

Одеський національний політехнічний університет
Інститут комп'ютерних систем
Кафедра інформаційних систем

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи
магістра

на тему: Дослідження та розробка протоколів бездротових мереж на основі
стандарту IEEE 802.15.4 для управління елементами медіафасаду

Виконав: студент 6 курсу, групи AI-081м
спеціальності 8.05010101 –
«Інформаційні управляючі системи та
технології»

Ільїн П. О.
(прізвище та ініціали)

Керівник Бровков В. Г.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

Одеса – 2014 року

Одеський національний політехнічний університет

Інститут комп'ютерних систем

Кафедра інформаційних систем

Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр

Спеціальність 8.05010101 – «Інформаційні управляючі системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІС

(підпис)

д.т.н., проф. Антошук С.Г.

“ ” _____ 2013 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ільїну Павлу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження та розробка протоколів бездротових мереж на основі стандарту IEEE 802.15.4 для управління елементами медіафасаду

керівник роботи Бровков Володимир Георгійович, к. т. н., професор,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “31” 10 2013 року № 544-в

2. Строк подання студентом роботи 10.12.2013

3. Вихідні дані до роботи система управління елементами індикації медіафасаду, стандарт технології IEEE 802.15.4

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Аналіз сучасного стану проблеми управління елементами медіафасаду. Розробка мережевого протоколу для системи управління ad-hoc медіафасаду. Розробка програмної моделі мережі управління елементами індикації медіафасаду. Експериментальна перевірка характеристик протоколу для мережі управління елементами медіафасаду за допомогою програмної моделі .Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Перелік посилань. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Комп'ютерна презентація

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	доц. Озернюк О. Т.		

7. Дата видачі завдання 05.02.2013

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасного стану технологій, що використовуються в системах управління медіафасадів	01.03.2013	виконано
2	Аналіз існуючих технологій бездротового зв'язку	14.03.2013	виконано
3	Аналіз стандарту бездротових мереж IEEE 802.15.4	14.04.2013	виконано
4	Розробка мережевого протоколу взаємодії в системі управління елементами індикації медіафасаду	01.07.2013	виконано
5	Програмна реалізація моделі бездротової мережі управління елементами індикації медіафасаду	01.08.2013	виконано
6	Дослідження характеристик розробленого мережевого протоколу за допомогою моделі мережі	15.09.2013	виконано
7	Розгляд питань охорони праці	01.10.2013	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	01.12.2013	виконано
9	Нормоконтроль		
10	Попередній захист		
11	Захист		

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Ільїн П. О.

(прізвище та ініціали)

Бровков В. Г.

(прізвище та ініціали)

ЗАВДАННЯ

На розробку розділу «Охорона праці та захист у надзвичайних ситуаціях» в дипломній роботі студенту

Ільїну Павлу Олександровичу

Групи АІ-081м факультету ІКС

Тема дипломної роботи: дослідження та розробка протоколів бездротових мереж на основі стандарту IEEE 802.15.4 для управління елементами індикації медіа фасаду.

Розділ «Охорона праці», в залежності від профілю дипломної роботи (дослідницький, технологічний, виробничий), повинен вміщати:

1. Аналіз ймовірних небезпечних та шкідливих виробничих факторів, створюємих проєктованим об'єктом (мікроклімат, освітлення, шум, ЕМП, електро та пожеженобезпека).
2. Розробку заходів, направлених на усунення або зниження шкідливого впливу виявлених факторів, заснованих на нормативних документах (ДСТ, ДБН, СанПін та ін.)
3. Індивідуальне завдання, що представляє собою детальну розробку одного з конкретизованих заходів, які забезпечує запобігання нещасних випадків та профзахворювань (розрахунки засобів захисту). Завдання видається керівником дипломної роботи та узгоджується із консультантом кафедри охорони праці.

Тема індивідуального завдання з охорони праці: розрахунок нормованої освітленості в робочому приміщенні.

Розділ «Охорона праці» оформлюється окремою главою з вказівкою назв підрозділів у відповідності до пп. 1-3.

Керівник роботи:
Бровков В. Г.

Консультант з охорони праці:
Озернюк О. Т.

«__» _____ 2013 р.

«__» _____ 2013 р.

ЗМІСТ

Вступ	9
1 Аналіз сучасного стану проблеми управління елементами медіафасаду . . .	13
1.1 Вимоги до мережі управління медіафасадом	13
1.2 Огляд технологій бездротового зв'язку	14
1.2.1 Огляд технології Bluetooth	15
1.2.2 Огляд технології Wi-Fi	15
1.2.3 Огляд технології UWB	16
1.2.4 Огляд технології IEEE 802.15.4	16
1.3 Зведене порівняння технологій бездротового зв'язку	17
1.4 Аналіз особливостей стандарту технології IEEE 802.15.4	18
1.4.1 Загальна характеристика мереж технології IEEE 802.15.4	19
1.4.2 Режим роботи мережі beacon-less	21
1.4.3 Режим роботи мережі beacon-enabled	23
1.4.4 Оцінка пропускної спроможності мереж технології IEEE 802.15.4	25
1.5 Огляд середовищ моделювання мереж	27
1.5.1 Середовище моделювання ns	28
1.5.2 Середовище моделювання Cooja	29
1.5.3 Вибір середовища моделювання мережі	29
1.6 Висновки до першого розділу	30
2 Розробка мережевого протоколу для системи управління ad-hoc медіафасаду	32
2.1 Аналіз особливостей архітектури системи ad-hoc медіафасаду	32
2.2 Зв'язок архітектури системи ad-hoc медіафасаду та мережевого протоколу взаємодії	33
2.2.1 Аналіз напрямків трафіку у мережі	33

					<i>ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Дослідження та розробка протоколів бездротових мереж на основі стандарту IEEE 802.15.4 для управління елементами медіафасаду	Лит.	Арк.	Аркушів
Розробив	Ільїн П. О.						5	110
Перевірив	Бровков В. Г.							
Н. контр.	Бабілонга О.Ю.					ОНПУ, ІКС, каф. ІС		
Затвердив	Антошук С. Г.							

2.2.2 Вибір мережевої топології	35
2.3 Сценарії роботи мережевого протоколу	35
2.3.1 Аналіз роботи мережі при незначному рівні трафіку від Клієнтів до Серверу	36
2.3.2 Аналіз роботи мережі при значному рівні трафіку від Клієнтів до Серверу	37
2.4 Оцінка розміру мережі	39
2.4.1 Управління із відправкою команд окремо до кожного Клієнта	39
2.4.2 Управління із мультиплексуванням команд до Клієнтів	41
2.5 Розширені топології мережі управління елементами ad-hoc медіафасаду .	43
2.5.1 Топологія «об'єднання зірок»	43
2.5.2 Топологія «дерево кластерів»	44
2.6 Висновки до другого розділу	46
3 Розробка програмної моделі мережі управління елементами індикації медіафасаду	48
3.1 Загальна модель бездротової мережі у середовищі моделювання ns-2 . . .	48
3.2 Модель бездротової мережі управління елементами медіафасаду на базі технології IEEE 802.15.4 у середовищі моделювання ns-2	52
3.2.1 Додаткові компоненти, що були використані при розробці програмної моделі мережі	53
3.2.2 Зміни до програмного коду компонентів середі моделювання ns-2 . . .	53
3.3 Розробка програмного коду сценарію моделювання мережі управління елементами індикації медіафасаду	57
3.4 Процедура аналізу результатів моделювання	59
3.5 Висновки до третього розділу	61
4 Експериментальна перевірка характеристик протоколу для мережі управління елементами медіафасаду за допомогою програмної моделі	62
4.1 Експериментальна перевірка відповідності програмної моделі до вимог стандарту IEEE 802.15.4	62

4.2 Моделювання роботи мережі при незначному рівні трафіку від Клієнтів до Сервера	66
4.2.1 Моделювання роботи мережі при незначному рівні трафіку від Клієнтів до Сервера та без трафіку від Сервера до Клієнтів	66
4.2.2 Моделювання роботи мережі при незначному рівні трафіку від Клієнтів до Сервера та із трафіком від Сервера до Клієнтів	68
4.3 Моделювання роботи мережі при значному рівні трафіку від Клієнтів до Сервера	72
4.4 Висновки до четвертого розділу	76
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	78
5.1 Обґрунтування вибору об'єкта	78
5.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів на робочому місці та розробка заходів спрямованих на усунення чи зниження шкідливого впливу виявлених факторів	78
5.2.1 Повітря робочої зони	78
5.2.2 Мікрокліматичні параметри	79
5.2.3 Шум	80
5.2.4 Освітлення	80
5.2.5 Вібрація	81
5.2.6 Електромагнітне та іонізуюче випромінювання	81
5.2.7 Електробезпека	82
5.2.8 Пожежна безпека	82
5.3 Розрахунок нормованої освітленості в робочому приміщенні	83
5.4 Поводження у надзвичайних ситуаціях	85
5.4.1 Початкові дані	85
5.4.2 Оцінка захисної споруди за місткістю	86
5.4.3 Оцінка захисних споруд за життєзабезпеченням	87
5.4.4 Оцінка захисних споруд за своєчасним укриттям людей	88

5.5 Висновки до п'ятого розділу	88
Висновки	89
Перелік посилань	92
Додаток А Програмний код сценарію моделювання	95
Додаток Б Документи, що підтверджують апробацію роботи	101
Додаток В Відомість до дипломної роботи магістра	110

ВСТУП

Останні роки відбувається помітний розвиток у галузі медіафасадів, міських екранів (urban screens) та міських медіа (urban media). Попередні роки існувала невірна думка, що медіафасади — це всього лиш еволюція звичайних рекламних щитів, що це високо технологічні системи, які використовуються лише для доставки високоякісної реклами. Звісно, таке використання медіафасадів залишається одним з найбільш популярних. І все ж таки, можна стверджувати, що системи медіафасадів — це не лише рекламні площадки.

По-перше, окрім рекламної функції, медіафасади і міські екрани виконують в сучасних містах іншу інформаційну функцію. Екрани використовуються у якості інформаційних табло для сповіщення населення міста. Наприклад, сповіщення про графік руху громадського транспорту. Об'єднані в єдину інформаційну мережу, подібні екрани надають місту «розумність» і покращують життя мешканців міста. Із ростом комп'ютеризації та інформатизації громадських служб можна очікувати збільшення кількості прикладів використання систем медіафасадів для покращення якості життя у місті.

По-друге, початкове утилітарні системи медіафасадів стали достатньо простими і розповсюдженими, щоб припасти до уваги митців. Поєднання інформаційних технологій та архітектури, скульптури, живопису роблять міський пейзаж красивим та яскравим. У світі є достатньо прикладів об'єктів архітектури, що були з самого початку розроблені так, щоб бути нерозривно пов'язаними із встановленою системою медіафасаду, яка створена виключно із мистецьких міркувань.

Таким чином, можна очікувати, що розвиток систем медіафасадів буде продовжуватися, відкриваючи нові напрямки і способи використання нових технологій.

Цікавим є один з напрямків розвитку систем медіафасадів, який стоїть на

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		9

перетині із іншою очікуваною концепцією майбутнього повсякденних технологій — Internet of Things. Стан сьогоденних технологій та економічні обставини є такими, що більшість (якщо не усі) систем міських медіа є великими стаціонарними об'єктами. На відміну від «класичних» медіафасадів можна уявити систему ad-hoc медіафасаду, яка може характеризуватися наступними характеристиками: мобільність, розподіленість, висока швидкість розгортання, інтерактивність, легкість використання. Використання подібної системи може мати сенс у областях культури, мистецтва, навчання, тощо.

Подібна система ad-hoc медіафасаду розглядалася у докладі [1], що був представлений на конференції IDAACS 2013 у місті Берлін, Німеччина. Та робота пропонує концепцію та загальну архітектуру системи, наводить вимоги до технологій. Одним з найбільш важливих елементів системи є канал зв'язку для управління елементами розподіленої системи. В роботі пропонується використання мереж стандарту IEEE 802.15.4 для організації каналу зв'язку в системі. Ця робота присвячена розвитку ідей, що були покладені у докладі [1].

Метою роботи є розробка протоколу для управління елементами індикації ad-hoc медіафасаду у бездротовій мережі на базі технології стандарту IEEE 802.15.4, що дозволить забезпечити заданий рівень якості обслуговування управляючого трафіку в мережі під навантаженням.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

- а) провести аналіз сучасного стану технологій, що використовуються в системах управління медіафасадів;
- б) провести аналіз існуючих технологій бездротового зв'язку;
- в) провести аналіз стандарту бездротових мереж IEEE 802.15.4;
- г) розробити мережеві протоколи взаємодії в системі управління елементами індикації медіафасаду;
- д) програмно реалізувати модель бездротової мережі системи управління елементами індикації медіафасаду;

е) дослідити характеристики розробленого мережевого протоколу, використовуючи програмну модель.

Об'єкт дослідження — мережа в системі управління елементами індикації ad-hoc медіафасаду.

Предмет дослідження — мережевий протокол управління елементами індикації ad-hoc медіафасаду.

Науково-практична цінність дослідження полягає в механізмі дотримання заданої якості обслуговування мережевого управляючого трафіку, який використовуються мережевим протоколом управління елементами індикації ad-hoc медіафасаду.

Дипломна робота складається із п'яти розділів.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану проблеми управління елементами індикації медіафасадів та розглянуті технології бездротового зв'язку. Для використання визначена технології IEEE 802.15.4, детально розглянуто її стандарт, визначені ключові особливості мереж на базі технології IEEE 802.15.4 та виявлені напрямки рішення поставлених проблем. Оглянуті середовища моделювання мереж та обрано середовище, яке надалі використане для розробки програмної моделі мережі управління ad-hoc медіафасадом.

У другому розділі розглянута архітектура системи ad-hoc медіафасаду, визначені напрямки трафіку, що використовуються в системі для управління Клієнтами візуалізації, та їх особливості. Розглянуті два можливих сценарії трафіку, до яких запропоновані режими роботи мережі і протоколи доступу до мережі. Проведена оцінка розміру мережі, що може бути підтримана розробленим протоколом та мережевою технологією, наведені шляхи збільшення розміру мережі.

У третьому розділі розроблена програмна модель бездротової мережі управління елементами індикації медіафасаду та додаткові інструменти для проведення моделювання.

У четвертому розділі досліджені характеристики та поведінка мережі шляхом її моделювання при різних розмірах та навантаженні, проведена оцінка придатності до застосування запропонованих режимів роботи та протоколів доступу до мережі.

В п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		12

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ МЕДІАФАСАДУ

1.1 Вимоги до мережі управління медіафасадами

Сучасні технології надають інженерам та дизайнерам великий вибір засобів для створення інтерактивних систем і об'єктів мистецтва. Зазвичай, складно створити деяку систему класифікації таких систем, яка б дозволяла виключно віднести одну чи іншу інсталяцію до визначеного типу. Замість цього, у роботі [2] Tscherteu та Leeb наводять технічні характеристики систем візуалізації. С точки зору побудови мережі управління системою інсталяції, найбільш важливими характеристиками є наступні:

- технологія відображення;
- характеристики якості зображення (роздільна здатність зображення, кольорова спроможність, розмір, тощо);
- кількість окремих кінцевих елементів;
- постійність (тривалість) використання;
- інтерактивність;
- стійкість і енергоспоживання.

Зазвичай, системи управління медіафасадами є централізованими. Мережі управління будуються таким чином, щоб організувати централізоване управління багатьма кінцевими елементами. Мережі статичні, тобто склад елементів не змінюється після розгортання системи. Оскільки розгорнуті системи статичні, для організації каналу зв'язку між керуючим пристроєм та кінцевими вузлами зазвичай використовуються кабелі. Використання кабелів також дозволяє об'єднати мережеву інфраструктуру системи із інфраструктурою енергопостачання. У системах, що створюють зображення високої якості (наприклад, із великою роздільною здатністю), є потреба використання каналів

зв'язку із широкою полосою пропускання. Використання кабелів, у такому випадку, є виправданим.

Система ad-hoc медіафасаду (див. [1]) має важливі особливості, порівняно із класичною системою медіафасаду. Потреба у мобільності та високої швидкості розгортання робить використання бездротових каналів зв'язку більш привабливим з точки зору дизайну та досвіду користувача. Також, мережа може бути не статичною, із змінною топологією та змінним складом кінцевих елементів. Але, система управління ad-hoc медіафасадом залишається централізованою. Керуючий пристрій повинен управляти багатьма мобільними кінцевими елементами. В залежності від характеристик кінцевих вузлів мережі, може виникнути потреба у широкій полосі пропускання каналу зв'язку.

Всі ці особливості повинні бути зауважені при виборі технології бездротового зв'язку, що буде використовувана для побудування мережі системи управління елементами медіафасаду.

1.2 Огляд технологій бездротового зв'язку

Протягом останніх 10-20 років була розроблена велика кількість різноманітних стандартів та технологій для систем, які потребують бездротового зв'язку. Оскільки коло задач дуже широке і потреби систем відрізняються, розроблені стандарти часто вирішують різні задачі або пропонують рішення одних й тих самих задач різними методами. Розглянемо декілька доступних технологій і оцінимо їх придатність для використання в системі управління елементами індикації медіафасаду. Огляд та порівняння підготовлено за матеріалами [3] та [4].

Далі будуть наведені деякі відомості про доступні технології бездротового зв'язку.

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		14

1.2.1 Огляд технології Bluetooth

Технологія Bluetooth використовується для обміну даними між Bluetooth-спроможними пристроями в персональних радіомережах [4]. Призначення технології — об'єднання мобільних персональних побутових пристроїв у малі мережі із малою пропускнуою спроможністю. Найбільша пропускна спроможність самого каналу Bluetooth досягнута в специфікації версії 2.1 [5] і становить 3 Мбіт/с.

Технологія розробляється групою компаній Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG). З 2002 по 2005 діяла робоча група IEEE 802.15.1 по стандартизації технології, але на даний момент робота групи припинена і розробка специфікацій ведеться під контролем SIG.

1.2.2 Огляд технології Wi-Fi

Wi-Fi — це одна з найрозповсюдженіших технологій бездротового цифрового зв'язку [4]. Wi-Fi призначена для поєднання різноманітних цифрових пристроїв у локальну мережу через бездротовий канал зв'язку. Технологія теоретично дозволяє об'єднувати у мережу тисячі пристроїв і підтримує канали із великою пропускнуою спроможністю. Найвища пропускна спроможність за однією із останніх та найбільш актуальних версій стандарту IEEE 802.11n-2009 є від 150 Мбіт/с до 600 Мбіт/с [3].

Розробка технології проводиться у робочій групі IEEE 802.11 за підтримкою організації Wi-Fi Alliance. Перша версія стандарту технології була опублікована у 1997 році. У подальшому, робочою групою було опубліковано декілька десятків виправлень та доповнень до базового стандарту і активна розробка продовжується.

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		15

1.2.3 Огляд технології UWB

UWB — це набір стандартів бездротових персональних радіомереж із великою пропускнуою спроможністю — HR-WPAN (High Rate Wireless Private Area Network) [3]. Призначення технології UWB східне із призначенням Bluetooth — об'єднання персональних побутових пристроїв у малі мережі, але дуже велика пропускна спроможність дозволяє використання технології у системах доставки медіаконтенту (телевізори, проектори, відеоплеєри, ігрові пристрої, тощо).

Розробка стандарту проводилася робочою групою IEEE 802.15.3 за підтримкою організацій UWB Forum та WiMedia Alliance. У 2003 році робочою групою був опублікований стандарт IEEE 802.15.3-2003 що описував MAC та PHY рівні для HR-WPAN. У подальшому в 2005 та 2009 роках були опубліковані доповнення до стандарту. У 2009-2010 роботи по розробці стандарту було припинено і дії організації WiMedia Alliance було припинено.

1.2.4 Огляд технології IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 — це технологія для бездротових персональних радіомереж із низькою пропускнуою спроможністю — LR-WPAN (Low Rate Wireless Private Area Network) [3]. Найбільше застосування технологія знайшла у бездротових сенсорних мережах (Wireless Sensor Networks — WSN) та системах автоматизації «розумних домів» через свої низькі потреби до пристроїв, які її використовують, та виключні характеристики енергоефективності. Технологія теоретично дозволяє об'єднувати у мережу тисячі пристроїв, але, на відміну від Wi-Fi, забезпечує обмежену пропускну спроможність.

Розробка стандарту технології проводиться робочою групою IEEE 802.15.4. Перша версія стандарту була опублікована в 2003 році. Остання ревізія стандарту була опублікована у 2011 році. Стандарт лежить в основі специфікацій технологій

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		16

ZigBee [6], WirelessHART [7] та декількох інших.

1.3 Зведене порівняння технологій бездротового зв'язку

В таблиці 1.1 наведено зведене порівняння основних розбіжностей технологій, що були оглянуті вище у підрозділах 1.2.1–1.2.4. Кожна технологія базується на стандарті IEEE. Wi-Fi та UWB забезпечують більшу пропускну спроможність, ніж Bluetooth та IEEE 802.15.4. Wi-Fi призначений для встановлення бездротових локальних мереж. UWB, Bluetooth та IEEE 802.15.4 призначені діяти в WPAN-мережах.

Технології Bluetooth та IEEE 802.15.3 UWB використовують у якості базової топології мережі Piconet, яка значна обмежує кількість пристроїв, що можуть діяти в мережі. Таким чином, ці технології не підходять для задачі створення мережі управління елементами візуалізації медіафасаду. Залишаються технології Wi-Fi та IEEE 802.15.4.

Найчастіше, технологія IEEE 802.15.4 використовуються для створення бездротових сенсорних мереж. Підставою до цього є простота використання пристроїв, енергоефективність. Такі самі вимоги є важливими при створенні системи ad-hoc медіафасаду. Енергоефективність пристроїв на базі IEEE 802.15.4 суттєво збільшить простоту використання та мобільність вузлів системи. Малу пропускну спроможність можна компенсувати інтелектуальним контролем полоси пропускання.

З цих причин, будемо використовувати мережу стандарту IEEE 802.15.4 в системі управління вузлами візуалізації в мережі медіафасаду.

Таблиця 1.1 – Зведене порівняння оглянутих технологій бездротового зв'язку

Назва характеристики	Технологія			
	Bluetooth	Wi-Fi	UWB	IEEE 802.15.4
Специфікація	IEEE 802.15.1	IEEE 802.11g	IEEE 802.15.3	IEEE 802.15.4
Частотний діапазон, ГГц	2,4	2,4; 5	3,168-10,56; 57-66	0,868; 0,915; 2,4
Номінальна пропускна спроможність, Мбіт/с	1-3	54-600	110-5750	0,25
Дальність, м	1-100	35-100	1-10	10-100
Кількість каналів	79	14	1-15	27
Максимальна кількість вузлів	8	2007	8	Більш 65530
Базова топологія мережі	Piconet	BSS	Piconet	Зірка
Розширена топологія мережі	Scatternet	ESS	Peer to Peer	Mesh, cluster tree
Механізм співіснування	Адаптивна зміна частоти	Динамічний вибір частоти, контроль потужності передачі	Адаптивна зміна частоти	Динамічний вибір частоти

1.4 Аналіз особливостей стандарту технології IEEE 802.15.4

В підрозділі 1.3 для побудови радіомережі в системі управління елементами ad-hoc медіафасаду була вибрана технологія радіомереж на базі стандарту IEEE 802.15.4. Для того, щоб можна було приступити до розробки протоколу прикладного рівня, необхідно розглянути можливості, що забезпеченні стандартом IEEE 802.15.4.

У цьому підрозділі розглядається стандарт IEEE 802.15.4, можливості що ним підтримуються та режими роботи, що можуть бути використані при розробці

протоколу управління елементами індикації медіафасаду.

1.4.1 Загальна характеристика мереж технології IEEE 802.15.4

Стандарт IEEE 802.15.4 зосереджується на низько швидкісному, мало складному, енерго-ефективному бездротовому радіозв'язку серед пристроїв. Деякі з найбільш важливих особливостей стандарту, що можуть бути використані при розробці протоколу управління елементами індикації медіафасаду, є:

- підтримка мережевих топологій «зірка» та «Peer-to-Peer»;
- використання алгоритму CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance — множинний доступ з контролем несучої і униканням колізій);
- підтримка необов'язкового режиму доставки у реальному часі із використанням GTS (Guaranteed Time Slots — гарантованих часових інтервалів);
- низькі вимоги до рівня споживання енергії;
- контроль споживання енергії за допомогою LQI (Link Quality Indication — показник якості зв'язку) та ED (Energy Detection — виявлення енергії).

Типово, пристрої IEEE 802.15.4 працюють в персональному просторі розміром 10 метрів чи менше, але робоча дальність залежить від обраного апаратного забезпечення і може досягати десятків та сотень метрів.

Стандартом підтримується декілька різних діапазонів радіочастот та форматів модуляції. Перша версія стандарту зазначала підтримку трьох діапазонів 2,4 ГГц, 915 МГц та 868 МГц із групи діапазонів ISM (Industrial, Scientific and Medical radio bands — промислові, наукові та медичні діапазони радіочастот), які не підлягають ліцензуванню у більшості країн. Подальші версії стандарту додали інші діапазони та методи модуляції. Повний список, згідно до поточного стандарту, наведено у таблиці 1.2.

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		19

Таблиця 1.2 – Список рівнів РНУ, що підтримуються стандартом IEEE 802.15.4

Назва рівню РНУ	Частотний діапазон, МГц	Модуляція	Пропускна спроможність, Кбіт/с
780	779-787	O-QPSK	250
780	779-787	MPSK	250
868/915	868-868,6	BPSK	20
	902-928	BPSK	40
868/915 (необов'язково)	868-868,6	ASK	250
	902-928	ASK	250
868/915 (необов'язково)	868-868,6	O-QPSK	100
	902-928	O-QPSK	250
950	950-956	GFSK	100
950	950-956	BPSK	20
2450 DSSS	2400-2483,5	O-QPSK	250
UWB subgigahertz (необов'язково)	250-750	BPM-BPSK	—
2450 CSS (необов'язково)	2400-2483,5	DQPSK	250
			1000
UWB low band (необов'язково)	3244-4742	BPM-BPSK	—
UWB high band (необов'язково)	5944-10234	BPM-BPSK	—

Діапазони частот поділені на канали. Нумерація каналів проводиться за допомогою номерів каналів та сторінок каналів. Діапазони, що були використані у першій версії стандарту, віднесені до сторінки каналів 0. До цієї сторінки відносяться 27 каналів:

- 1 канал в діапазоні 868 МГц ($k = 0$);
- 10 каналів в діапазоні 915 МГц ($k = 1, \dots, 10$);
- 16 каналів в діапазоні 2,4 ГГц ($k = 11, \dots, 26$).

Рівні РНУ, що додавалися пізніше, починали нумерацію каналів на інших сторінках.

IEEE 802.15.4 підтримує два типи пристроїв: FFD (Full-Function Device — повнофункціональний пристрій) та RFD (Reduced-Function Device — пристрій із зниженою функціональністю). RFD пристрої призначені для використання у дуже простих випадках і здібні асоціюватися лише із одним FFD. Це дозволяє втілити

RFD пристрій при дуже обмеженому обсязі пам'яті, обчислювальної потужності та запасів енергії. Кожна мережа повинна містити як найменш один FFD пристрій.

Залежно від прикладної задачі, IEEE 802.15.4 мережа може мати топологію «зірка» чи «Peer-to-Peer».

Обидва типи мереж повинні мати один спеціальний пристрій — PAN-координатор. PAN-координатор створює мережу, дозволяє іншим пристроям асоціювати себе із мережею та контролює доступ пристроїв до мережі у випадку використання режиму роботи beacon-enabled. Тільки FFD пристрій може стати PAN-координатором.

Головна різниця між мережевими топологіями полягає у напрямках комунікації, що підтримуються. Мережа-зірка підтримує комунікацію лише між PAN-координатором та асоційованим пристроєм. Peer-to-Peer мережа дозволяє довільні сполучення між усіма асоційованими пристроями.

Стандарт IEEE 802.15.4 визначає два режими роботи:

- режим beacon-less (режим роботи без beacon та із використанням алгоритму unslotted CSMA/CA);
- режим beacon-enabled (режим роботи із beacon та із використанням алгоритму slotted CSMA/CA).

Особливості цих режимів роботи доцільно враховувати при розробці мережевих протоколів.

1.4.2 Режим роботи мережі beacon-less

У мережі, яка діє в режимі beacon-less, усі пристрої використовують алгоритм unslotted CSMA/CA.

CSMA/CA — це алгоритм, який використовується для контролю часу передачі в мережі, яка складається із множини пристроїв (рис. 1.1).

Пристрої використовують контроль несучої для того, щоб визначити період



Рисунок 1.1 – Узагальнена блок-схема алгоритму unslotted CSMA/CA

часу, коли канал «вільний» і протягом котрого можливо передати інформацію. Таким чином пристрій намагається уникнути колізії. Звісно, цілком можливий випадок, коли два пристрої вирішать почати передачу одночасно протягом одного «вільного» періоду. Для того, щоб зменшити ймовірність цього випадку, використовується механізм випадкових періодів затримки (random back-off delay)

перед початком передачі. Випадкові затримки збільшують ймовірність успішного несумісного захвату каналу одним пристроєм.

При використанні алгоритму unslotted CSMA/CA, періоди затримки різних пристроїв не синхронізовані один з одним. Кожен пристрій починає відраховувати випадковий період затримки і передачу самостійно. Всі пристрої конкурують один з іншим за право використання каналу зв'язку.

1.4.3 Режим роботи мережі beacon-enabled

IEEE 802.15.4 визначає додатковий, обов'язковий режим роботи мережі beacon-enabled. При використанні цього режиму роботи, усі передачі даних у мережі проводяться протягом встановлених періодів часу, які зветься superframes.

Кожен superframe складається із чотирьох частин (рис. 1.2):

- beacon — маячок, обов'язковий;
- contention access period (CAP) — період конкурентного доступу, обов'язковий;
- contention free period (CFP) — період без конкурентного доступу, необов'язковий;
- inactive — період неактивності, необов'язковий.

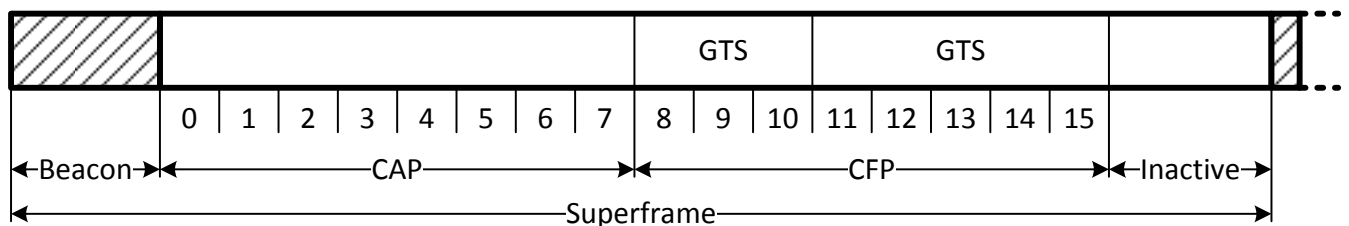


Рисунок 1.2 – Схема розподілу часу в superframe

PAN-координатор передає кадр beacon на початку кожного superframe. Інші учасники мережі використовують отриманий beacon для того, щоб

синхронізуватися із координатором. Також beacon використовується для доставки опису структури поточного superframe та іншої загальної інформації про мережу.

Безпосередньо слідом за кадром beacon починається період CAP. Протягом цього періоду усі асоційовані вузли в мережі використовують алгоритм slotted CSMA/CA. Алгоритм slotted CSMA/CA є модифікацією алгоритму unslotted CSMA/CA. Пристрої так само конкурують за право передачі. Зміна полягає у наступному: якщо передача не може бути закінчена цілком до кінця періоду CAP, тоді вона взагалі не буде проведена протягом поточного періоду CAP. Замість цього передача буде відкладена до наступного періоду CAP.

Якщо PAN-координатор вирішив на початку superframe, що той повинен містити необов'язковий період CFP, тоді CFP починається після закінчення періоду CAP. Координатор поділяє період CFP на гарантовані часові інтервали (GTS). Якщо пристрій бажає передати інформацію протягом періоду CFP, він повинен отримати дозвіл на це від PAN-координатора за допомогою службової команди GTS Request. Дозвіл від координатора отримується протягом періоду CAP. Якщо дозвіл отримано, пристрій має виключне право на використання призначеного йому інтервалу GTS. Таким чином, протягом інтервалу GTS алгоритм CSMA/CA не використовується. Але, звісно, пристрій зобов'язаний дотримуватися границь інтервалу GTS.

Необов'язковий період inactive може бути назначений PAN-координатором для того, щоб пристрої могли перейти до сплячого енергозберігаючого режиму. Період неактивності починається після періоду CFP (чи CAP, якщо CFP у поточному superframe відсутній) і завершується із завершенням поточного superframe.

Негайно із завершенням поточного superframe починається наступний superframe.

1.4.4 Оцінка пропускної спроможності мереж технології IEEE 802.15.4

Декілька досліджень було проведено для оцінки характеристик мереж на основі стандарту IEEE 802.15.4, таких як максимальна пропускна спроможність, мінімальна та максимальна затримка доставки. Дослідники використовували різноманітні підходи: теоретичні розрахунки, експерименти за допомогою моделювання математичних моделей мереж чи за допомогою справжніх мереж.

Алгоритм unslotted CSMA/CA та режим роботи beacon-less у мережах стандарту IEEE 802.15.4 був досліджений у [8]. Цій дослід стверджує, що режим роботи beacon-less має менший рівень накладних витрат, ніж режим роботи beacon-enabled, і тому дозволяє досягти найбільшої пропускної спроможності. У досліді пропонуються аналітичні формули для оцінки значень пропускної спроможності та затримки доставки. Коректність запропонованих формул була перевірена експериментально.

Дослід [8] пропонує оцінювати корисну пропускну спроможність як функцію від розміру корисного навантаження кадру (рис. 1.3):

$$R(p) = \frac{8p}{ap + b}, \quad (1.1)$$

де p — розмір корисного навантаження кадру;

a, b — параметри, що залежать від робочої частоти, режиму адресації та інших параметрів. Параметр a виражає затримку, необхідну для відправки 1 байту, параметр b — накладні витрати протоколу на відправку одного кадру.

За допомогою розрахунків встановлено, що верхня межа корисної пропускної спроможності в мережі, яка використовує 16 біт для адресування, сягає рівню 151 Кбіт/с із відключеним механізмом підтверджень чи рівню 139 Кбіт/с — із включеним. Із зменшенням розміру корисного навантаження кадру, корисна пропускна спроможність також зменшується. Розмір заголовку кадру і,

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		25

відповідно, можливий розмір корисного навантаження, змінюється відповідно до обраного режиму адресування та параметрів безпеки. Тобто, максимальна корисна пропускна спроможність залежить від обраних параметрів мережі.

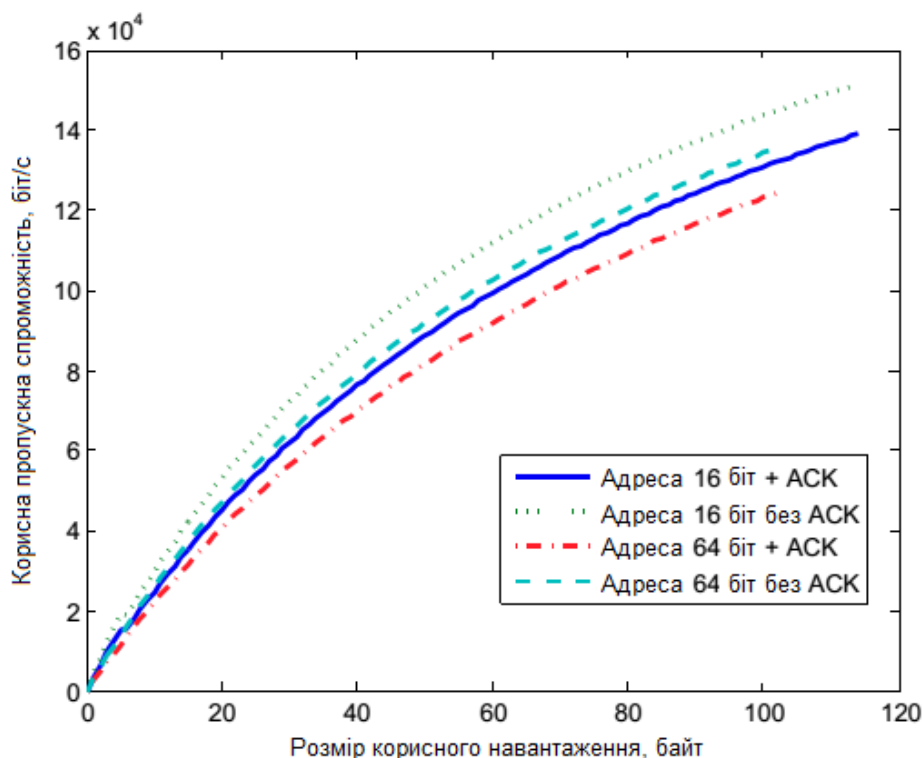


Рисунок 1.3 – Корисна пропускна спроможність як функція корисного навантаження, режиму адресування та настройок підтвердження доставки

Експерименти, що були проведені у досліді [8], показують стабільну різницю між оціненою та експериментально виміряною корисною пропускнуою спроможністю. Виміряна корисна пропускна спроможність була десь на 11% нижче за очікувану, тобто максимально досягнута пропускна спроможність становила біля 123 Кбіт/с.

Протягом практики мною були проведені власні експерименти по вимірюванню корисної пропускнуї спроможності мереж IEEE 802.15.4. Вимірювальні пристрої були побудовані на базі Arduino Leonardo та прийомо-передавачів MRF24J40MA. Експериментально виміряна корисна

пропускна спроможність встановила 110 кбіт/с. Цей результат добре відповідає результатам, що були отримані у [8].

Алгоритм slotted CSMA/CA та режим роботи beacon-enabled у мережах стандарту IEEE 802.15.4 був досліджений в [9] та в [10]. Серед іншого, ці дослідження встановлюють взаємозв'язок між superframe order (порядок чи розмір superframe) та максимальною пропускною спроможністю. Дослідження стверджують, що пропускна спроможність сягає свого здійснимого максимуму, якщо superframe order дорівнює 3 або 4. Подальше збільшення superframe order не має значного впливу на пропускну спроможність.

Аналіз та порівняння алгоритмів unslotted CSMA/CA та slotted CSMA/CA в стандарті IEEE 802.15.4 було проведено в [11]. У висновках дослідження зазначається, що алгоритм unslotted CSMA/CA показує більшу максимальну пропускну спроможність у порівнянні із slotted CSMA/CA.

Але, цей висновок не є підставою для того, щоб вважати режим роботи beacon-enabled, який використовує алгоритм slotted CSMA/CA, повністю непотрібним. Цей режим пропонує період CFP, якій може бути використаний в мережевому протоколі, що є специфічним для прикладної програми.

1.5 Огляд середовищ моделювання мереж

Згідно до задач д) та е), що були поставлені до магістерської роботи і описані у вступі, необхідно провести моделювання мережі на основі технології IEEE 802.15.4. Існує декілька серед середовищ моделювання для комп'ютерних мереж. Надалі розглянемо варіанти і оберемо одну для використання.

1.5.1 Середовище моделювання ns

ns — це середовище моделювання мереж із дискретним часом подій, що призначене для моделювання систем Інтернету із дослідницькою та навчальною ціллю. Середовище моделювання розповсюджується під свobodною ліцензією GNU GPLv2 і знаходиться у відкритому доступі для використання.

Актуальними на цей час є версії 2 та 3.

Розробка версії 2 почалась у 1996 році, остання стабільна версія 2.35 була випущена у листопаді 2011 року. Розробниками була заявлена ціль випустити версію 2.36 наприкінці 2013 року [12]. Нова версія призначена виправити деякі помилки, змінити скрипти для зборки, додати декілька нових моделей. Але, взагалі розробка проекту вважається основними розробниками закінченою.

Розробка версії 3 почалась у 2008 році. Розробники повністю відкинули старий код і почали розробку з початку. Через те, не весь функціонал, що був підтриманий версією 2, присутній у версії 3. Версія зараз активно розроблюється. Остання версія 3.18 була опублікована у серпні 2013 року, наступна версія 3.19 запланована на грудень 2013 [13].

Середовище моделювання ns-3 має початкову підтримку мереж стандарту IEEE 802.15.4. Серед найбільших недоліків є підтримка MAC рівнем лише unslotted CSMA/CA і, через те, лише режиму роботи beacon-less. Опис стану підтримки мереж стандарту IEEE 802.15.4 середовищем моделювання може бути знайдений в розробницькій документації в репозиторії сирцевого коду [14].

Середовище моделювання ns-2 має кращу підтримку мереж стандарту IEEE 802.15.4. Повністю підтримується режим роботи beacon-less. В режимі роботи beacon-enabled підтримується передача даних у періоді CAP. Стандартної версії бракує підтримки GTS. Але у 2011 році підтримка GTS була розроблена у рамках дослідження [15].

1.5.2 Середовище моделювання Сооја

Сооја — це середовище моделювання мереж із дискретним часом подій, що призначене для моделювання бездротових сенсорних мереж [16]. Розробка середовища моделювання проводиться у рамках проекту розробки операційної системи Contiki OS, що призначена для використання на вузлах сенсорних мереж.

Середовище моделювання Сооја базується на моделюванні окремих вузлів мережі, що відтворюють справжні прилади із їх компонентами. Для цього, Сооја використовує інші середовища моделювання для підтримки деяких визначених платформ. Наприклад, для моделювання вузлів на базі мікроконтролерів AVR використовується середовище моделювання Avrora. Таким чином, при моделюванні Сооја дозволяє використовувати програмний код, що буде використаний на справжньому пристрої.

Підтримка моделювання технології IEEE 802.15.4 виконана на рівні моделювання роботи справжніх радіопередавачів із їх дійсними характеристиками.

Розробка Сооја ведеться разом із Contiki OS. Остання версія Contiki OS 2.7 була опублікована 15 листопада 2013 року [17].

1.5.3 Вибір середовища моделювання мережі

Два оглянуті середовища моделювання мережі мають дуже різні підходи до моделювання. Середовище ns використовує спрощені моделі, які відтворюють лише мережевий стек та особливості протоколу. Реальна система не відтворюється. З іншого боку, середовище Сооја використовує моделі, що як найбільш приближені до справжніх пристроїв.

Оскільки в цій роботі розглядається деяка узагальнена система управління

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		29

елементами медіафасаду, використовувати моделі, що відтворюють справжні пристрої, не доцільно. Такий рівень деталізації моделей занадто великий для поставлених задач моделювання. Таким чином, для моделювання будемо використовувати середовище ns.

Середовища моделювання ns-2 та ns-3 мають різний рівень підтримки технології стандарту IEEE 802.15.4. Більш нова, третя версія на цей час не спроможна забезпечити роботу моделі в усіх необхідних режимах. Таким чином, для моделювання будемо використовувати саме другу версію середовища моделювання ns.

1.6 Висновки до першого розділу

В цьому розділі були наведені відомості про системи медіафасадів, були розглянуті їх головні характеристики та особливості мереж систем управління.

Серед інших типів систем медіафасадів був окремо виділений тип ad-hoc медіафасадів. Системи цього типа характеризуються розподіленим виконанням задач візуалізації та взаємодії із користувачем. Розподілені вузли для функціонування у рамках цілої системи повинні бути об'єднані в єдину мережу. Для забезпечення мобільності вузлів в цілях покращеної взаємодії з користувачем, полегшеного розгортання системи, тощо, було запропоновано використати бездротові радіомережі, на відміну від звичайних дротових мереж, що використовуються у класичних медіафасадах.

Через свої особливості, системою ad-hoc медіафасаду висуваються наступні вимоги до каналу зв'язку:

- радіус дії: метри — десятки метрів;
- підтримка десятків — сотень вузлів в мережі;
- енергоефективність;
- мобільність;

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		30

– легкість використання.

Для виконання перерахованих вище вимог були відібрані та оглянуті деякі технології бездротового радіозв'язку, а саме: Bluetooth, Wi-Fi, UWB, IEEE 802.15.4. Було проведено зведене порівняння відібраних технологій. За підсумками порівняння пропонується використовувати технологію IEEE 802.15.4 для побудови радіомережі у системі управління ad-hoc медіафасаду.

Було проаналізовано особливості стандарту технології IEEE 802.15.4. Стандарт технології IEEE 802.15.4 пропонує багато різних рівнів РНУ та єдиний рівень МАС. Від обраного рівню РНУ залежить пропускна спроможність, дальність роботи та деякі інші характеристики мережі. Більшість пристроїв на базі технології IEEE 802.15.4 працюють в діапазоні 2,4 ГГц та підтримують максимальну пропускну спроможність 250 Кбіт/с.

Найважливішими особливостями стандарту є два режими роботи мережі: beacon-less та beacon-enabled. Режим beacon-less простіший та дозволяє досягти найбільшої пропускної спроможності. Режим beacon-enabled забезпечує засоби для тонкого контролю доступу до мережі. Обидва режими повинні бути враховані при розробці протоколу управління елементами медіафасаду при різних умовах використання.

Згідно до поставлених до роботи завдань, запропоновані результати необхідно перевірити шляхом моделювання мережі. Було розглянуто декілька середовищ моделювання мереж. З них для використання було відібрано середовище ns-2, оскільки воно забезпечує відповідний рівень абстракції та надає необхідні засоби для моделювання мереж на базі технології IEEE 802.15.4.

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		31

2 РОЗРОБКА МЕРЕЖЕВОГО ПРОТОКОЛУ ДЛЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ AD-НОС МЕДІАФАСАДУ

Цей розділ присвячений розробці мережевого протоколу для системи ad-hoc медіафасаду. Будуть проаналізовані архітектура та сценарії використання, запропоновані рішення щодо розроблюваного протоколу, а також буде розглянута окрема оптимізація протоколу.

2.1 Аналіз особливостей архітектури системи ad-hoc медіафасаду

Перед усім, розглянемо архітектуру системи ad-hoc медіафасаду (рис. 2.1).

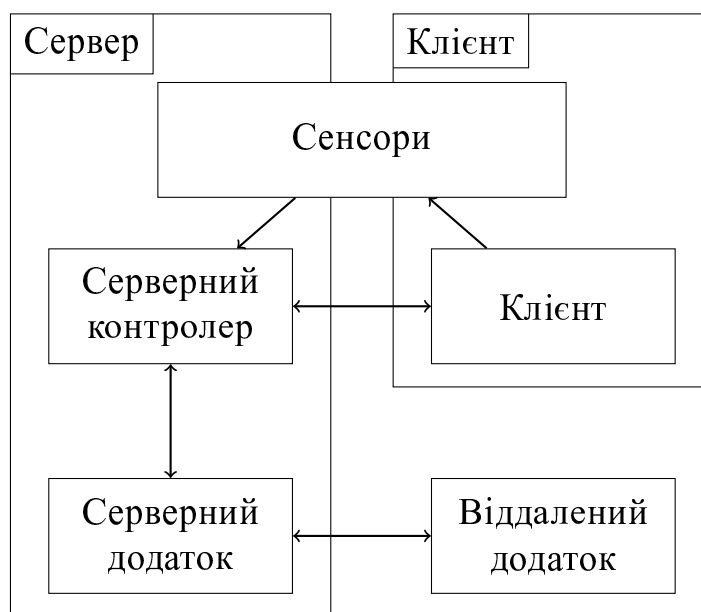


Рисунок 2.1 – Загальна архітектура системи ad-hoc медіафасаду

Система поділяється на дві основні частини: Сервер та Клієнти.

Клієнти візуалізації виконують, перед усім, фактичну роботу по візуалізації, а також дозволяють користувачам системи взаємодіяти із системою. Клієнти можуть мати необов'язкові сенсори, які можуть використовуватися системою для

визначення положення Клієнтів та інших видів взаємодії із користувачами.

До складу Сервера входять Серверний контролер, Серверний додаток та сенсори. Сенсори на стороні Сервера використовуються для визначення положення Клієнтів. Серверний додаток проводить загальне керування візуалізацією, системою. Серверний контролер використовує інформацію від сенсорів для того, щоб розподілити керівні команди від Серверного додатка на окремі завдання для Клієнтів. Серверний контролер проводить оновлення візуалізації, посилаючи необхідні команди Клієнтам через канал зв'язку.

Блок Віддалений додаток представляє на схемі будь яку іншу систему, яка під'єднана до системи медіа-фасаду, але не приймає активної участі в процесі візуалізації. Це може, наприклад, бути деякий інтерфейс користувача для адміністрування системи, Web-додаток, сусідня система візуалізації, тощо.

2.2 Зв'язок архітектури системи ad-hoc медіафасаду та мережевого протоколу взаємодії

Згідно із запропонованою в підрозділі 2.1 архітектурою системи, Клієнти візуалізації не підтримують зв'язок один з одним заради цілей прикладної системи, візуалізації. Клієнти спілкуються лише із Серверним контролером, щоб отримати оновлення візуалізації, повідомити інформацію з сенсорів. Однак, спілкування між Клієнтами заради цілей управління мережею знаходиться поза рамками запропонованої архітектури і не забороняється.

2.2.1 Аналіз напрямків трафіку у мережі

Виходячи із наведеної в підрозділі 2.1 архітектури системи, можна виділити два напрямки мережевого трафіку в системі:

- трафік від Сервера до Клієнтів;

– трафік від Клієнтів до Серверу.

Обидва напрямки не однорідні і складаються з команд та даних різного роду, розміру та вимог до QoS (Quality of Service — якість обслуговування). QoS — це гарантії від мережі до прикладної програми щодо якості характеристик каналу зв'язку: пропускна спроможність, час доставки.

Трафік від Сервера до Клієнтів складається, перед усім, з команд оновлення візуалізації. Ці команди змінюють візуальний стан Клієнтів. Залежно від типу, природи візуалізації, до цього виду трафіка можуть пред'являтися різні вимоги щодо часу і гарантій доставки. Але, можна очікувати, що команди візуалізації будуть складати основну частину всього мережевого трафіку.

Одним з найпростіших для виконання механізмів оновлення візуалізації є наступний: усі Клієнти оновлюються часто і одночасно, так само, як окремі пікселі на моніторі оновлюються одночасно при зміні кадру. При цьому механізмі, команди на оновлення відсилаються часто. В такому випадку, витрата однієї команди на оновлення буде менш помітна і менш впливова на загальний опит користувача. Більш важливою є доставка команд оновлення у встановлені рамки ніж надійна доставка. Якщо команда запізнюється із доставкою — її все одно можна відкидати, бо вона застаріла і скоро прийде наступна. Цей підхід використовується в існуючих протоколах потокової передачі медіа-контенту. Звісно, якщо кількість відкинутих чи втрачених кадрів завелика, тоді якість сигналу падає аж до рівню повної непридатності. Таким чином, рівень допустимої кількості втрат залежить від конкретної прикладної задачі.

Крім команд оновлення візуалізації, трафік від Сервера до Клієнтів може також містити інші види керуючих команд. Наприклад, Сервер може використовувати модель Запит-Відповідь для отримання інформації з Клієнтів: інформація з сенсорів на Клієнтах, стан батареї, тощо. Можна очікувати, що цей тип трафіку має менші вимоги до QoS.

Основною складовою трафіку від Клієнтів до Серверу є відповіді Клієнтів на запити Сервера чи дані від сенсорів на Клієнтах. Цей вид трафіку буде сягати значної долі у загальному мережевому трафіку у випадку, якщо використовується модель Запит-Відповідь, чи якщо сенсори на Клієнтах створюють багато інформації, яка часто відсилається до Сервера.

Обидва види трафіку також використовуються для підтримки мережі: створення мережі, асоціювання та де-асоціювання пристроїв, синхронізація, маршрутизація, тощо.

2.2.2 Вибір мережевої топології

Вибір мережевої топології завжди залежить від поставленої прикладної задачі. Виходячи із описаних в пункті 2.2.1 напрямків трафіку, найбільш простою для використання буде топологія «зірка». Згідно до архітектури системи (пункт 2.1), Клієнти спілкуються лише із Сервером, який, в такому випадку, є PAN-координатором мережі. Сервер не зобов'язаний бути PAN-координатором мережі, але це спростить контроль мережі і дозволить використати деякі техніки у подальшому.

Використання інших мережевих топологій можливо, але підвищення складності може негативно позначитися на QoS характеристиках мережі.

2.3 Сценарії роботи мережевого протоколу

В пункті 2.2.1 був наведений опис двох можливих напрямків трафіку. В цьому пункті ми розглянемо два різні сценарії можливих рівнів трафіку і запропонуємо варіації мережевого протоколу для них.

Як вже зазначалося вище, ми очікуємо витратити основну частину пропускнуєї спроможності мережі на передачу команд оновлення візуалізації,

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		35

тобто на трафік від Сервера до Клієнтів. Припустимо, що це очікування вірне. Тоді, маємо два можливі сценарії рівня трафіку від Клієнтів до Серверу:

- незначний трафік;
- значний трафік.

Незначним будемо називати рівень трафіку від Клієнтів до Серверу, який не заважає передачі трафіку від Сервера до Клієнтів.

2.3.1 Аналіз роботи мережі при незначному рівні трафіку від Клієнтів до Серверу

Цей сценарій має місце у випадку, коли Клієнти візуалізації не обладнані сенсорами чи сенсори оновлюють свої показники не часто. Керівні команди так саме невеликі і рідкісні. Це можливе у випадку, коли не використовується модель Запит-Відповідь та коли склад мережі змінюється не часто.

Для цього сценарію пропонується використати режим роботи мережі beacon-less. Кожен пристрій в мережі може почати передачу будь коли, всі пристрої конкурують за доступ до каналу зв'язку.

Як було зазначене вище у пункті 1.4.4, режим роботи beacon-less дозволяє досягти найбільшої пропускної спроможності мережі. Пуск, настройка та керування мережею простіші за режим роботи beacon-enabled. Трафік від Сервера до Клієнтів займає основну частину усього трафіку, тому можна очікувати, що конкурентні конфлікти доступу до каналу зв'язку будуть рідкісні і не впливові.

З іншого боку, якщо попередня оцінка рівню трафіку від Клієнтів до Серверу не вірна і, насправді рівень навантаження набагато вище, тоді пропускна спроможність мережі буде зменшена через конкурентні конфлікти доступу. Таким чином, в приведеному сценарії є дуже важливою правильна попередня оцінка умов роботи системи.

Другий недолік запропонованого рішення полягає в процедурі асоціації

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		36

приладів при підключенні до мережі. Асоціація при режимі роботи beacon-less наступна: пристрій, що хоче приєднатися до мережі, відсилає команди Beacon Request (запит beacon) на кожному з доступних каналів і очікує відповіді від PAN-контролера. PAN-контролер, отримавши у свою чергу Beacon Request, вирішує, чи дозволити пристрою приєднатися до мережі і відповідає на запит. Як можна бачити, пристрої повинні активно розшукувати мережу, до якої можна приєднатися. Процедура активної асоціації пристроїв збільшує трафік від Клієнтів до Серверу і, через це, зменшує QoS в мережі. Якщо склад мережі змінюється часто, нові Клієнти будуть проводити активну асоціацію і негативно впливати на роботу мережі.

2.3.2 Аналіз роботи мережі при значному рівні трафіку від Клієнтів до Серверу

Цей сценарій має місце у випадку, коли Клієнти візуалізації обладнані сенсорами, які часто оновлюють свої показники, або коли склад мережі змінюється часто.

Для цього сценарію пропонується використати режим роботи мережі beacon-enabled, що забезпечує підтримку GTS.

Як було зазначене вище у пункті 1.4.3, режим роботи beacon-enabled дозволяє поділити superframe на два періоди: CAP та CFP. Доцільно відвести основну долю superframe під CFP у відповідності з відношенням долі критичного трафіку Сервера до Клієнтів до сумарної долі трафіку у мережі. Протягом періоду CFP Сервер відправлятиме команди оновлення візуалізації та іншу критичну інформацію. Залишок superframe відводиться під період CAP, протягом якого діють і Сервер, і Клієнти. CAP відводиться для некритичного трафіку в обидві сторони, доступ до каналу зв'язку проводиться на конкурентній основі.

Виключне використання періоду CFP Сервером дозволяє ввести гарантії на

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		37

QoS мережі, планувати пропускну спроможність та часи затримок.

Процедура асоціації нових Клієнтів також дещо простіша. Оскільки в мережі постійно на початку кожного superframe відправляються кадри beacon із інформацією про мережу, новий Клієнт може не проводити активну асоціацію. Замість цього, він повинен пасивно прослуховувати кожен з доступних каналів, щоб отримати beacon на початку superframe. Отримавши beacon, новий Клієнт може почати спілкування із Сервером протягом періоду CAP. Така пасивна асоціація забезпечує непереривання передачі важливого трафіку.

Режим роботи beacon-enabled може бути додатково використаний для синхронізації часу між Сервером та Клієнтами. Така часова синхронізація може буде використана в деяких стратегіях оновлення візуалізації.

До недоліків запропонованого режиму належить, перш за усе, необхідність додаткового налаштування параметрів superframe і взагалі більш складна робота. Сервер повинен бути здатний оцінити необхідну для передачі критичних команд пропускну спроможність протягом наступного superframe для того, щоб передати настройки superframe на початку у кадрі beacon.

Інший недолік — менша загальна пропускну спроможність. Оскільки період CAP є обов'язковим і деяка частина superframe завжди відведена під CAP, Сервер не здатний використати для передачі критичних даних максимально можливу полосу пропускання. Якщо жоден Клієнт не веде передачу протягом CAP, цей період втрачено марно.

Як було показано в пункті 1.4.4, при зменшенні розміру кадру, зменшується пропускну спроможність. Але можна очікувати, що трафік від Клієнтів до Сервера складатиметься саме із невеличких кадрів. Враховуючи велику кількість Клієнтів в мережі, а також те, що частина superframe відведена під CFP, ймовірність колізій під час CAP тільки збільшується, а пропускну спроможність падає. Тобто, система повинна бути готовою до затримок чи втрат доставки трафіку від Клієнтів до Серверу. Відношення між розмірами CFP та CAP в цьому

випадку є найбільш впливовим параметром для регулювання якості та надійності доставки. Це рішення є компромісним.

2.4 Оцінка розміру мережі

У пункті 2.2.1 був розглянутий один з можливих механізмів оновлення візуалізації, при якому усі Клієнти оновлюються разом. При цьому механізмі, команди оновлення візуалізації потрібно відправляти Клієнтам на кожному «візуальному кадрі», тобто об'єм даних, що необхідно передати, є стабільним.

Розглянемо можливі варіанти виконання цього механізму та проведемо оцінку розміру мережі, що може бути розгорнута. Розмір мережі будемо оцінювати за кількістю Клієнтів, що можуть бути підтримані мережею при заданих характеристиках трафіку від Сервера до Клієнтів.

2.4.1 Управління із відправкою команд окремо до кожного Клієнта

Проведемо оцінку можливого розміру мережі у випадку, коли кожне оновлення візуалізації відправляється Сервером окремо до кожного Клієнта. Цей спосіб можна назвати «наївною» реалізацією.

Як було показано в пункті 1.4.4, корисна пропускна спроможність мережі залежить від розміру корисного навантаження. В тому ж пункті було наведене рівняння 1.1 функції $R(p)$ корисної пропускної спроможності, що може бути досягнута при передачі кадрів із розміром корисного навантаження p .

Позначимо T — інтервал, з яким візуалізація повинна бути оновлена. Тоді, інтенсивність трафіку, що генерується оновленнями візуалізації, становить:

$$r(p, T) = \frac{p}{T} . \quad (2.1)$$

Тоді, виходячи із рівнянь 1.1 та 2.1, запишемо рівняння можливого розміру мережі:

$$N(p, T) = \frac{R(p)}{r(p, T)} = \frac{\frac{8p}{ap + b}}{\frac{p}{T}} = \frac{8T}{ap + b} . \quad (2.2)$$

Аналізуючи рівняння 2.2, бачимо, що розмір мережі зменшується при зменшенні інтервалу між посиланнями. Розмір мережі також зменшується при збільшенні розміру корисного навантаження кадру. Однак, навіть при використанні кадрів невеликого розміру, розмір мережі залишається дуже обмеженим. Наведемо числовий приклад.

Нехай, $T = 1/60$ с, $p = 10$ байт. Використовуючи графік 1.3, положимо, що $R(10) = 30$ Кбіт/с. Тоді:

$$N(10, 1/60) = \frac{30000/8}{\frac{10}{1/60}} = \frac{3750}{600} = 6,25$$

При заданих параметрах, мережа здатна підтримувати оновлення 6 Клієнтів. В даному випадку, інтервал оновлення замалий для підтримки мережі Клієнтів більшої кількості.

Іншою проблемою цього режиму є відносна затримка оновлення між окремими Клієнтами. Час між оновленням першого та n -ного Клієнта дорівнює $n \cdot delay$, де $delay$ — час на передачу одного кадру. При великому T і великій кількості Клієнтів в мережі, часткова оновленість (тобто розсинхронізація) Клієнтів може стати досить помітною.

Цей варіант оновлення мережі доцільно використовувати у випадках, коли не потребується часте оновлення візуалізації на вузлах чи одним оновленням можна запрограмувати вузол на довгострокову дію. Також, цей варіант може бути доцільно використовувати, якщо візуалізація окремих Клієнтів проходить не за регулярними інтервалами часу.

2.4.2 Управління із мультиплексуванням команд до Клієнтів

Команди оновлення візуалізації для окремих Клієнтів можна об'єднати разом і відправити одним мережевим кадром, тобто, команди можна мультиплексувати. Цей підхід дозволяє більш ефективно використати доступний простір під корисне навантаження і досягти більшої пропускної спроможності. Такі мультиплексовані команди повинні бути відправлені до Клієнтів за допомогою широкомовного кадру.

Мультиплексування може бути використане для обох сценаріїв, які були описані в пункті 2.3.

Максимальний розмір кадру згідно до стандарту IEEE 802.15.4 становить 127 байт [18]. Деяку долю кадру займає MAC заголовок і контрольні поля. Як вже згадувалося в пункті 1.4.4, заголовок має змінний розмір, який залежить від використаного режиму адресування та параметрів безпеки. У випадку, якщо ні поля безпеки, ні поля адресування не зазначені у заголовку, тоді розмір корисного навантаження кадру сягає свого максимуму в 122 байти. Але, корисність протоколів, що зовсім не застосують адресування, обмежена, тому розмір корисного навантаження в 114-120 байтів є більш реалістичним. Невикористання повністю доступного простору для корисного навантаження призводить до погіршення пропускної спроможності.

При використанні мультиплексування, рівняння для оцінки можливого розміру мережі становить:

$$N(p, T) = \frac{R(p_{max})}{r(p_{max}, T)} \cdot \frac{p_{max}}{p}, \quad (2.3)$$

де p_{max} — максимальний розмір корисного навантаження кадру при обраному режимі адресування та параметрів безпеки.

Рівняння 2.3 є подібним до рівняння 2.2, але в ньому доданий множник

$\frac{p_{max}}{p}$, який виражає долю навантаження оновлення одного вузла в мультиплексованому пакеті. Чим більше відношення $\frac{p_{max}}{p}$, тим більшу кількість Клієнтів здатна підтримувати мережа.

Розрахуємо чисельний приклад із пункту 2.4.1, але для мультиплексованого відправлення при $p_{max} = 120$ байт. Будемо вважати, що $R(p_{max}) = 150$ Кбіт/с:

$$N(10, 1/60) = \frac{150000/8}{120} \cdot \frac{120}{10} = \frac{18750}{7200} \cdot 12 = 2,6 \cdot 12 = 31,25$$

При заданих параметрах та використанні мультиплексованого управління, мережа здатна підтримувати 31 вузол, що в $\frac{31,25}{6,25} = 5$ разів більше, ніж мережа, що використовує індивідуальні оновлення.

Проблема розсинхронізації Клієнтів, що була вказана у попередньому пункті, є менш впливовою при використанні мультиплексованого оновлення, оскільки декілька Клієнтів можуть бути оновлені одночасно.

Недоліком мультиплексування є ускладнення протоколу. Потребується деяка схема кодування інформації про те, оновлення яких Клієнтів знаходиться в кадрі. Можна запропонувати декілька рішень:

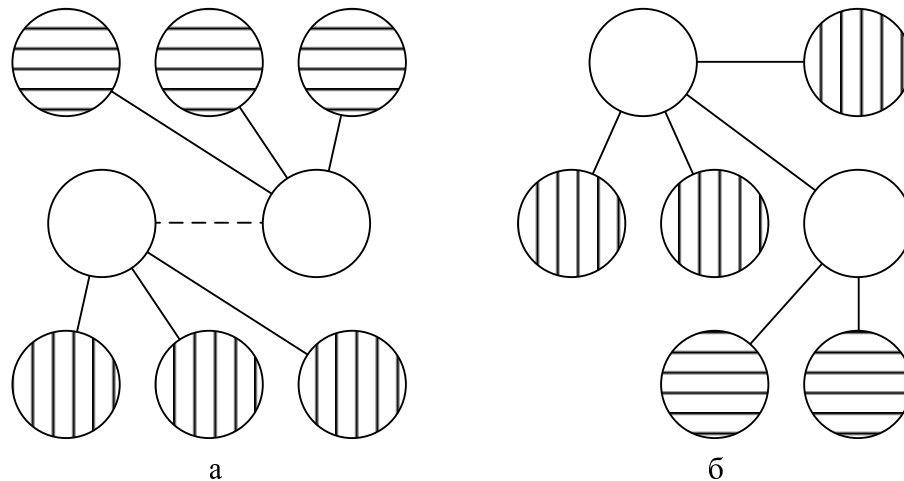
- у кадрі додатково перераховуються всі номери (адреси) Клієнтів, оновлення яких знаходяться в кадрі;

- Клієнтам окремо призначаються групи (мультикаст-адреси). Кожній групі окремо призначається схема розташування її даних в пакеті. Кадр додатково має лише номер групи. Інформацію про групи можна передавати у кадрах beacon чи іншими службовими кадрами.

Цей варіант оновлення мережі доцільно використовувати у випадках, коли розмір оновлення дозволяє мультиплексування. У випадку, якщо оновлення проходить не за регулярними інтервалам часу, використання цього варіанту може бути не доцільним.

2.5 Розширені топології мережі управління елементами ad-hoc медіафасаду

Шляхом зміни топології мережі можна досягти збільшення максимальної кількості Клієнтів в мережі без зміни використовуваної мережевої технології. На рис. 2.2 наведено схеми розширених топологій мереж. Далі розглянемо ці топології більш детально.



Координатори — білі, кінцеві вузли — заштриховані

Рисунок 2.2 – Схеми розширених топологій мереж управління:

а — об'єднання зірок; б — дерево кластерів

2.5.1 Топологія «об'єднання зірок»

Топологія «об'єднання зірок» (див. рис. 2.2а), порівняно із топологією «зірка», не потребує жодних змін на рівні IEEE 802.15.4. Сервер розгортає декілька окремих мереж із топологіями «зірка». Мережі діють на окремих фізичних каналах і не заважають одна одній. Єдиною логічною точкою перекреслення мереж є сам Сервер. На Сервері потрібно встановити декілька радіопередавачів, для того, щоб надати можливість Серверові діяти одночасно в

декількох мережах.

Переваги топології «об'єднання зірок»:

- простота масштабування — для розширення існуючої мережі необхідно лише встановити додаткове обладнання на Сервері. Кожна мережа діє окремо так, як було описано в підрозділі 2.3;

- маршрутизація на Сервері — тільки Сервер вирішує, як доставляти повідомлення до визначеного вузла. Не потребуються складні алгоритми маршрутизації.

Недоліки топології «об'єднання зірок»:

- обмежена кількість каналів — стандарт IEEE 802.15.4 визначає лише 16 каналів в діапазоні радіохвиль 2,4 ГГц. Ця кількість обмежує максимальний масштаб мережі;

- мала площа дії — якщо припустити, що усі радіоприймачі Сервера встановлені один біля одного і не приєднуються до Сервера довгими лініями зв'язку, тоді площа дії мережі не збільшується при збільшенні масштабу мережі;

- збільшення пристроїв на Сервері — необхідно встановити додаткові радіопередавачі.

2.5.2 Топологія «дерево кластерів»

В мережі із топологією «дерево кластерів» (див. рис. 2.2б) діють декілька координаторів мережі, замість одного. Ці координатори організують власні кластери-підмережі. Окремі кластери об'єднуються в загальну мережу. Мережа починає своє зростання від PAN-координатора, який також є Сервером. Додаткові координатори конфігуруються статично чи обираються під час роботи мережі за потребою — можливі різні стратегії поведінки. Вся мережа діє на одному і тому ж самому каналі (чи в мережі є спеціальні прилади-повторювачі, що можуть діяти на декількох каналах і дозволяють перенести дію підмережі на інший канал).

Переваги топології «дерево кластерів»:

- збільшена площа дії — вузли, що не можуть бути досягнені Сервером, можуть входити в одну із підмереж;
- використовується один канал — масштабування мережі не обмежено кількістю фізичних каналів. Доступний вибір каналу, якщо поточний канал зайнятий чи має багато шуму.

Недоліки топології «дерево кластерів»:

- складна маршрутизація на вузлах — трафік повинен бути маршрутизований від Сервера до Клієнтів через інші координатори. Не існує єдиного найкращого алгоритму маршрутизації. Всі алгоритми маршрутизації мають накладні розходи на обслуговування;
- знижена пропускна спроможність і збільшена затримка — кожен «стрибок» через координатора кластера вносить додаткову затримку на прийом та перевідправлення.
- проблема прихованого вузлу — всі бездротові мережі із униканням колізій схильні до цієї проблеми. Якщо в мережі існують вузли A, B, C такі, що A і C не чують один іншого, але об'єднуються через вузол B , тоді можлива ситуація, коли A і C починають передачу одночасно і вузол B не здатний прийняти ні одного сигналу. IEEE 802.15.4 не надає жодного захисту від цієї проблеми. Зазвичай, проблема вирішується за допомогою внесення випадковості до часу відправлення, а також за допомогою механізму підтверджень. Але пропускна спроможність мережі зменшується.
- складність використання режиму роботи beacon-enabled — стандарт IEEE 802.15.4 описує спосіб, яким можна використати режим роботи beacon-enabled в мережі із багатьма координаторами. Головний superframe, що встановлений PAN-координатором, повинен мати період неактивності, протягом якого інші координатори встановлюють свої superframe. В такому випадку, одна частина мережі повинна чекати іншу частину.

2.6 Висновки до другого розділу

В цьому розділі було проаналізовано архітектуру системи управління ad-hoc медіафасаду та напрямки мережевого трафіку в системі. Виходячи з того, що архітектура системи передбачає тільки спілкування Сервера із Клієнтами, для організації мережі управління елементами медіафасаду обрано мережеву топологію «зірка».

Далі були розглянуті варіанти навантаження мережі. Оскільки високий рівень навантаження у напрямку від Сервера до Клієнтів зумовлений особливостями системи управління елементами медіафасаду і є передумовою при розробці протоколу, були розглянуті випадки рівню навантаження у напрямку від Клієнтів до Сервера. Було розглянуто два випадки рівню навантаження: незначний та значний.

У випадку незначного рівню навантаження трафіку від Клієнтів до Сервера запропоновано використовувати режим роботи мережі beacon-less. Використання цього режиму роботи дозволяє підтримувати простоту реалізації та досягти максимально високої пропускної спроможності. Але також було зауважено, що, при збільшенні рівня навантаження, очікуване погіршення якості обслуговування трафіка від Сервера до Клієнтів.

У випадку значного рівня навантаження трафіку від Клієнтів до Сервера запропоновано використовувати режим роботи мережі beacon-enabled. Для підтримки заданого рівню якості обслуговування трафіку від Сервера до Клієнтів запропоновано вести передачу трафіку від Сервера до Клієнтів протягом періоду CFP, залишаючи період CAP для трафіку від Клієнтів до Сервера.

Далі в розділі була проведена оцінка можливого розміру мережі за критерієм кількості Клієнтів при заданих характеристиках трафіку від Сервера до Клієнтів. Було розглянуто механізми передачі команд управління від Сервера до Клієнтів: відправка окремих команд до кожного Клієнта та відправка

мультиплексованих команд одночасно до декількох Клієнтів. Було показано, що використання мультиплексованих команд може забезпечити значний зріст розміру мережі у випадку, коли можливо помістити декілька команд в одному кадр. Мультиплексування команд потребує ускладнення протоколу і передачі додаткової керуючої інформації про схему мультиплексування.

Наприкінці були запропоновані розширені топології мережі для використання у випадках, коли базової топології «зірка» недостатньо підтримки великої кількості Клієнтів, а саме топології «об'єднання зірок» та «дерево кластерів». Були зазначені переваги та недоліки обох топологій.

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		47

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ МОДЕЛІ МЕРЕЖІ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ ІНДИКАЦІЇ МЕДІАФАСАДУ

Згідно до задач д) та е), що були поставлені до магістерської роботи і описані у вступі, необхідно провести моделювання мережі управління елементами індикації медіафасаду. В розділі 1 для розробки програмної моделі було обрано середовище моделювання ns-2. В цьому розділі буде розглянута розробка програмної моделі мережі із використанням обраного мережевого середовища.

3.1 Загальна модель бездротової мережі у середовищі моделювання ns-2

Основним елементом моделі бездротової мережі у середовищі моделювання ns-2 є об'єкт класу MobileNode. Окремі об'єкти MobileNode об'єднані за допомогою каналу зв'язку у єдину мережу (рис. 3.1).

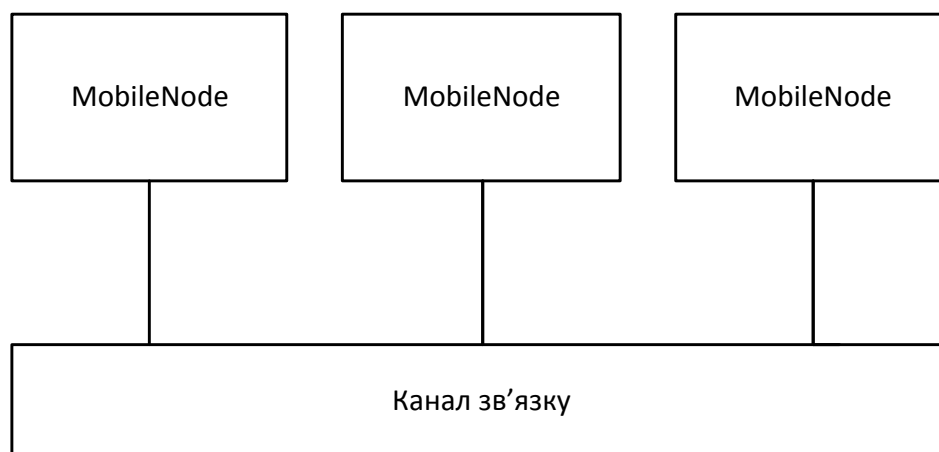


Рисунок 3.1 – Схема мережі із декількох MobileNode

Клас MobileNode походить від класу Node. Але, на відміну від звичайних Node у ns-2, об'єкти класу MobileNode не зв'язані один з іншим через об'єкти класу Link. Замість цього, ns-2 моделює передачу та прийом сигналів через

радіоканал, використовуючи єдиний об'єкт для каналу.

Клас MobileNode — розділений клас. Він агрегує у собі окремі компоненти. Така модульна структура дозволяє використовувати загальну схему MobileNode для моделювання різних технологій та алгоритмів.

Загальна схема MobileNode зображена на рис. 3.2.

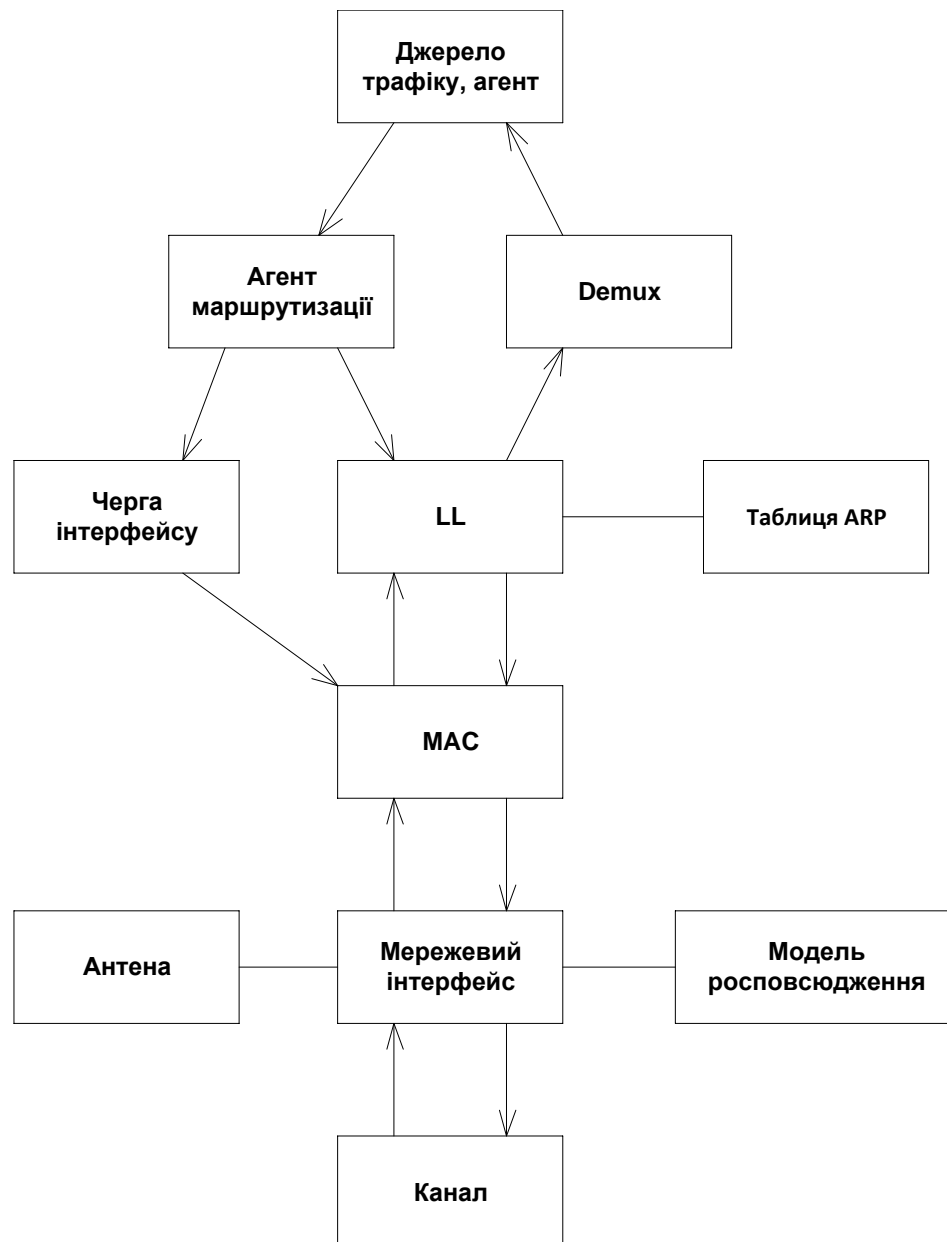


Рисунок 3.2 – Загальна схема вузлу моделі — MobileNode

На рис. 3.3 наведена схема співвідношення мережевого стеку MobileNode до

рівнів мережевої моделі OSI.

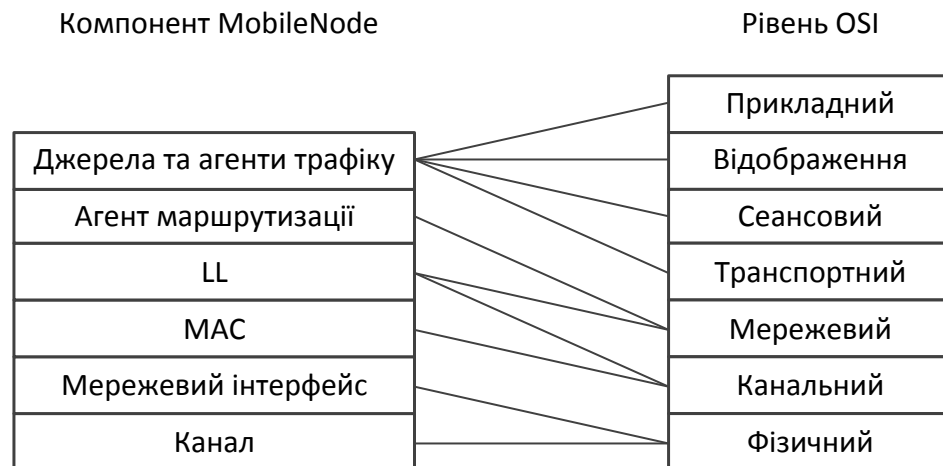


Рисунок 3.3 – Схема співвідношення мережевого стеку MobileNode до моделі OSI

Далі наведений опис компонентів, що входять до складу MobileNode, та їх задач:

- компоненти Джерело трафіку та Агент моделюють верхні рівні додатку. Генератори трафіку здібні створювати навантаження на мережу за визначеним законом. Агенти використовуються для моделювання складних схем спілкування;
- компонент Demux розподіляє прийняті пакети між під'єднаними до MobileNode агентами;
- компонент Агент маршрутизації використовується для маршрутизації пакетів в мережі. При моделюванні mesh-мережі, кожен вузол мережі може брати участь в маршрутизації трафіку. Агент маршрутизації приймає рішення щодо кожного прийнятого пакета, чи треба його переслати далі;
- компонент LL (рівень зв'язку) відповідає за симуляцію протоколів канального рівню. Основною задачею LL є правильна установка MAC-адресу призначення у MAC-заголовок пакету. Для цього, LL під'єднаний до компоненту ARP, який вирішує, який MAC-адрес відповідає зазначеному адресу вищого рівня (наприклад, IP-адрес). Зазвичай, LL отримує всі вихідні (ті, що відправляються до каналу зв'язку) пакети від агента маршрутизації. Такі пакети

LL відправляє до черги інтерфейсу. Всі вхідні пакети (ті, що отримані із каналу зв'язку) LL отримує від компоненту MAC;

– компонент ARP (Address Resolution Protocol, протокол визначення адрес) отримує запити від LL. Якщо MAC-адрес вузла призначення відомий ARP, тоді цей адрес записується до MAC-заголовку пакета. Інакше, ARP за допомогою широкомовного пакету запрошує розшукуваний MAC-адрес у інших вузлів мережі і тимчасово приховує пакет, що відправляється, у кеші. Для кожного невідомого MAC-адресу, ARP тримає у кеші лише один пакет. Якщо поступає два пакети, старіший з них відкидається. Як тільки MAC-адрес вузла призначення стає відомим, пакет, що був прихований в кеші, повертається до LL і той передає пакет до черги інтерфейсу;

– компонент Черга інтерфейсу — це черга, що надає пріоритет пакетам які відправлені протоколами роутінгу, вставляючи їх до початку черги перед звичайними пакетами;

– компонент MAC забезпечує коректне спільне використання загального середовища каналу декількома вузлами мережі;

– компонент Мережевий інтерфейс виконує роль фізичного інтерфейсу, який використовується мобільним вузлом для доступу до каналу зв'язку. Мережевий інтерфейс для бездротового радіозв'язку виконано як клас Phy/WirelessPhy та його дочірні класи. Цей інтерфейс моделює передачу даних із підтримкою вказаної моделі розповсюдження сигналів. Також, підтримується обробка колізій передачі. При передачі мережевий інтерфейс додає до кадру свої метадані (потужність випромінювання, частота радіохвиль, тощо). Метадані використовуються моделлю розповсюдження сигналів на приймаючій стороні для визначення, чи достатня потужність сигналу для детектування та прийому пакету;

– компонент Модель розповсюдження сигналів використовує комбіновану математичну модель: на коротких відстанях використовується формула Фрііса

(потужність прийнятого сигналу пропорційна $\frac{1}{R^2}$, де R — відстань між антенами), а на великих відстанях використовується апроксимована двопротенева модель розповсюдження сигналу (потужність прийнятого сигналу пропорційна $\frac{1}{R^4}$). Апроксимація припускає відображення сигналу від плоскої поверхні;

– у якості антени використовується об'єкт класу Antenna/OmniAntenna, що моделює всенаправлену антену із одиничним коефіцієнтом підсилення.

Описана в цьому підрозділі загальна модель бездротової мережі є лише скелет і повинна бути сконфігурована для конкретної моделі мережі.

3.2 Модель бездротової мережі управління елементами медіафасаду на базі технології IEEE 802.15.4 у середовищі моделювання ns-2

В таблиці 3.1 наведені класи компонентів що були використані для моделювання бездротової мережі IEEE 802.15.4.

Таблиця 3.1 – Класи компонентів, що були використані для моделювання мережі

Компонент	Клас
Канал зв'язку	Channel/WirelessChannel
Антенa	Antenna/OmniAntenna
Мережевий інтерфейс	Phy/WirelessPhy/802_15_4
Модель розповсюдження сигналу	Propagation/TwoRayGround
Рівень MAC	Mac/802_15_4
Очередь інтерфейсу	Queue/DropTail/PriQueue
Рівень LL	LL/LL802_15_4
Агент маршрутизації	NOAH

Середовище моделювання ns-2, у стандартній комплектації, не підтримує у необхідному обсязі всі можливості технології IEEE 802.15.4, що необхідні для моделювання розробленого в розділі 2 протоколу. Через те, до симулятора було внесено ряд змін, які описані у наступних пунктах.

3.2.1 Додаткові компоненти, що були використані при розробці програмної моделі мережі

До середовища моделювання було додано деякі необхідні компоненти:

а) добавлена імплементація передачі даних протягом періоду CFP у інтервалах GTS. Використана реалізація була розроблена у рамках дослідів [15] і може бути отримана за посиланням [19]. Без цієї реалізації, середовище моделювання було здатне вести передачу тільки протягом періоду CAP;

б) добавлено агент маршрутизації NOAH [20]. ns-2 надає декілька реалізацій алгоритмів для ad-hoc маршрутизації (AODV, DSR, DSDV, тощо). Всі поставлені із середовищем моделювання агенти маршрутизації призначені для роботи в ad-hoc мережах. Вони будують схему мережі протягом своєї роботи. На відміну від усіх них, NOAH (No Ad-Hoc routing agent) використовує заздалегідь визначену статичну таблицю маршрутизації. Під час роботи агент не робить спроб оновити таблицю маршрутизації і не відправляє жодних службових пакетів. Використання NOAH дозволяє моделювати статичні мережі із заздалегідь відомою топологією;

в) добавлено агент для генерації широкомовного трафіку. Реалізацію агента отримано за посиланням [21]. Ця реалізація дозволяє генерувати CBR (constant bit-rate) широкомовний трафік на відміну від зазвичай використовуємих агенту UDP та генератору CBR-трафіку.

3.2.2 Зміни до програмного коду компонентів середовища моделювання ns-2

Оскільки використані компоненти не підтримували деякі можливості чи мали помилки у своїх алгоритмах, було вирішено внести виправлення до їх програмного коду. Далі наведений опис змін, що були внесені.

а) програмний код агента маршрутизації NOAH змінено так, щоб розмір пакету, що відправляється, не змінювався при проходженні пакету через агента.

Попередня помилкова поведінка: агент NOAH додавав до розміру пакету розмір ІР-заголовку. Поведінка визнана помилковою, оскільки розроблена модель мережі не використовує протокол ІР для адресації вузлів мережі;

б) зроблено наступні виправлення в програмному коді агента для генерації широкомовного трафіку:

1) виправлена помилкова реєстрація метаінформації агенту в середовищі моделювання. Помилка, вірогідно, викликана тим, що агент був розроблений для попередньої версії середовища моделювання;

2) виправлений розмір широкомовних пакетів, що створювалися генератором. Через помилковий код, розмір пакету не міг бути меншим за 100 байт, оскільки агент використовував пакет для того, щоб передавати деяку метаінформацію. Але для передачі метаінформації разом із пакетом середовище моделювання передбачає додатковий простір, який не враховується при розрахунку розміру пакета. Виправлена версія програмного коду агента правильно використовує цей додатковий простір;

3) додане налаштування об'єктів агенту, яке дозволяє відключити перепосилання пакетів із програмного коду сценарію моделювання;

в) до реалізації мережевого стеку IEEE 802.15.4 додано підклас LL/LL802_15_4, якій, на відміну від базового класу LL, не використовує таблицю ARP. Замість цього, він використовує адресу із заголовку пакета у якості MAC-адреси. Також він дозволяє встановити флаг GTS для всіх вихідних пакетів. Клас Mac/802_15_4 використовує цей флаг для того, щоб обрати, чи відправляти пакет протягом періоду CFP;

г) до реалізації мережевого стеку 802.15.4 додана можливість вказати параметри GTS командою до PAN-координатора із програмного коду сценарію моделювання. До цього виправлення, реалізація підтримувала тільки алокацію інтервалів GTS по запиту GTS Request від кінцевого вузла мережі. Але, стандартом IEEE 802.15.4 не забороняються PAN-координатору виділяти

інтервали GTS самому собі;

д) клас `Mac/802_15_4` було змінено так, що PAN-координатор не скидає параметри виділених періодів GTS у наступному superframe. Стандартом технології IEEE 802.15.4 передбачений механізм деалокції інтервалів GTS у випадку, якщо вони не використовуються певний час. Існуюча реалізація мережевого стеку IEEE 802.15.4 в середовищі моделювання просто деалоціювала всі GTS наприкінці superframe. Виправлена реалізація деалоціює інтервали GTS тільки по запиту з програмного коду сценарію моделювання;

е) виправлено деякі помилки в реалізації GTS, а саме:

1) добавлена можливість виділити період GTS тривалістю більше одного слоту. Активна частина superframe поділяється на 16 рівних інтервалів — слотів (див. рис. 1.2). Попередня реалізація завжди виділяла GTS тривалістю 1 слот незалежно від переданих налаштувань;

2) виправлена помилка у розрахунку можливості виділення нового періоду GTS. Згідно до стандарту технології IEEE 802.15.4, кожен superframe обов'язково повинен містити період CAP. Мінімальна тривалість розраховується із використанням константи *aMinCAPLength*. При різних значеннях beacon order, CAP повинний бути тривалістю якнайменш 1-4 слотів. Але, помилкова реалізація не використовувала у розрахунку *aMinCAPLength* і вважала, що тривалість CAP завжди повинна бути якнайменш 7 слотів. Виправлена реалізація правильно враховує константу *aMinCAPLength*, що дозволяє відводити під період CFP більшу частину superframe;

3) виправлений ряд помилок, що виключали можливість відправки пакетів PAN-координатором під час GTS. Реалізація класу `Mac/802_15_4` розрізняє декілька місць для зберігання налаштувань CFP в залежності від того, звідки вони походять: отримані з верхнього рівню (на PAN-координаторі) чи отримані з кадру beacon (на кінцевому вузлі). Метод, що проводив підготовку пакету для відправки протягом GTS, використовував тільки налаштування, отримані з кадру

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		55

beacon. Оскільки PAN-координатор сам відправляє кадри beacon, його другий набір настройок був порожнім і пакет не міг бути відправлений протягом GTS. Виправлена реалізація перевіряє, чи є поточний об'єкт класу Mac/802_15_4 PAN-координатором і використовує вірний набір настройок;

4) виправлена помилка у розрахунку тривалості передачі GTS, що призводила до помилкових відкидань пакетів приймаючою стороною. Усі передані кадри повинні розділятися міжкадровим інтервалом часу (interframe spacing), протягом якого приймаючий вузол оброблює пакет (дешифрує заголовки кадру, відправляє підтвердження-АСК, доповідає на вищій рівень про прийом пакету, тощо). Помилкова реалізація не враховувала ці інтервали при плануванні відправки та могла помилково почати передачу кадру наприкінці GTS, коли часу на передачу вже було не достатньо. Виправлена реалізація правильно враховує періоди interframe spacing під час планування відправки кадрів;

5) виправлена помилка у розрахунку розміру заголовка пакету, що був залишений для очікування наступного періоду GTS. Якщо кадр не можливо передати протягом поточного інтервалу GTS через нестачу часу на передачу, він може бути залишений до наступного інтервалу (у поточному чи наступному superframe). Залишений кадр перед наступною спробою проходить у другий раз настройку MAC-заголовку, що призводило до помилкового додавання розміру MAC-заголовку до розміру кадру у другий раз. Виправлення відіймає розмір MAC-заголовку від розміру кадру перед тим, як залишити його для очікування наступної спроби. Цей спосіб виправити помилку був найпростішим і потребує найменше втручання в програмний код.

3.3 Розробка програмного коду сценарію моделювання мережі управління елементами індикації медіафасаду

Компоненти середовища моделювання, що були описані в попередніх підрозділах 3.1 та 3.2, реалізовані на мові програмування C++. Хоч для програмування моделей мереж цілком можливо також використати C++, але, оскільки ця мова програмування через свої особливості заважає швидкій зміні параметрів моделі, в середовищі моделювання ns-2 зазвичай використовуються скрипти на мові Tcl для опису моделей та сценаріїв їх використання. Усі класи, що об'явлені в коді на C++, можуть бути викликані із програмного коду на Tcl. Модель мережі управління елементами медіафасаду також була описана у програмному коді сценарію моделювання на мові Tcl.

Для опису сценарію моделювання потрібно виконати наступні кроки:

- задати параметри моделі у програмному коді чи із зовні як параметри командної строки;
- створити об'єкти середовища моделювання, топографії місцевості, відкрити файли, до яких буде зберігатися результати моделювання;
- задати початкові параметри об'єктів класу MobileNode шляхом виклику метода node-config об'єкта середовища моделювання;
- створити об'єкти MobileNode для кожного окремого вузлу мережі;
- задати індивідуальні параметри об'єктів MobileNode;
- створити генератори трафіку та агенти і приєднати їх до об'єктів MobileNode;
- у випадку, якщо використовується протоколи, що потребують асоціації вузлів до координатора мережі (наприклад, при використанні режиму роботи мережі beacon-enabled), запланувати час виконання асоціації вузлів;
- запланувати час проведення етапів моделювання, запуску та зупинки генераторів трафіку, тощо;

– запустити моделювання.

Програмний код сценарію моделювання наведено у додатку А. Усі експерименти із моделлю мережі управління елементами візуалізації медіафасаду проводилися на базі цього сценарію. У різних проведених експериментах змінювалися параметри моделі.

Для моделювання трафіку від Сервера до Клієнтів був використаний агент для генерації широкомовного трафіку. Цей генератор створює постійний рівень навантаження, відсилаючи широкомовні пакети однакового розміру через однакові періоди часу.

Трафік від Клієнтів до Сервера моделюється як пуасоновський процес. Пуасоновський процес було обрано, оскільки він є найпростішою моделлю трафіку в мережі. Для створення пакетів трафіку усіма клієнтськими вузлами використовується клас `Application/Traffic/Exponential`. Цей клас дозволяє генерувати трафік із пакетів постійного розміру. Час відправки пакетів контролюється використовуючи стохастичний автомат, який може перебувати у стані `idle` та `burst`. Пакети трафіку створюються у стані `burst`. Час перебування у кожному із станів описується експоненціальним законом. Генератор конфігурується за допомогою наступних параметрів:

- а) *burst_time* — середній час в стані `burst`;
- б) *idle_time* — середній час в стані `idle`;
- в) *size* — розмір пакету;
- г) *rate* — швидкість передачі.

Згідно до документації до середовища моделювання ns-2, генератор `Application/Traffic/Exponential` може бути сконфігурований для моделювання пуасоновського процесу відправки пакетів. Для цього деякі параметри генератору необхідно встановити наступним чином:

- а) *burst_time* = 0 — мінімально можливий час у стані `burst`. Фактично, генератор буде створювати один пакет і переходити до стану `idle`;

б) $idle_time = interval \cdot 1000 - \frac{size \cdot 8}{rate}$, де $interval$ — середній інтервал між подіями створювання пакетів;

в) $rate = 250$ — максимальна пропускна спроможність мережі.

3.4 Процедура аналізу результатів моделювання

Результатом роботи середовища моделювання є *trace*-файл, що містить у собі записи про кожну подію, що відбувалася у мережі. Події, що виникали в програмній моделі розробленої мережі управління елементами медіафасаду, поділялися до наступних класів:

- пакет надійшов до мережевого стеку вузла з вищого рівню;
- кадр було відправлено вузлом;
- кадр було прийнято вузлом;
- пакет було передано з мережевого стеку вузла до вищого рівню;
- пакет було втрачено.

Для оцінки роботи мережі необхідно провести агрегацію результатів роботи середовища моделювання і підрахувати числові характеристики. Для цього було розроблено декілька окремих програм на мові Python. Ці програми виконували наступні кроки:

а) програма-виконувач:

1) формує список комбінацій параметрів моделі, із якими необхідно провести моделювання;

2) викликає середовище моделювання та передає параметрами моделі як параметри командної строки;

3) проводить попередню обробку *trace*-файлу із результатами моделювання, переводячи його із текстового формату у внутрішній формат, який є придатним для подальшої обробки;

б) програма-агрегатор використовує оброблені на попередньому кроці

результати моделювання для розрахунку наступних параметрів окремих запусків середовища моделювання:

1) пропускна спроможність у заданому напрямку, виміряна на заданому вузлі мережі. Ця характеристика показує інтенсивність трафіку у обраному напрямку;

2) час між подіями відправки та прийому кадру. Ці характеристики дозволяють оцінити середню затримку передачі;

3) кількість успішно доставлених чи втрачених пакетів у заданому напрямку трафіку. Ця характеристика дозволяє оцінити рівень навантаження мережі та якість обслуговування трафіку;

в) програма для побудування графіків використовує підраховані попередньою програмою характеристики окремих запусків середовища моделювання для створення наявного відображення результатів роботи моделі при різних параметрах. Програма для побудування графіків використовується для побудування графіків наступних типів:

1) графік залежності корисної пропускної спроможності обраного вузла від розміру корисного навантаження кадру;

2) графік залежності затримки передачі від розміру корисного навантаження кадру;

3) графік залежності швидкості прийому на обраному вузлі від середнього інтервалу відправки пакетів вузлами;

4) графік залежності долі успішно прийнятих обраним вузлом пакетів від середнього інтервалу відправки пакетів вузлам.

Створені програми були використані для проведення моделювання роботи мережі управління елементами індикації медіафасаду та аналізу характеристик її роботи.

3.5 Висновки до третього розділу

У цьому розділі було розроблено програмну модель мережі управління елементами індикації медіафасаду. Розробка програмної моделі проводилась за допомогою середовища моделювання ns-2, яке було обрано в розділі 1.

Під час розробки програмної моделі біло виявлено, що середовище моделювання має деякі недоліки, недоробки та помилки. Виявлені проблеми було виправлено. Серед інших виправлень, найбільш важливішими є виправлення в коді моделі мережевого стеку технології IEEE 802.15.4. Ці виправлення дозволили побудувати програмну модель мережі, що працює в необхідних режимах роботи.

Розроблена програмна модель мережі дозволяє перевірити поведінку мережі при використанні протоколу та механізмів, що були запропоновані в розділі 2, та при різних рівнях навантаження трафіку як у напрямку від Сервера до Клієнтів, так і у напрямку від Клієнтів до Сервера.

Для оцінки поведінки мережі при різних параметрах моделі біло розроблено допоміжні програми, які проводять автоматичний запуск середовища моделювання із заданими комбінаціями параметрів, збирають результати моделювання та підраховують необхідні характеристики.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТОКОЛУ ДЛЯ МЕРЕЖІ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ МЕДІАФАСАДУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОЇ МОДЕЛІ

У цьому розділі наведено результати використання розробленої у розділі 3 програмної моделі мережі управління елементами індикації медіафасаду.

4.1 Експериментальна перевірка відповідності програмної моделі до вимог стандарту IEEE 802.15.4

Перше моделювання слугуватиме для перевірки відповідності створеної програмної моделі до вимог стандарту IEEE 802.15.4. За результатами цього моделювання буде прийняте рішення, чи може модель бути використана для подальших експериментів.

Для перевірки відповідності створеної програмної до вимог стандарту IEEE 802.15.4 будемо оцінювати верхню границю пропускнуєї спроможності та затримки передачі в мережі в режимах роботи beacon-less та beacon-enabled. Оцінка пропускнуєї спроможності вже була наведена в пункті 1.4.4, де були оглянуті результати інших робіт. У цьому пункті буде перевірено правильність наведених раніше оцінок та правильність роботи моделі мережі IEEE 802.15.4.

Параметри програмної моделі для моделювання режиму роботи beacon-less вказані в таблиці 4.1.

Результати моделювання режиму роботи beacon-less наведено на рис. 4.1 і 4.2.

На графіках можна бачити, що параметри мережі в цілому відповідають оцінкам, що були наведені в пункті 1.4.4. Максимальна досягнута пропускна спроможність становить 168 Кбіт/с, що декілька вище ніж було розраховано у [8].

На рис. 4.2 зображена затримка передачі, розрахована як час між початком

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		62

Таблиця 4.1 – Параметри моделювання режиму роботи beacon-less

Параметр	Значення
Кількість вузлів в мережі	2
Час моделювання, с	60
Розмір корисного навантаження, байт	1..120
Режим адресування, біт	16
Режим підтвердження	Із та без підтвердження
Режим роботи	beacon-less

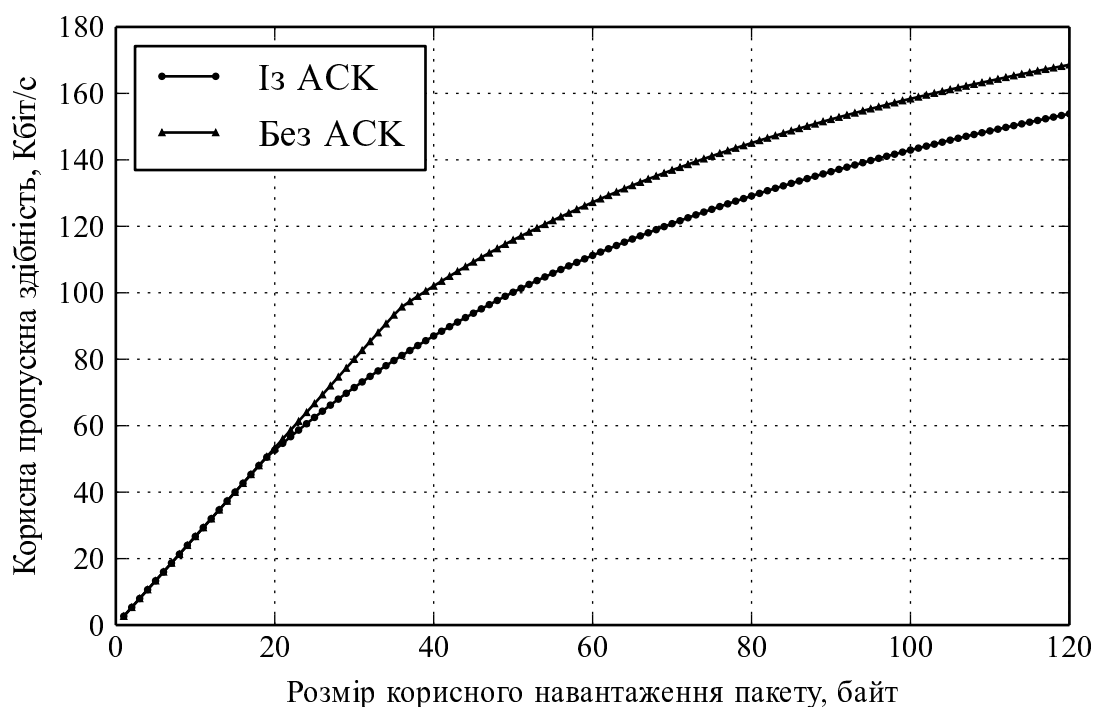
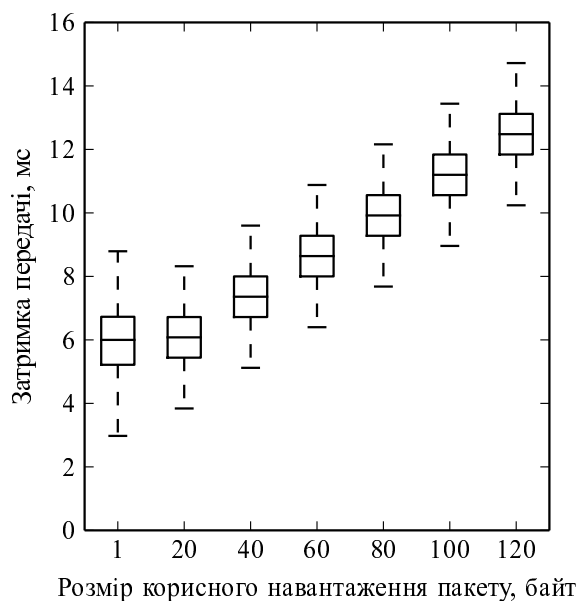


Рисунок 4.1 – Графік залежності корисної пропускної спроможності від розміру корисного навантаження кадру в режимі роботи beacon-less

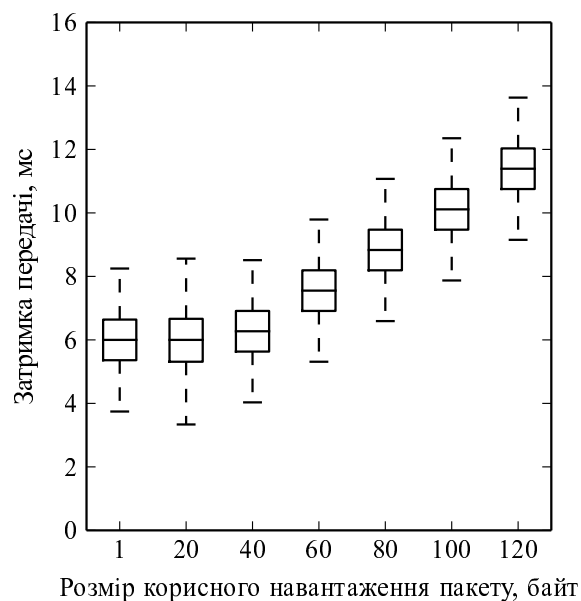
передачі та час між кінцем прийому. Видно, що середня затримка при відключеному підтвердженні прийому кадрів менша, ніж при включеному підтвердженні.

Параметри програмної моделі для моделювання режиму роботи beacon-enabled вказані в таблиці 4.2.

В цьому експерименті передача проводилась виключно в періоді CAP. Оскільки $BO = SO$, періоду CFP та періоду неактивності в superframe не було.



а



б

Рисунок 4.2 – Графік затримки передачі в режимі роботи beacon-less та:
а – із підтвердженням; б – без підтвердження

Таблиця 4.2 – Параметри моделювання режиму роботи beacon-enabled

Параметр	Значення
Кількість вузлів мережі	2
Час моделювання, с	60
Розмір корисного навантаження, байт	1,50,100,120
Режим адресування, біт	16
Режим підтвердження	Без підтвердження
Режим роботи	beacon-enabled
Beacon order (BO)	1,3,5,7
Superframe order (SO)	$SO = BO = 1,3,5,7$

Результати моделювання режиму роботи beacon-enabled наведено на рис. 4.3.

На графіку можна бачити, що корисна пропускна збільшується при збільшенні параметрів BO та SO . Це пояснюється зменшенням частини часу, який витрачається на передачу маячка, до загального часу superframe. Але також можна бачити, що при $BO = SO \geq 5$, зріст корисної пропускної спроможності незначний, оскільки розмір superframe пропорційний квадрату BO , а час на

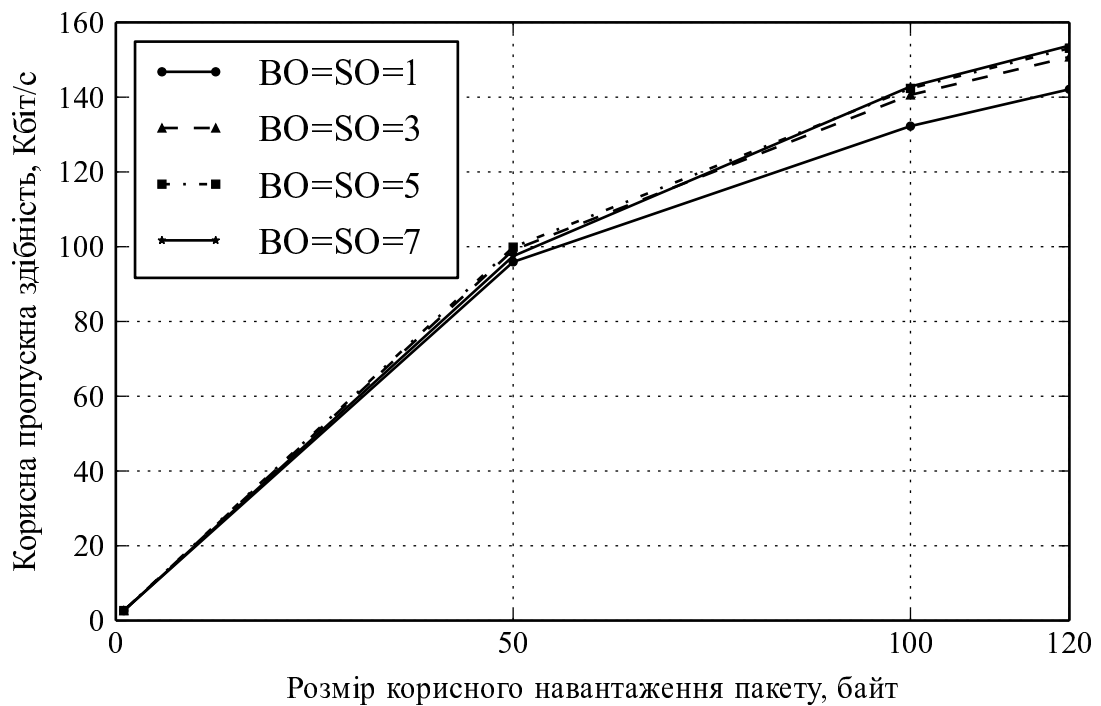


Рисунок 4.3 – Графік залежності корисної пропускної здатності від розміру корисного навантаження кадру при різних рівнях BO, SO в режимі роботи beacon-enabled

передачу маячка не змінюється.

Таким чином, в мережах beacon-enabled, при повній утилізації superframe не має сенсу виставляти параметр $BO > 5$.

Оскільки результати моделювання відповідають вимогам стандарту технології IEEE 802.15.4 та оцінкам характеристик, що наведені у розглянутій в розділі 1 літературі, будемо використовувати розроблену програмну модель для оцінки характеристик протоколу мережі управління елементами медіафасаду.

4.2 Моделювання роботи мережі при незначному рівні трафіку від Клієнтів до Сервера

Описаний в цьому підрозділі сценарій моделювання відповідає сценарію використання, що був описаний в пункті 2.3.1.

Ідеальний випадок, коли передачу в мережі веде лише координатор, є ідентичним випадку, коли координатор веде односторонню передачу одному вузлу. Цей випадок було промодельоване в підрозділі 4.1. Проведемо моделювання роботи мережі у випадках, коли трафік від Сервера до Клієнтів вимкнено та ввімкнено. Це дозволить дослідити вплив одночасної передачі трафіку у обох напрямках.

4.2.1 Моделювання роботи мережі при незначному рівні трафіку від Клієнтів до Сервера та без трафіку від Сервера до Клієнтів

Проведемо моделювання випадку, у якому передачу в мережі ведуть усі вузли, окрім координатору.

Параметри моделі наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Параметри моделі мережі для моделювання роботи мережі при незначному рівні трафіку від Клієнтів до Сервера та без трафіку від Сервера до Клієнтів

Параметр	Значення
Кількість Клієнтів (nn)	5, 50, 100
Час моделювання, с	10
Режим адресування	16 біт
Режим підтвердження	Із підтвердженням
Режим роботи	beacon-less
Генератор трафіку	Application/Traffic/Exponential
Розмір корисного навантаження ($size$), байт	10
Інтервал передачі ($interval$), с	0,005; ... ; 1

Результати моделювання можна бачити на рис. 4.4 і 4.5.

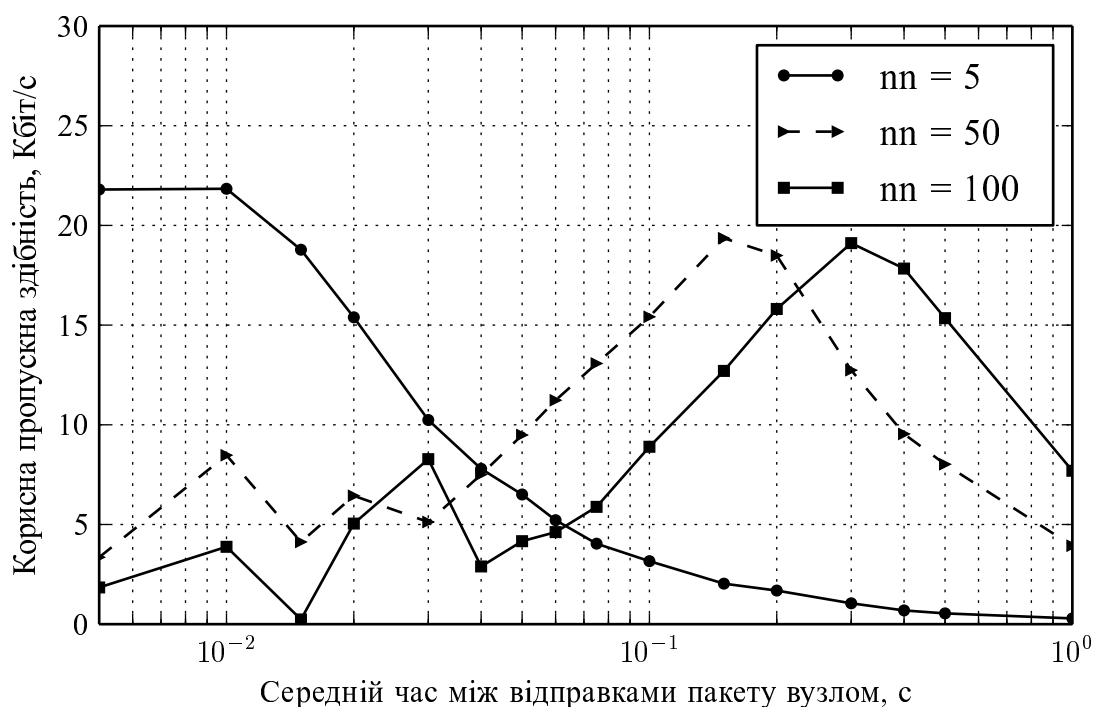


Рисунок 4.4 – Графік залежності швидкості прийому на координаторі від середнього інтервалу відправки пакетів вузлами в режимі мережі beacon-less та без трафіку від Сервера до Клієнтів

На рис. 4.4 показана залежність вхідної швидкості на координаторі від середнього інтервалу відправки пакетів вузлами при різній кількості Клієнтів в мережі. На графіку можна бачити, як швидкість досягає свого максимуму, після чого падає. З лівої сторони графіка можна бачити, що при великій інтенсивності передачі, швидкість прийому дуже не стабільна.

На рис. 4.5 показана залежність долі успішно доставлених пакетів від середнього інтервалу відправки пакетів вузлами при різній кількості Клієнтів в мережі. На Графіку можна бачити, що доля успішно доставлених пакетів швидко падає при звеличенні інтенсивності передачі. Порівнюючи рис. 4.4 та рис. 4.5, можна бачити, що максимальна швидкість досягається на рівні 70% доставлених

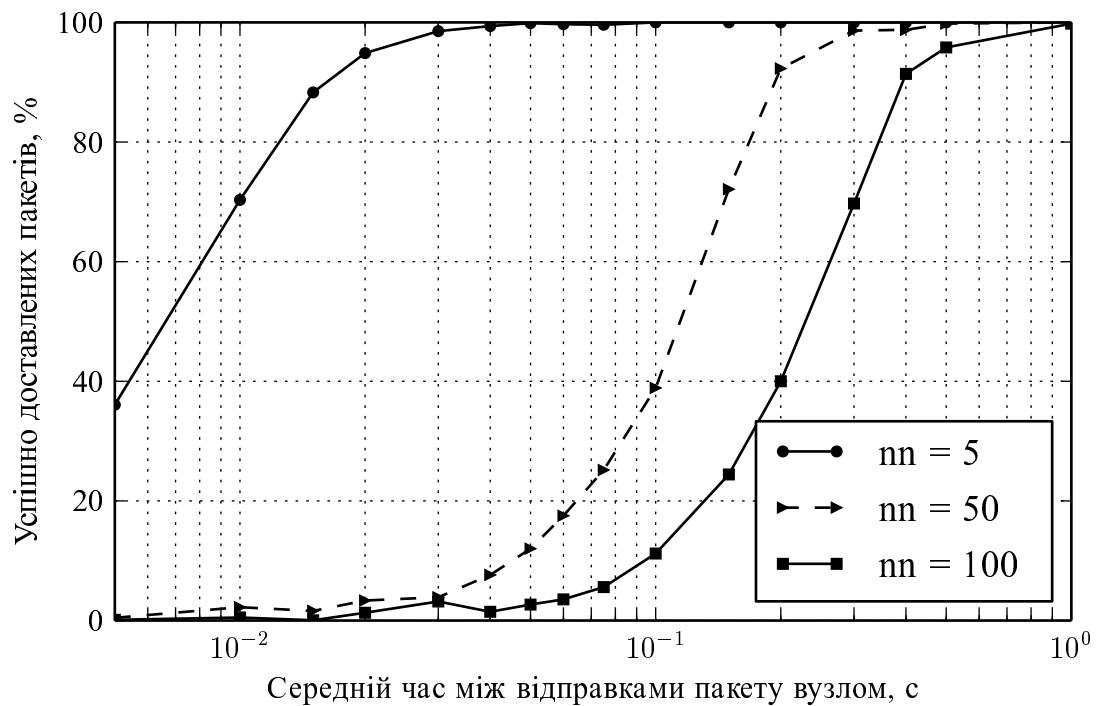


Рисунок 4.5 – Графік залежності долі успішно прийнятих координатором пакетів від середнього інтервалу відправки пакетів вузлами в режимі мережі beacon-less та без трафіку від Сервера до Клієнтів

пакетів. Для мережі із 100 Клієнтів ця точка відповідає середньому інтервалу передачі 0,5 с.

4.2.2 Моделювання роботи мережі при незначному рівні трафіку від Клієнтів до Сервера та із трафіком від Сервера до Клієнтів

Проведемо моделювання випадку, у якому в мережі будуть вести передачу одночасно як Сервер, так і Клієнти. Сервер веде передачу широкомовними пакетами, які повинні приймати всі Клієнти. Клієнти ведуть передачу до Сервера.

Параметри моделювання наведено в таблиці 4.4.

Інтервал передачі широкомовних пакетів (*bmsg_interval*) обрано таким із розрахунку, щоб зайняти половину полоси пропускання. Якщо прийняти

Таблиця 4.4 – Параметри моделі мережі для моделювання роботи мережі при незначному рівні трафіку від Клієнтів до Сервера та із трафіком від Сервера до Клієнтів

Параметр	Значення
Кількість Клієнтів (nn)	5, 50, 100
Час моделювання, с	10
Режим адресування	16 біт
Режим підтвердження	Із підтвердженням
Режим роботи	beacon-less
Генератор трафіку Клієнтів	Application/Traffic/Exponential
Розмір корисного навантаження ($size$), байт	10
Середній інтервал передачі ($interval$), с	0,005; ... ; 1
Генератор широкомовного трафіку	Application/BroadcastbaseApp
Розмір корисного навантаження, байт	120
Інтервал передачі ($bmsg_interval$), с	0,012

максимальну корисну пропускну спроможність 160 Кбіт/с для пакетів розміром 120 байт та необхідну полосу пропускання $\frac{160}{2} = 80$ Кбіт/с, тоді:

$$bmsg_interval = \frac{1 \text{ с}}{\frac{80 \text{ Кбіт/с} \cdot 1000}{120 \text{ байт} \cdot 8 \text{ біт}}} = 0,012 \text{ с}$$

Результати моделювання можна бачити на рис. 4.6–4.9.

На рис. 4.6 показана залежність вхідної швидкості на Сервері від середнього інтервалу відправки пакетів Клієнтами при різній кількості Клієнтів в мережі. На графіку можна бачити, що, хоча досягнута швидкість менша, ніж у попередньому моделюванні (рис. 4.4), але мережа поводить себе таким самим чином.

На рис. 4.7 показана залежність вхідної швидкості на Клієнті №1 від середнього інтервалу відправки пакетів Клієнтами при різній кількості Клієнтів в мережі. Клієнт №1 приймає широкомовні повідомлення від координатора. На графіку можна бачити, що при малому розмірі мережі та малій інтенсивності трафіку від Клієнті до Серверу, трафік від Сервера до Клієнтів дійсно займає заплановану полосу пропускання 80 Кбіт/с. Але, при підвищенні навантаження на мережу, Клієнт №1 починає втрачати пакети, через що вхідна швидкість падає. Це підтверджується і на рис. 4.8 і 4.9, де показана залежність долі успішно

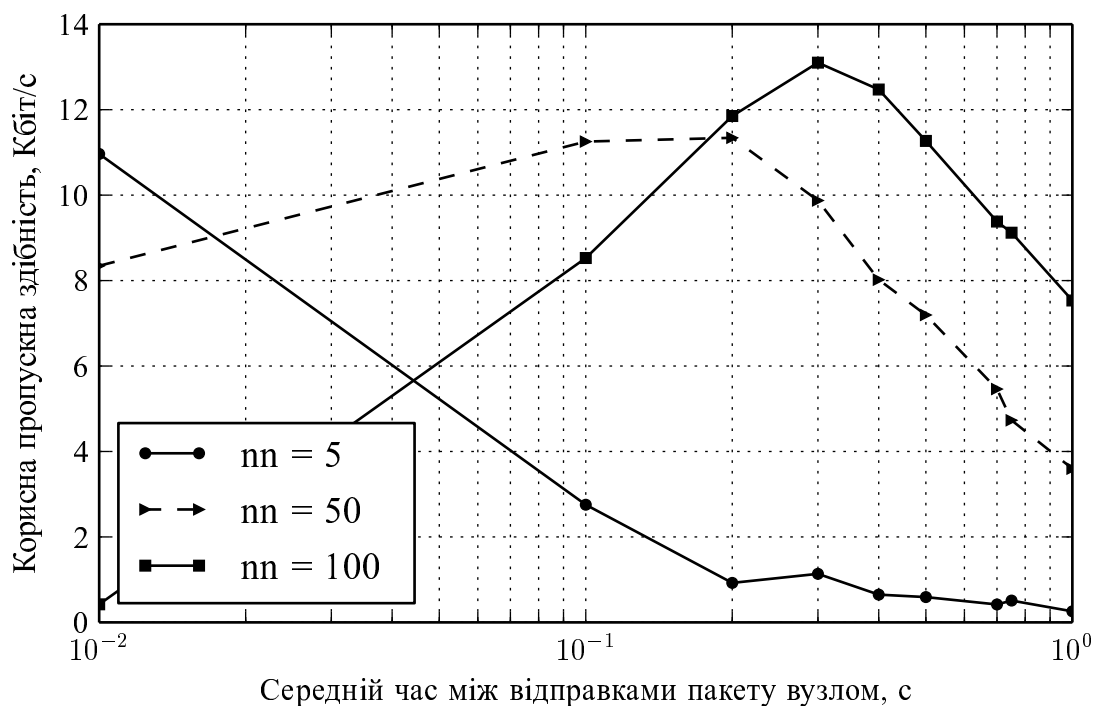


Рисунок 4.6 – Графік залежності швидкості прийому на Сервері від середнього інтервалу відправки пакетів Клієнтами в режимі мережі beacon-less

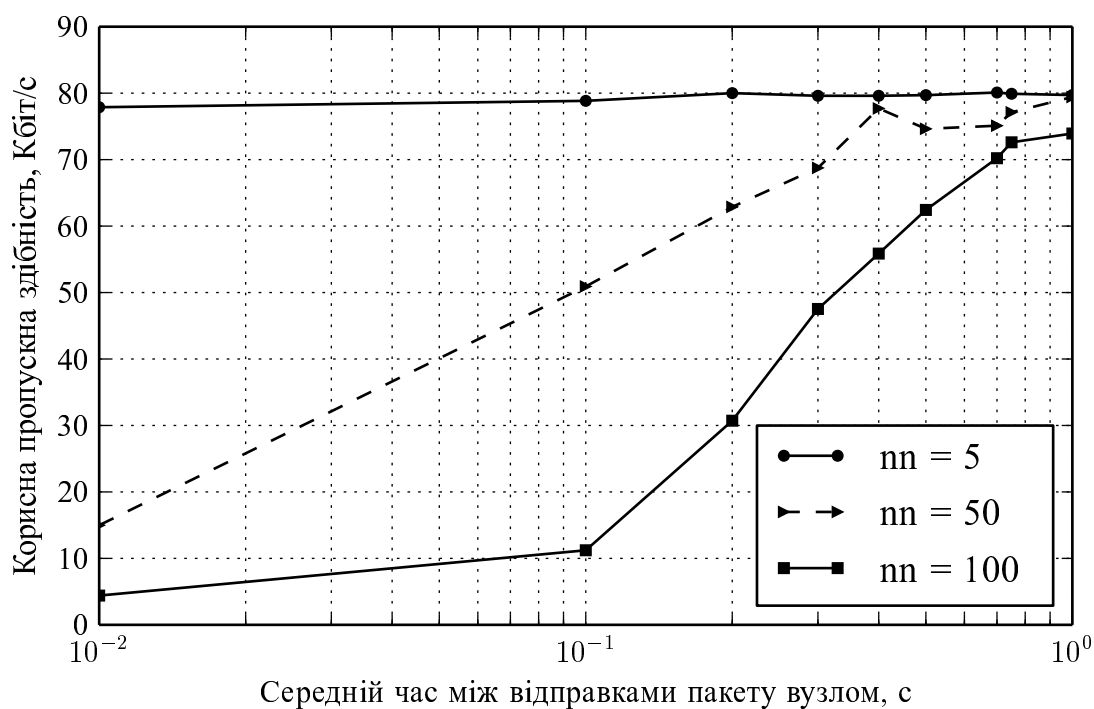


Рисунок 4.7 – Графік залежності швидкості прийому на Клієнті №1 від середнього інтервалу відправки пакетів Клієнтами в режимі мережі beacon-less

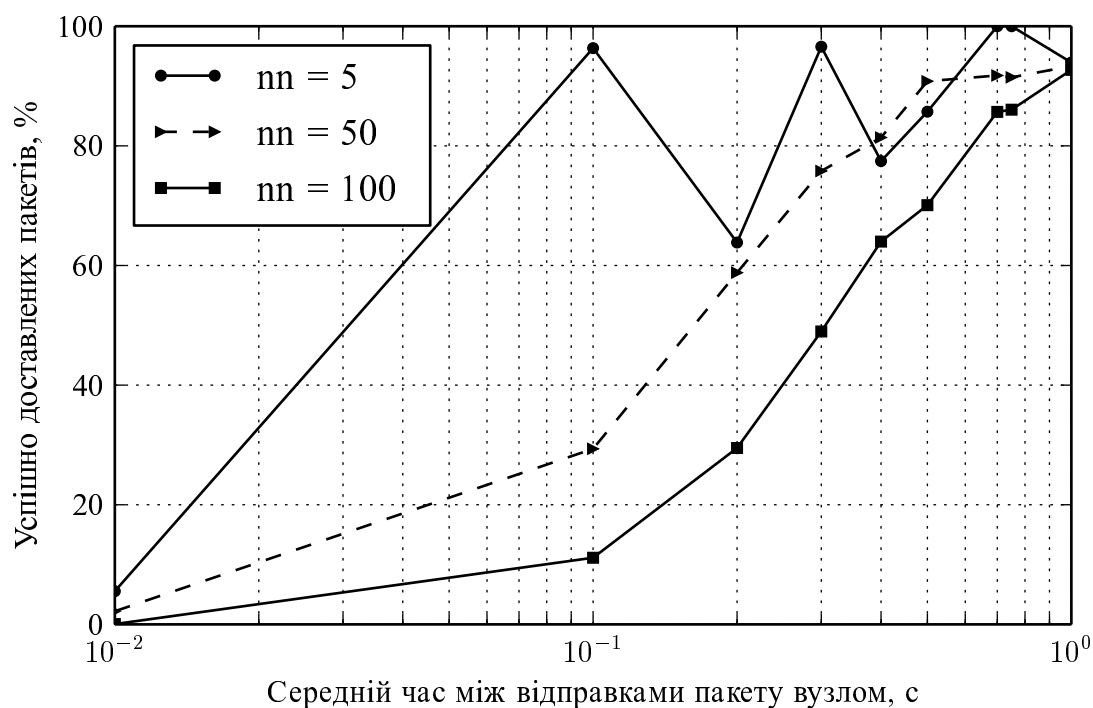


Рисунок 4.8 – Графік залежності долі успішно прийнятих Сервером пакетів від середнього інтервалу відправки пакетів Клієнтами в режимі мережі beacon-less

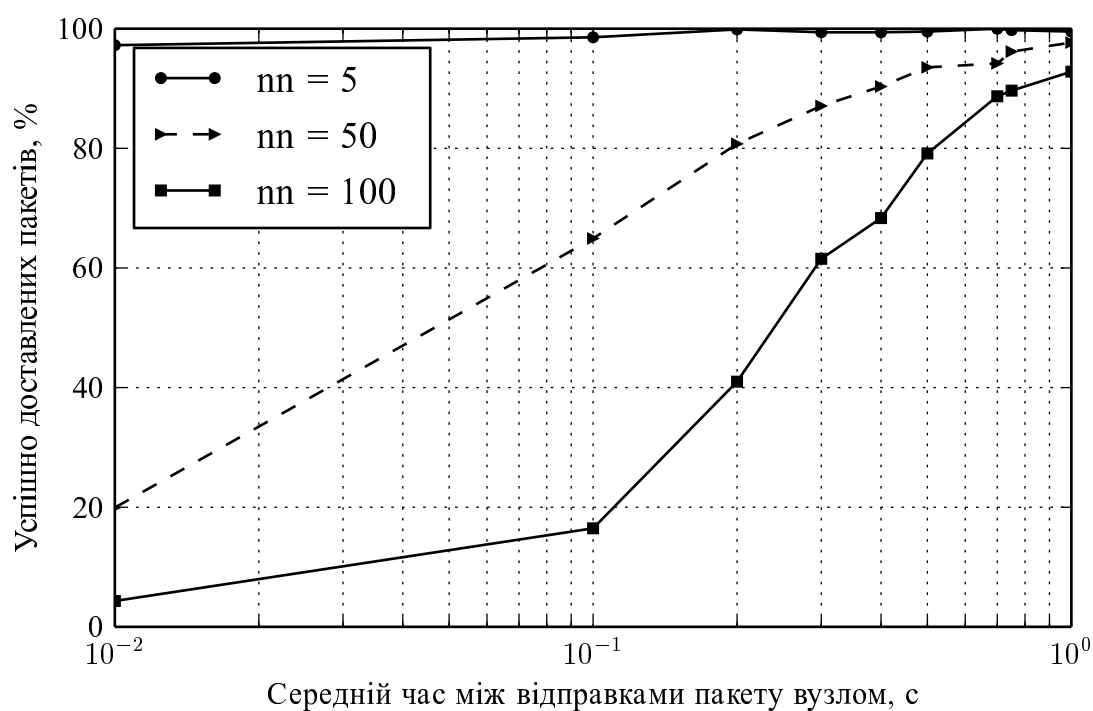


Рисунок 4.9 – Графік залежності долі успішно прийнятих Клієнтами пакетів від середнього інтервалу відправки пакетів Клієнтами в режимі мережі beacon-less

прийнятих Клієнтами пакетів. На графіку видно, що із зменшенням інтервалу відправки пакетів, доля успішно доставлених пакетів падає. Обидва графіки показують таку ж саму поведінку із зростанням навантаження.

Проведені моделювання дозволяють підтвердити положення, що були наведені в пункті 2.3.1. Доки загальної пропускнуєї спроможності мережі досить для того, щоб передати як трафік від Сервера до Клієнтів, так і трафік від Клієнтів до Сервера, доля успішно доставлених пакетів наближається до 100%. Але, коли мережа стає перенавантаженою, доля успішно доставлених пакетів різко зменшується як у напрямку від Сервера до Клієнтів, так у зворотному напрямку від Клієнтів до Сервера. Таким чином, якість обслуговування трафіку від Сервера до Клієнтів не може бути надійно забезпечена.

4.3 Моделювання роботи мережі при значному рівні трафіку від Клієнтів до Сервера

В цьому підрозділі наведені результати моделювання мережі в режимі роботи beacon-enabled при значному рівні трафіку від Клієнтів до Сервера. Описаний в цьому підрозділі сценарій відповідає сценарію використання, що був описаний в пункті 2.3.2.

Передачу даних в мережі, що симулюється, ведуть одночасно і Сервер, і Клієнти. Сервер веде передачу в виділеному для нього інтервалі GTS протягом періоду CFP, Клієнти ведуть передачу протягом періоду CAP. Виділений для Сервера інтервал GTS є єдиний і займає весь період CFP.

Параметри моделювання наведено в таблиці 4.5.

Розмір GTS для Сервера обрано таким чином, щоб залишити половину часу superframe під період CAP. Таким чином, параметри генератора трафіку Сервера відповідають параметрам, що були використані при попередньому моделюванні в підрозділі 4.2. Розмір *BO* та *SO* обрано за результатами, що були отримані в

Таблиця 4.5 – Параметри моделі мережі для моделювання роботи мережі при значному рівні трафіку від Клієнтів до Сервера

Параметр	Значення
Кількість Клієнтів (nn)	5, 50
Час моделювання, с	10
Режим адресування	16 біт
Режим підтвердження	Із підтвердженням
Режим роботи	beacon-enabled
Beacon order (BO)	5
Superframe order (SO)	5
Розмір GTS для Сервера, слотів	8
Генератор трафіку Клієнтів	Application/Traffic/Exponential
Розмір корисного навантаження трафіку Клієнтів ($size$), байт	10
Середній інтервал передачі ($interval$), с	0,001; ... ; 1
Генератор широкомовного трафіку	Application/BroadcastbaseApp
Розмір корисного навантаження трафіку Сервера($bmsg_size$), байт	120
Інтервал передачі ($bmsg_interval$), с	0,012

підрозділі 4.1, таким чином, щоб знизити вплив необхідності відправки кадрів beacon на загальну корисну пропускну спроможність мережі.

Параметри генератора трафіку, що використовується на Клієнтах, було взято із попереднього моделювання, що було розглянуте у підрозділі 4.2.

На відміну від попередніх розглянутих моделювань, в цьому моделюванні розглядалися мережі розміром тільки 5 та 50.

Результати моделювання можна бачити на рис. 4.10–4.13.

На рис. 4.10 показана залежність вхідної швидкості на Сервері від середнього інтервалу відправки пакетів Клієнтами при різній кількості Клієнтів в мережі. На рис. 4.11 показана залежність долі успішно прийнятих Сервером пакетів, що були відправлені Клієнтами. Поведінка трафіку від Клієнтів до Сервера в мережі відповідає поведінці, що спостерігалася під час попереднього моделювання і наведена на попередніх графіках (див. рис. 4.6 і 4.8).

На рис. 4.12 показана залежність вхідної швидкості на Клієнті №1 від

середнього інтервалу відправки пакетів вузлами при різній кількості Клієнтів в мережі. На рис. 4.13 показана залежність долі успішно прийнятих вузлами пакетів, що були відправлені Сервером. З графіків видно, що трафік від Клієнтів до Сервера ніяк не впливає на трафік від Сервера до Клієнтів. Мережа здатна підтримувати задану корисну пропускну спроможність. Доля успішно доставлених пакетів наближається до 100

Проведена симуляція дозволяє підтвердити положення, що були наведені в пункті 2.3.2. Передача даних протягом періоду CFP дозволяє досягнути наперед встановлених вимог щодо якості обслуговування в мережі.

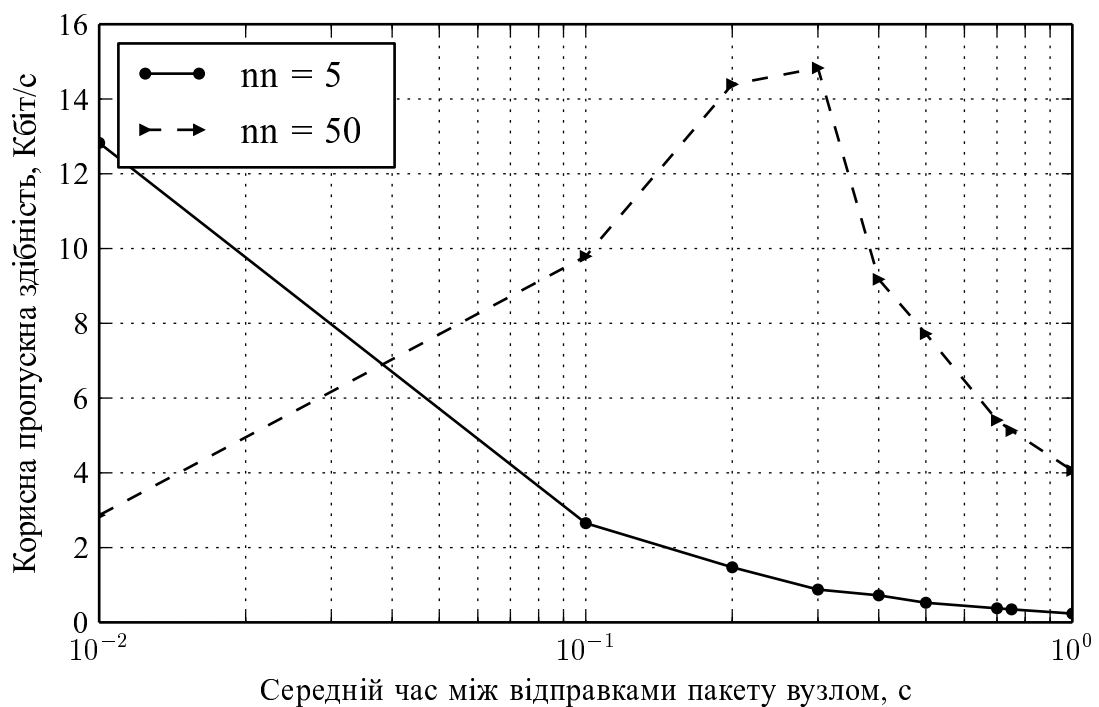


Рисунок 4.10 – Графік залежності швидкості прийому на Сервері від середнього інтервалу відправки пакетів Клієнтами в режимі роботи мережі beacon-enabled

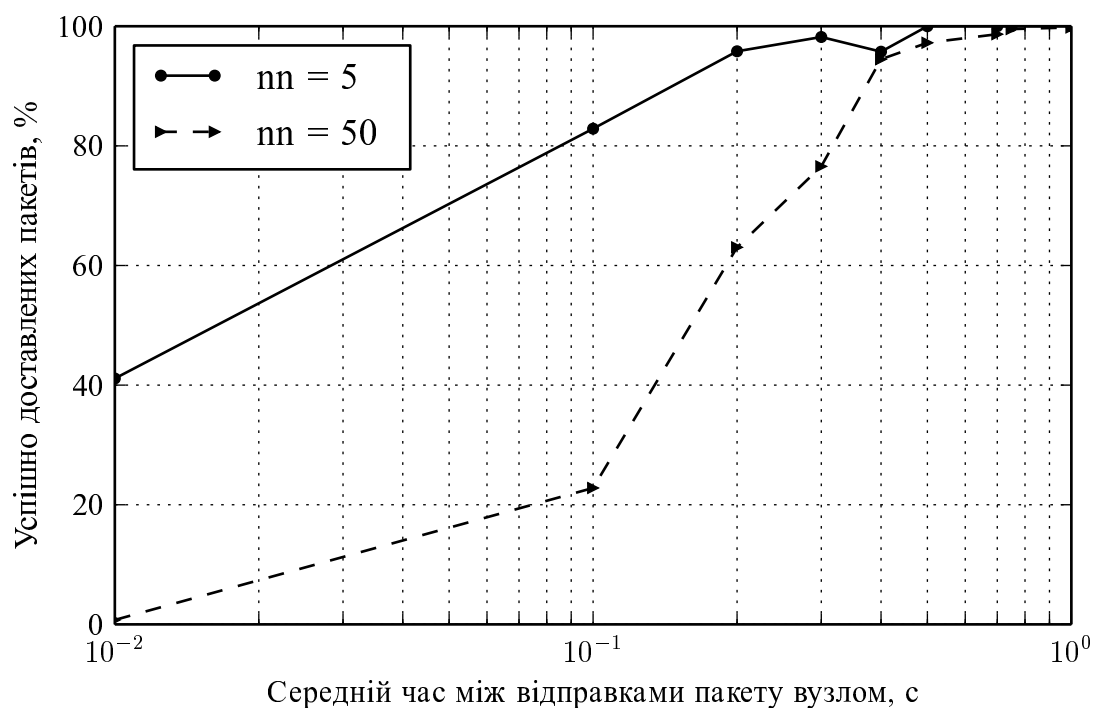


Рисунок 4.11 – Графік залежності долі успішно прийнятих Сервером пакетів від середнього інтервалу відправки пакетів вузлами в режимі мережі beacon-enabled

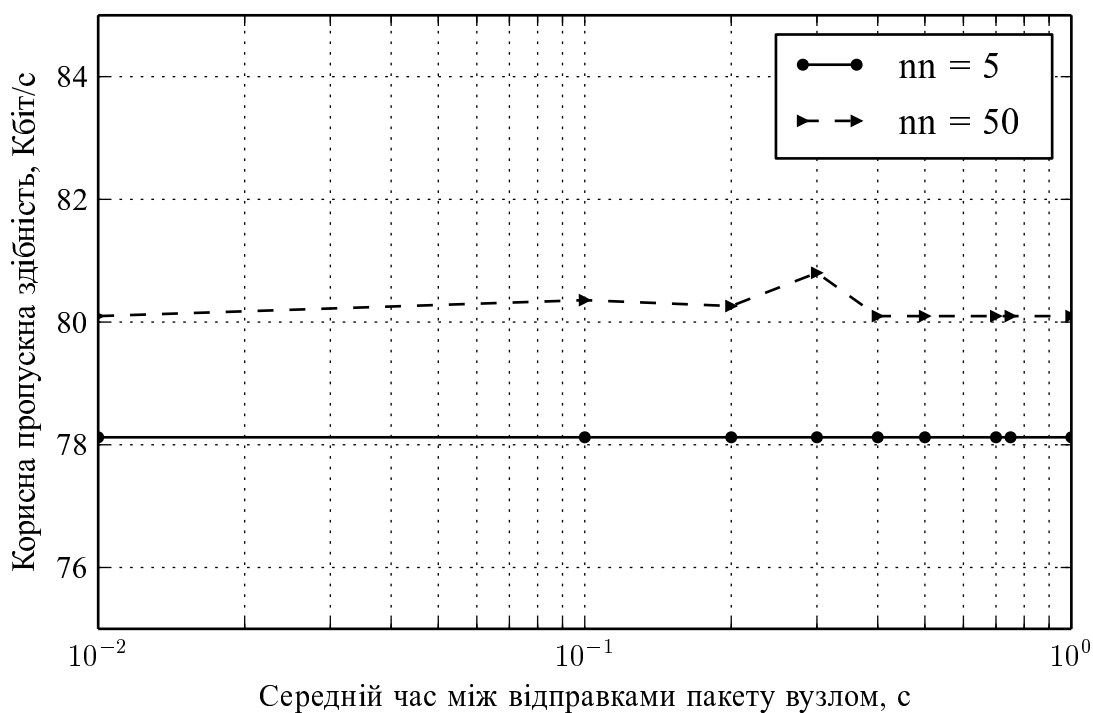


Рисунок 4.12 – Графік залежності швидкості прийому на вузлі №1 від середнього інтервалу відправки пакетів вузлами в режимі мережі beacon-enabled

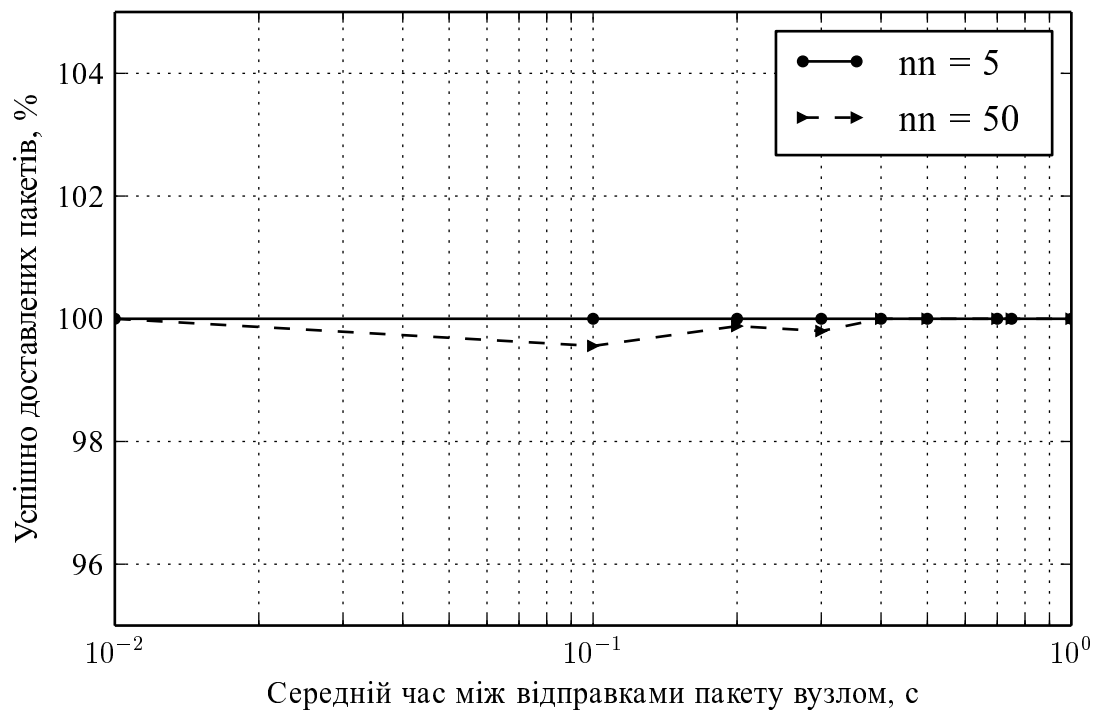


Рисунок 4.13 – Графік залежності долі успішно прийнятих вузлами пакетів від середнього інтервалу відправки пакетів вузлами в режимі мережі beacon-enabled

4.4 Висновки до четвертого розділу

У цьому розділі була проведена експериментальна перевірка характеристик протоколу для мережі управління елементами індикації медіафасаду за допомогою програмної моделі, що була побудована на базі середовища моделювання ns-2.

З початку було проведено експериментальну перевірку відповідності характеристик побудованої програмної моделі до вимог стандарту технології IEEE 802.15.4 та наведених у інших посиланнях характеристик. За результатами перевірки було встановлено, що характеристики побудованої програмної моделі відповідають тим, що були розглянуті у підрозділі 1.4. Досягнута максимальна пропускна спроможність 168 Кбіт/с є декілька більшою за спроможність, досягнуту у розрахунках [8], але не заперечує вимогам стандарту. Затримка

передачі відповідає розрахунками [8]. Поведінка мережі при збільшенні beacon order та superframe order відповідає поведінці, що була доглянута у [9]. Побудовану програмну модель мережі визнано придатною для подальших експериментів.

Побудована модель була використана для перевірки положень сценаріїв використання, що були наведені у пунктах 2.3.1 та 2.3.2. Результати моделювання відповідають очікуваням.

При використанні мережі в режимі роботи beacon-less спостерігалось очікуване погіршення забезпечення якості обслуговування трафіку в обох напрямках при збільшенні навантаження. Оскільки мережа не може гарантувати якість обслуговування трафіку від Сервера до Клієнтів, її доцільно використовувати тільки при незначному рівні навантаження трафіку від Клієнтів до Сервера.

При використанні мережі в режимі роботи beacon-enabled спостерігалась очікувана незалежність якості обслуговування трафіку від Сервера до Клієнтів від рівню навантаження трафіку від Клієнтів до Сервера. Режимі роботи beacon-enabled підходить до використання при значному рівні навантаження трафіку від Клієнтів до Сервера.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Обґрунтування вибору об'єкта

Основним завданням дипломної роботи є дослідження та розробка протоколів бездротових мереж на основі стандарту IEEE 802.15.4 для управління елементами індикації медіафасаду. Виконання дипломної роботи вимагає використання персональної електронно-обчислюваної машини (ПЕОМ), тому в якості об'єкта дослідження обрано умови праці в машинній залі обчислювального центру, що складається з ПЕОМ і робочого місця розробника.

Стисла характеристика об'єкту дослідження: приміщення площею 28 м² обладнане однією спліт системою для кондиціонування повітря; приміщення обладнано трьома вікнами; штучне освітлення: 6 світильників із двома лампами Philips G13 36W/54 TLD потужністю 80 Вт.

5.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів на робочому місці та розробка заходів спрямованих на усунення чи зниження шкідливого впливу виявлених факторів

5.2.1 Повітря робочої зони

Повітря робочої зони характеризується мікрокліматичними параметрами середовища, до яких прийнято відносити температуру повітря, вологість і швидкість його руху, а також барометричним тиском і швидкістю його зміни, тепловими випромінюваннями, наявністю шкідливих речовин, аерофонів, пилу, які суттєво впливають на функціональну діяльність людини, її самопочуття, здоров'я і на надійність роботи обчислювальної техніки [22].

На робочому місці джерелами тепловиділень є: обчислювальний

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

обладнання, прилади освітлення, обслуговуючий персонал, а також сонячна радіація. Причому основним тепловиділяючим обладнанням є ПЕОМ, які дають в середньому 80% сумарних тепловиділень. Тепловиділення від приладів освітлення складають в середньому 12%, від обслуговуючого персоналу — 1%, від сонячної радіації — 6%. Приплив теплоти через непрозорі огорожувальні конструкції становить 1%.

На робочому місці для ліквідації недоліків повітря робочої зони використовується протяго-витяжна вентиляція й кондиціонування повітря за допомогою спліт-системи, яка забезпечує фільтрацію підвищеної запиленості повітря робочої зони, регулювання температури поверхні чи устаткування матеріалів і регулювання вологості, а також загально обмінна вентиляція.

Усі параметри повітря робочої зони відповідають нормативам згідно із ДСТУ 12.1.005-78 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони»

5.2.2 Мікрокліматичні параметри

При виконанні робіт операторського типу, пов'язаних з нервово-емоційним напруженням в кабінетах, пультах і постах керування технологічними процесами, в залах обчислювальної техніки та інших приміщеннях повинні дотримуватися оптимальні умови мікроклімату (температура повітря 22-24 °С, відносна вологість 60-40%, швидкість руху повітря не більш 0,1 м/с) [22].

На робочому місці згідно технічним вимірюванням температура повітря складає 22 , вологість повітря 40%, швидкість руху повітря 0,05 м/с.

Сталість параметрів повітряного середовища забезпечує надійну роботу ПЕОМ, тривале зберігання носіїв інформації, комфортні умови для обслуговуючого персоналу. На робочому місці для ліквідації недоліків повітря робочої зони використовується сучасна система кондиціонування у спліт-системи Gree GWH09NA-K1NNA4A. Параметри мікроклімату відповідають нормативам

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		79

встановлених ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» та ДСТУ 12.1.005-78 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони».

5.2.3 Шум

На робочому місці джерелами шуму є периферійні пристрої, вентиляційні системи охолодження. Робоче місце оператора відноситься до виду 1 — творча діяльність, наукова діяльність, конструювання і проектування, програмування.

Для захисту від шуму вентиляторів корпус системного блоку, щита управління, блоку серверів виконують зі звукоізоляційного матеріалу.

Показник рівня шуму дорівнює 65 dB, що відповідає нормативним значенням ДСТУ 2867-94 «Шум. Методи оцінювання. Виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги».

5.2.4 Освітлення

На робочому місці для штучного освітлення застосовано 4 світильники із двома лампами Philips G13 36W/54 TLD потужністю 80 Вт.

Передбачена проектом освітленість для роботи з екраном дисплея складає 200 лк, а при роботі з екраном у сполученні з роботою над документами — 400 лк.

Для забезпечення природного освітлення, робоче місце обладнане трьома вікнами розміром 2 × 3 м. Показник освітленості дорівнює 385 лк, що відповідає нормативним значенням, згідно із ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

5.2.5 Вібрація

На робочому місці причинами вібрації є вібрація систем охолодження, вентиляція, периферійні пристрої. Основним джерелом вібрації є вентилятори, розташовані в системному блоці, щитах управління, щиту серверів. Робота оператора ПЕОМ відноситься до категорії 3 тип «в».

Для захисту від впливу вібрації на робочому місці застосовуються різні неметалеві віброізолятори: пластмасові і гумові прокладки, які встановлюються між підставкою пристрою й опорною поверхнею. Настільні апарати, принтер, встановлений на м'який килимок із синтетичного матеріалу, а ніжки столів — на прокладки з м'якої гуми.

Параметри вібрації відповідають нормативам, що визначені у ДСТУ 2300-93 «Вібрація. Терміни та визначення».

5.2.6 Електромагнітне та іонізуюче випромінювання

На робочому місці у якості джерел електромагнітного та іонізуючого випромінювання виступають трансформатор джерел електропостачання.

Для захисту оператора від впливів випромінювання застосовуються наступні заходи [22]:

- а) віддалення робочого місця від джерела ПЕМП;
- б) захист часом.

Нормування визначається згідно ГОСТ 12.1.002-84 «Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах» та ГОСТ 12.1.006-84 «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».

5.2.7 Електробезпека

На робочому місці передбачено захисне відключення електроенергії у випадку перевищення допустимого навантаження, а також всі заземлені конструкції (батареї опалення, водопровідні труби, кабелі із заземленим відкритим екраном), надійно захищені діелектричними щитками та сітками з метою не допущення потрапляння працівника під напругу, розводка мережі виконана за трифазною схемою з встановленням штепсельних розеток на струм не менше 10 А із захисним контактом, також використовуються кабелі та проводи з мідними жилами з січенням 1,5.

Електробезпека будівель та приміщень, де розміщені робочі місця операторів, повинна відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів». Технічні та організаційні засоби та міри з електробезпеки повинні відповідати вимогам ДСТУ 7237:2011 — «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту».

5.2.8 Пожежна безпека

На робочому місці для забезпечення пожежної безпеки використовують організаційні, експлуатаційні, технічні заходи що до протипожежного захисту. Для забезпечення пожежної безпеки приміщення оснащено вуглекислотними вогнегасниками та пожежною сигналізацією.

Робоче місце відповідно до НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» вимоги щодо пожежної безпеки будівель та приміщень, де розміщені робочі місця, обладнані ПЕОМ з ВДТ і ПП, відповідає усім вимогам встановлених ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» та НАПБ А.01.001-2004 «Правилами пожежної

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		82

безпеки України».

5.3 Розрахунок нормованої освітленості в робочому приміщенні

Для розрахунку нормованої освітленості скористаємося методом коефіцієнта використання [23].

Рекомендована величина нормованої освітленості для аудиторій, учбових кабінетів, лабораторій в технікумах та вищих навчальних закладах за ДБН В.2.5-28-2006 становить 400 лк. За тією ж будівельною нормою клас та підклас зорової роботи у таких приміщеннях — А-2.

Площа аудиторії, в якій визначається нормована освітленість має наступні габарити: $A = 6$ м, $B = 4,7$ м, $H = 3$ м. Аудиторія освітлюється газорозрядними лампами.

Коефіцієнт використання світлового потоку розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{i^2}{i^2 + c}, \quad (5.1)$$

де i — індекс приміщення;

b і c — коефіцієнти, значення котрих при середньому значенні ККД світильників є денним типом КСС $b = 1,3$; $c = 0,29$. Для КСС типу Г, при коефіцієнтах відбивання, що приймають значення $\rho_n = 1,3$; $\rho_c = 0,5$; $\rho_p = 0,3$.

Індекс приміщення визначається за формулою:

$$i = \frac{S}{(A + B)H}. \quad (5.2)$$

Розрахуємо індекс приміщення:

$$i = \frac{6 \cdot 4,7}{(6 + 4,7) \cdot 3} = 0,87.$$

Розрахуємо коефіцієнт використання світлового потоку:

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		83

$$\eta = \frac{0,87^2}{1,3^2 + 0,29} = 0,38 .$$

Рівняння еквівалентної площі:

$$S_e = \frac{S \cdot k_3 \cdot z}{\eta} , \quad (5.3)$$

де k_3 — коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості у процесі експлуатації;

z — коефіцієнт мінімальної освітленості.

При концентрації пилу у повітрі від 1 до 5 мг/м³ $k_3 = 1,8$. Для люмінесцентних ламп $z = 1,1$.

Розрахуємо еквівалентну площу:

$$S_e = \frac{28,2 \cdot 1,8 \cdot 1,1}{0,38} = 122,44.$$

Розрахуємо мінімальну відстань між світильниками:

$$L_0 = \lambda_0 \cdot H , \quad (5.4)$$

де $\lambda_0 = 1$ для КСС типу Г.

$$L_0 = 1 \cdot 3 = 3 \text{ м.}$$

Визначимо оптимальну кількість світильників:

$$N_0 = \frac{S}{L_0^2} . \quad (5.5)$$

$$N_0 = \frac{28,2}{3^2} = 3,13.$$

Визначимо необхідний світловий потік світильника:

$$\Phi_C = \frac{S_e \cdot E_H}{N_0} . \quad (5.6)$$

$$\Phi_C = 122,44 \cdot 4003 = 16325 \text{ лм.}$$

Визначимо освітленість, що створюється одним світильником:

$$E_l = \frac{n \cdot \Phi}{S_e} . \quad (5.7)$$

Аудиторії оснащенні чотирьма світильниками із газорозрядними лампами потужністю $p = 80$ Вт, зі світловим потоком $\Phi = 5220$ лм та кількістю ламп $n = 2$.

$$E_l = \frac{2 \cdot 5220}{122,44} = 85,26$$

Розрахуємо величину нормованої освітленості:

$$E = E_l \cdot N . \quad (5.8)$$

$$E = 85,26 \cdot 4 = 341,04.$$

Визначимо відносну похибку освітленості від нормованої:

$$\varepsilon = \left(\frac{E}{E_H} - 1 \right) \cdot 100\% . \quad (5.9)$$

$$\varepsilon = \left(\frac{341,04}{400} - 1 \right) \cdot 100\% = -14,74\%$$

Визначена похибка не перевищує допустимої похибки у 20%, тому величина освітленості у даному робочому приміщенні відповідає нормі.

5.4 Поводження у надзвичайних ситуаціях

5.4.1 Початкові дані

Площа основних приміщень: $S_{\text{осн}} = 316 \text{ м}^2$.

Площа допоміжних приміщень: $S_{\text{доп}} = 90 \text{ м}^2$.

Висота приміщення: $h = 2,4 \text{ м}$.

Найбільша робоча зміна $N_p = 630$ людей.

Температура повітря $T_{\text{пов}} = 20^\circ\text{C}$.

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		85

ФВО: ФВК 3 комплекти та ЕРВ-72-2 1 комплект.

Кількість людей, що не встигла укритися: $N_{\text{несв. укр.}} = 15$.

Кількість людей, що не встигли укритися із-за слабого навчання: $N_{\text{не навч}} = 15$.

5.4.2 Оцінка захисної споруди за місткістю

Розрахуємо загальну площу приміщень:

$$S_{\text{заг}} = S_{\text{осн}} + S_{\text{доп}} . \quad (5.10)$$

$$S_{\text{заг}} = 316 + 90 = 406 \text{ м}^2$$

Так як висота приміщення $h = 2,4$ м, то у сховищі встановлені двох'ярусні нари. Визначимо місткість сховища по площі:

$$M_S = \frac{S_{\text{осн}}}{0,5} . \quad (5.11)$$

$$M_S = \frac{316}{0,5} = 632 \text{ місця}$$

Визначимо місткість сховища по об'єму усіх приміщень в зоні герметизації:

$$M_V = \frac{S_{\text{заг}} \cdot h}{1,5} . \quad (5.12)$$

$$M_V = \frac{406 \cdot 2,4}{1,5} = 650 \text{ місць}$$

$M_{\Phi} = \min(M_S, M_V)$, тому $M_{\Phi} = 632$ місця.

Визначимо коефіцієнт місткості:

$$k_M = \frac{M_{\Phi}}{N_p} . \quad (5.13)$$

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		86

$$k_M = \frac{632}{630} = 1,0003$$

$k_M \geq 1$, це означає, що захисна споруда забезпечує укриття найбільшої робочої зміни.

5.4.3 Оцінка захисних споруд за життєзабезпеченням

Середня температура найтеплішого місяця складає 20°C , виходячи із цього норма зовнішнього повітря, що подається в захисну споруду — $8 \text{ м}^3/\text{люд}$.

Визначимо загальну кількість повітря, що подається системою в годину для режиму I та II.

$$\text{Режим I: } W_{\text{заг}} = 3 \cdot 1200 + 1 \cdot 900 = 4500 \text{ м}^3/\text{Г.}$$

$$\text{Режим II: } W_{\text{заг}} = 3 \cdot 300 = 900 \text{ м}^3/\text{Г.}$$

Визначимо кількість людей, яких система зможе забезпечити чистим повітрям у режимах I та II:

$$N_{\text{заг. пов}} = \frac{W_{\text{заг}}}{W_{\text{кільк. пов}}} . \quad (5.14)$$

$$\text{Режим I: } N_{\text{заг. пов}} = \frac{4500}{8} = 563 \text{ люд}$$

$$\text{Режим II: } N_{\text{заг. пов}} = \frac{900}{2} = 450 \text{ люд}$$

Визначимо показник, що характеризує життєзабезпечення людей в режимах I та II:

$$K_{\text{ж.з}} = \frac{N_{\text{заг. пов}}}{N} . \quad (5.15)$$

$$\text{Режим I: } K_{\text{ж.з}} = \frac{563}{632} = 0,89.$$

$$\text{Режим II: } K_{\text{ж.з}} = \frac{450}{632} = 0,71.$$

$K_{\text{ж.з}} < 1$, з цього випливає, що кількість фільтровентиляційних комплектів недостатня для забезпечення чистим повітрям по нормам режимах I та II. Необхідно прийняти заходи по збільшенню кількості фільтровентиляційних

комплектів до необхідних норм повітропостачання.

5.4.4 Оцінка захисних споруд за своєчасним укриттям людей

Визначимо кількість людей, що встигли своєчасно укритися:

$$N_{\text{св. укр.}} = N_p - N_{\text{несв. укр.}} - N_{\text{не навч.}} . \quad (5.16)$$

$$N_{\text{св. укр.}} = 630 - 15 - 18 = 597 \text{ чол}$$

Визначимо показник, що характеризує інженерний захист за своєчасним укриттям персоналу робочої зміни, тобто коефіцієнт своєчасного укриття:

$$K_{\text{св. укр.}} = \frac{N_{\text{св. укр.}}}{N_p} . \quad (5.17)$$

$$K_{\text{св. укр.}} = \frac{597}{630} = 0,95$$

$K_{\text{св. укр.}} < 1$, з цього випливає, що захисні споруди розташовані на відстані, коли не усі робочі встигають своєчасно укритися у сховищі.

5.5 Висновки до п'ятого розділу

У розділі охорони праці було проведено:

- аналіз небезпечних і шкідливих факторів на робочому місці та розроблено заходи спрямовані на усунення чи зниження шкідливого впливу виявлених факторів;
- розрахунок нормованої освітленості в робочому приміщенні;
- аналіз захисних споруд за місткістю, за життєзабезпеченням та своєчасним укриттям людей.

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі вирішена актуальна задача розробки та дослідження протоколів на основі технології стандарту IEEE 802.15.4 для управління елементами медіафасаду.

Було проведено дослідження сучасних систем медіафасадів та їх вимог до мережі системи управління. На базі цього дослідження було виявлено особливості системи управління елементами індикації ad-hoc медіафасаду, а саме: розподіленість дії, мобільність, підвищений рівень взаємодії із користувачем. Через свої особливості, система управління елементами ad-hoc медіафасаду потребує від мережі управління здатність підтримувати десятки-сотні мобільних мережевих вузлів у радіусі дії десятки метрів, залишаючи легкість розробки та розгортання мережі.

Був проведений аналіз існуючих технологій бездротового зв'язку, які можуть бути використані для побудови мережі управління медіафасадом, а саме: Bluetooth, Wi-Fi, UWB, IEEE 802.15.4. За результатами зведеного порівняння технологій та враховуючи вимоги системи управління для подальшого використання якості каналу зв'язку було відібрано технологію IEEE 802.15.4.

Був проведений аналіз стандарту технології IEEE 802.15.4 та визначені її особливості. Було звернуто увагу на режими роботи мережі beacon-less та beacon-enabled, що надаються стандартом. Ці режими роботи дозволяються зробити вибір при різних умовах використання мережевого протоколу між легкістю розробки й використання та якістю обслуговування трафіку в мережі.

Був розроблений мережевий протокол для системи управління ad-hoc медіафасаду. Був проведений аналіз архітектури системи ad-hoc медіафасаду. За результатами аналізу було виявлено, що для даної архітектури найкращим образом підходить мережа топології «зірка». В мережі було виявлено два напрямки трафіку: від Сервера до Клієнтів та від Клієнтів до Серверу. Трафік від

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		89

Сервера до Клієнтів визначено як високо-пріоритетний та потребуючий високої якості обслуговування.

Було розглянуто два сценарії навантаження мережі. У першому, основну частину навантаження займає трафік від Сервера до Клієнтів. Для цього сценарію використання було запропоновано використовувати режим роботи мережі beacon-less. При цьому, вважається, що доля трафіку від Клієнтів до Серверу — незначна.

Було розглянуто також і зворотній випадок, коли доля трафіку від Клієнтів до Серверу є значною. Оскільки трафік від Сервера до Клієнтам є високо-пріоритетним, запропоновано використовувати режим роботи мережі beacon-enabled та вести передачу цього трафіку у періодах CFP. Це дозволяє досягти гарантованої якості обслуговування цього виду трафіку, незалежно від навантаження на мережу під час періоду CAP.

Запропоновані два механізми розсилання управляючих команд від Сервера до Клієнтів. Згідно до першої запропонованої схеми, окремі команди відправляються Клієнтам окремими пакетами. Згідно до другої схеми, окремі команди до Клієнтів об'єднуються в один пакет та відправляються в мережу широкомовними посиланнями. Проведена оцінка максимального розміру мережі при використанні обох механізмів. Використання другого механізму дозволяє забезпечити зріст розміру мережі від 2 до 20 раз при різних параметрах трафіку від Сервера до Клієнтів.

У третьому розділі була розроблена програмна модель бездротової мережі управління ad-hoc медіафасаду на базі середовища моделювання ns-2, яке було обране для використання у першому розділі. Протягом розробки були виправлені недоліки компонентів середовища моделювання, які заважали роботі програмної моделі. Для проведення моделювання та аналізу його результатів були розроблені допоміжні програми.

Було проведене моделювання роботи розробленого протоколу мережі

					ІС ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		90

управління ad-hoc медіафасаду. Розроблена програмна модель була перевірена на відповідність вимогам стандарту технології IEEE 802.15.4. Отримані значення максимальної корисної пропускної спроможності 168 Кбіт/с та затримки передачі 6-12 мс дозволяють стверджувати, що розроблена модель відповідає вимогам стандарту та придатна для моделювання мережі управління медіафасаду.

Протягом моделювання було перевірено роботу протоколу управління у різних режимах роботи мережі при розмірах мережі 5, 50 та 100 Клієнтів. Моделюванням були підтверджені положення, що були запропоновані під час розробки протоколу. При перенавантаженні режим роботи мережі beacon-less не здатний забезпечити необхідний рівень якості обслуговування трафіку від Сервера до Клієнтів. Режим роботи мережі beacon-enabled показав спроможність забезпечити необхідний рівень якості обслуговування трафіку від Серверу до Клієнтів. Моделювання показує, як наперед задана швидкість передачі трафіку 80 Кбіт/с від Серверу до Клієнтів та залишається незмінною при зростанні рівню навантаження трафіку від Клієнтів до Серверу.

Таким чином, в роботі було успішно розроблено мережевий протокол управління елементами медіафасаду, який дозволяє витримати наперед заданий рівень якості обслуговування управляючого мережевого трафіку. Усі задачі роботи успішно виконані та мета роботи досягнута.

Результати роботи доповідалися на міжнародних науково-технічних конференціях IDAACS-SWS 2012 та IDAACS 2013 [1,24].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ilin, P. Ad-hoc Media Facade [Text] / P. Ilin, V. Brovko, J. Sieck // The 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS): Technology and Applications. — 2013. — P. 474–477.

2. Tscherteu, G. Media Facades: Fundamental Terms And Concepts [Electronic resource] / G. Tscherteu, W. Leeb // Media Facades Exhibition Berlin 2008 Exhibition Companion. — 2008. — P. 5–11. — Mode of access: www.mediaarchitecture.org/files/compagnion08.pdf.

3. Lee, J. A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi [Electronic resource] / J. Lee, Y. Su, C. Shen // Industrial Electronics Society, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE. — 2007. — P. 46–51. — Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1109/IECON.2007.4460126>.

4. Garcia-Hernando, A.B. Problem Solving for Wireless Sensor Networks [Electronic resource] / A.B. Garcia-Hernando. Computer Communications and Networks. — 2008. — ISBN: 9781848002036. — Mode of access: <http://books.google.com.ua/books?id=kr3sLEJKrpwC>.

5. Bluetooth specification Version 2.1 + EDR [Electronic resource]. — 2007. — 1420 p. — Mode of access: <https://www.bluetooth.org/en-us/specification/adopted-specifications>.

6. ZigBee specification [Text] : Rep. ; Executor: ZigBee Alliance : 2005.

7. Lennvall, T. A comparison of WirelessHART and ZigBee for industrial applications [Electronic resource] / T. Lennvall, S. Svensson, F. Hekland // Factory Communication Systems, 2008. WFCS 2008. IEEE International Workshop on. — 2008. — P. 85–88. — Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1109/wfcs.2008.4638746>.

8. Throughput and Delay Analysis of Unslotted IEEE 802.15.4 [Electronic resource] / B. Latré, P. De Mil, I. Moerman [et al.] // JNW. — 2006. — Vol. 1, no. 1. — P. 20–28. — Mode of access: <http://dx.doi.org/10.4304/jnw.1.1.20-28>.

9. Koubaa, A. A comprehensive simulation study of slotted CSMA/CA for IEEE 802.15.4 wireless sensor networks [Electronic resource] / A. Koubaa, M. Alves, E. Tovar // Factory Communication Systems, 2006 IEEE International Workshop. — 2006. — P. 183–192. — Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1109/WFCS.2006.1704149>.

10. Koubaa, A. GTS allocation analysis in IEEE 802.15.4 for real-time wireless sensor networks [Electronic resource] / A. Koubaa, M. Alves, E. Tovar // Parallel and Distributed Processing Symposium, 2006. IPDPS 2006. 20th International. — 2006. — P. 25–29. — Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1109/IPDPS.2006.1639415>.

11. Wang, F. Analysis and Compare of Slotted and Unslotted CSMA in IEEE 802.15.4 [Electronic resource] / F. Wang, D. Li, Y. Zhao // Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom '09. 5th International Conference on. — 2009. — P. 1–5. — Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1109/WICOM.2009.5303580>.

12. Roadmap - Nsnam [Electronic resource]. — Mode of access: <http://nsnam.isi.edu/nsnam/index.php/Roadmap>.

13. Current development - Nsnam [Electronic resource]. — Mode of access: http://www.nsnam.org/wiki/index.php?title=Current_Development&oldid=8062.

14. Henderson, T. NS-3 Low-Rate Wireless Personal Area Network (LR-WPAN) [Electronic resource]. — Mode of access: <http://code.nsnam.org/tomh/ns-3-lr-wpan/file/60fda85f5921/src/lr-wpan/doc/lr-wpan.rst>.

15. Choi, W. Implementation of the IEEE 802.15.4 module with CFP in NS-2 [Electronic resource] / W. Choi, S. Lee // Telecommunication Systems. — 2013.

					IC ДР 8.05010101 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		93

— Vol. 52, no. 4. — P. 2347–2356. — Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1007/s11235-011-9548-7>.

16. An Introduction to Cooja [Electronic resource]. — Mode of access: <https://github.com/contiki-os/contiki/wiki/An-Introduction-to-Cooja>.

17. Dunkels, A. Contiki 2.7 Released! [Electronic resource]. — Mode of access: <http://contiki-os.blogspot.com/2013/11/contiki-27-released.html>.

18. IEEE Std 802.15.4-2011. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks–Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) — Revision of IEEE Std 802.15.4-2006 [Electronic resource]. — 2011. — 314 p. — Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1109/IEEESTD.2011.6012487>.

19. Choi, W. Implementation of the IEEE 802.15.4 module with CFP in NS-2, source code [Electronic resource]. — Mode of access: http://adhoc.kw.ac.kr/implementation/wpan_Ver_3.tar.gz.

20. NO Ad-Hoc routing agent (NOAH) [Electronic resource]. — Mode of access: <http://icapeople.epfl.ch/widmer/uwb/ns-2/noah/>.

21. Palazzi, C. E. Fast Broadcast modules for NS-2 [Electronic resource]. — Mode of access: <http://www.math.unipd.it/~cpalazzi/fastbroadcast.html>.

22. Жидецький, В.Ц. Основи охорони праці [Текст] / В.Ц. Жидецький, В.С. Джигирей, А.В. Мельников. — 2000. — 350 с.

23. Сивко, В.Й. Розрахунки з охорони праці: Навчальний посібник [Текст] / В.Й Сивко. — 2001. — 152 с.

24. Ilin, P. Media Facade: Technical Tools for Interactive Content Control [Text] / P. Ilin, S. Antoshchuk, V. Brovko // The 1 st IEEE International Symposium on Wireless Systems within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems. — 2012.

ДОДАТОК А

Програмний код сценарію моделювання

```
# Параметри моделі
#
set val(chan)          Channel/WirelessChannel ;# клас каналу
set val(prop)          Propagation/TwoRayGround ;# модель
розповсюдження сигналу
set val(netif)         Phy/WirelessPhy/802_15_4 ;# клас мережевого
інтерфейсу
set val(mac)           Mac/802_15_4 ;# клас MAC
set val(ifq)           Queue/DropTail/PriQueue ;# клас черги
інтерфейсу
set val(ll)            LL/LL802_15_4 ;# клас рівню LL
set val(ant)           Antenna/OmniAntenna ;# клас антени
set val(rp)            NOAH ;# клас агенту
маршрутизації
set val(ifqlen)        3 ;# розмір черги
інтерфейсу
set val(x)             10 ;# X розмір поля
розташування
set val(y)             10 ;# Y розмір поля
розташування
set val(assocStart)    0.6 ;# час початку
асоціації
set val(assocTime)     1.3 ;# час асоціації
одного вузл

set val(beacon_enabled) 1 ;# включити режим beacon-enabled
set val(BO)            "5" ;# beacon order
set val(SO)            "5" ;# superframe order
set val(GTS_setting)   0x8E ;# параметри GTS: 8 слотів

Agent/NOAH set be_random_ 0 ;# відключити jitter NOAH

# Параметри командної строки
set argNN [lindex $argv 0] ;# кількість вузлів
set argSizeBack [lindex $argv 1] ;# розмір пакету від
Клієнта
set argIntervalBack [lindex $argv 2] ;# інтервал пакетів від
Клієнта
set argSize [lindex $argv 3] ;# розмір пакету від
Сервера

set val(nn) [expr {$argNN != "" ? $argNN : 2}] ;# кількість
вузлів >= 2

# Час початку та закінчення відправки трафіка
set val(operationStart) [expr $val(assocStart) + $val(assocTime)
* $val(nn)]
```

```

set val(stop)                [expr $val(operationStart) + 10.1]

# Параметри трафіка від Сервера до Клієнтів
set val(bmsg-interval) 0.012
;# інтервал, с
set val(bmsg-size)      [expr {$argSize != "" ? $argSize : 120}]
;# розмір, байт
set val(bmsg-start)     $val(operationStart)
;# час початку
set val(bmsg-stop)      [expr $val(stop) - 0.1]
;# час останову

# Параметри трафіка від Клієнтів до Сервера
set val(pois-interval) [expr {$argIntervalBack != "" ?
$argIntervalBack : 3}]
set val(pois-size)      [expr {$argSizeBack != "" ? $argSizeBack
: 10}]
set val(pois-rate)       250
set val(pois-start)     $val(operationStart)
set val(pois-stop)      [expr $val(stop) - 0.1]

#
# Створення моделі
#

set namtracename      backtraffic_test.nam      ;# назва trace-файлу

# Створення стандартних об'єктів середовища моделювання
set ns                [new Simulator]
set tracefd           [open backtraffic_test.tr w]
set namtrace           [open $namtracename w]

$ns trace-all $tracefd
$ns namtrace-all-wireless $namtrace $val(x) $val(y)

$ns puts-nam-traceall {# nam4wpan #}

Mac/802_15_4 wpanCmd verbose on
Mac/802_15_4 wpanNam namStatus on

# Параметри моделі розповсюдження
set dist(5m)  7.69113e-06
set dist(9m)  2.37381e-06
set dist(10m) 1.92278e-06
set dist(11m) 1.58908e-06
set dist(12m) 1.33527e-06
set dist(13m) 1.13774e-06
set dist(14m) 9.81011e-07
set dist(15m) 8.54570e-07
set dist(16m) 7.51087e-07
set dist(20m) 4.80696e-07
set dist(25m) 3.07645e-07

```



```

set dist(30m) 2.13643e-07
set dist(35m) 1.56962e-07
set dist(40m) 1.20174e-07
Phy/WirelessPhy set CStresh_ $dist(40m)
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ $dist(40m)

set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)

create-god $val(nn)

# Завантаження параметрів MobileNode
$ns node-config \
    -adhocRouting $val(rp) \
    -llType $val(ll) \
    -macType $val(mac) \
    -ifqType $val(ifq) \
    -ifqLen $val(ifqlen) \
    -antType $val(ant) \
    -propType $val(prop) \
    -phyType $val(netif) \
    -channel [new $val(chan)] \
    -topoInstance $topo \
    -agentTrace ON \
    -routerTrace ON \
    -macTrace OFF \
    -movementTrace OFF \
    -rxPower 35.28e-3 \
    -txPower 31.32e-3 \
    -idlePower 712e-6 \
    -sleepPower 144e-9

# Створення об'єктів MobileNode
for {set i 0} {$i < $val(nn)} { incr i } {
    set mnode_($i) [$ns node]
}

# Функція, що встановлює флаг GTS_delivery_ на рівні LL вузла
proc setNodeGTS {node gts} {
    set mac [ [set node] getMac 0]
    puts $mac
    set ll [$mac up-target]
    puts $ll
    $ll set GTS_delivery_ $gts
}

if {[info exists val(GTS_setting)]} {
    # Сервер веде передачу протягом CFP в інтервалах GTS
    setNodeGTS $mnode_(0) 1
}

```

```

# Функція, що встановлює розмір черги інтерфейсу окремого
об'єкту MobileNode
proc setNodeIfqLen {node qlen} {
    set mac [ [set node] getMac 0]
    puts $mac
    set ll [$mac up-target]
    puts $ll
    set ifq [$ll down-target]
    $ifq set limit_ $qlen
}

# Розмір черги інтерфейсу Сервера = 1000
setNodeIfqLen $mnode_(0) 1000

# Створення таблиці маршрутизації для NOAH на Сервері
set cmd "[ $mnode_(0) set ragent_ routing $val(nn) 0 0"
for {set to 1} {$to < $val(nn) } {incr to} {
    set hop $to
    set cmd "$cmd $to $hop"
}
eval $cmd

# Створення таблиць маршрутизації для NOAH на Клієнтах
for {set i 1} {$i < $val(nn) } {incr i} {
    set cmd "[ $mnode_($i) set ragent_ routing $val(nn)"
    for {set to 0} {$to < $val(nn) } {incr to} {
        if {$to == $i} {
            set hop $to
        } else {
            set hop 0
        }
        set cmd "$cmd $to $hop"
    }
    eval $cmd
}

# Розташування вузлів Клієнтів випадково на площині
for {set i 1} {$i < $val(nn) } { incr i } {
    $mnode_($i) set X_ [ expr {$val(x) * rand()} ]
    $mnode_($i) set Y_ [ expr {$val(y) * rand()} ]
    $mnode_($i) set Z_ 0
}

# Розташування Сервера посередині площини
$mnode_(0) set X_ [ expr {$val(x)/2} ]
$mnode_(0) set Y_ [ expr {$val(y)/2} ]
$mnode_(0) set Z_ 0.0
$mnode_(0) label "Sink"

for {set i 0} {$i < $val(nn)} { incr i } {
    $ns initial_node_pos $mnode_($i) 10
}

```

```

#
# Об'єднання вузлів у мережу
#

# Старт координатора
$ns at 0.0 "$mnode_(0) sscs startPANCoord $val(beacon_enabled)
$val(BO) $val(SO) "

if {[info exists val(GTS_setting)]} {
    # Встановлення параметрів GTS
    $ns at $val(assocStart) "$mnode_(0) sscs MLME_GTS_indication
0 [expr {$val(GTS_setting)}]"
}

# Підключення Клієнтів до Сервера
for {set i 1} {$i < $val(nn)} { incr i } {
    set t [expr $val(assocStart) + $val(assocTime) * ($i - 1)]
    $ns at $t "$mnode_($i) sscs startDevice $val(beacon_enabled)
0 0 $val(BO) $val(SO) "
}

#
# Налаштування генераторів трафіку
#

# Створення агентів ширококомовного трафіку
for {set i 0} {$i < $val(nn)} { incr i } {
    set agent($i) [new Agent/Broadcastbase]
    $mnode_($i) attach $agent($i) 250
    $agent($i) set fid_ $i
    set game($i) [new Application/BroadcastbaseApp]
    $game($i) set bsize_ $val(bmsg-size)
    $game($i) set bmsg-interval_ $val(bmsg-interval)
    $game($i) set propagate_ 0
    $game($i) attach-agent $agent($i)
}

# Запуск та зупинка відправки ширококомовного трафіку Сервером у
запланований час
$ns at $val(bmsg-start) "$game(0) start "
$ns at $val(bmsg-stop) "$game(0) stop "

# Функція налаштування пуасоновського генератора трафіку
proc poissontraffic { src dst } {
    global ns val mnode_
    set udp($src) [new Agent/UDP]
    eval $ns attach-agent \"$mnode_($src) \"$udp($src)
    set null($dst) [new Agent/Null]
    eval $ns attach-agent \"$mnode_($dst) \"$null($dst)
    set expl($src) [new Application/Traffic/Exponential]
    eval \"$expl($src) set packetSize_ \"$val(pois-size)
    eval \"$expl($src) set burst_time_ 0

```

```

    eval \${expl}($src) set idle_time_ [expr \${val}(pois-
interval)*1000.0-\${val}(pois-size)*8/\${val}(pois-rate)]ms      ;#
idle_time + pkt_tx_time = interval
    eval \${expl}($src) set rate_ \${val}(pois-rate)k
    eval \${expl}($src) attach-agent \${udp}($src)
    eval $ns connect \${udp}($src) \${null}($dst)
    $ns at \${val}(pois-start) "\${expl}($src) start"
    $ns at \${val}(pois-stop) "\${expl}($src) stop"
}

# Створення генераторів трафіку від Клієнтів до Сервера
for {set i 1} {$i < \${val}(nn)} { incr i } {
    poissontraffic $i 0
}

# Планування, коли зупинити роботу вузлів
for {set i 0} {$i < \${val}(nn) } { incr i } {
    $ns at \${val}(stop) "\${mnode}_($i) reset;"
}

# Планування зупинки моделі
$ns at \${val}(stop) "$ns nam-end-wireless \${val}(stop)"
$ns at \${val}(stop) "stop"
$ns at [expr \${val}(stop) + 0.01] "puts \"end simulation\"; $ns
halt"
proc stop {} {
    global ns tracefd namtrace
    $ns flush-trace
}

# Запуск моделювання
$ns run

```

Додаток Б

Документи, що підтверджують апробацію роботи

Media Façade: Technical Tools for Interactive Content Control

Pavlo Ilin, Svetlana Antoshchuk and Volodymyr Brovko
Odessa National Polytechnic University (ONPU), Ukraine

Abstract – Present paper deals with capability of media content management with available mobile devices. Discussed the requirements for hardware and software parts. The example of implementation is given.

Keywords – media content management, mobile device

I. INTRODUCTION

Nowadays systems based on conversational interaction with user are being widely developed. They are useful in game, learning and multimedia applications. Interaction can be realized in many ways, such as gestures and motions of the user, movement of eyes, voice [1]. A distinctive feature of these systems is that a distant direct interaction is done in a natural for user way.

Project Photovoltaic and Media façade of the new Building for Culture and Computer Science of the University of Applied Sciences Berlin (Fig. 1) is an example of the necessity of conversational interaction. The project provides a possibility for creating images by means of projection systems and LED arrays with interactive management of media content.



Figure 1. Media façade of the new Building for Culture and Computer Science.

Present paper deals with available technical means for developing systems for media content management and an example of realization of such a system on the basis of a mobile device.

II. INTERACTIVE MEDIA CONTROL: HOW TO?

Media façade with interactive content management can be a very good tool for advertising, vocational counseling, organization of students' leisure time, demonstration of mod-

ern information technology. To boost viewers' interest it is possible to develop game applications, which can be run distantly by the user. These game applications may include mazes, races, naval battles, strategy games and many more.

One of the main characteristics of the system is the necessity of contactless content management with minimal use of specialized equipment from the user. At the same time, it is advisable to provide user with possibility to use such widespread devices as smart phones, laptops and tablet PCs.

To manage the content of the media façade different technical solutions can be applied:

- systems based on voice commands;
- systems based on user's movements.

User's movement recognition can be realized by means of:

- video materials processing:
 - systems of images recognition;
 - gesture recognition;
 - Kinect.
- processing of data from motion sensors, accelerometers and gyroscopes [2], [3].

Approaches that are listed above require integration into the media façade such additional equipment as video cameras, directional microphones, wireless communications as well as developing corresponding software.

User can use (for detection of user's actions, his position and relocations) specialized devices on microcontrollers, game controllers or mobile devices [4].

Specialized controllers can be developed on the basis of single-board computers. Advantage of this solution is a relatively low price, possibility of sensor and networking equipment integration. Use of microcontrollers on the basis of powerful processors ARM and CORTEX allow the first partial processing of the data flow. More powerful devices allow installing operation system and processing of video signals by means of standard libraries, solving problems of signals' filtration and edge detection. With it, use of a microcontroller requires a laborious development of hardware and software solutions.

Application of ready made devices for media content management can be based on the use of game controllers and mobile devices. Game controllers Nintendo Wii and Sony PlayStation Move allow registration of user's movements. During the interaction user holds the controller and uses

movements to control the program. Such devices can be applied to control the media façade, but they are not spread enough.

At the same time, majority of modern consumer mobile telephones (smart phones and tablet PCs) are equipped with sufficient hardware solutions for both interaction via movements and making a channel of communication with media system [5]. Advantage of using mobile devices is their wide abundance and low cost. Therefore, urgent problem is development of multimedia applications, controlled by mobile devices with the use of wireless technology.

Present paper offers a solution of this problem.

III. MOBILE DEVICE AS AN INTERACTIVE MEDIA CONTROL TOOL

The following structure of system is used for media content control:

User interface (interactive media façade) — mobile device — communication channel — computer (Fig. 2).

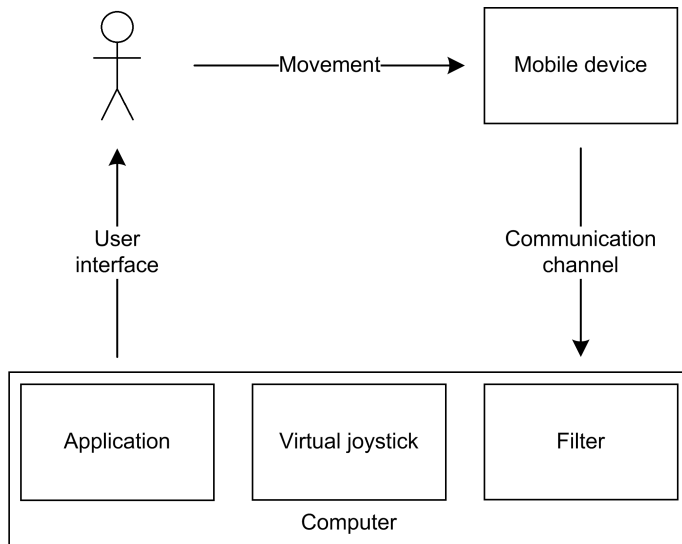


Figure 2. Structure of system for interactive control of media content

Software requirements can be defined in the following way:

- 1) mobile device:
 - must be equipped with API for motion sensors (SDKs for Android and iOS support such API);
- 2) communication channel:
 - there must be common protocol for data transfer, which takes into account platform differences;
- 3) computer:
 - there must be program for sensor data processing;
 - there must be visualization tools;
 - there must be video stream generation and synchronization tools for projectors system control.

The next stages of data flow can be told apart in developing system:

User movement – data acquisition (motion sensor) – coding/decoding and data transfer – noise filtering – data processing – reaction to user movement - scenario-based media content generation

The stated above scheme of data flow determines the algorithm of interactive application work (Fig. 3).

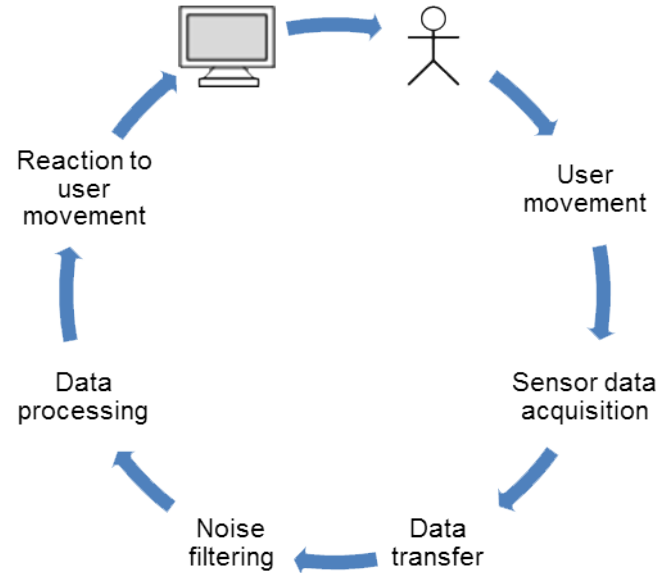


Figure 3. Data flow diagram

IV. PRESTIGIO MULTIPAD 3048B AS AN ANDROID-BASED CONTROL DEVICE

Let's consider the example of practical implementation of system prototype.

The Android-based tablet computer Prestigio Multipad 3048B is used as mobile device. It is equipped with accelerometer and Wi-Fi network interface.

Data from accelerometer are represented as 3D vector directed as applied to device forces $v = \{x, y, z\}$.

Device is located at reference point. If device is in the state of rest, then the vector is directed as the gravitational force \vec{G} . If device moves, then the vector of gravitational force is added to other vectors of applied forces (Fig. 4). Sensor signal is normalized and measured in m/s^2 .

Wireless Wi-Fi network is used for data transfer. Transfer is arranged using UDP protocol with datagram-packets. The Protocol buffers technology is used over the UDP protocol. There are no high requirements of data transfer reliability so the use of UDP-protocol is justified. Use of Protocol buffers gives the tools for data coding/decoding in platform-independent and network-friendly way. There are Protocol buffers implementations for other platforms - that makes the porting task easier. Data transfer using Protocol buffers is performed as data packets which consist of groups of three float numbers.

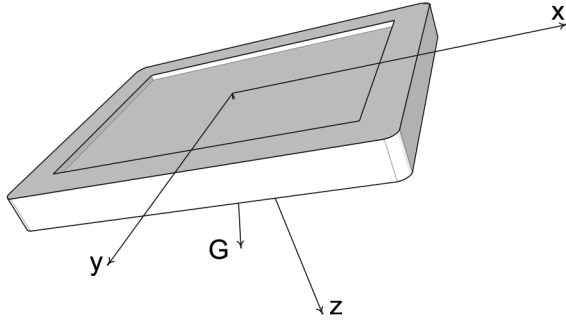


Figure 4. Local coordinate system of device

Data receiving in computer program on other side is organized using the C++ library boost::asio. Received data is preprocessed - filtered - to reduce noise level. Noise arises from noise of sensors, tremor of hands, other factors.

The system uses the combination of low-pass filter and threshold filter [6].

Low-pass filter provides the filtration of high-frequency signal components (Fig. 5).

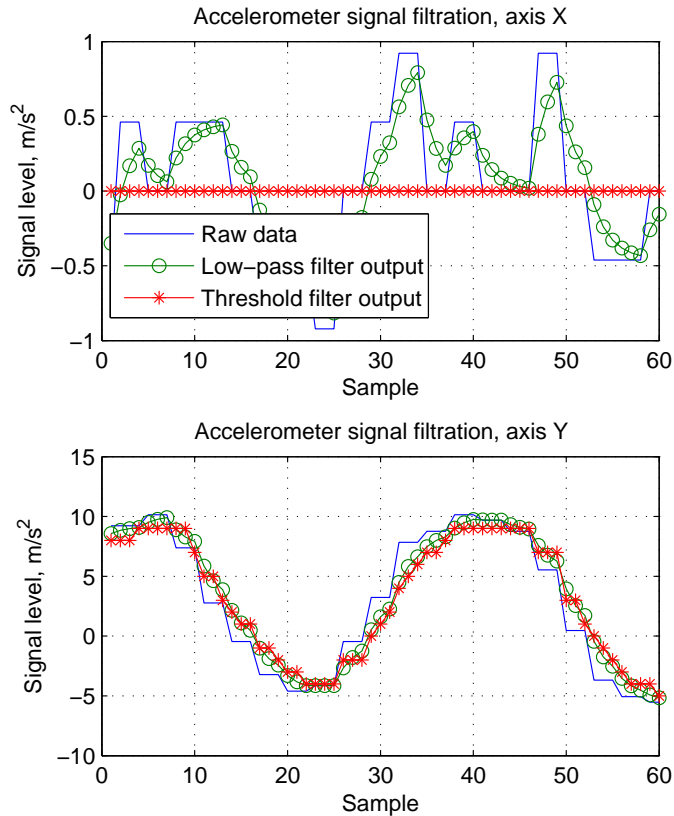


Figure 5. Result of filtration: device is steady along axis x and moves along axis y .

The following model of low-pass filter is used:

$$s'_i = s'_{i-1} + \alpha (s_i - s'_{i-1}) \quad (1)$$

$\alpha = dt/(\tau + dt)$, τ - time constant, dt - signal sampling time interval.

Threshold filter provides the stability of output signal. The following model of differential threshold filter is used:

$$s'_i = \begin{cases} s_i, & \text{if } |s_i - s'_{i-1}| \geq t \\ s'_{i-1}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

t - filtering threshold.

Such filter allows eliminating minor changes of signal amplitude.

Filter parameters selection is performed experimentally and depend on sensor type and its characteristics.

The acquired data about device inclination are used to generate controlling commands. Control system is implemented as joystick device. Control action is passed to interactive application using the virtual joystick technology. Angle of inclination derived from filtered accelerometer signal is used to set the movement along joystick axes. Only x, y accelerometer axes are used.

Open-source project ppjoy is used for virtual joystick device. It is used in the following way:

- 1) virtual device driver is registered in operating system;
- 2) filtered data are written into special file used by virtual device driver;
- 3) driver passes control action to applications which are subscribed to joystick device events.

Proposed approach of control using joystick allows to use the existing structure of various multimedia applications (Fig. 2). Previously developed application can be used without their modification.

Game application Tux Racer (Fig. 6) is used in system prototype. The example of usage can be found at [7].

During the work has been performed the modeling and prototyping the system, which uses mobile device for user interaction through motion.

V. SUMMARY

Developed prototype will be used for research of such systems, or, more specifically, for study of platform interaction algorithms, algorithms for sensor data processing and applying these data for 3D models control. Selected solution allows to use system in any multimedia and game applications that support joystick, including using it as a tool for controlling media façade content.

VI. ACKNOWLEDGMENT

This work was made at the department of information systems of Odessa national polytechnic university as a part of program of cooperation with INKA Research group "Information and Communication Systems", HTW Berlin, <http://inka.htw-berlin.de>.



Figure 6. Example of game control

REFERENCES

- [1] G. Papagiannakis, G. Singh, and N. Magnenat-Thalmann, "A survey of mobile and wireless technologies for augmented reality systems," *Comput. Animat. Virtual Worlds*, vol. 19, no. 1, pp. 3–22, Feb. 2008. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1002/cav.v19:1>
- [2] G. Welch and E. Foxlin, "Motion tracking: No silver bullet, but a respectable arsenal," *IEEE Comput. Graph. Appl.*, vol. 22, no. 6, pp. 24–38, Nov. 2002. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/MCG.2002.1046626>
- [3] S. Jun, "Multilevel method of data coding in wireless sensor networks," *Electrotechnic and Computer System*, vol. 4, no. 80, pp. 213–218, 2011, in russian.
- [4] —, "Method of multimedia data coding and transmission in wireless sensor networks," *Measuring and Computing Devices in Technological Process*, vol. 2, no. 36, pp. 203–206, 2011, in russian.
- [5] N. D. Lane, E. Miluzzo, H. Lu, D. Peebles, T. Choudhury, and A. T. Campbell, "A survey of mobile phone sensing," *Comm. Mag.*, vol. 48, no. 9, pp. 140–150, Sep. 2010. [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1866991.1867010>
- [6] S. W. Smith, *The scientist and engineer's guide to digital signal processing*. San Diego, CA, USA: California Technical Publishing, 1997.
- [7] P. Ilin, "Tux racer movement control," 2012. [Online]. Available: <http://www.youtube.com/watch?v=ID3IedFfu8U>

Ad-hoc Media Façade

Pavlo Ilin¹, Jürgen Sieck², Volodymyr Brovko¹

¹ Odessa National Polytechnic University, Ukraine

² University of Applied Sciences Berlin, Germany

Abstract – Present paper addresses the use of wireless sensor-actor networks (WSAN) with application to the task of design ad-hoc media facade system. Discussed the requirements for system architecture. Proposed architecture was evaluated using prototype.

Keywords – media facade; wireless networks: sensor systems; ad-hoc systems

I. INTRODUCTION

Goal of our research is to build the ad-hoc media facade system (AMF). AMF is a system, which consists of small wireless devices showing the image. The devices can be stationary (for example, fixed on the wall) or movable (for example, users move them to change the image). New devices can be introduced or existing devices can be removed at any time.

The description of such system can be reformulated in terms of Wireless Sensor-Actor Networks (WSAN). WSAN is relatively new and emerging field of researches.

WSAN is a group of the devices, which play two different roles - sensors and actors. They are interconnected by a one wireless media. Sensors gather information about physical world and pass it to the actors. Actors gather and process the information from sensors and, using it, take decisions and perform actions on a physical world. Sensing and acting tasks are performed in distributed manner. The operation of a WSAN can be thought of as a loop of event-sensing, communication, decision, and acting.

Research tasks for WSAN are addressed in [1]. Among them are: system architecture choice, effective sensor-actor and actor-actor interaction coordination, task assignment, networking stack protocols selection.

Usually, real-time requirement is applied to WSAN. This requirement to the network is closely related to the network Quality of Service (QoS). Network QoS can be accepted as a measure of the service quality that the network offers to the applications/users [2].

Xia [3] gives an overview of the problems of QoS management in WSAN. For the real-time WSAN four QoS parameters can be considered as fundamental: throughput, packet loss ratio, delay and jitter.

- Throughput (or bandwidth) is the effective number of data flow transported within a certain period of time.

- Packet loss ratio is the percentage of data packets that are lost during the transmission.
- Delay is the time between a packet departure from source node and packet arrival at the destination node.
- Jitter is the variations in delay.

During WSAN system design, next challenges can prevent QoS provision: resource constraints, platform heterogeneity, dynamic network topology, mixed traffic.

WSAN technology is a descendant of Wireless Sensor Networks (WSN), so some research problems are the same for WSN and WSAN. But, heterogeneous WSAN with multi-source multi-sink topology model appears to be quite different from a traditional data collection WSN model with single static sink [4]. Thus, the solutions to the research problems can be different.

II. SYSTEM ARCHITECTURE

Xia *et al.* [5] show two possible basic architectures of WSAN: with the dedicated controller or without.

For our system, we will use architecture with dedicated controller. Thereby, the system (Fig. 1) consists of the next components:

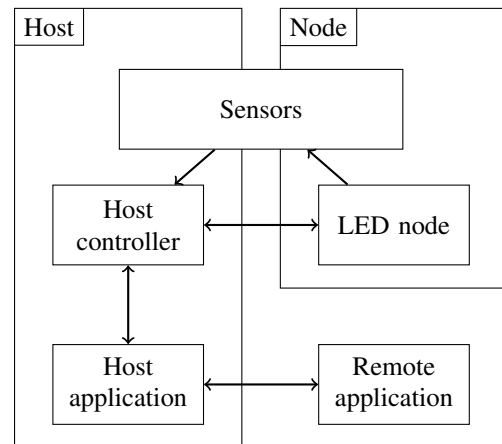


Figure 1. Overview of a system architecture

- LED node - the actor, placed in event area; it forms the image;
- sensors - they detect the position of LED nodes, using video processing and pattern recognition or any

other kind of position detection technics. They can be installed on host and LED node sides.

- host-controller - a system, which decides, how to split an image between actors (task assignment). To be able to do that, it should know, where LED nodes are located.
- host-application - application, which generates images to be shown using LED nodes;
- remote-applications - remote clients, which provide interactive control.

Sensors are, usually, assumed to be highly resource-constrained devices. They are designed as autonomous nodes, equipped with a battery. They can be installed in the places, which are prevent or complicate a maintenance. To decrease power consumption, sensor nodes can be implemented using low-performance CPUs. Actors assumed to be less constrained. They are bigger, have more powerful CPU and are connected to the power supply or equipped with better batteries as they have to interact with physical world.

In our system, the situation is different. As we are going to use computation-hungry image recognition algorithms, sensor is going to be powerful system (for example, ordinary PC). We can assume, that the sensors are powerful devices without energy constrains. On the other hand, actors (LED nodes) have to be small devices build on embedded platform. Embedded platform means, that actors have constrained computational power. If actors have to be movable, they will be powered by a battery. This requirement imposes strict energy constraints, which have to be considered by network routing and task assignment algorithms.

Our system should perform a real-time control of a LED-nodes. It means, system should update overall image in synchronized manner and with sufficient for application speed. Network protocol should be QoS-aware.

An overview of radio-frequency wireless technologies is provided in [6], [7]. Among other wireless technologies, such as WiFi, Bluetooth and Bluetooth LE, ZWave, ANT, most promising to us appears to be IEEE 802.15.4.

IEEE 802.15.4 is an open standard, which describes PHY and MAC network layers. It is used in the higher level technologies such as ZigBee, 6LowPAN. IEEE 802.15.4-based solutions are widely used in WSN systems. There is big community of researches and engineers, who use IEEE 802.15.4. Thus, it have to be easier to use previous experience and community support. Closest competitors to IEEE 802.15.4 are ZWave and ANT. Both provide full network stack up to application layer. But they are proprietary and haven't got such a wide use.

Remote applications provide interactive control of the AMF. They can be an applications on mobile devices, clients to web-page (if host application provides an access using web-server), etc. Remote applications communicate

with host application using standard LAN/WLAN and Internet.

III. PROTOTYPE DESCRIPTION

The system prototype (Fig. 2, Fig. 3) has been built to study the system use cases and evaluate different technologies.

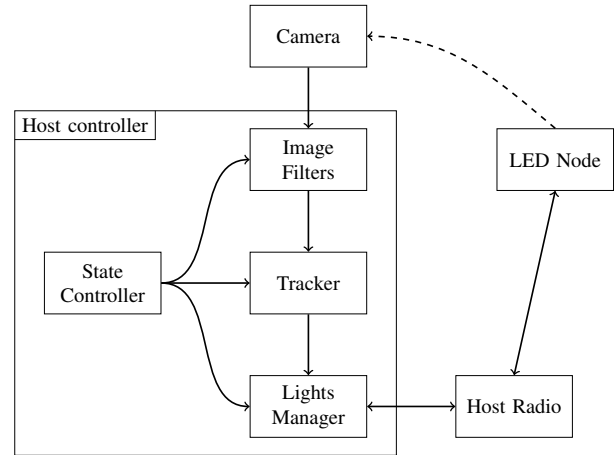


Figure 2. Prototype architecture

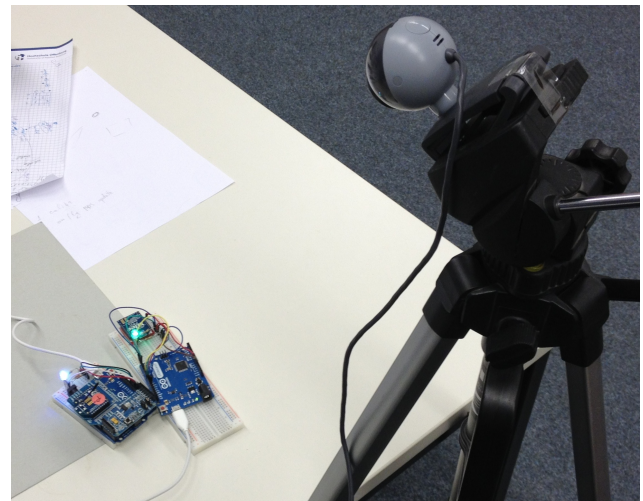


Figure 3. Prototype installation: 2 LED-nodes and video camera

From the hardware point of view, system consists of 2 components - host and LED-nodes.

LED-node platform is build using Arduino Leonardo board, one RGB LED and an IEEE 802.15.4 transceiver. RGB LED is used to produce a "pixel" of the image. During the tests, we have tried to use two different transceivers:

- Digi XBee S2, which implements ZigBee protocol stack;

- Microchip MRF24J40MA, which implements plain IEEE 802.15.4 standard.

Host consists of PC, video camera and host-transceiver. Video camera is used as a sensor.

Host-transceiver is build from Arduino board with radio transceiver. It is used to establish a network between Host and LED-nodes. Installed transceiver is the same as on the LED-node.

Software is divided into 3 main parts: host-controller, host-transceiver firmware and LED-node firmware.

Host-controller consists of next components:

- sensor data processing:
 - image filter;
 - lights tracker.
- controller:
 - state controller;
 - lights manager.

Host-transceiver firmware works as a repeater. All traffic from host-controller is sent to the LED nodes using radio transceiver and vice versa.

LED-node firmware is capable to:

- control LED color and change it depending on a node's position;
- response to host beacon requests during the node discovery.

Host application and remote applications aren't introduced in this prototype.

IV. ALGORITHMIC BASIS

During the process of operation, the system performs next tasks:

- image filtering;
- lights labeling;
- lights tracking;
- light calibration;
- light position update.

Image filter receives a frame from video camera, performs previous processing of the image, filters-out the noises and distinguishes possible lights. Image filter is build using OpenCV library. It select bright areas on the image, using threshold filtration on Value channel in HSV color space. Then it applies morphological operation erosion to remove little areas left from noise. Left areas (blobs) are assumed to be possible lights.

Lights tracker assigns IDs to lights (labeling), tracks them in video sequence (tracking) and detects their position. ID is assigned on the stage of a new light calibration. Afterwards, tracker maintains actual information about light position and passes this information to lights manager. Tracker is build using cvBlob library. For labeling it uses algorithm based on contour tracing technique [8].

Controller is event-driven. For event-driven programming boost::asio library has been used. It allows to process I/O operations and schedule deferred actions.

State controller react to I/O and timer events and issues commands to other components of host. State controller is modeled using Finite State Machine. FSM is coded using boost::msm library. This library allows to easily map UML representation of FSM to the source code.

New light calibration (Fig. 4) is performed by controller together with lights tracker. When the LED-node is discovered, state controller switches to the calibration state. New node is commanded to enable light and then to disable. Lights tracker remembers all vanished blobs. After specific amount of time (specific amount of frame updates), node is commanded to enable light back. It is assumed, that node is not moving during calibration stage. Lights tracker marks all blobs which have appeared back. If there are only one such blob, light is identified and labeled. Otherwise, calibration is performed again or discarded.

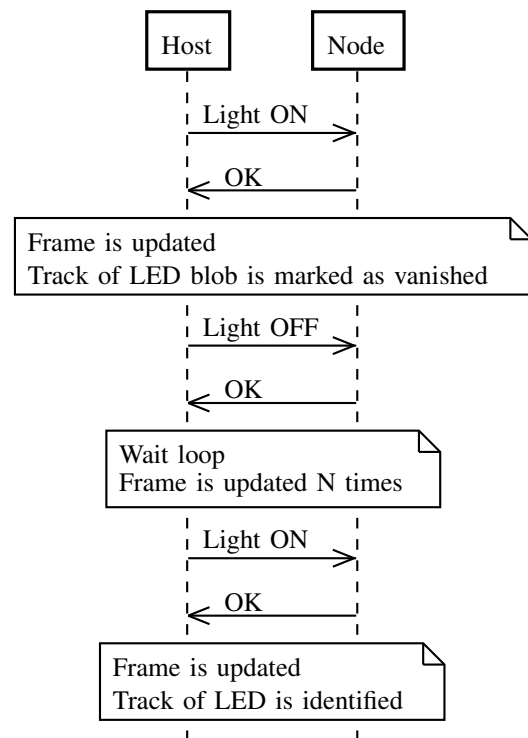


Figure 4. Sequence diagram of calibration stage

V. EXPERIMENTS WITH PROTOTYPE

Evaluation network of 4 LED-nodes and a host were used for the next experiments:

- new LED-node registration and calibration;
- LED-node position update.

Experiments were done twice with different radio transceivers - XBee S2 and MRF24J40MA.

For the new LED-node registration and calibration, next algorithm have been used. Host sends periodically a beacon-package to all nodes in the network using

broadcast. This beacon-package is only package sent by broadcast - all other communication are done using unicast messages. All nodes obtain host address from received beacon-package and answer to host. Host checks all answers, selects nodes with unknown addresses and performs calibration of them. During the calibration procedure, host sends control requests to the LED-node and awaits responses-acknowledgments.

Experiment with XBee S2 had shown, that broadcast messages are highly unreliable and can lead to network unresponsiveness. Sometimes, sent broadcast messages block all other send/receive operations on host. Host drops received answers. Thus, new nodes can stay undetected for a few detection rounds. Moreover, this problem breaks the communication with known nodes.

Experiment with MRF24J40MA had shown no such problems. Broadcasts show no issues with the blocked communication.

For LED-node position update, host sends messages with new position coordinates to the LED-node. Messages are sent, only if node have been moved on a distance, bigger than the specific threshold. LED-node sends response-acknowledgment. To make an experiment more visual, whole coordinate space was divided to the predefined color areas. LED node changes LED color, when it is moved to another color area.

Experiment with XBee S2 had shown, that the level of jitter is high. A single message can be delivered in specified time constraints. But, in case of a frequent messages issue, delay increases nonlineary and can reach the values over 1 second. Such situation appears when LED-node is moved fast and its position is updated frequently. Problem is due to the acknowledgments both on application and ZigBee levels.

Experiment with MRF24J40MA had shown better results. We have not observed avalanche-like increase of delivery time.

XBee S2 uses the same PHY and MAC layers as the MRF24J40MA. So we can explain poorer performance results only because of the use of ZigBee.

VI. SUMMARY AND FUTURE WORK

This work addresses the task of creation ad-hoc media facade system based on WSN. The task imposes certain QoS requirements on network hardware and protocol characteristics. The hardware characteristics are different from those, which are usually considered in related works.

Simplified system prototype has been created for use cases and problems study.

We are currently studying a few related problems:

- network protocols such as ZigBee and its competitors;
- use of complex network topologies and their influence on QoS;
- algorithms of delay compensation such as delay prediction on host or control command prediction on actor nodes.

REFERENCES

- [1] I. F. Akyildiz and I. H. Kasimoglu, "Wireless sensor and actor networks: research challenges," *Ad Hoc Networks*, vol. 2, no. 4, pp. 351 – 367, 2004. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570870504000319>
- [2] D. Chen and P. K. Varshney, "Qos support in wireless sensor networks: A survey," in *International Conference on Wireless Networks*, H. R. Arabnia, L. T. Yang, and C.-H. Yeh, Eds. CSREA Press, 2004, pp. 227–233.
- [3] F. Xia, "Qos challenges and opportunities in wireless sensor/actuator networks," *Sensors*, vol. 8, no. 2, pp. 1099–1110, 2008. [Online]. Available: <http://www.mdpi.com/1424-8220/8/2/1099>
- [4] Y. Li, C. S. Chen, Y.-Q. Song, and Z. Wang, "Real-time QoS support in wireless sensor networks: a survey," in *7th IFAC International Conference on Fieldbuses & Networks in Industrial & Embedded Systems - FeT'2007*, Toulouse, France, 2007. [Online]. Available: <http://hal.inria.fr/inria-00188265>
- [5] F. Xia, Y.-C. Tian, Y. Li, and Y. Sung, "Wireless sensor/actuator network design for mobile control applications," *Sensors*, vol. 7, no. 10, pp. 2157–2173, 2007. [Online]. Available: <http://www.mdpi.com/1424-8220/7/10/2157>
- [6] C. Buratti, A. Conti, D. Dardari, and R. Verdone, "An overview on wireless sensor networks technology and evolution," *Sensors*, vol. 9, no. 9, pp. 6869–6896, 2009. [Online]. Available: <http://www.mdpi.com/1424-8220/9/9/6869>
- [7] A. Garcia-Hernando, *Problem Solving for Wireless Sensor Networks*, ser. Computer Communications and Networks. Springer-Verlag London, 2008. [Online]. Available: <http://books.google.com.ua/books?id=kr3sLEJKrpwC>
- [8] C. C. Liñán, "cvblob frequently asked questions," 2012. [Online]. Available: <http://code.google.com/p/cvblob/wiki/FAQ>

