

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»
Кафедра радіотехніки та телекомунікацій

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни
«Широкосмугові технології телекомунікацій»
для студентів спеціальності
172 «Електронні комунікації та радіотехніка»
всіх форм навчання

Частина II

2024

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Широкосмугові технології телекомунікацій» для студентів спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» всіх форм навчання. Частина II / Укл.: В.С. Кабак, Г.В. Мороз, Г.Ф. Вишник. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 37 с.

Укладачі: В.С.Кабак, доцент, к.т.н.,
Г.В. Мороз, ст. викладач,
Г.М. Вишник, зав. лаб.

Рецензент: С.В. Морщавка, доцент, к.т.н.

Відповідальний.
за випуск: Г.Ф. Вишник, зав. лаб.

Затверджено:
на засіданні кафедри
радіотехніки та телекомунікацій
Протокол № 5 від 05.04.2024 р.

Рекомендовано до видання НМК
факультету інформаційної безпеки та
електронних комунікацій
Протокол № 6 від 24.04.2024 р.

ЗМІСТ

	С.
1 Лабораторна робота №3 Моделювання протоколу множинного доступу CSMA	5
1.1 Мета роботи	5
1.2 Завдання на підготовку до виконання лабораторної роботи.....	5
1.2.1 Протокол множинного доступу з детектуванням несучої CSMA	5
1.2.2 Обґрунтування базового алгоритму програмного комплексу	13
1.2.3 Підпрограма моделювання методу CSMA	13
1.3 Порядок проведення лабораторної роботи	14
1.3.1 Моделювання протоколу пр-CSMA для провідної мережі	14
1.3.2 Моделювання протоколу пр–csma для безпровідної мережі	16
1.3.3 Моделювання протоколу пр–csma для безпровідної мережі зі збільшенням значенням нормалізованої затримки розповсюдження	17
1.4 Зміст звіту.....	17
1.5 Контрольні запитання	18
2 Лабораторна робота №4 Моделювання протоколу множинного доступу з детектуванням придушення – ISMA	19
2.1 Мета роботи	19
2.2 Завдання на підготовку до виконання лабораторної роботи.....	19
2.2.1 Протокол конкурентного доступу з детектуванням придушенням ISMA.....	19
2.2.2 Підпрограма моделювання протоколу ISMA.....	26
2.3 Порядок проведення лабораторної роботи	26
2.3.1 Моделювання протоколу _ISMA для провідної мережі .	26
2.3.2 Моделювання протоколу пр-isma для безпровідної мережі	28
2.3.3 Моделювання протоколу прisma для безпровідної мережі зі збільшенням значенням нормалізованої затримки розповсюдження	28

2.4 Зміст звіту.....	29
2.5 Контрольні запитання	29
Перелік джерел посилань.....	31
Додаток А	32
Додаток Б	35

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОТОКОЛУ МНОЖИННОГО ДОСТУПУ CSMA

1.1 Мета роботи

1.1.1 Ознайомитися з принципами побудови протоколів множинного доступу у безпроводних мережах.

1.1.2 За допомогою ЕОМ провести симуляцію роботи конкурентного протоколу доступу пр-CSMA

1.1.3 Отримати показники ефективності протоколу пр-CSMA

1.2 Завдання на підготовку до виконання лабораторної роботи

1.2.1 Протокол множинного доступу з детектуванням несучої CSMA

Власне назва протоколу пояснюється тим фактом, що усі термінали користувачів контролюють (прослуховують) наявність несучого коливання у каналі зв'язку. Саме з виявлення несучого коливання термінал користувача може встановити наявність передачі інформації іншими користувачами, оскільки при пакетній передачі термінал користувача формує несуче коливання тільки на період передачі пакету.

Якщо несуча у каналі виявлена, то на цей момент канал вважається зайнятим, якщо ж несуча не виявлена, то канал вважається вільним. Тобто, протокол CSMA фактично визначає порядок організації передачі пакетів як результат детектування несучої.

Якщо несуча виявлена і канал вважається зайнятим, то необхідно передбачити заходи для усунення колізій. Протокол ненаполегливого методу CSMA є одним з протоколів, що дозволяє уникнути колізій.

Для цього протоколу під час генерації власних пакетів термінал користувача починає процедуру детектування несучої. Якщо канал

вільний, тобто несуча не виявлена, то починається термінова передача пакету до точки доступу. Якщо ж канал виявляється зайнятим, то термінал користувача припиняє процедуру детектування несучої і, через деякий випадковий час, повторює процес детектування несучої каналу [1, 2].

Тобто, на відміну від протоколу CSMA/CD, після звільнення каналу у протоколі ненаполегливого CSMA (non persistent –np-csma) обирається деякий випадковий час затримки (затримка відтермінування), після чого знову проводиться детектування несучої. Цей час очікування і є ключовим фактором для реалізації у системі зв'язку високої пропускної здатності.

В принципі сам факт детектування несучої у протоколі не дозволяє повністю уникнути колізії. Однією з причин виникнення колізії при прослуховуванні несучої є так звана затримка розповсюдження. Цей ефект продемонстровано на рис.1.1 [3].

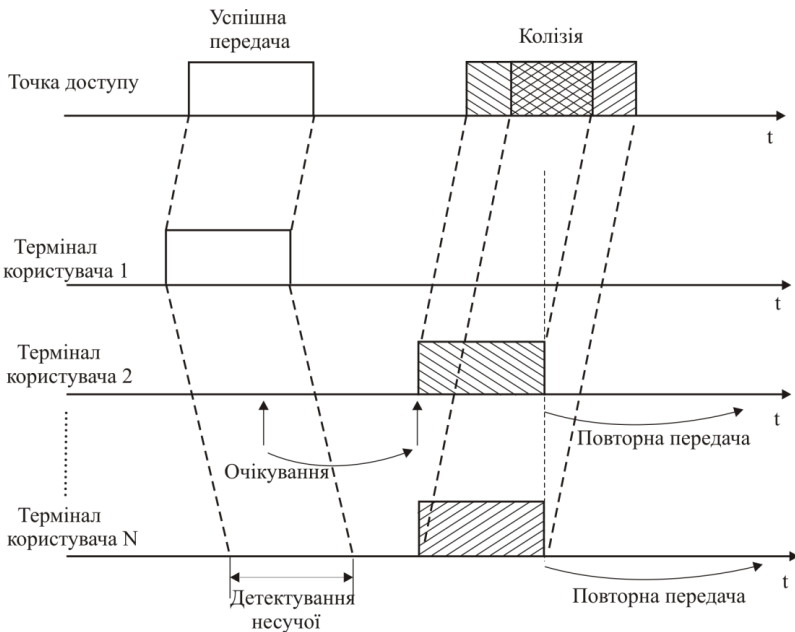


Рисунок 1.1 – Принцип роботи протоколу ненаполегливого методу CSMA

Дійсно, в реальних телекомунікаційних системах під час передачі пакету через канал конкретним терміналом інші термінали користувачів сприймають несуче коливання у спільному каналі не миттєво, а через деякий час, який і трактується як затримка розповсюдження. Якщо інші термінали почнуть передачу пакетів саме впродовж часу розповсюдження, то неминуче виникне колізія у точці доступу (рис.1.1). Затримка часу розповсюдження залежить від відстані між терміналами користувачів

Механізм виявлення колізії більш детально зображено на рис. 1.2 [3].

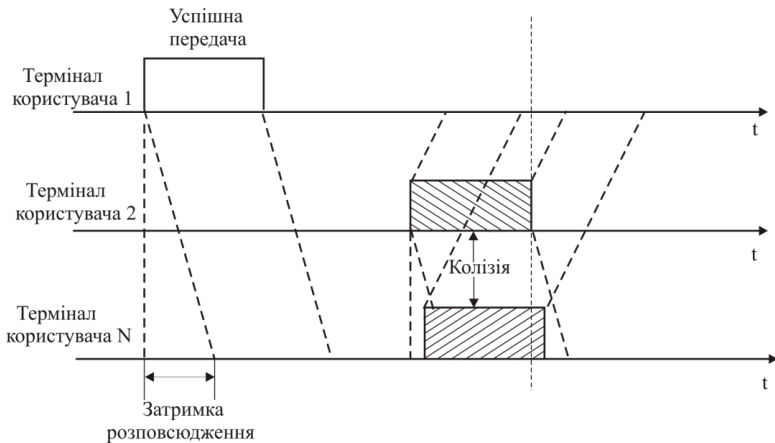


Рисунок 1.2 – Механізм виникнення колізії для протоколу ненаполегливого методу CSMA

У більшості випадків припускається що час затримки розповсюдження однаковий для системи зв'язку і, відповідно, під час пакетної передачі від точки доступу і терміналом формується нормалізований час затримки (затримка нормалізована до періоду).

Для протоколу ненаполегливого CSMA пакет, що згенеровано терміналом користувача може бути переданим тільки після того, як процес детектування несучої виявляє, що канал вільний. Епюри, що пояснюють роботу CSMA зображені на рис.1.3 [3].

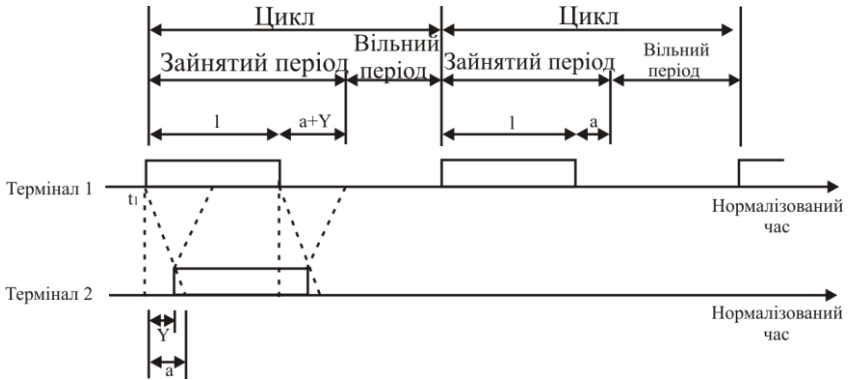


Рисунок 1.3 – Основні часові співвідношення для протоколу ненаполегливого методу CSMA

Припустимо, що очікуваний час зайнятого стану каналу визначимо як B , а очікуваний час вільного стану каналу позначимо як I . Тоді якщо позначити очікуваний інтервал часу для якого не відбуваються колізії через U , то пропускну здатність можна визначити як:

$$S = \frac{U}{B + I}, \quad (1.1)$$

де довжина кожного пакету нормалізована і затримки передачі під час передачі пакету позначені як l і a відповідно. Виходить, що для успішної передачі згенерованого користувачем пакету у момент часу t_1 до точки доступу необхідно щоб на інтервалі від t_1 до $t_1 + a$ не відбувалося генерації жодного пакету.

Відповідно очікуваний час за який жодної колізії не відбувається і пакети успішно передаються рівняється:

$$U = Ge^{-aG}. \quad (1.2)$$

Очікуваний інтервал часу для якого канал вважається вільним I (тобто не відбувається генерація пакетів) підлягає експоненціальному розподілу. Цей інтервал можна визначити як:

$$I = \frac{1}{G}. \quad (1.3)$$

Якщо позначити час початку останньої передачі пакету на інтервалі від t_1 до t_1+a через t_1+Y (де очікуване значення Y позначимо як \bar{Y}), то очікуваний інтервал часу впродовж якого канал вважається зайнятим визначиться як:

$$B = 1 + a + \bar{Y}. \quad (1.4)$$

Оскільки функцію розподілу величини Y можна визначити як ймовірність того що жодного пакету не надійшло на інтервалі $a-y$, то справедливо:

$$F_Y(y) \cong P\{Y < y\} = e^{-(a-y)G} \quad (y \leq a),$$

а очікуване значення часу \bar{Y} визначиться як:

$$\bar{Y} = a - \frac{1}{G}(1 - e^{-aG}). \quad (1.5)$$

Якщо підставити отримані значення часових інтервалів для зайнятого B (1.4) і вільного I (1.3) станів каналу і врахуванням оцінки часу відсутності колізій U (1.2) до виразу (1.1), який визначає нормовану пропускну здатність, то остаточно, можна визначити пропускну здатність протоколу pr-csma як [3]:

$$\rho = \frac{Ge^{-aG}}{G(1+2a) + e^{-aG}} \quad (1.6)$$

З аналізу (1.6) очевидно, що пропускну здатність протоколу pr-csma є функцією як трафіка, так і нормалізованого часу затримки a .

Цей вираз для пропускної здатності відповідає ідеальному середовищу передачі і відсутності схованих станцій.

Тому, необхідно відзначити, що продемонстровані переваги методу NP-CSMA спостерігаються не завжди. Так, з виразу (1.6) для пропускної здатності ρ виходить, що характеристики протоколу суттєво залежать від нормалізованого часу затримки у каналі (параметр a), а саме, пропускна здатність зменшується під час збільшення часу затримки у каналі.

Так, для демонстрації впливу нормалізованого часу затримки на ефективність протоколу на рис.1.4, рис.1.5 наведені графічні залежності пропускної здатності від трафіку для нормалізованого часу затримки $a=0.005$ і $a=0,3$ відповідно.

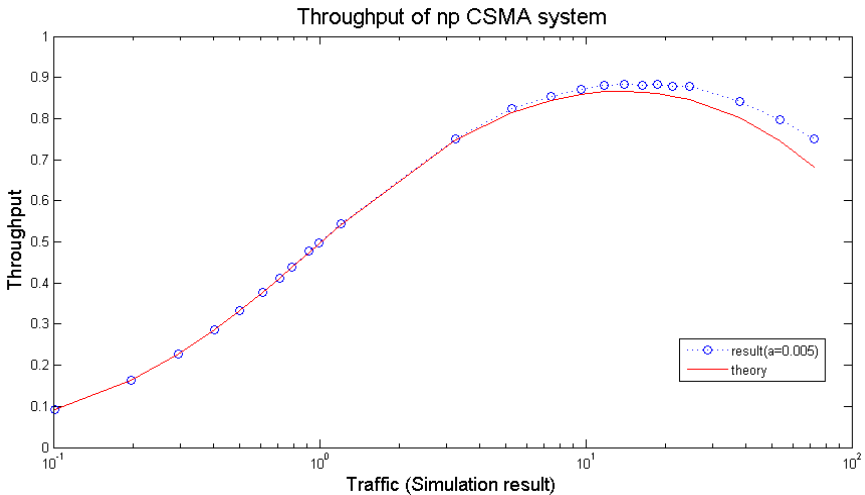


Рисунок 1.4 – Залежність нормованої пропускної здатності від трафіка для нормалізованого часу затримки $a = 0,005$

Для значення $a = 0,005$ нормована пропускна здатність за виразом (1.6) (суцільна лінія) досягає максимального значення $\rho \approx 0,866$ при значенні нормованого трафіка $G \approx 13 \dots 15$ (рис. 1.4). Збільшення ж нормалізованого часу затримки до $a=0,3$ призводить до падіння пропускної здатності до $\rho \approx 0,32$ (рис. 1.5), але це відбувається

вже при набагато меншому значенні нормованого трафіка $G \approx 1,2$. На цих рисунках окрім залежностей розрахованих за виразом (1.1) наведені також результати моделювання для безпровідної мережі з використанням ефекту захоплення.

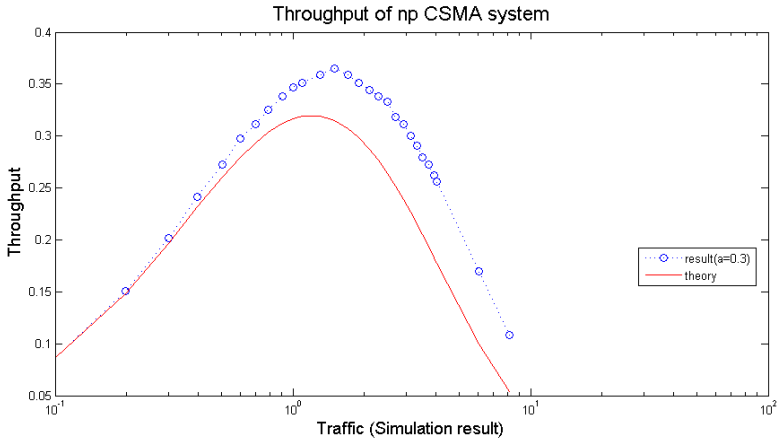


Рисунок 1.5 – Залежність нормованої пропускної здатності від трафіка для нормалізованого часу затримки $a = 0,3$

Ще більше різниця у характеристиках протоколу проявляється для залежностей середнього часу затримки передачі, які наведені на рис. 1.6, рис. 1.7.

1.2.2 Обґрунтування базового алгоритму програмного комплексу

Базовий алгоритм є практично тотожний до програмного комплексу, що використовувався у лабораторних роботах №1, №2.

Тобто, програмна модель розташування користувачів – position.m, підпрограма обчислення відстані – distance.m, підпрограма виводу результатів – graph.m і програма обчислення характеристик протоколів за теоретичними виразами –theorys.m залишаються такими ж, як і в лабораторних роботах №1, №2.

Як і для протоколів ALOHA і S-ALOHA структура головної програми main.m залишається незмінною, а перехід до конкретного протоколу задається вибором змінної **pn0** - номеру протоколу.

В головній програмі нормалізований час затримки задається параметром Dtime. Для перших двох варіантів розрахунку для провідної і безпровідної мереж цей параметр задано достатньо малим Dtime=0,01.

1.2.3 Підпрограма моделювання методу CSMA

Моделювання протоколу CSMA реалізовано у підпрограмі pcsma.m [2]. Ця підпрограма в основному подібна до підпрограми моделювання чистої схеми ALOHA – paloha.m. Підпрограму pcsma.m структурно можна поділити на п'ять функціональних блоків подібних до розглянутих у ЛР №1, 2.

Різниця полягає у тому, що перед передачею пакету кожним терміналом виконується детектування несучої. Алгоритм детектування реалізовано у підпрограмі **carriersense.m**.

Якщо канал не зайнятий, то відбувається негайна передача пакету до точки доступу. Якщо ж канал зайнятий, то планується час для передачі пакету. Уся інформація щодо часу передачі пакетів для усіх терміналів користувачів зберігається у глобальній змінній Mstime. Це реалізується у наступному блоці підпрограми:

```

idx=find(nctime==now_time&Mstate==STANDBY);
if length(idx)>0
    Tplen=Tplen+sum(Mplen(idx)) ;
    for ii=1:length(idx) ;
        jj=idx(ii) ;
        if carriersense(jj,now_time)==0
            Mstate(jj)=TRANSMIT;
            Mstime(jj)= now_time;
            mtime(jj)= now_time+Mplen(jj)/Srate;
        else
            mtime(idx)= now_time-Rint*log(1-rand);
        end
    end
end.

```

Повний лістинг підпрограми **carriersense.m** наведено у додатку А. У цій підпрограмі до змінної *Mstime*, яка визначає час передачі пакету додається затримка розповсюдження, що залежить від відстані між терміналами користувачів. Після цього відбувається детектування несучої усіма терміналами. Якщо виявлена несуча, то стан каналу встановлюється як “зайнято” (*result=1*).

Якщо ж несучу не виявлено, то стан каналу встановлюється як “вільний” (*result=0*).

1.3 Порядок проведення лабораторної роботи

1.3.1 Моделювання протоколу **nr-CSMA** для провідної мережі

1.3.1.1 Відкрити середовище Matlab. В директорії Matlab створити свою директорію (папку) LAB3, в яку необхідно розмістити основну програму, а також усі підпрограми, що необхідні для моделювання.

1.3.1.2 Для моделювання протоколу CSMA необхідним є той же базовий набір підпрограм, який застосовувався у лабораторних роботах №1, №2 за винятком підпрограми *paloha.m*, а саме:

```

main.m;
position.m;
distance.m;

```

graph.m;
theory.m.

Тому, необхідно скопіювати ці файли з директорії LAB2 (або з методичних вказівок) і зберегти їх під тими ж іменами у директорії LAB3.

Додатково необхідно у додатку Б скопіювати підпрограми **np-csma** і **carriersense** і зберегти їх у директорії LAB3.

В результаті у вікні поточної директорії повинен відобразитися повний набір М-файлів, які необхідні для моделювання (рис.1.8).

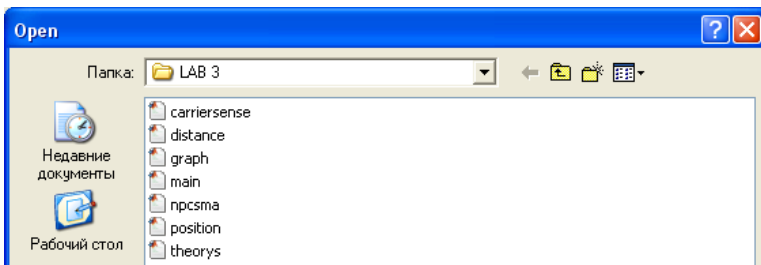


Рисунок.1.8 – Видгляд поточної директорії LAB3 після запису усіх підпрограм, що використовуються при моделюванні

1.3.1.3 Провести моделювання роботи протоколу **NP-CSMA** для провідної мережі.

Для цього необхідно відкрити у редакторі Matlab файл головної програми **main.m** і провести такі зміни:

- замінити значення параметру **rpo**, який визначає номер відповідного протоколу доступу, на **rpo=3** (протокол NP-CSMA);
- встановити значення параметру **capture** рівним 0 (задаємо алгоритм моделювання провідної мережі;

- оскільки ймовірність виникнення колізій для протоколу CSMA через механізм детектування несучої набагато менша порівняно з методами ALOHA S-ALOHA, то необхідно провести заміну заданого трафіку в операторі циклу, який визначає трафік, а саме:

- замість оператора
for G=[0.1:0.1:1,1.2:0.2:4],

який було задано для протоколу S-ALOHA (лабораторна робота №2) ввести оператор

for G=[0.1:0.1:1,1.2:2:20,22:10:52].

Тобто, максимальний теоретичний нормований трафік такою зміною збільшено до 52, а реальне значення в процесі моделювання може бути суттєво більшим через колізії і повторне передавання пакетів.

Зберегти зміни у файлі головної програми **main.m** натисканням кнопки Save.

1.3.1.4 У командній строчці командного вікна (Command Window) набрати назву основної програми **main** і запустити аналіз натисканням клавіші Enter.

Якщо синтаксичні помилки у програмах відсутні, то на дисплеї у командному вікні повинен відобразитися надпис “Simulation Start” а потім рядок “np csma without capture effect”.

Далі відповідно до заданого трафіка буде поступово виводитися таблиця з реальним значенням трафіка **G**, пропускну здатності за результатами моделювання **S** і значеннями теоретичної пропускну здатності **TS**.

Ознакою закінчення моделювання, тобто коли реальний трафік досягне приблизно заданої межі ($G = 70 \dots 90$), буде висвітлення рядка “Simulation End”. Додатково згідно з підпрограмою **graph.m** будуть виведені два графіки – перший для пропускну здатності провідної мережі, а другий для середнього часу затримки пакетів. На графіку для пропускну здатності буде виводитися дві графічні залежності – одна для теоретичного значення пропускну здатності у відповідності з виразом (1.6) і друга, що отримується за результатами експерименту (позначено як ‘’)

1.3.1.5 Зафіксувати табличні значення моделювання і отримані графічні залежності у звіті.

1.3.2 Моделювання протоколу np-csma для безпроводної мережі

1.3.2.1 В поточній директорії LAB3 відкрити файл головної програми **main.m**. Змінити значення параметра **capture** з 0 на одиницю (**capture=1**). Зберегти файл натиснувши на кнопку Save.

1.3.2.2 Перейти до командного вікна і набрати у командному рядку main і запустити моделювання. Почнеться розрахунок безпроводної мережі, ознакою якого буде виведення рядку “ pr-csma with capture effect ”.

Аналогічно до провідної мережі буде поступово виводитися таблиця з реальним значенням трафіка G, пропускної здатності за результатами моделювання S, але тепер для безпроводної мережі.

1.3.2.3 Зафіксувати табличні значення моделювання і отримані графічні залежності для безпроводної мережі у звіті.

1.3.3 Моделювання протоколу пр–csma для безпроводної мережі зі збільшенням значенням нормалізованої затримки розповсюдження

1.3.3.1 Відкрити у редакторі Matlab файл головної програми main.m. Замість значення нормалізованої затримки Dtime=0.01 задати збільшене значення Dtime=0.2. Оскільки кількість колізій у такому разі суттєво збільшиться, то для скорочення часу розрахунку необхідно зменшити можливий трафік моделювання. Тому замість оператора

```
for G=[0.1:0.1:1,1.2:2:20,22:10:52]
```

необхідно задати скорчене значення трафіка, що пропонується, а саме:

```
for G=[0.1:0.1:1,1.2:2:10].
```

Після проведених змін зберегти новий файл головної програми натисканням кнопки “Save”.

1.3.3.2 Перейти до командного вікна і набрати у командному рядку команду main і запустити моделювання.

1.3.3.3 Зафіксувати табличні значення моделювання і отримані графічні залежності для безпроводної мережі і значенні нормалізованої затримки Dtime=0,2 у звіті. Провести порівняння впливу затримки розповсюдження на пропускну здатність і середній час затримки передачі.

1.4 Зміст звіту

1.4.1 Базовий алгоритм моделювання. Набір підпрограм, що необхідні для моделювання.

1.4.2 Результати експериментальних досліджень у вигляді табличних та графічних залежностей як для провідної, так і для безпровідної мереж.

1.4.3 Висновки за результатами роботи.

1.5 Контрольні запитання

1. Принцип роботи протоколу пр-csma.
2. Основна відмінність протоколу пр-csma від конкурентних протоколів ALOHA, S-ALOHA.
3. Пояснити графічно процес виникнення колізії для протоколу пр-csma.
4. Привести залежності для пропускної здатності провідних і безпровідних мереж.
5. Привести залежності для середнього часу затримки у провідних і безпровідних мережах.
6. Як впливає нормалізований час затримки на пропускну здатність безпровідної мережі.
7. Як впливає нормалізований час затримки на середній час затримки безпровідної мережі.
9. Навести теоретичний вираз для пропускної здатності провідної мережі для протоколу пр-csma
10. Як проявляється ефект захоплення для безпровідної мережі порівняно з теоретичним виразом.
11. Пояснити отримані залежності для пропускної здатності для провідної і безпровідної мереж.
12. Пояснити отримані залежності для середнього часу затримки передачі пакетів для провідної і безпровідної мереж.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОТОКОЛУ МНОЖИННОГО ДОСТУПУ З ДЕТЕКТУВАННЯМ ПРИДУШЕННЯ – ISMA

2.1 Мета роботи

2.1.1 Ознайомитися з принципами побудови протоколів множинного доступу у безпроводних мережах.

2.1.2 За допомогою ЕОМ провести симуляцію роботи конкурентного протоколу доступу ISMA

2.1.3 Отримати показники ефективності протоколу ISMA.

2.2 Завдання на підготовку до виконання лабораторної роботи

2.2.1 Протокол конкурентного доступу з детектуванням придушення ISMA

Як було досліджено у лабораторній роботі №3, стандартний протокол NP-CSMA зменшує ймовірність колізій завдяки механізму детектування несучої від інших користувачів.

Але, у безпроводній системі процес детектування несучої в процесі передачі пакетів є не завжди гарантованим засобом усунення колізій для деяких терміналів, оскільки між терміналами можливе існування певних перешкод (рис. 2.1). Ця проблема відома як проблема схованих терміналів.

Один з методів, який дозволяє вирішити проблему схованих станцій є застосування протоколу множинного доступу з детектуванням придушення – ISMA (Inhibit Sence Multiple Access). Вирішується це питання в протоколі ISMA наданням інформації до користувачів про зайнятість або звільнення каналу самою точкою доступу.

В принципі, протокол ISMA використовує схожий до CSMA/CA принцип роботи.

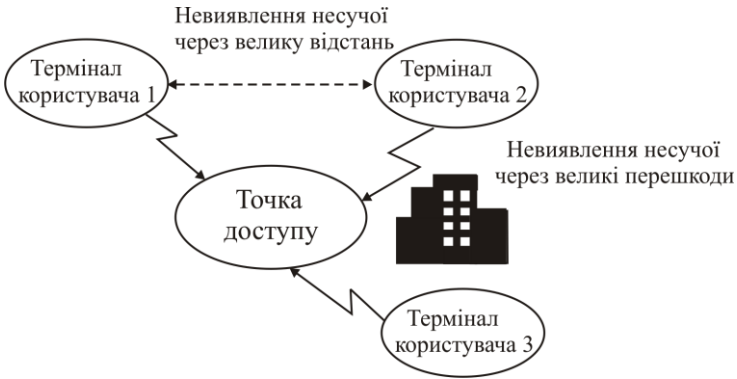


Рисунок 2.1 – Проблема схованих станцій

Різниця полягає у тому, що зайнятість каналу визначається не шляхом прослуховування (детектування) середовища, а через надсилання базовою станцією пакета, в якому визначається статус каналу. По аналогії з фізичними процесами, які проілюстровані на рис. 2.1, на рис. 2.2 продемонстровано відмінність роботи протоколу ISMA від NP-CSMA.



Рисунок 2.2 – Концепція протоколу ISMA

Для цього протоколу базова станція повинна бути синхронізована з передавачами таким чином, щоб передавачі

користувачів не передавали свої дані впродовж передачі статусу каналу.

Якщо канал зайнятий, то термінали користувачів очікують впродовж випадкового інтервалу часу моменту наступної передачі. Оскільки декілька терміналів користувачів можуть одночасно передавати дані, то центральна станція – точка доступу надсилає пакет з підтвердженням про отримання пакету даних.

Цей метод також називають множинним доступом з цифровим детектування – DSMA (Digital Sense Multiple Access) [1, 2].

Тобто, для ISMA, якщо точка доступу приймає пакети від користувача, то для усіх інших терміналів користувачів надсилається інформація про зайнятість каналу. В протилежному випадку, коли прийому будь-якого пакету точкою доступу не відбувається, то вона передає сигнал звільнення каналу.

Коли кожен термінал користувача отримує сигнал про звільнення каналу, то він повинен прийняти рішення передавати йому пакет до точки доступу або ні.

Коли термінал приймає сигнал про зайнятість каналу, то його передача пакету затримується (приховане детектування, що відповідає назві протоколу – inhibit sense).

Принципово протокол ISMA можна розглядати як метод CSMA без проблеми схованих станцій.

Але час затримки розповсюдження для протоколу ISMA удвічі більший порівняно з CSMA. Дійсно, оскільки усі термінали користувачів детектують сигнал від точки доступу, то точка доступу повинна спочатку прийняти сигнал від конкретного терміналу користувача і тільки після прийому надіслати сигнал зайнятості каналу для усіх терміналів-користувачів.

Для протоколу ж пр- CSMA усі користувачі детектують сигнал тільки від усіх інших користувачів.

Такий алгоритм і зумовлює для ISMA подвоєння затримки передачі. Але, як було показано для протоколу пр- CSMA, затримка розповсюдження і є тим фактором, який може спричинити колізії.

Дійсно, така ситуація продемонстрована на рис.2.3. Якщо інші термінали транслують свої пакети саме під час затримки передачі, то виникає колізія у точці доступу.

У цьому випадку термінал користувача №2 почав передачу до точки доступу, оскільки статус канал на цей момент було встановлено вільним. Точка доступу відразу надсилає інформацію про зайнятість каналу. Але для першого користувача цей сигнал через затримку не надійшов, і він також почав передачу пакету. В результаті виникла колізія у точці доступу.

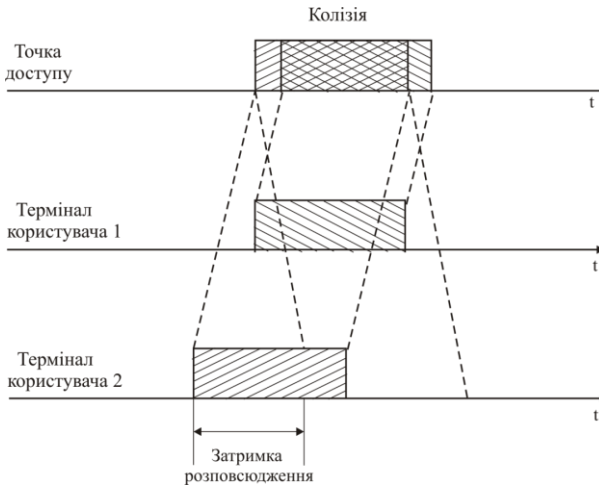


Рисунок 2.3 – Виникнення колізії для протоколу ISMA

Нормалізація часу затримки у протоколі відбувається до часу необхідного для передачі одного пакету T .

Можна відзначити, що для ISMA також вводять поняття прямого каналу (від точки доступу до терміналів користувачів), або канал “вниз” і зворотного каналу (від терміналів користувачів до точки доступу), або канал “вгору”

Для моделювання у лабораторній роботі обрано протокол ненаполегливого множинного доступу ISMA з виділенням часових інтервалів-слотів.

Часові епюри, що пояснюють принцип дії протоколу, продемонстровані на рис. 2.4 [3].

Для каналу “вгору” відбувається слотування з тривалістю часового слота, яка рівняється довжині пакету тобто, тривалість слоту обирається рівним тривалості одного пакету.

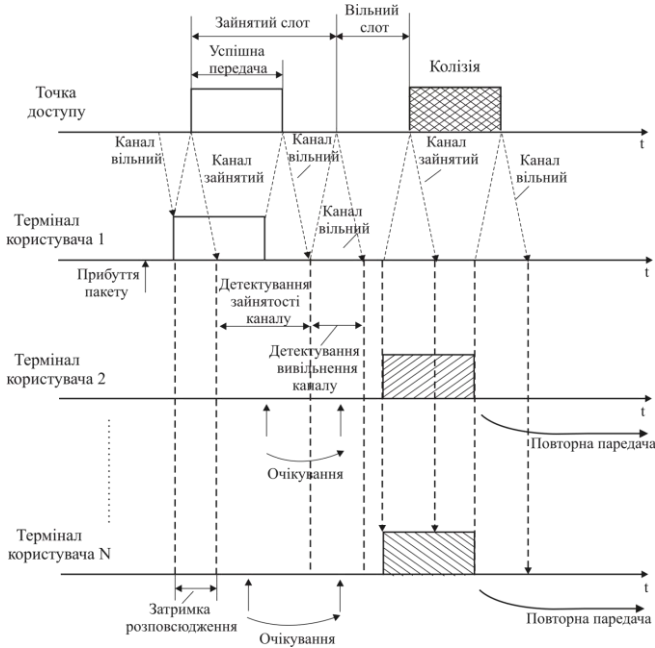


Рисунок 2.4 – Принцип роботи протоколу ненаполегливого методу ISMA

Коли кожен з користувачів генерує свій пакет відбувається приховане детектування несучої. Якщо приймається сигнал про звільнення каналу, то термінал користувача здійснить передачу пакету у наступному часовому слоті.

Якщо ж термінал користувача приймає сигнал про зайнятість каналу, то передача пакету не відбувається, а здійснюється перехід в режим очікування наступного слоту, який обирається випадково, і вже в ньому поновлює процедуру детектування.

Для точки доступу часовий слот, в якому транслюється сигнал зайнятості до усіх терміналів користувачів називають зайнятим

слотом. Навпаки, часовий слот, в якому передається сигнал про вивільнення каналу називають слотом вивільнення.

Коли точка доступу прийняла пакети від усіх користувачів, то вона інформує усіх користувачів про майбутній час для передачі пакетів. Але, якщо точка доступу не прийняла будь-якого пакету, то вона також інформує користувачів про майбутній час передачі.

Визначимо основні характеристики протоколу. Позначимо нормалізований час затримки на рис.2.4 через d . Тоді з аналізу рис.2.4 можна зробити висновок, що тривалість зайнятого слоту повинна бути більшою за величину $(1+d)T$ тривалість вільного слоту повинна бути як мінімум більшою за величину dT .

Припустимо, що довжина вільного періоду якнайменше рівняється тривалості одного часового слоту (рис. 2.5).

Коли вільний інтервал рівняється тривалості одного часового слоту, це означає, що відбулося як мінімум одне надходження пакету у першому слоті вільного періоду.

Якщо вільний період складає два часових слоти, то це означає, що жодного надходження пакету не відбулося у першому слоті, а, якнайменше один пакет надійшов у другому слоті.

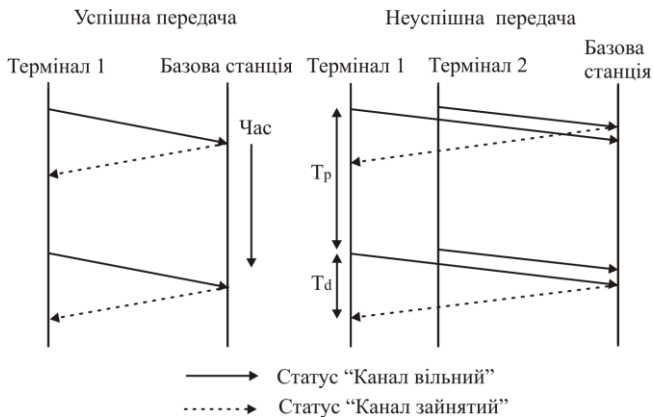


Рисунок 2.5 – Часові співвідношення для слотованого ненаполегливого методу ISMA

Якщо продовжити подібні міркування і вважаючи, що ці процеси підлягають Пуасонівському розподілу для вільного періоду можна записати:

$$I = \frac{d}{1 - e^{-dG}}. \quad (2.1)$$

Колізія може виникнути коли два або більше пакетів надійшли у межах одного й того ж слоту і заплановано передачу у наступному слоті.

Зайнятий період буде складатися з k періодів передачі, якщо відбувалося якнайменше одне надходження пакету у слоті кожного з $k-1$ періодів передачі і жодного надходження не відбулося в останньому слоті k -го періоду передачі.

Тоді час зайнятості каналу можна визначити як:

$$B = \frac{1+d}{e^{-dG}}. \quad (2.2)$$

Очікуваний час відсутності колізій визначиться як:

$$U = \frac{B}{1+d} P_{\text{усп}},$$

де $P_{\text{усп}}$ – ймовірність успішного періоду передачі.

Ймовірність $P_{\text{усп}}$ можна визначити як:

$$P_{\text{усп}} = \frac{\text{Ймовірність надходження тільки одного пакету за слот}}{\text{Ймовірність надходження більше одного пакету за слот}} = \frac{dGe^{-dG}}{1 - e^{-dG}}. \quad (2.3)$$

Підставляючи отримані значення для I, B і U можна визначити пропускну здатність протоколу ISMA [2]:

$$S = \frac{U}{B+I} = \frac{dGe^{-dG}}{1+d-e^{-dG}}. \quad (2.4)$$

2.2.2 Підпрограма моделювання протоколу ISMA

Базовий алгоритм програмного комплексу залишається повністю тотожним алгоритму, якого запропоновано у лабораторних роботах №1, №2, №3.

Моделювання протоколу ISMA реалізовано у підпрограмі `snprisma.m`, повний лістинг якої наведено у додатку Б.

Структурно підпрограму можна розділити на сім функціональних блоків. Перші чотири блоки і сьомий блоки повністю тотожні аналогічним за призначенням блокам підпрограми `prisma.m`.

У п'ятому блоці підпрограми `snprisma.m` термінали користувачів, які генерують пакети або очікують передачі своїх пакетів на поточний момент часу виконують процедуру прихованого детектування. Якщо канал виявляється вільним, відбувається оновлення змінної `now_time` - (поточного часу) на час наступної передачі пакету. Але якщо канал зайнятий, то визначається час для реалізації повторного детектування.

2.3 Порядок проведення лабораторної роботи

2.3.1 Моделювання протоколу ISMA для провідної мережі

2.3.1.1 Відкрити середовище Matlab. В директорії Matlab створити свою директорію (папку) LAB4, в яку необхідно розмістити основну програму, а також усі підпрограми, що необхідні для моделювання.

2.3.1.2 Для моделювання протоколу ISMA необхідним є той же базовий набір підпрограм, який застосовувався у лабораторній роботі №3 за винятком підпрограми `prisma.m`, а саме:

`main.m`;
`position.m`;
`distance.m`;

graph.m;
theory.m.
carrierse.m

Тому, необхідно скопіювати ці файли з директорії LAB3 (або з методичних вказівок) і зберегти їх під тими ж іменами у директорії LAB4.

Додатково необхідно у додатку Б методичних вказівок скопіювати підпрограми **npisma.m** і **inhibitsense.m** і зберегти їх у директорії LAB4.

В результаті у вікні поточної директорії повинен відобразитися повний набір з восьми М-файлів, які необхідні для моделювання.

2.3.1.3 Провести моделювання роботи протоколу **ISMA** для провідної мережі.

Для цього необхідно відкрити у редакторі Matlab файл головної програми main.m і провести такі зміни:

– замінити значення параметру **rpo**, який визначає номер відповідного протоколу доступу, на **rpo=4** (протокол NP-ISMA);

– встановити значення параметру **capture** рівним **0** (задаємо алгоритм моделювання провідної мережі) .

– оскільки ймовірність виникнення колізій для протоколу ISMA через механізм придушеного детектування несучої набагато менша порівняно з методами ALOHA, S-ALOHA, то необхідно провести заміну максимального трафіка в операторі циклу, який визначає трафік, а саме, ввести оператор:

for G=[0.1:0.1:1,1.2:2:20,22:10:52]

(максимальний теоретичний нормований трафік збільшено до 52, реальне значення в процесі моделювання може бути суттєво більшим через повторне передавання пакетів) .

Зберегти зміни у файлі натисканням кнопки Save.

2.3.1.4 У командній строчці командного вікна (Command Window) набрати назву основної програми main і запустити аналіз натисканням клавіші Enter.

Якщо синтаксичні помилки у програмах відсутні, то на дисплей у командному вікні повинен відобразитися надпис **“Simulation Start”**, а потім виводиться рядок **“ npisma without capture effect”**.

Далі, відповідно до запропонованого трафіку, буде поступово виводитися таблиця з реальним значенням трафіка G, пропускну

здатності за результатами моделювання S і значеннями теоретичної пропускнуої здатності TS .

Ознакою закінчення моделювання, тобто коли трафік досягне приблизно заданої межі $G=70\dots 90$, буде висвітлення рядка “Simulation End”. Додатково згідно з підпрограмою **graph.m** будуть виведені два графіки – перший для пропускнуої здатності провідної мережі, а другий для середнього часу затримки пакетів.

2.3.1.5 Зафіксувати табличні значення моделювання і отримані графічні залежності у звіті.

2.3.2 Моделювання протоколу **np-isma** для безпроводної мережі

2.3.2.1 В поточній директорії LAB4 відкрити файл головної програми **main.m**. Змінити значення параметра **capture** з 0 на одиницю (**capture=1**). Зберегти файл натиснувши на кнопку Save.

2.3.2.2 Перейти до командного вікна і набрати у командному рядку команду **main** і запустити моделювання. Почнеться розрахунок безпроводної мережі, ознакою якого буде виведення рядку “**np-isma with capture effect**”.

Аналогічно до провідної мережі буде поступово виводитися таблиця з реальним значенням трафіку G , пропускнуої здатності за результатами моделювання S , але тепер для безпроводної мережі.

2.3.2.3 Зафіксувати табличні значення моделювання і отримані графічні залежності для безпроводної мережі у звіті.

2.3.3 Моделювання протоколу **npisma** для безпроводної мережі зі збільшенням значенням нормалізованої затримки розповсюдження

2.3.3.1 Відкрити у редакторі Matlab файл головної програми **main.m**. Замість значення нормалізованої затримки $Dtime=0.01$ задати збільшене значення $Dtime=0.2$. Оскільки кількість колізій у такому разі суттєво збільшиться, то для скорочення часу розрахунку необхідно зменшити можливий трафік моделювання. Тому замість оператора

for G=[0.1:0.1:1,1.2:2:20,22:10:52]

необхідно задати зменшене значення графіка, що пропонується, а саме:

for G=[0.1:0.1:1,1.2:2:10].

Після проведених змін зберегти новий файл головної програми натисканням кнопки “Save”.

2.3.3.2 Перейти до командного вікна і набрати у командному рядку команду main і запустити моделювання.

2.3.3.3 Зафіксувати табличні значення моделювання і отримані графічні залежності для безпроводної мережі для нормалізованої затримки $D_{time}=0,2$ у звіті.

Провести порівняння впливу затримки розповсюдження на пропускну здатність і середній час затримки передачі.

2.4 Зміст звіту

2.4.1 Базовий алгоритм моделювання. Набір підпрограм, що необхідні для моделювання.

2.4.2 Результати експериментальних досліджень у вигляді табличних та графічних залежностей як для провідної, так і для безпроводної мереж.

2.4.3 Висновки за результатами роботи.

2.5 Контрольні запитання

1. Принцип роботи протоколу nr-isma.
2. Основна відмінність протоколу nr-isma від конкурентних протоколів nr-csma.
3. Пояснити графічно процес виникнення колізії для протоколу nr-isma.
4. Привести залежності для пропускну здатності провідних і безпроводних мереж протоколу nr-isma.
5. Привести залежності для середнього часу затримки у провідних і безпроводних мережах протоколу nr-isma.
6. Як впливає нормалізований час затримки на пропускну здатність безпроводної мережі nr-isma.
7. Як впливає нормалізований час затримки на середній час затримки безпроводної мережі nr-isma.

9. Навести теоретичний вираз для пропускної здатності провідної мережі для протоколу пр-isma.

10. Як проявляється ефект захоплення для безпроводної мережі порівняно з теоретичним виразом.

11. Пояснити отримані залежності для пропускної здатності для провідної і безпроводної мереж пр-isma.

12. Пояснити отримані залежності для середнього часу затримки передачі пакетів для провідної і безпроводної мереж.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Вишне夫斯基 В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. [Текст] / В.М. Вишне夫斯基, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
2. Harada H. Simulation and software radio for mobile telecommunications [Текст] / H. Harada, R. Prasad. – Artech House, 2003. – 465 p.
3. Вишне夫斯基 В.М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. [Текст] / В.М. Вишне夫斯基, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2009. – 472с.

ДОДАТОК А

Лістинги підпрограм для моделювання протоколу CSMA

```

%npcsma.m
%non-persistent CSMA System
%Input argument
%now_time: now time but, now_time<0 initializes the access terminals
%Output argument %next_time: next state change time
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function[next_time]=npcsma(now_time)
global STANDBY TRANSMIT COLLISION
%definition of the global variable
global Srate Plen
global Mnum Mplen Mstime Mstate
global Tint Rint
global Spnum Splen Tplen Wtime
persistent mgtime mtime           %definition of the static variable

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

    if now_time<0                   %initialize access terminals
rand('state', sum(100*clock));      %resetting of the random table
    mgtime=-Tint*log(1-rand(1,Mnum)); %packet generation time
    Mstime=zeros(1,Mnum)-inf;       %packet transmitting time
    mtime=mgtime;                   %state change time
    Mstate=zeros(1,Mnum);
    Mplen(1:Mnum)=Plen;
    next_time=min(mtime);
    return
    end

idx=find(mtime==now_time & Mstate==TRANSMIT);
%finding of the terminal which transmission succeeded

    if length(idx)>0

```

```

Spnum=Spnum+1;
Splen=Splen+Mplen(idx);
Wtime=Wtime+now_time-mgtime(idx);
Mstate(idx)=STANDBY;
mgtime(idx)=now_time-Tint*log(1-rand); %next packet generation time
mtime(idx)=mgtime(idx); %next packet transmitting time
    end

idx=find(mtime==now_time & Mstate==COLLISION);
%finding of the terminal which transmission failed

    if length(idx) > 0
Mstate(idx)=STANDBY;
mtime(idx)=now_time-Rint*log(1-rand(1,length(idx))); %resending time
    end

idx=find(mtime==now_time & Mstate==STANDBY);
%finding of the terminal which carrier sensing
    if length(idx) > 0
Tplen=Tplen+sum(Mplen(idx));
        for ii=1:length(idx)
            jj=idx(ii);
                if carriersense(jj, now_time)==0           %channel is idle
Mstate(jj)=TRANSMIT;           %packet transmitting
Mstime(jj)=now_time;           % start time of transmitting
mtime(jj)=now_time+Mplen(jj)/Srate; % end of time of transmitting
                else           % channel is busy
                    mtime(jj)=now_time-Rint*log(1-rand); % waiting time
                end
            end
        end
    end
next_time=min(mtime);           %next state change time

%%%%%%%%%% end of file %%%%%%%%%%%

%carriersense.m

```


ДОДАТОК Б

Лістинги підпрограм для моделювання протоколу ISMA

```

%snpisma.m
%Slotted non-persistent Isma System
%
%Input argument
%now_time: now time but, now_time<0 initializes the access terminals
%
%Output argument
%next_time: next state change time
function[next_time]=snpisma(now_time)
global STANDBY TRANSMIT COLLISION PERMIT %definition of
the global variable
global Srate Plen Dtime
global Mnum Mplen Mstime Mstate
global Tint Rint
global Spnum Splen Tplen Wtime
persistent mgtime mtime slot %definition of the static variable
if now_time<0 %initialize access terminals
    rand('state',sum(100*clock)); %resetting of the random table
    mgtime=-Tint*log(1-rand(1,Mnum));
    Mstime=zeros(1,Mnum)-inf; %packet transmitting time
    mtime=mgtime; %inhibit sensing time
    Mstate=zeros(1,Mnum);
    Mplen(1:Mnum)=Plen; %packet length
    next_time=min(mtime); %state change time
    slot=Plen/Srate*Dtime; %idle slot length
    return
end
idx=find(mtime==now_time & Mstate==TRANSMIT);%finding of the
terminal which transmission succeeded
if length(idx) > 0
    Spnum=Spnum+1;
    Splen=Splen+Mplen(idx);
    Wtime=Wtime+now_time-mgtime(idx);

```

```

Mstate(idx)=STANDBY;
mgtime(idx)=now_time-Tint*log(1-rand); %next packet generation
time
mtime(idx)=mgtime(idx);
end
idx=find(mtime==now_time & Mstate==COLLISION); %finding of the
terminal which transmission failed
if length(idx) > 0
    Mstate(idx)=STANDBY;
    mtime(idx)=now_time-Rint*log(1-rand(1,length(idx))); %resending time
end
idx=find(mtime==now_time & Mstate==STANDBY); %finding of the
terminal which inhibit sensing
if length(idx) > 0
    Tplen=Tplen+sum(Mplen(idx));
    for ii=1:length(idx)
        jj=idx(ii);
        if inhibitsense(jj,now_time)==0 %channel is idle
            Mstate(jj)=PERMIT;
            [temp1 kk]=max(Mstime); %calculation of the transmitting
start time slot
            if temp1 < 0
                mtime(jj)=ceil(now_time/slot)*slot;
            else
                temp1=temp1+Mplen(kk)/Srate;
                temp2=now_time-temp1;
                if temp2 < 0
                    mtime(jj)=temp1+slot;
                else
                    mtime(jj)=temp1+ceil(temp2/slot)*slot;
                end
            end
        else %channel is busy
            mtime(jj)=now_time-Rint*log(1-rand); % waiting time
        end
    end
end
end

```

