n_i^0 \right) + \sum_{i=1}^4 T_s^i n_i^0 \right]}{\sum_{i=1}^4 n_i}$$

$$p_a = \frac{\tau_a}{\left(\tau_a + \sum_{i=1}^4 n_i^0 \right)},$$

де,

$$T_s^* = \sum_{i=0}^m p_i \left(\frac{W_i - 1}{2} t_1 + t_2 - \left(-p \right) \text{DIFS} \right)$$

а

$$t_1 = Q_E \sigma + Q_S^S + Q_A \sum_i t_i^S D_i^S + Q_S^C \sum_{i \leq L+1} t_i^C D_i^C$$

$$t_2 = \left(-p \sum_i t_i^S D_i^S \right) + p \sum_{i \leq L+1} t_i^C D_i^{C1}$$

- середні тривалості віртуальних слотів, в які дана станція відповідно утримується від передачі і передає. Крім того, T_s^i - середні часи обслуговування пакетів різних категорій i , які надходять в порожню чергу, а $\Delta^* = \left(-p^{m+1} \right) \text{DIFS}$ відображає той факт, що передача пакета, що надходить в не порожню чергу, починається з інтервалу *DIFS*, який слідує за підтвердженням успішної передачі, крім випадків відказу, коли обслуговування починається після закінчення інтервалу *EIFS*. Нарешті, D_i^{C1} - розподілення тривалості колізії, в якій приймає участь дана станція.

Остаточню, беручи до уваги асинхронну передачу, отримуємо середній час, що витрачається на обслуговування пакета:

$$T = \frac{\pi_0 p_a}{1 - \pi_B} \sum_i \left(\left(-\text{DIFS} \right) \right) + \frac{1 - \pi_0 p_a - \pi_B}{1 - \pi_B} T_s$$

Тут перший доданок відповідає за асинхронний, а другий – за синхронний механізм передачі.

Ймовірність відмови в обслуговуванні пакета:

$$p_r = 1 - \left(-\pi_B \right) \left[-p^{m+1} \left(-p_a \right) \right]$$

Відмова можлива при :

- 1) повному заповненні черги, коли кількість пакетів в ній рівно B – ймовірність π_B ;

2) вичерпанні кількості спроб на передачу пакета – ймовірність $p^{m+1} \left(1 - p_a\right)$

На основі формули Літгла знаходимо середній час затримки пакета на МАС-рівні, тобто середній час його перебування на даній станції, включаючи можливе очікування в черзі та обслуговування:

$$T_{\text{MAC}} = \frac{\pi_0 P_a}{1 - \pi_B} \cdot \sum_i t_i^S D_i \left(1 - p_a\right) + \frac{1 - \pi_0 P_a - \pi_B}{1 - \pi_B} \times$$

$$\times \frac{\sum_{i=1}^B i \cdot \pi_i}{\lambda_0 \cdot \pi_0 + \lambda \sum_{i=1}^{B-1} \pi_i} = \frac{\pi_0 \cdot P_a}{1 - \pi_B} \sum_i t_i^S \cdot D_i \left(1 - p_a\right) +$$

$$+ \frac{1}{\left(1 - \pi_B\right) \lambda} \cdot \sum_{i=1}^B i \cdot \pi_i$$

Таким чином, під будь-який термінал аеропорту можна розрахувати навантаження на мережу, кількість точок доступу, знаючи площу терміналу та середню статистичну кількість користувачів послуг за умов їх рівномірного розосередження по терміналу. В разі перевантаження мережі на певних ділянках можливо розглянути або додавання точок доступу або використовувати модель для розрахунку високого навантаження, як для терміналу так і для окремої ділянки. Методи моніторингу місцезнаходження абонентів, крім зазначеного вище, дозволять виявити такі ділянки.

Висновки

В результаті проведених досліджень розглянуто сервіс, заснований на використанні технології стандарту *Wi-Fi* 802.11 і спеціалізованих додатків для мобільних користувачів з легко змінними та адаптованими картами приміщень, а саме аеропортів. Також проаналізовано сигнали, що надходять від мобільних станцій до базових станцій *Wi-Fi*. Для представленої мережі «*hot-spot*» розраховано співвідношення сигналів станцій в залежності від місцезнаходження абонентів. Також розраховано кількість точок доступу для покриття зони у формі квадрату або шестикутника. Розглянуто модель для розра-

хунку продуктивності мережі при рівномірному навантаженні.

Список літератури

1. Широкополосные беспроводные сети передачи информации : учеб. пособие / В. М. Вишневикий, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – М. : Техносфера, 2005 – 592 с.

2. К вопросу о проектировании беспроводных локальных сетей WLAN/Д. В. Рудаков, В. П. Комагоров, О. Б. Фофанов // Управление, вычислительная техника и информатика: доклады ТУСУРа № 2 (22), часть 1, декабрь 2010, г. Томск. – С. 278-282.

3. Интеграция сервисов местоположения мобильных абонентов с системами видеонаблюдения/ Ткалич О.П., Одарченко Р.С.// Збірник наукових праць: Випуск 4 (48) – Проблеми інформатизації та управління.. – К.:НАУ, 2014. – С.103-108.

Статтю подано до редакції 14.05.2015