

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

В. М. ПАХОМОВА

Технології локальних мереж в інформаційних системах залізничного транспорту

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

ДНІПРОПЕТРОВСЬК
2015

УДК 004.732:656.2(075.8)

ББК 32.97:39.2я73

П 21

Рецензенти:

д-р техн. наук, проф. *В. В. Ткачов* (ДВНЗ

«Національний гірничий університет»),

д-р техн. наук, проф. *В. С. Хандецький* (ДВНЗ

«Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара»).

Рекомендовано

Міністерством освіти і науки України

як навчальний посібник для студентів

вищих навчальних закладів залізничного транспорту

(лист № 1/11-12207 від 30.07.13)

Пахомова, В. М.

П 21 Технології локальних мереж в інформаційних системах залізничного транспорту [Текст]: навчальний посібник / В. М. Пахомова; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – 258 с.

ISBN 978-966-8471-54-4

У навчальному посібнику детально розглядаються базові технології локальних мереж та можливість їх використання в інформаційних системах залізничного транспорту.

Для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за напрямом 6.050102 «Комп'ютерна інженерія», магістрів, аспірантів та технічних спеціалістів, яким необхідні знання про фундаментальні принципи побудови складених комп'ютерних мереж на основі технологій локальних мереж.

Іл. 159. Табл. 40. Бібліогр.: 52 назви.

УДК 004.732:656.2(075.8)

ББК 32.97:39.2я73

© В. М. Пахомова, 2015

© Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп.
ім. акад. В. Лазаряна, редактування,
оригінал-макет, 2015

ISBN 978-966-8471-54-4

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ МЕРЕЖНІ ПОНЯТТЯ	10
1.1. Класифікація мереж.....	10
1.1.1. Територіальна ознака.....	10
1.1.2. Відмінності локальних мереж від глобальних	11
1.2. Ознаки класифікації локальних мереж.....	14
1.2.1. Фізичне середовище.....	14
1.2.2. Конфігурація мережі.....	15
1.2.3. Метод доступу до середовища передачі	18
1.3. Проблеми стандартизації	19
1.3.1. Еталонна модель взаємодії відкритих систем	19
1.3.2. Протокол LLC.....	20
1.4. Завдання для самоконтролю	22
1.4.1. Тести	22
1.4.2. Контрольні завдання та запитання	26
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЇ З ВИПАДКОВИМИ МЕТОДАМИ	28
2.1. Технологія Ethernet.....	28
2.1.1. Метод доступу CSMA/CD	28
2.1.2. Специфікації фізичного рівня	31
2.1.3. Формати кадрів.....	32
2.1.4. Фізична структуризація мережі	34
2.1.5. Методика розрахунку конфігурації мережі.....	36
2.1.6. Логічна структуризація мережі.....	37
2.1.7. Дослідження мережі Ethernet АСУ ПП.....	42
2.1.8. Дослідження використання мережі Ethernet для системи «Каскад»	59
2.2. Технологія Fast Ethernet	67
2.2.1. Загальна характеристика технології.....	67
2.2.2. Приклад проектування мережі «Дніпрозалізничпроект».....	70
2.3. Технологія Gigabit Ethernet.....	78
2.4. Технологія WLAN	80
2.4.1. Загальна характеристика технології.....	80
2.4.2. Використання безпроводових локальних мереж в інформаційних системах залізничного транспорту	82
2.5. Завдання для самоконтролю	88
2.5.1. Тести	88
2.5.2. Контрольні завдання та запитання	99
2.5.3. Задачі	101
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЇ З МАРКЕРНИМИ МЕТОДАМИ ДОСТУПУ	110
3.1. Загальна характеристика маркерних технологій.....	110
3.2. Технологія Token Bus	113
3.2.1. Класифікація станцій в мережі	113
3.2.2. Маркерний метод доступу до шини	114

3.2.3.	Призначення пріоритетів та їх оброблення	116
3.2.4.	Формати кадрів	119
3.2.5.	Процедури керування	120
3.3.	Технологія Token Ring	124
3.3.1.	Маркерний метод доступу до кільця.....	124
3.3.2.	Пріоритетне оброблення маркера та кадрів	125
3.3.3.	Формати кадрів.....	127
3.3.4.	Фізична структуризація мережі	132
3.3.5.	Використання Token Ring на сортувальній гірці	134
3.4.	Технологія FDDI	145
3.4.1.	Види підключення вузлів	145
3.4.2.	Типи портів	146
3.4.3.	Особливість методу доступу.....	148
3.4.4.	Процеси керування.....	150
3.4.5.	Використання технології FDDI в мережах на залізничному транспорті	154
3.5.	Завдання для самоконтролю	161
3.5.1.	Тести	161
3.5.2.	Контрольні завдання та запитання	172
3.5.3.	Задачі	174

РОЗДІЛ 4. ПОБУДОВА ОБ'ЄДНАНИХ МЕРЕЖ ТА ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ НА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЯХ		180
4.1.	Інформаційні мережі залізничного транспорту на основі комутаторів ряду Ethernet	180
4.1.1.	Постановка задачі.....	180
4.1.2.	Діаграми станів порту комутатора	182
4.1.3.	Імітаційна модель з комутатором	186
4.1.4.	Висновки	190
4.2.	Використання технології 100VG-anyLAN в інформаційних системах на залізничному транспорті	190
4.2.1.	Постановка задачі	190
4.2.2.	Формальні моделі станції та концентратора.....	192
4.2.3.	Програмна імітаційна модель 100VG-anyLAN.....	195
4.2.4.	Алгоритм прозорого моста	199
4.2.5.	Імітаційна модель VG.....	200
4.2.6.	Дослідження впливу факторів на час реакції мережі.....	201
4.2.7.	Висновки.....	204
4.3.	Технологія VLAN	205
4.3.1.	Постановка задачі.....	205
4.3.2.	Способи організації VLAN.....	206
4.3.3.	Модель комутатора, сумісного з IEEE 802.1Q	208
4.3.4.	Алгоритм покривного дерева.....	210
4.3.5.	Формат пакета BPDU.....	211
4.3.6.	Програмна модель VLAN.....	212
4.3.7.	Тестування програмної моделі VLAN	214
4.3.8.	Висновки	221
4.4.	Гетерогенні мережі в інформаційних системах залізничного транспорту	222

4.4.1. Постановка задачі.....	222
4.4.2. Класифікація алгоритмів маршрутизації	224
4.4.3. Аналіз алгоритмів пошуку найкоротшого шляху.....	230
4.4.4. Дослідження протоколів внутрішньої маршрутизації в комп'ютерних мережах Придніпровської залізниці.....	234
4.4.5. Висновки	244
4.5. Завдання для самоконтролю	245
4.5.1. Тести	245
4.5.2. Контрольні завдання та запитання	249
ЗАКІНЧЕННЯ.....	251
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	253
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	257

Технології з маркерними методами доступу

3.1. Загальна характеристика маркерних технологій

Існує два маркерних методи: маркерний метод доступу до шини й маркерний метод доступу до кільця. Кожен вузол приймає кадри лише від попереднього й посилає лише наступному вузлу по кільцю. Вузол транслює далі по мережі всі кадри, а обробляє лише ті, що адресуються йому. На рис. 3.1 наведено топології мереж із маркерними методами доступу. Як у мережі з маркерним методом доступу до шини, так і в мережі з маркерним методом доступу до кільця логічною топологією є «кільце».

Усі маркерні технології є *детермінованими*. Це означає, що можна обчислити максимальний час, що пройде, перш ніж будь-яка кінцева станція зможе передавати дані. Крім того, усі маркерні технології є відмовостійкими, дозволяють передавати більший обсяг користувальницьких даних і обробляти дані різних пріоритетів (у технологіях Token Bus і Token Ring існує вісім пріоритетів; у технології FDDI (Fiber Distributed Data Interface) – два типи трафіка: синхронний та асинхронний). Пріоритетне оброблення даних виконується за різними алгоритмами, а саме: у технології Token Bus покладена ідея обслуговування різних класів доступу (6, 4, 2, 0), а в технології Token Ring реалізована ідея на основі пріоритету маркера.

У той же час усі маркерні технології мають один загальний недолік – високу вартість, пов'язану з реалізацією процедур керування.

Порівняльна характеристика технологій з маркерними методами доступу наведена у вигляді табл. 3.1.

У кожному з маркерних методів по мережі циркулює спеціальний кадр керування, що називається *маркером (токеном)*. Володіння маркером гарантує право передачі даних. Якщо станції, що одержала маркер, не потрібно виконувати передачу даних, маркер переправляється до наступної станції в логічному кільці.

Кожна станція може утримувати маркер протягом певного часу, що називається *часом утримання маркера (Token Holding Time, ТНТ)*. Час утримання маркера є мережною константою (для різних технологій її

значення різне); звичайно призначається таким, щоб здійснити передачу 1, 2 чи 3 кадрів даних.

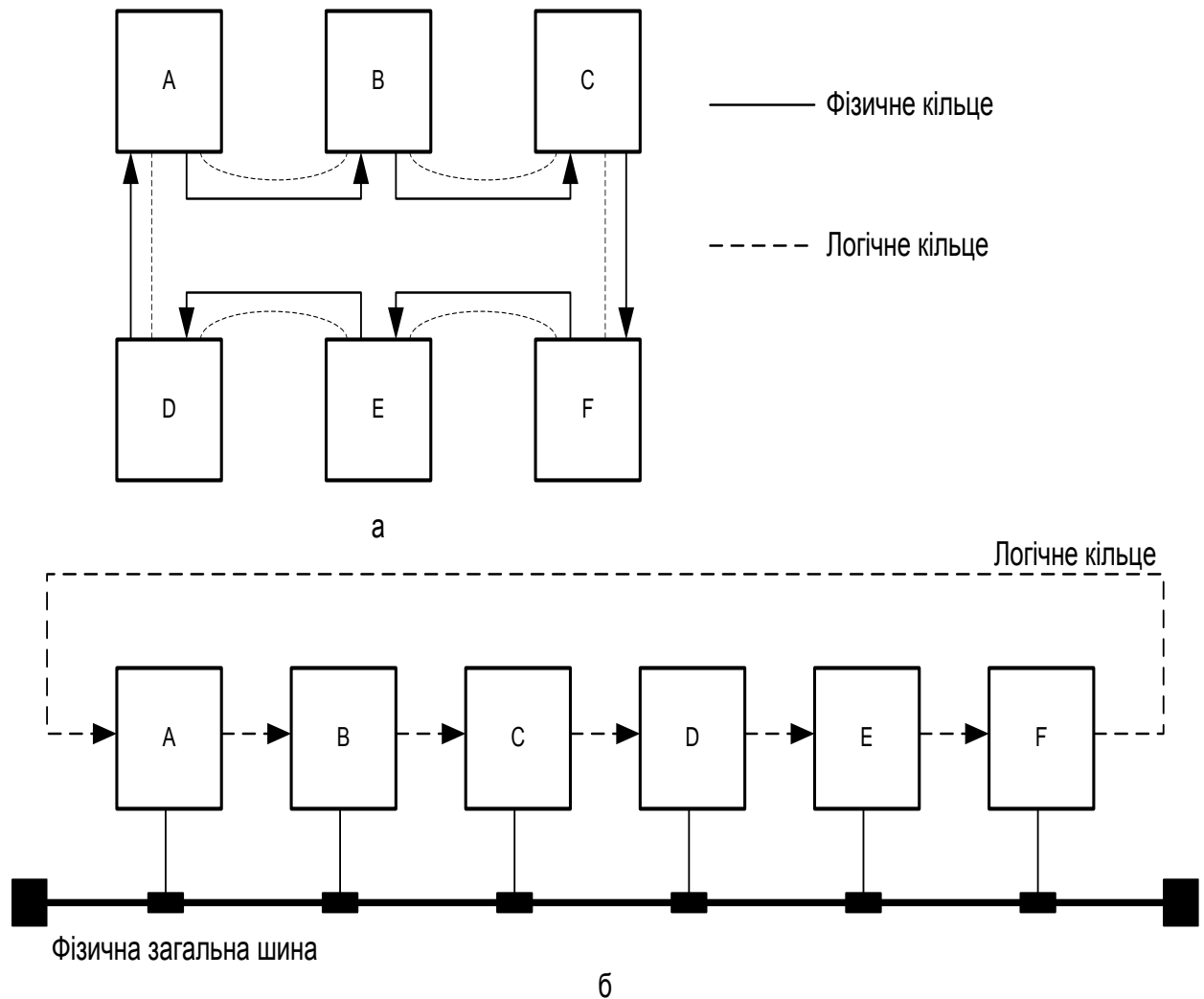


Рис. 3.1. Логічні й фізичні топології мереж:

a – за маркерним методом доступу до кільця; *б* – за маркерним методом доступу до шини

Час обертання маркера (Token Rotation Time, TRT) – це максимальний час, за який маркер повинний бути отриманий станцією для передачі даних. Цей час може бути розрахований за формулою

$$TRT = \sum_{i=1}^n t_i^{udm} + nt^{pm}, \quad (3.1)$$

- де n – кількість станцій у мережі;
 t_i^{udm} – фактичний час перебування маркера на i -й станції;
 t^{pm} – необхідний час на передачу маркера.

Порівняння технологій з маркерними методами доступу

Параметр	ArcNet	Token Bus	Token Ring	FDDI
Метод доступу	Маркерний метод доступу до шини		Маркерний метод доступу до кільця	
Фізична топологія	Зірка	Шина	Зірково-кільцева	Подвійне кільце дерев
Логічна топологія	Кільце			
Швидкість передачі даних, Мбіт/с	2,44	1–20	4 або 16	100
Максимальна кількість станцій	255		260 (STP), 72 (UTP)	500 (на кільце)
Відмовостійкість	Низька		Середня	Висока
Стандарт	Datapoint	IEEE 802.4	IEEE 802.5	ISO 9314
Фізичне середовище	Коаксіал, кручена пара		Багатомодове оптоволокно, екранована та неекранована кручена пара	Оптоволокно, кручена пара
Спосіб кодування	Манчестерський			4В/5В
Максимальна довжина фізичного сегмента, м	0,9	185	100 (STP), 45 (UTP)	2 000
Складність обслуговування	Середня		Висока	

Фактичний час перебування маркера на i -й станції може бути розрахований за формулою

$$t_i^{udm} = mt_{\text{пер}}, \quad (3.2)$$

де m – кількість переданих кадрів;

$t_{\text{пер}}$ – необхідний час на передачу одного кадру даних (може бути знайдений як відношення довжини переданого кадру до швидкості передачі).

3.2. Технологія Token Bus

3.2.1. Класифікація станцій мережі

Операції стійкого стану (стан мережі зі встановленим логічним кільцем і відсутністю помилкових умов) потребують, щоб кожна станція після закінчення своєї передачі передала маркер конкретній станції-наступнику. *Станція-наступник* – це станція, яка отримала маркер, *станція-попередник* – станція, яка передала маркер (рис. 3.2).

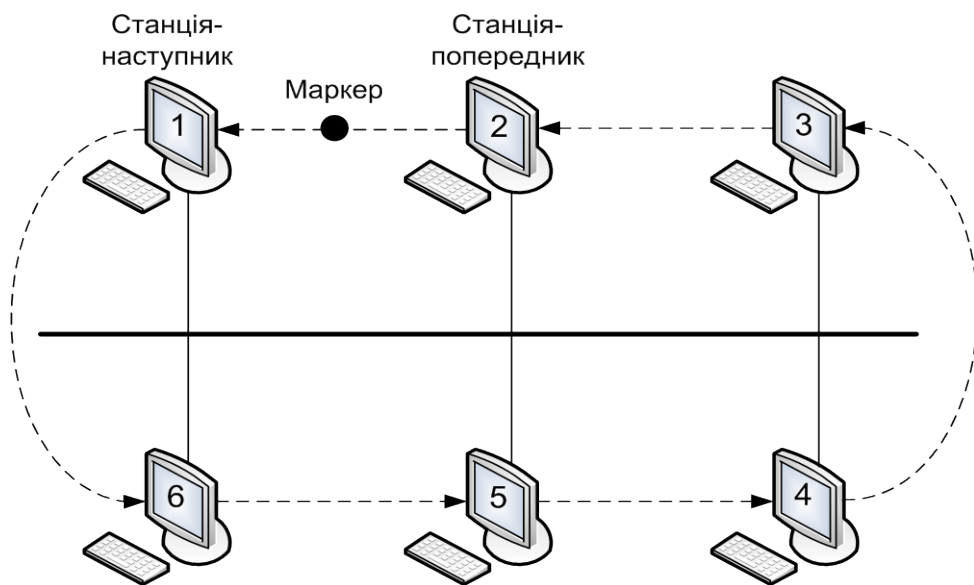


Рис. 3.2. Станція-наступник та станція-попередник

Активна станція – станція, яка входить в логічне кільце, *пасивна станція* – станція, яка не входить в логічне кільце (рис. 3.3).

Станція-отримувач – станція, яка приймає дані, *станція-відправник* – станція, яка відправляє дані (рис. 3.4).

Маркер (право на передачу) передається по черзі всім станціям логічного кільця. Кожна станція мережі знає свою адресу, адресу свого попередника, адресу свого наступника. Адреси попередника та наступника визначаються динамічно й підтримуються алгоритмами. Кожного разу, коли станція змінює свого наступника, вона передає інформацію про ці зміни диспетчеру станції.

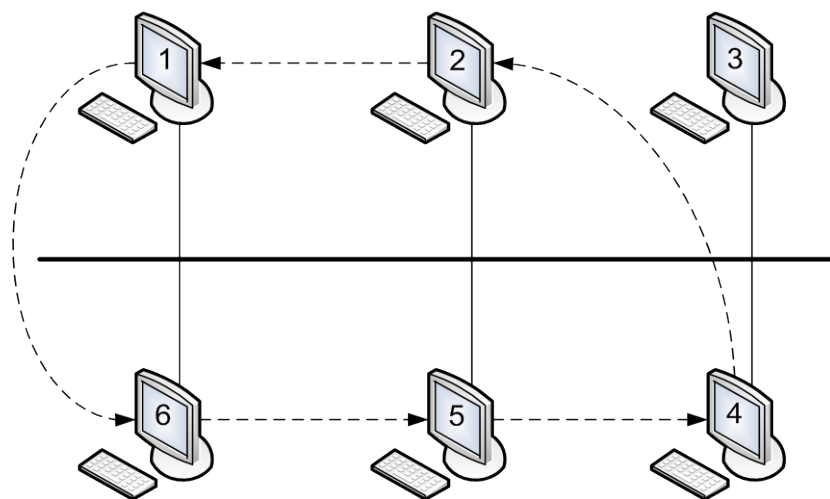


Рис. 3.3. Активні (1, 2, 4, 5, 6) та пасивна (3) станції

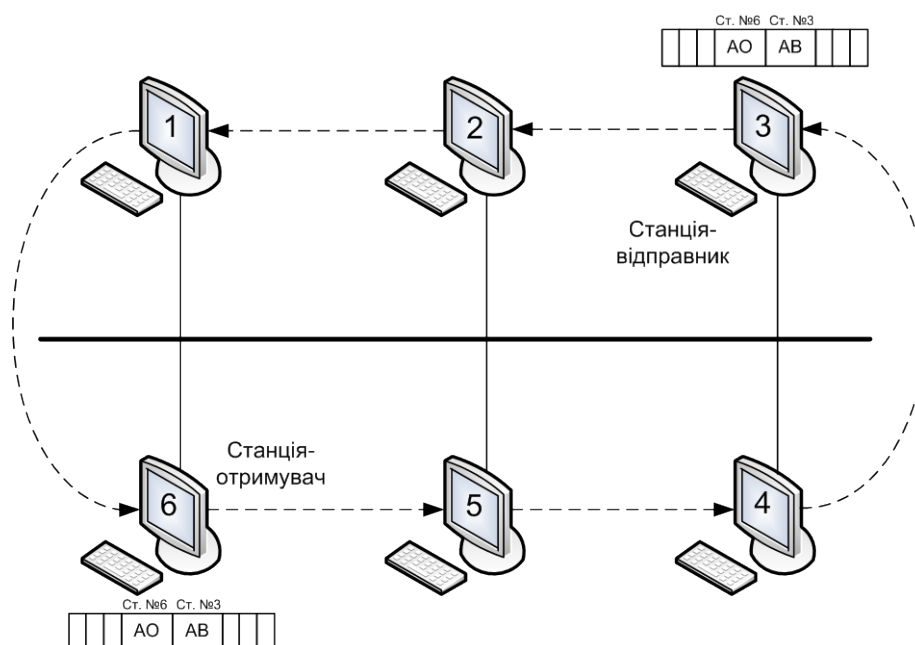


Рис. 3.4. Станція-отримувач та станція-відправник даних

3.2.2. Маркерний метод доступу до шини

Розглянемо діаграму станів каналного рівня маркерного методу доступу до шини (стійкий стан) (рис. 3.5).

Більшість часу станція перебуває в стані «Прослуховування». Коли надходять дані, які не адресовані цій станції, вона продовжує прослуховувати мережу. У разі надходження даних, які адресовані саме їй, станція їх приймає та по завершенні повертається в режим «Прослуховування». Станція приймає маркер у разі його появи (стан «Прийняття маркера») та аналізує, чи є в неї дані для передачі. Якщо немає – станція переходить у стан «Передачі маркера» і по завершенні

переходить у стан «Прослуховування». Якщо на станції є дані для передачі – станція переходить у стан «Передачі даних» та після дострокового завершення передачі або вичерпання часу втримання маркера переходить у стан «Передачі маркера», по завершенні якого повертається в стан «Прослуховування».

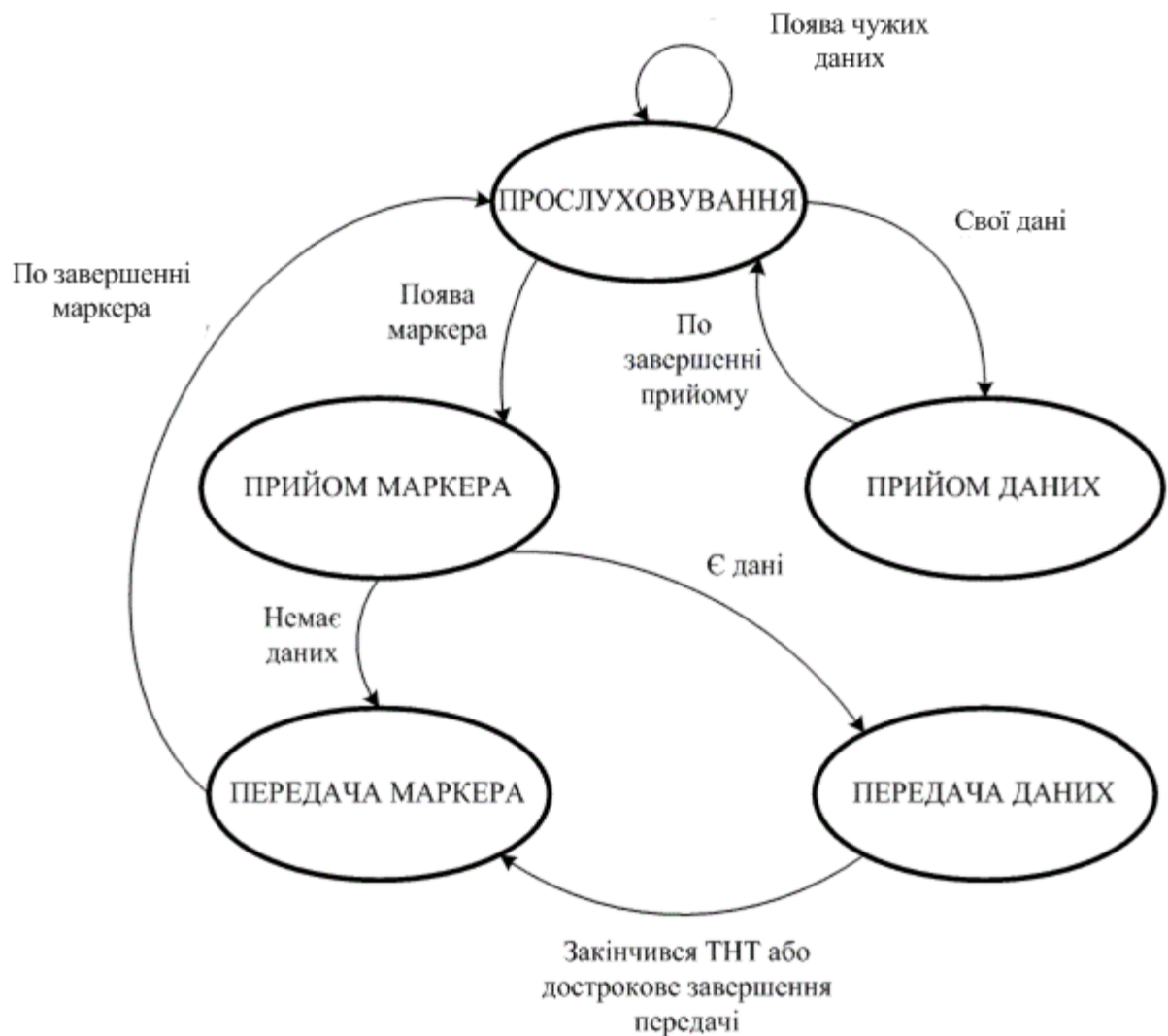


Рис. 3.5. Діаграма станів каналного рівня станції за маркерного методу доступу до шини (стійкий стан)

3.2.3. Призначення пріоритетів та їх оброблення

Метод маркерного доступу забезпечує факультативний механізм призначення пріоритетів, який кадрам даних, що чекають передачі, призначає різні «класи обслуговування», які класифікуються за бажаною пріоритетністю передачі. Пріоритет кожного кадру визначається класом обслуговування. У методі маркерного доступу до шини розрізняються чотири черги запитів для зберігання кадрів, які

чекають на передачу. Класи доступу іменуються номерами 0, 2, 4 і 6; при цьому 6 – вищий пріоритет, 0 – нижчий пріоритет. Значення пріоритету, яке вводиться в поле «керування кадром», перетвориться в клас доступу шляхом відкидання найменш значущого біта в полі пріоритету. Таким чином, класи обслуговування 0 і 1 відповідають класу доступу 0, класи обслуговування 2 і 3 – класу доступу 2, класи обслуговування 4 і 5 – класу доступу 4 і класи обслуговування 6 і 7 – класу доступу 6. Будь-яка станція, яка не використовує факультативної можливості призначення пріоритетів, повинна передавати кожен кадр даних із класом доступу 6.

Мета системи пріоритетів – надати смугу пропускання мережі для передачі кадрів вищого пріоритету й передавати кадри нижчого пріоритету лише за наявності достатньої смуги пропускання. Кожному класу доступу призначається «бажаний» час обертання маркера. Для кожного класу доступу станція вимірює час, який витрачає її маркер на циркуляцію по логічному кільцю. Якщо маркер повертається на станцію за менший час, ніж бажаний час обертання маркера, станція може передавати кадри даного класу доступу до тих пір, поки не вичерпається цей час. Якщо ж маркер повертається після виділення бажаного часу його повернення, станція не може передавати кадри даного пріоритету за такого часу передачі маркера.

Кожна станція, що використовує факультативний метод призначення пріоритетів, повинна мати три таймери обертання маркера для трьох нижчих класів доступу. Для кожного класу доступу є черга кадрів, що підлягають передачі. Коли станція приймає маркер, вона спочатку обслуговує чергу найвищого класу доступу. Після передачі всіх кадрів вищого пріоритету станція приступає до обслуговування таймерів обертання маркера й черг, переходячи від вищих до нижчих класів доступу.

Кожен клас доступу діє як віртуальна підстанція в тому розумінні, що право на передачу передається усередині неї, переходячи вниз від найвищого класу доступу до найнижчого через усі інші класи, після чого відбудеться перехід до наступника станції.

Алгоритм обслуговування класів доступу полягає в завантаженні залишкового значення тайм-ауту обертання маркера в таймер утримання маркера й перезавантаженні того ж таймера обертання маркера бажаний час обороту для даного класу доступу. (Таким чином, передані станцією кадри заданого класу доступу враховуються в підрахунку часу обертання наступного маркера цього класу доступу.) Якщо тайм-аут утримання маркера має залишкове позитивне значення, то станція може передавати кадри цього класу доступу до тих пір, поки

або не спливе тайм-аут утримання маркера, або черга для цього класу доступу не стане порожньою. У разі настання будь-якої з цих подій станція приступає до обслуговування наступного нижнього класу доступу. Після обслуговування найнижчого класу станція виконує будь-яке необхідне обслуговування логічного кільця й передає маркер своєму наступнику.

Розглянемо модифіковану діаграму станів каналного рівня за маркерного методу доступу до шини з класами доступу обслуговування кадрів (стійкий стан) (рис. 3.6).

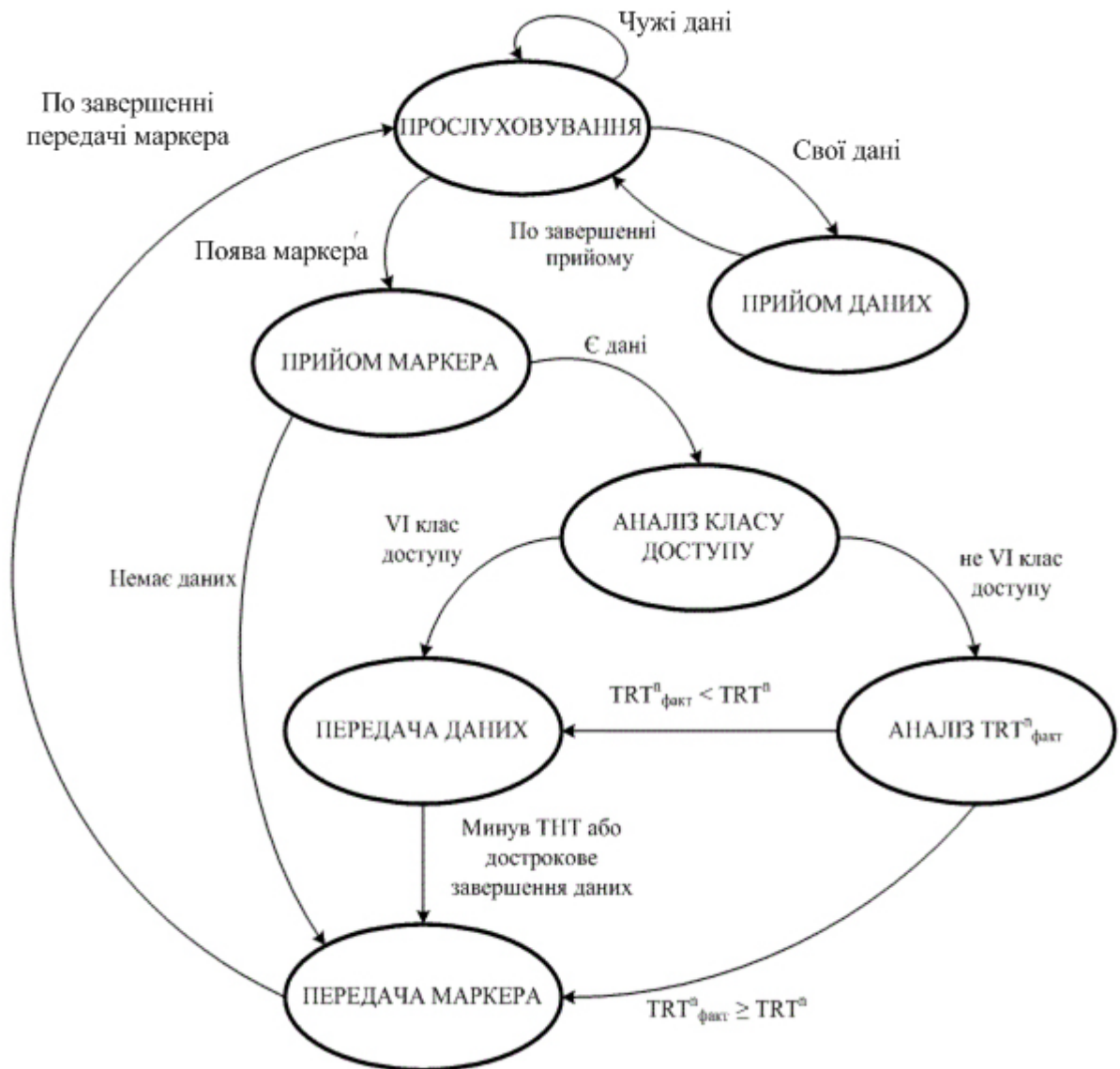


Рис. 3.6. Діаграма станів каналного рівня станції за маркерного методу доступу до шини з класами доступу обслуговування (стійкий стан)

Більшість часу станція перебуває в стані «Прослуховування». Коли надходять дані, які не адресовані цій станції, вона продовжує прослуховувати середовище. У разі надходження даних, які адресовані саме їй, станція їх приймає (стан «Прийом даних») та по завершенні повертається в стан «Прослуховування». У разі появи маркера

канальний рівень станції потрапляє в стан «Прийом маркера», що аналізує, чи є в станції дані для передачі. Якщо їх немає, станція переходить у стан «Передача маркера», по завершенні якого – у стан «Прослуховування».

Якщо на станції є дані для передачі, то канальний рівень переходить до стану «Аналіз класу доступу»; якщо є дані шостого класу доступу, потрапляє до стану «Передача даних», у якому станція передає саме такі дані. Після цього, якщо даних більше немає або завершився час утримання маркера, настає стан «Передача маркера», де він передається наступній станції мережі та повертається в стан «Прослуховування».

Якщо немає даних шостого класу доступу (але є дані інших класів доступу), стан «Аналіз класу доступу» змінюється на стан «Аналіз $TRT_{факт}^n$ ». Якщо $TRT_{факт}^n < TRT^n$, то передача кадру даних n -го класу доступу можлива; причому передача даних ведеться з 4-го по 0-й клас доступу. Якщо $TRT_{факт}^n \geq TRT^n$, то здійснюється передача маркера та повернення в стан «Прослуховування».

3.2.4. Формати кадрів

Розглянемо формат кадру за маркерного методу доступу до шини (довжина блоків у октетах) (рис. 3.7).

Умовні позначення: ПО – початковий обмежувач; КК – керування кадру ; АО – адреса отримувача; АВ – адреса відправника; БД – блок даних; КПК – контрольна послідовність кадру; КО – кінцевий обмежувач. Кількість октетів між ПО і КО (без ПО і КО) повинна дорівнювати 8191 або менше.



Рис. 3.7. Формат кадру за маркерного методу доступу до шини

Октет керування кадром визначає, який тип кадру з наведених нижче категорій передається: дані керування логічною ланкою або керування доступом до середовища. Формат КК в кадрі керування наведено на рис. 3.8.

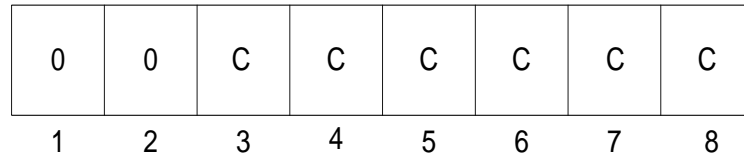


Рис. 3.8. Октет керування в кадрі керування

Умовні позначення: СССССС – тип кадру керування, кодується таким чином, як показано на рис. 3.9.

Формат КК в кадрі даних наведено на рис. 3.10. Умовні позначення: FF – тип кадру; МММ – дія керування доступом до середовища; РРР – пріоритет.

С	С	С	С	С	С	
3	4	5	6	7	8	
0	0	0	0	0	0	Заявка маркера
0	0	0	0	0	1	Запит наступника 1
0	0	0	0	1	0	Запит наступника 2
0	0	0	0	1	1	Хто наступний?
0	0	0	1	0	0	Дозвіл суперництва
0	0	1	0	0	0	Маркер
0	0	1	1	0	0	Встановити наступника

Рис. 3.9. Кодування типу кадру керування

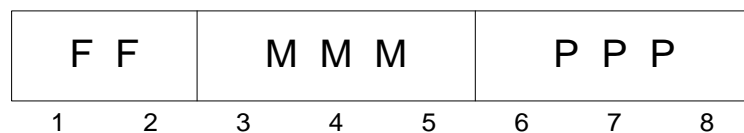


Рис. 3.10. Октет керування в кадрі даних

3.2.5. Процедури керування

Процедура «Ініціація логічного кільця» запускається по завершенні в одній зі станцій тайм-ауту неактивності. Відповідну діаграму станів

зображено на рис. 3.11.

Більшу частину часу станція перебуває в стані «Прослуховування». По закінченні тайм-ауту неактивності станція переходить у стан «Заявка маркера», у якому виконує передачу відповідного кадру. Кожен можливий ініціатор передає такий кадр, у якого довжина поля «блок даних» визначається на підставі двох бітів адреси станції. Кожна ініціююча станція чекає протягом одного інтервалу відповіді. По закінченні одного інтервалу відповіді станція переходить знову в стан «Прослуховування».

Якщо вона розпізнала немовчання, то приходить до висновку, що якась станція веде передачу більшої тривалості і поступається правом на передачу цій станції, припиняючи передачу своїх кадрів (стан «Припинення передачі кадрів»).

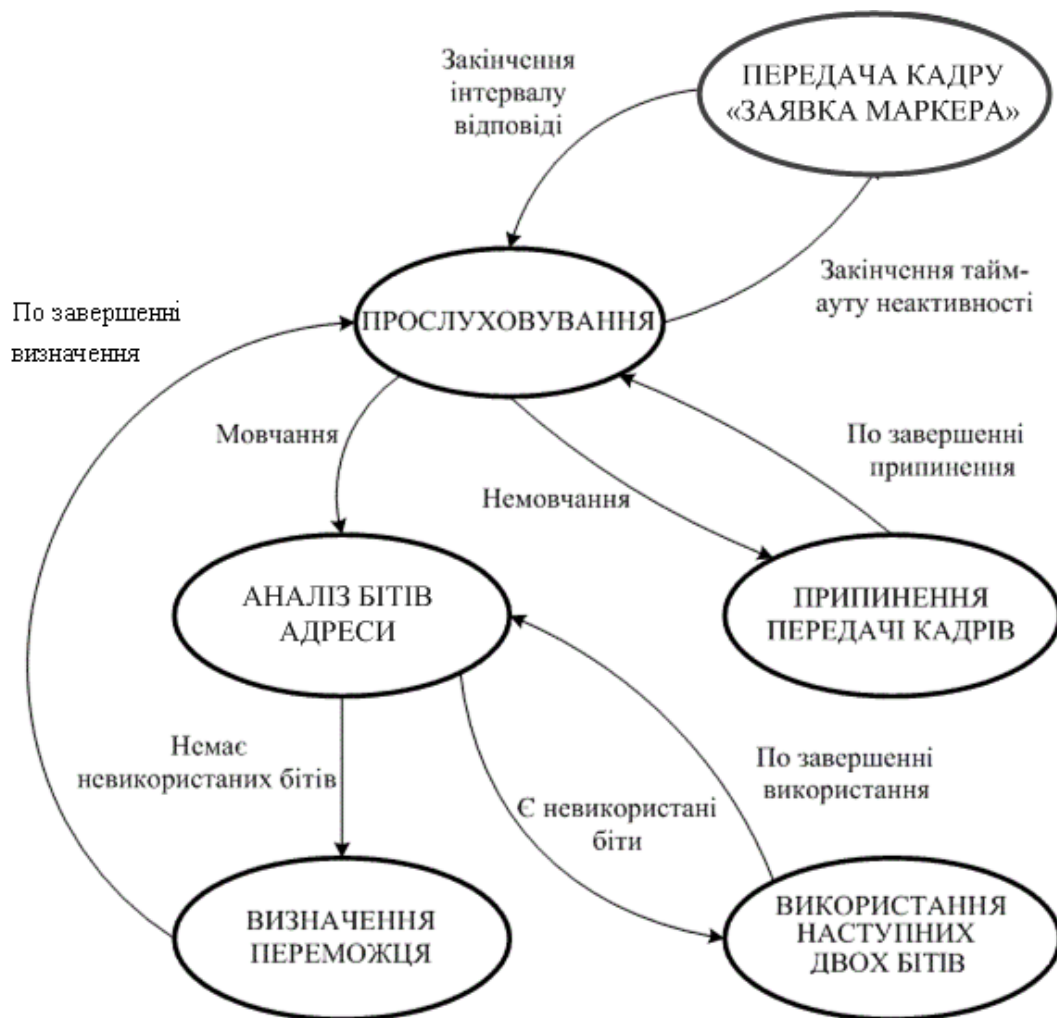


Рис. 3.11. Діаграма станів каналного рівня станції при ініціації логічного кільця

У разі виявлення мовчання станція переходить у стан «Аналіз бітів адреси», у якому перевіряє наявність невикористаних комбінацій бітів адреси для визначення довжини кадру «Заявка маркера», що

передається. За наявності таких бітів станція потрапляє в стан «Використання наступних двох бітів», де використовує для аналізу наступні два біти адреси. Якщо такі біти відсутні та станція розпізнає мовчання, вона переходить у стан «Визначення переможця», тобто станція стає переможцем у суперництві за ініціацію логічного кільця та заволодіває маркером.

Процедура «Вихід станції з логічного кільця». Станція може сама вийти з логічного кільця: таке рішення може прийняти станція, яка володіє маркером. Станція, яка володіє маркером і бажає вийти з логічного кільця, передає кадр «Встановити наступника» своєму попереднику, який містить адресу свого наступника. Потім станція, яка бажає вийти з логічного кільця, передає маркер своєму наступнику.

Процедура «Вхід станції в логічне кільце». Розглянемо діаграму станів каналного рівня станції мережі, що бажає ввійти в логічне кільце (рис. 3.12).

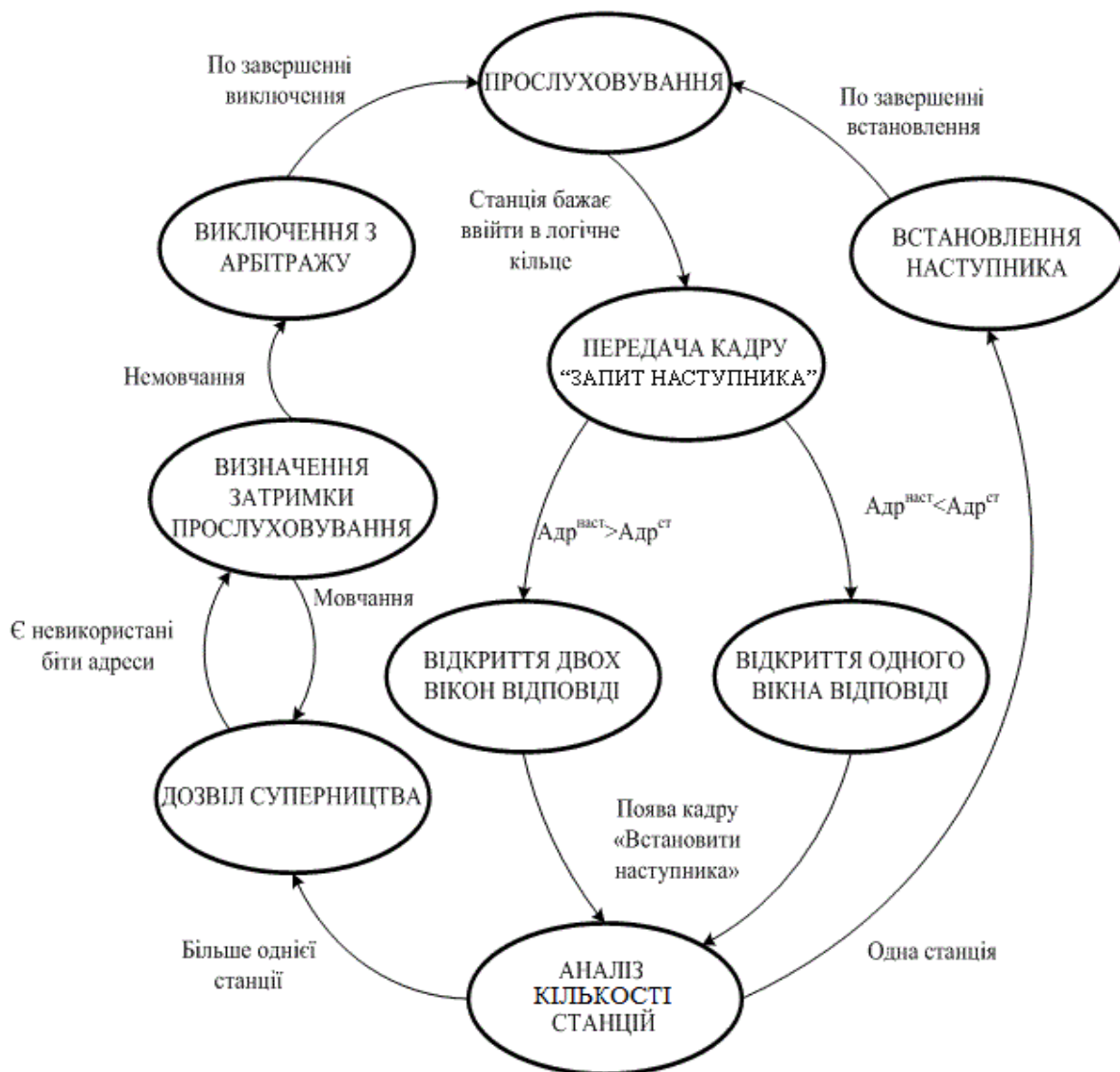


Рис. 3.12. Діаграма станів каналного рівня станції в разі входу в логічне кільце

Більшу частину часу станція перебуває в стані «Прослуховування». Станція, що бажає увійти, передає кадр «Запит наступника» (відповідний стан) для визначення адрес станцій між адресою відправника та одержувача кадру.

Після передачі кадру «Запит наступника» станція очікує надходження відповіді у *вікні відповіді*. Станції, що відповідають, посилають цій станції свої запити стати наступною станцією в логічному

кільці. Якщо адреса наступника менша від адреси станції, що передала запит, то відбувається перехід у стан «Відкриття одного вікна відповіді», тобто очікується відповідь від станцій, адреса яких міститься в діапазоні між адресою передавача маркера та можливого наступника власника маркера. У разі отримання такої відповіді станція переходить у стан «Аналіз кількості станцій».

Якщо адреса наступника більша за адресу даної станції, станція переходить у стан «Відкриття двох вікон відповіді». Перше вікно відповіді відкривається для станцій, адреса яких менша за адресу станції, що передала запит; друге вікно відповіді відкривається для станцій, адреса яких більша за адресу станції, що передала запит.

У разі розпізнання в будь-якому вікні відповіді дійсного кадру, тобто кадру «Встановити наступника», станція переходить у стан «Аналіз кількості станцій». Після отримання відповіді лише від однієї станції станція, що бажає увійти у кільце, знаходить нового наступника (стан «Встановлення наступника»), а станція, яка відповіла, змінює адресу свого наступника на адресу нової станції та передає їй маркер. Таким чином станція входить у кільце й отримує маркер. Отримавши відповіді від декількох станцій одночасно, каналний рівень переходить у стан «Дозвіл суперництва», де починається алгоритм арбітражу та видається відповідний кадр. Якщо є невикористані біти адреси, відбувається перехід у стан «Визначення затримки прослуховування», де станції-суперники обирають величину затримки прослуховування та слухають впродовж 0, 1, 2 або 3 інтервалів відповіді. Якщо станції розпізнають немовчання, то відбувається перехід у стан «Виключення з арбітражу», де вони виключають себе із цього процесу. Якщо вони розпізнають тільки мовчання, то каналний рівень повертається в стан «Дозвіл суперництва». Цей процес зазвичай приводить до встановлення одного нового наступника.

3.3. Технологія Token Ring

3.3.1. Маркерний метод доступу до кільця

Розглянемо діаграму станів канального рівня станції мережі Token Ring – 4 Мбіт/с (рис. 3.13).

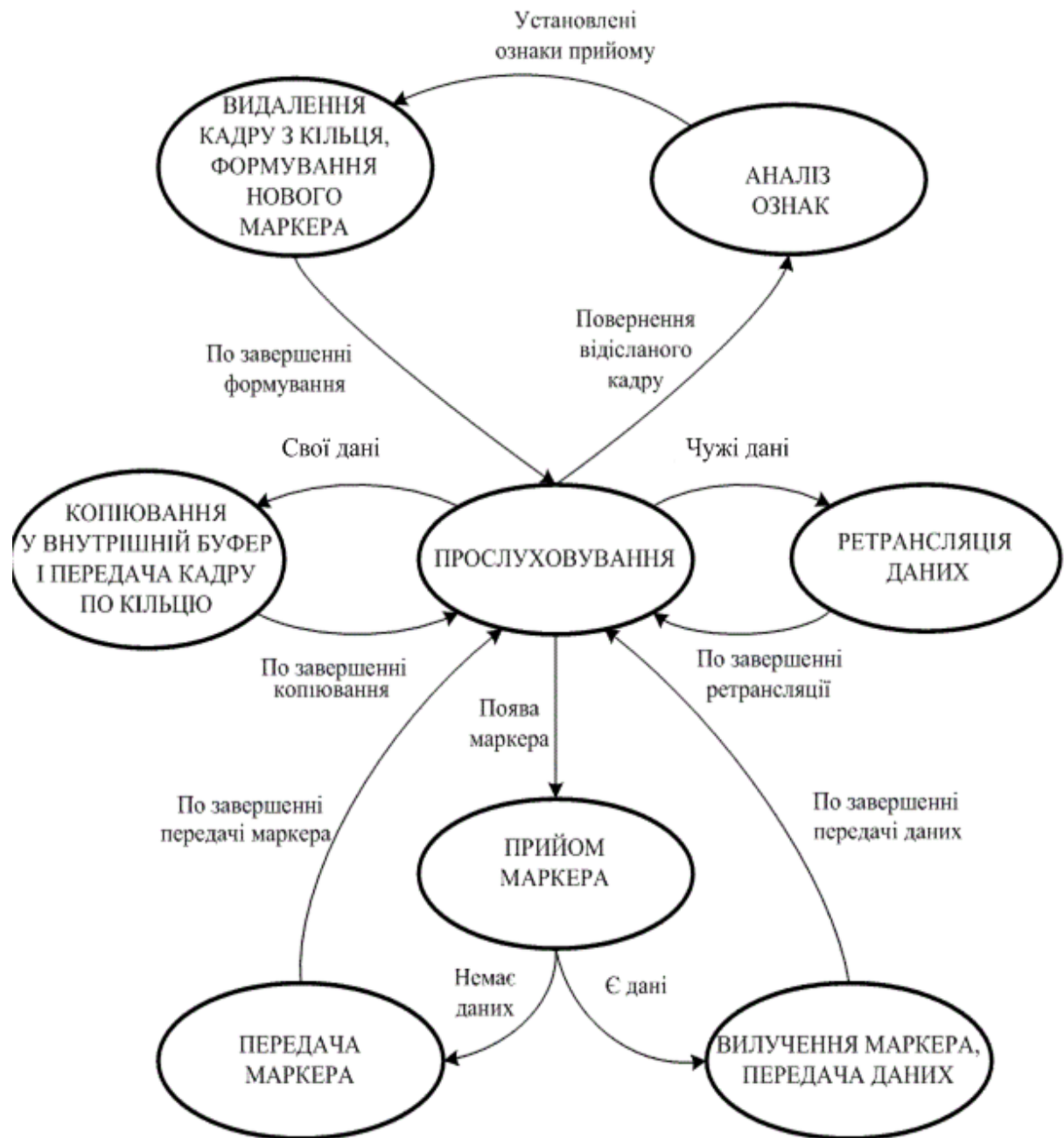


Рис. 3.13. Діаграма станів канального рівня станції Token Ring – 4 Мбіт/с

Більшість часу канальний рівень робочої станції мережі перебуває в стані «Прослуховування». У разі надходження даних, які не адресовані цій станції (чужі дані), канальний рівень переходить до стану

«Ретрансляція даних», по завершенні якого повертається до стану «Прослуховування». Коли надходять дані, які адресовані саме станції (свої дані), вона виконує їх копіювання у внутрішній буфер, встановлює про це відповідну ознаку й передає кадр даних далі по кільцю, по завершенні чого повертається в стан «Прослуховування».

У разі появи маркера станція його приймає (стан «Прийняття маркера») та аналізує, чи є в неї дані для передачі. Якщо немає, то станція переходить у стан «Передача маркера», по завершенні якого повертається в стан «Прослуховування». Якщо на станції є дані для передачі, то станція переходить у стан «Вилучення маркера. Передача даних»; по завершенні цих дій вона переходить у стан «Прослуховування».

Якщо на станцію повертається відісланий нею кадр даних, стан змінюється на «Аналіз ознак». У тому випадку, коли ознака прийому кадру встановлена, стан каналного рівня змінюється: станція остаточно видаляє кадр даних із кільця та формується новий маркер.

3.3.2. Пріоритетне оброблення маркера та кадрів

Хоча механізм пріоритетів у технології Token Ring є, але він починає працювати тільки в тому випадку, коли програма або прикладний протокол вирішують його використовувати. Інакше всі станції матимуть рівні права доступу до кільця. Кожен кадр даних або маркер має пріоритет, що встановлюється бітами пріоритету (значення від 0 до 7, причому 7 – найвищий пріоритет). Розглянемо діаграму станів каналного рівня станції Token Ring – 16 Мбіт/с з використанням механізму пріоритетів (рис. 3.14).

Більшість часу каналний рівень робочої станції мережі перебуває в стані «Прослуховування». У разі надходження даних, які не адресовані цій станції (чужі дані), каналний рівень переходить до стану «Ретрансляція даних», по завершенні якого повертається до стану «Прослуховування».

Якщо надходять дані, які адресовані саме станції (свої дані), вона виконує їх копіювання у внутрішній буфер, встановлює про це відповідну ознаку й передає кадр даних далі по кільцю, по завершенні чого повертається в стан «Прослуховування».

За появи маркера станція його приймає (стан «Прийняття маркеру») та аналізує, чи є в неї дані для передачі. Якщо немає, то станція переходить у стан «Передача маркера», по завершенні якого повертається у стан «Прослуховування». Якщо на станції є дані для передачі, то станція переходить у стан «Аналіз пріоритету».

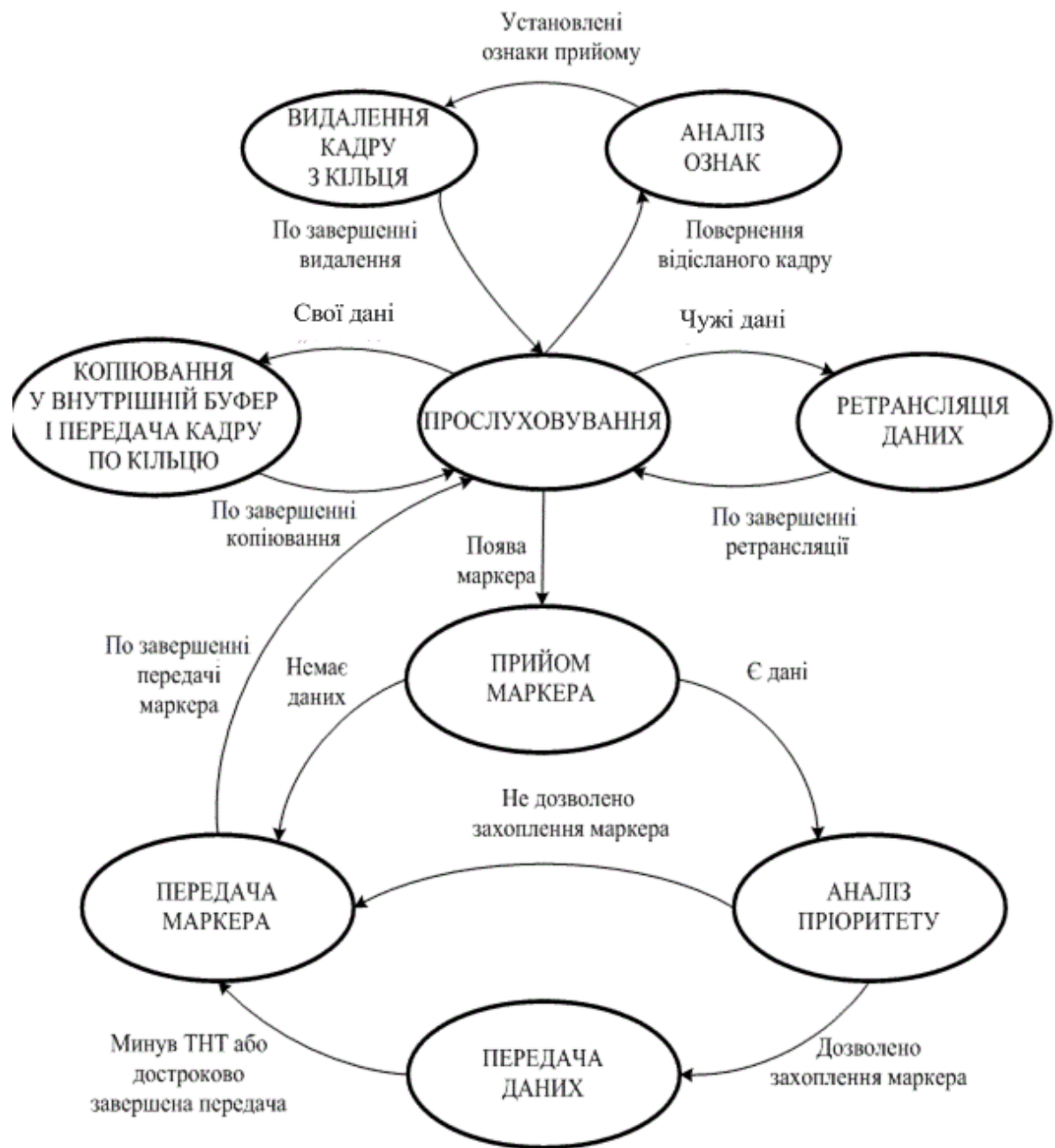


Рис. 3.14. Діаграма станів канального рівня станції Token Ring – 16 Мбіт/с (механізм пріоритетів)

Станція може скористатися маркером тільки тоді, коли в неї є кадри для передачі з пріоритетом, рівним або більшим, ніж пріоритет маркера; тоді канальний рівень переходить у стан «Передача даних».

Якщо передача даних завершена достроково або минув час утримання маркера, канальний рівень переходить до стану «Передача маркера», де станція переписує значення резервного пріоритету в поле пріоритету маркера, а резервний пріоритет обнуляється (за наступного проходу маркера по кільцю його захопить станція, що має найвищий пріоритет); після чого вона потрапляє до стану «Прослуховування».

Мережний адаптер станції з кадрами, у яких пріоритет нижчий, ніж

пріоритет маркера, не може захопити маркер, але може помістити найбільший пріоритет своїх кадрів, що чекають передачі, у резервні біти маркера, але тільки в тому випадку, якщо записаний у резервних бітах пріоритет нижче його власного. У результаті в резервних бітах пріоритету встановлюється найвищий пріоритет станції, яка намагається дістати доступ до кільця, але не може цього зробити через високий пріоритет маркера. По завершенні передачі маркера каналний рівень станції повертається в початковий стан.

Нарешті, якщо на станцію повертається відісланий нею кадр даних, стан змінюється на «Аналіз ознак». У тому випадку, коли ознаку прийому кадру встановлено, стан каналного рівня змінюється: станція остаточно видаляє вже відісланий кадр даних із кільця та формується новий маркер.

3.3.3. Формати кадрів

У Token Ring є три різних формати кадрів: маркер, кадр даних, кадр припинення.

Кадр маркера складається з трьох полів, кожне довжиною один байт:

1. Початковий обмежувач (Start Delimiter, SD) з'являється на початку маркера, а також на початку будь-якого кадру, що проходить мережею. Це поле являє собою унікальну послідовність символів манчестерського коду – EN0EN000. Саме тому початковий обмежувач неможливо сплутати ні з якою бітовою послідовністю всередині кадру.

2. Керування доступом (Access Control) складається з чотирьох підполів: PPP, T, M, RRR, де PPP – біти пріоритету, T – біт маркера, M – біт активного монітора, RRR – резервні біти пріоритету. Біт T, що встановлено у 1, вказує на те, що даний кадр є маркером доступу. Біт монітора встановлюється у 1 активним монітором та у 0 будь-якою іншою станцією, що передає маркер або кадр. Якщо активний монітор бачить маркер або кадр, що містить біт монітора зі значенням 1, то активний монітор знає, що цей кадр або маркер вже одного разу обійшов кільце та залишився необробленим станціями. Якщо це кадр, то він видаляється з кільця, якщо це маркер – активний монітор передає його далі кільцем.

3. Кінцевий обмежувач (End Delimeter, ED) – останнє поле маркера. Так само, як і поле початкового обмежувача, це поле містить унікальну послідовність манчестерських кодів JK1JK1, а також два однобітових індикатори: IF та ED. Біт-індикатор проміжного кадру (IF) дорівнює нулю, якщо кадр є останнім або єдиним кадром у послідовності. Одиниця в цьому біті вказує на те, що цей кадр не є останнім.

3.4.3. Особливість методу доступу

FDDI дозволяє обробляти два типи трафіка (синхронний і асинхронний). За синхронного трафіка необхідно частіше передавати дані, але невеликими порціями, а за асинхронного – рідше, але великими порціями (пріоритет має синхронний трафік). При цьому для різних типів трафіка передбачено різний час утримання маркера: для синхронного трафіка – це константа, яка задається адміністратором мережі, для асинхронного – змінна, яка залежить від того, як швидко маркер обійшов кільце та повернувся на станцію мережі:

$$THT^{ac} = T_MAX - TRT, \quad (3.4)$$

де THT^{ac} – час утримання маркера для асинхронного трафіка (Token Holding Time);

T_MAX – максимально допустимий час обертання маркера по кільцю, який визначається під час процедури Claim Token;

TRT – фактичний час обертання маркера по кільцю (Token Rotation Time).

Максимально допустимий час обертання маркера по кільцю визначається за формулою

$$T_MAX = \min_{1 \leq i \leq n} \{ TTRT_i \}, \quad (3.5)$$

де $TTRT$ – бажаний час обертання маркера, який виставляють робочі станції мережі (у діапазоні від 4 до 165 мс);

n – кількість робочих станцій мережі.

Проаналізуємо діаграму станів канального рівня станції мережі FDDI (рис. 3.33). Більшість часу канальний рівень робочої станції мережі перебуває в стані «Прослуховування». У разі надходження даних, які не адресовані цій станції (чужі дані), канальний рівень переходить до стану «Ретрансляція даних», по завершенні якого повертається до стану «Прослуховування».

Коли надходять дані, які адресовані саме їй (свої дані), станція проводить їх копіювання у внутрішній буфер, установлює про це відповідну ознаку й передає кадр даних далі по кільцю, по завершенні чого повертається в стан «Прослуховування».

Станція приймає маркер у разі його появи (стан «Прийняття маркера») та аналізує, чи є в неї дані для передачі. Якщо немає, то станція переходить у стан «Передача маркера», по завершенні якого повертається в стан «Прослуховування».

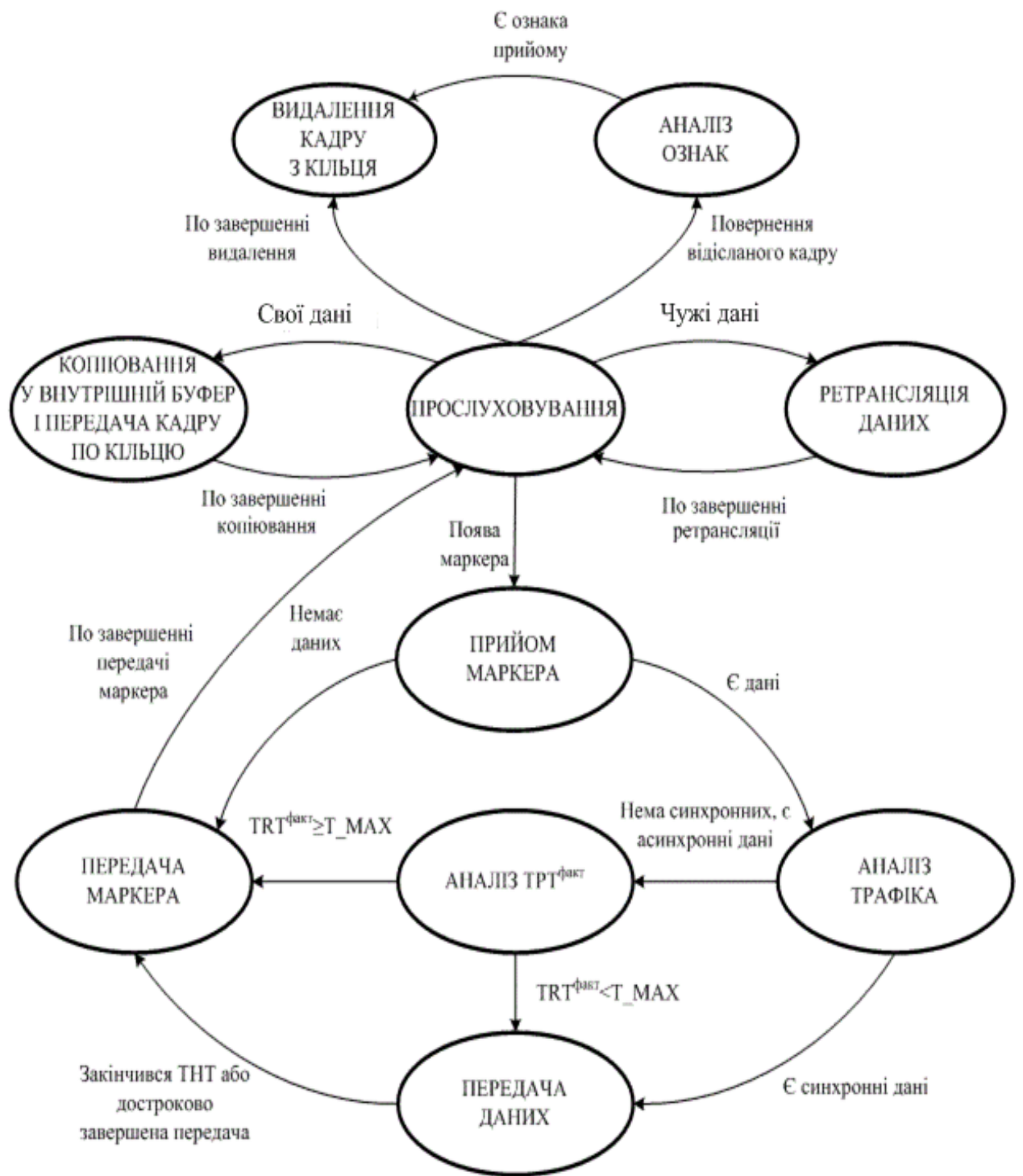


Рис. 3.33. Діаграма станів каналного рівня станції FDDI

Якщо на станції є дані для передачі, то станція переходить у стан «Аналіз трафіка». За наявності обох типів трафіка (синхронного й асинхронного) пріоритет має синхронний трафік. За наявності даних синхронного трафіка відбувається перехід у стан «Передача даних». Якщо передача даних завершена достроково або минув час утримання маркера, каналний рівень переходить до стану «Передача маркера»; після чого потрапляє до стану «Прослуховування».

Якщо синхронний трафік відсутній, але є дані асинхронного трафіка, каналний рівень потрапляє до стану «Аналіз $TRT^{факт}$ », у якому станція аналізує фактичний час обертання маркера, що знімається з таймера. У разі виконання умови $TRT^{факт} < T_MAX$ (достроковий прихід маркера на станцію) станція переходить у стан «Передача даних». Якщо виконується протилежна умова – $TRT^{факт} \geq T_MAX$ (прихід маркера на станцію із запізненням), то станція переходить у стан «Передача маркера». По завершенні передачі маркера станція переходить у режим «Прослуховування».

Якщо станція розпізнає власний кадр даних (кадр, який вона відправила), то вона повинна проаналізувати ознаки розпізнавання адреси та копіювання кадру в полі СК (стан «Аналіз ознак») та знищити цей кадр (стан «Видалення кадру з кільця»).

3.4.4. Процеси керування

Процес ініціалізації логічного кільця Claim Token виконується в декількох ситуаціях: у разі включення нової станції в кільце і виходу станції з кільця; виявлення будь-якою станцією факту втрати маркера (маркер вважається втраченим, якщо станція не спостерігає його протягом двох періодів часу *максимального обертання маркера* T_MAX); у разі виявлення тривалої відсутності активності в кільці, коли станція протягом певного часу не спостерігає проходження через неї кадрів даних; за командою від блока керування станцією SMT (Station Management). Розглянемо діаграму станів каналного рівня станції мережі FDDI за ініціалізації логічного кільця (рис. 3.34). Більшість часу каналний рівень робочої станції мережі перебуває в стані «Прослуховування». Із моменту передачі однією станцій мережі спеціального Claim-кадру зі своїм значенням необхідного часу обертання маркера $TTRT$ MAC-підрівень станції потрапляє в стан «Передача Claim-кадру». Після цього станції починають обмінюватися Claim-кадрами. З появою цього кадру на вході станція переходить у стан «Прийом Claim-кадру» та аналізує його. У разі розпізнавання чужого Claim-кадру станція переходить у стан «Аналіз $TTRT$ », у якому порівнює своє значення $TTRT$ зі значенням, яке вона отримала з чужого Claim-кадру. Якщо $TTRT^{власне} > TRT^{прийняте}$, то станція переходить у стан «Активна ретрансляція Claim-кадрів», тобто припиняє транслювати власні Claim-кадри та починає ретранслювати прийняті.

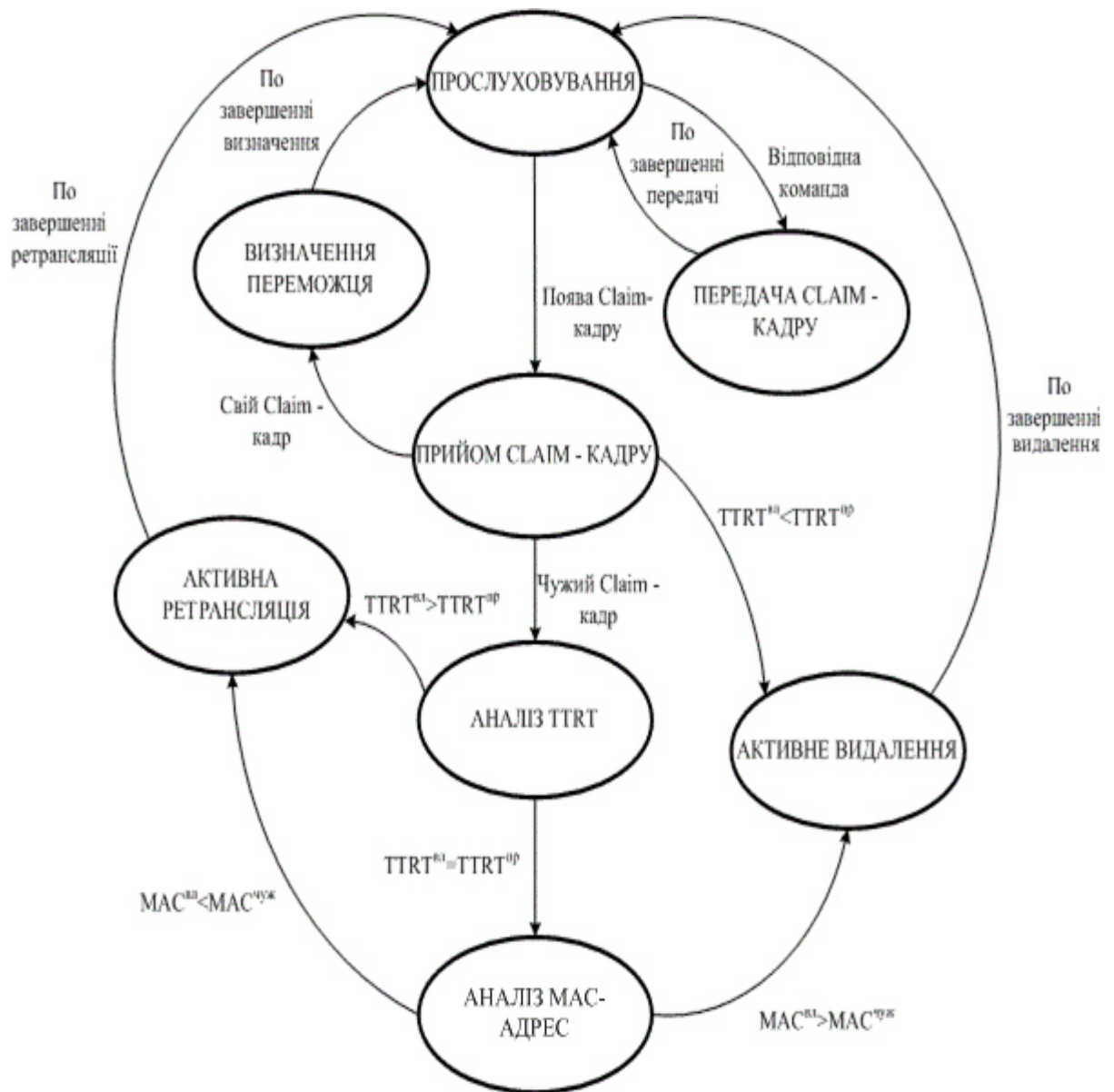


Рис. 3.34. Діаграма станів MAC-підрівня станції FDDI у процедурі Claim Token

У випадку коли $TTRT^{\text{власне}} < TTRT^{\text{прийняте}}$, відбувається перехід у стан «Активне видалення Claim-кадрів», тобто станція видаляє отримані Claim-кадри та починає транслювати свої. Після станів «Активна ретрансляція Claim-кадрів» і «Активне видалення Claim-кадрів» станція переходить у стан «Прослуховування».

За умови $TTRT^{\text{власне}} = TTRT^{\text{прийняте}}$ відбувається перехід у стан «Аналіз MAC-адрес», у якому пріоритет віддається станції з більшим значенням MAC-адреси, тому якщо $MAC^{\text{власний}} < MAC^{\text{чужий}}$, то станція переходить у стан «Активна ретрансляція Claim-кадрів», а якщо $MAC^{\text{власний}} > MAC^{\text{чужий}}$, то в стан «Активне видалення Claim-кадрів».

Якщо станція розпізнала свій Claim-кадр, перебуваючи в стані «Прийом Claim-кадру», то вона стає переможцем, формує маркер

і відправляє його по кільцю – стан «Визначення переможця», а в мережі стає відомим значення T_MAX, яке визначається за формулою (3.5).

Для виконання процедури ініціалізації кожна станція підтримує таймер поточного часу обертання маркера TRT, який використовується також і надалі в роботі кільця в нормальному режимі. Таймер TRT запускається кожною станцією в разі виявлення моменту початку процедури Claim Token. За граничне значення таймера вибирається максимально допустимий час обертання маркера. Якщо таймер TRT завершив рахувати до завершення процедури (це означає її невдале закінчення), кільце не вдалося ініціалізувати. У випадку невдачі процесу Claim Token запускаються процеси Beacon і Trase, за допомогою яких станції кільця намагаються виявити частину кільця, що працює некоректно, і відключити її від мережі.

Процес сигналізації Beacon використовується для ізоляції серйозних ушкоджень кільця. Розглянемо діаграму станів каналного рівня під час виконання відповідного процесу (рис. 3.35).

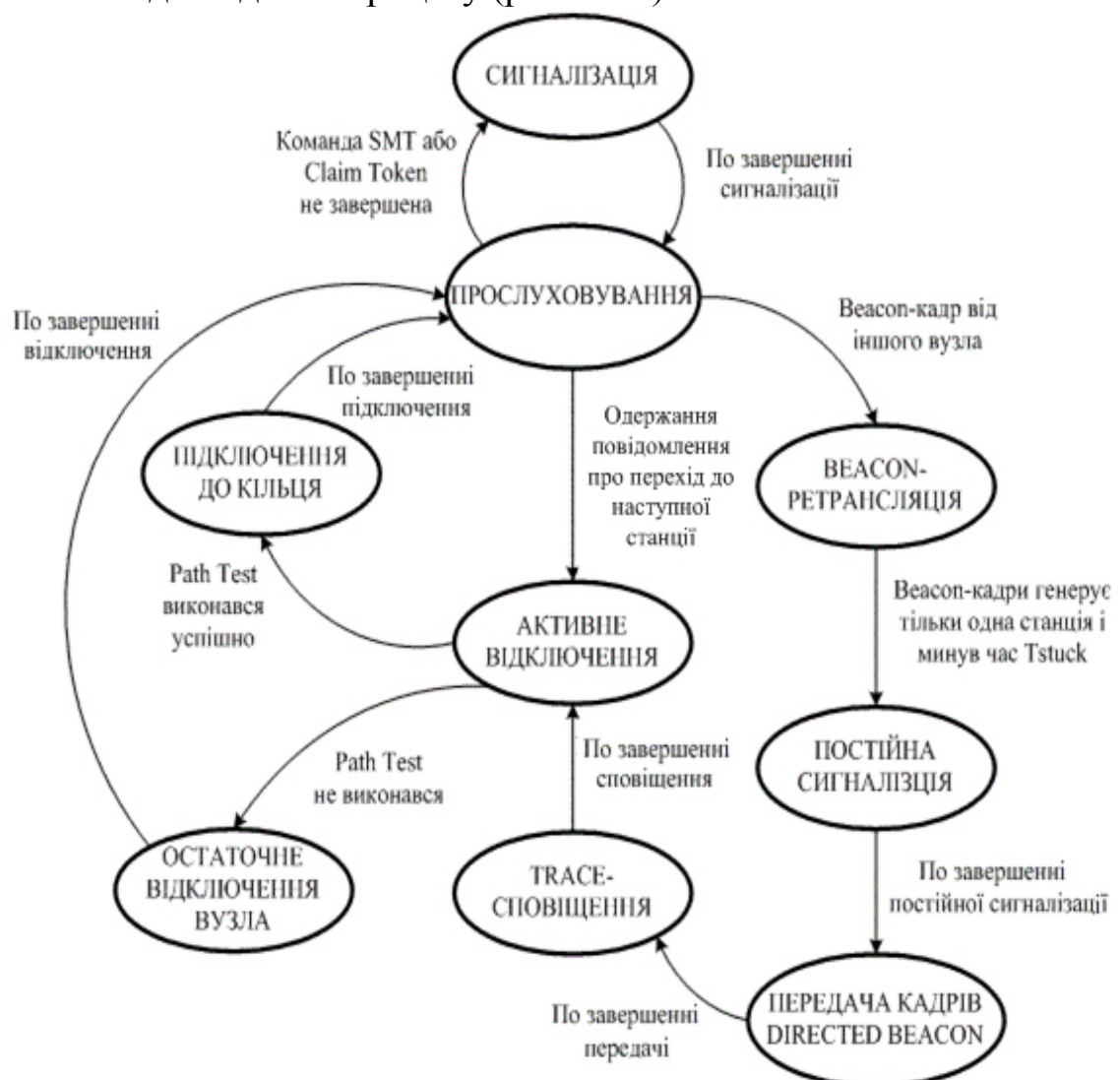


Рис. 3.35. Діаграма станів MAC-підрівня станції FDDI в процесі сигналізації

У стані «Прослуховування» станція аналізує кадри, які проходять через неї. Після отримання спеціальної команди від рівня SMT або після невчасного завершення процедури Claim Token станція переходить у стан «Сигналізація», тобто починає генерувати спеціальні Beacon-кадри та передавати їх у кільце наступного вузла. Коли станція входить у процес Beacon, запускається таймер TRM (Token Ring Management), що вимірює період часу, протягом якого ця станція генерує кадри Beacon.

У разі отримання станцією Beacon-кадру від іншого вузла вона переходить у режим «Beacon-ретрансляція», тобто перестає генерувати й передавати власні Beacon-кадри та починає ретранслювати отримані.

Через деякий час після виникнення аварійної ситуації в кільці всі станції припиняють генерувати Beacon-кадри, крім однієї, яка міститься в кільці безпосередньо за станцією або ділянкою кабелю, що є причиною аварійної ситуації в кільці. На станції, що продовжує генерувати власні Beacon-кадри, аналізується витрачений на це час. Во-на потрапляє в стан «Постійної сигналізації» (Stuck-Beacon) і вважається, що вузол керування конфігурацією не зміг впоратися з виниклою в кільці проблемою. По завершенні Stuck-Beacon посиляється по кільцю станції керування кільцем спеціальний сигнальний кадр Directed Beacon (стан «Передача кадрів Directed Beacon»). Як адреса призначення в кадрі Directed Beacon вказується спеціальна групова адреса, яку станція керування має розпізнати. Поле інформації повинно містити адресу попередньої станції – потенційного винуватця проблеми. Після передачі декількох кадрів Directed Beacon (для надійності) ініціюється процес Trace для визначення домену несправності (групи станцій, які працюють некоректно).

У стані «Trace-сповіщення» станція передає повідомлення попередній станції про те, що вона перейшла в процес Trace. У разі отримання станцією такого повідомлення або по завершенні «Trace-сповіщення» відбувається «Активне відключення» станції від логічного кільця та виконання нею спеціального тесту перевірки внутрішнього шляху Path Test. Станція повинна автономно перевірити передачу символів і кадрів між усіма своїми внутрішніми вузлами, щоб переконатися в тому, що не вона є причиною відмови кільця.

Якщо тест Path Test не виконався, то станція переходить у стан «Остаточне відключення вузла», тобто вона залишається відключеною від логічного кільця. У разі успішного виконання тесту Path Test відбувається перехід у стан «Підключення до кільця», у якому здійснюється відновлення фізичних з'єднань портів; після цього – повернення в стан «Прослуховування».