

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ЦИКЛОВОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ ПРОТОКОЛУ РТР

Коляденко Ю.Ю., Усатий Д.О.

Кафедра інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
Україна.

E-mail: yuliia.koliadenko@nure.ua,
denys.usaty@nure.ua

Abstract

The article presents the results of an analysis of synchronization characteristics in new generation networks using the PTP protocol. The object of the study is the synchronization process in new generation networks using the PTP protocol (IEEE1588v2). The purpose of this work is to analyze the synchronization characteristics in new generation networks using the PTP protocol.

Система циклової синхронізації (СЦС) призначена для відновлення та утримання стану циклового синхронізму між передавальною та приймальною станціями цифрової системи передачі (ЦСП), що забезпечує правильний розподіл групових сигналів по окремих каналах, а також синхронну роботу передавального та приймального обладнання часового групоутворення. Циклова синхронізація здійснюється за допомогою циклового синхросигналу (ЦСС), який вводять у відповідні цифрові потоки.

Нині мережі операторів зв'язку активно впроваджують мережі синхронізації, реалізовані на транспортній мережі IP/MPLS. При збільшенні кількості пристроїв (наприклад, точок доступу) проблеми синхронізації не можуть бути розглянуті приватно і повинні розглядатися системно [1-6]. Спосіб передачі синхронізації, який останнім часом стає все більш популярним, це протокол РТР [7-12]. Слід зазначити, що у відомих роботах відсутній аналіз характеристик синхронізації у мережах нового покоління з використанням протоколу РТР.

Хорошим кодовим словом, що синхронізує, є таке, яке має мале абсолютне значення «побічних максимумів кореляції». Побічний максимум кореляції - це значення кореляції кодового слова із власною зрушеною версією. Отже, це значення побічного максимуму кореляції для зсуву на k символів N -бітної кодової послідовності (X_i) ($1 \leq i \leq N$) описується наступним виразом:

$$C_k = \sum_{j=1}^{N-k} X_j X_{j+k}, \quad (1)$$

де X_i - окремий кодовий символ, який приймає значення $\square 1$;

Система, що використовує синхронізуюче слово, описується двома ймовірностями - ймовірністю пропуску синхронізму та ймовірністю його помилкового встановлення (ймовірністю помилкової тривоги). Ймовірність пропуску для N -бітного слова описується виразом:

$$P_{wc} = \sum_{j=k+1}^N C_j^N p^j (1-p)^{N-j}, \quad (2)$$

де p - ймовірність бітової помилки.

Ймовірність помилкової тривоги, викликана N бітами випадкової послідовності даних, описується виразом:

$$P_{fa} = \frac{1}{2^N} \sum_{j=0}^k C_j^N. \quad (3)$$

Встановлення стану синхронізму в ЦСП передує режим пошуку. Стан циклового синхронізму в ЦСП зазвичай вважається досягнутим з виявленням кодових груп синхросигналу певну кількість разів поспіль.

За способом побудови приймачі циклового синхросигналу можна поділити на адаптивні та неадаптивні. У неадаптивних приймачах ємності накопичувачів по входу та виходу із синхронізму не змінюються у процесі роботи.

Неадаптивні приймачі характеризуються періодом утримання та (або) відновленням синхронізму, що складається з декількох складових:

$$t_r = t_{out.ac} + t_{ac.e} + t_s, \quad (4)$$

де t_r - період утримання та (або) відновлення синхронізму; $t_{out.ac}$ - час накопичення по виходу із синхронізму; $t_{ac.e}$ - час накопичення по входу в синхронізм; t_s - час пошуку синхросигналу.

Процеси, що визначають час утримання та відновлення синхронізму, прийнято характеризувати середнім часом утримання синхронізму, який дорівнює середньому інтервалу часу між двома збоями циклової синхронізації. Збій відбувається при спотворенні синхрогруп, що з'являються одна за одною. При цьому кількість спотворених синхрогруп має бути не меншою за ємність накопичувача після виходу з синхронізму. Одиниця на вході накопичувача з'являється при спотворенні хоча б одного імпульсу синхрогрупи. Імовірність такої події:

$$P(1) = 1 - (1 - P_s)^{n_{sg}}, \quad (5)$$

де P_s - ймовірність спотворення одиночного символу в груповому сигналі; n_{sg} - довжина кодової синхрогрупи.

Середній час утримання циклового синхронізму:

$$\bar{T}_{ret} = \frac{1}{1 - P(1)} \left[\frac{1}{P^{k1}(1)} - 1 \right] T_C, \quad (6)$$

де $k1$ - ємність накопичувача по виходу з синхронізму; T_C - період формування циклового синхросигналу.

Середній час виходу із синхронізму дорівнює середньому часу заповнення накопичувача після виходу із синхронізму. Формування одиниці при збої синхронізму відбувається за відсутності хибного синхросигналу в такті послідовності сигналів генераторного обладнання. Імовірність такої події:

$$P(1) = 1 - \left(\frac{1}{2} \right)^{n_{sg}}. \quad (7)$$

Імовірність нуля або одиниці дорівнюватиме 1/2. За цих умов середній час після виходу із синхронізму описується виразом (6), у якому $P(1)$ визначається за формулою (7). Вираз для середнього часу накопичення після виходу з синхронізму з урахуванням останнього зауваження можна подати у вигляді:

$$\bar{T}_{out} = 2^{n_{sg}} \left[\frac{1}{\left(1 - \left(\frac{1}{2} \right)^{n_{sg}} \right)^{k1}} - 1 \right] T_C. \quad (8)$$

Середній час входу в синхронізм дорівнює середньому часу заповнення накопичувача на вході в синхронізм:

$$\bar{T}_{ent} = \frac{1}{1 - P(1)} \left[\frac{1}{(1 - P(1))^{k2-1}} - 1 \right] T_C, \quad (9)$$

де $k2$ - ємність накопичувача по входу в синхронізм.

Середній час пошуку сигналу у процесі відновлення синхронізму залежить від структури синхросигналу, яку класифікують наявністю критичних точок. Сумарний час пошуку складається з двох складових: часу пошуку в зоні випадкового сигналу та в зоні синхрогрупи.

Запишемо розрахункові співвідношення для середнього часу пошуку синхросигналу:

- для синхрогрупи з однією критичною точкою:

$$\bar{T}_s(1) = \left[\frac{N_0 - n_{sg} + 1}{2^{n_{sg}} - 1} + \frac{N_0 + n_{sg} - 1}{N_0 + n_{sg}} \right] T_C, \quad (10)$$

де N_0 - кількість символів між двома синхросигналами.

для синхрогрупи з n_{sg} критичними точками:

$$\bar{T}_n(n_{sg}) = \left[\frac{2^{n_{sg}-1}(N_0 - n_{sg} + 1)}{(2^{n_{sg}} - 1)^2} + \frac{N_0 + n_{sg} - 1}{N_0 + n_{sg}} + 2 \sum_{i=1}^{n_{sg}-1} \frac{1}{2^i - 1} T_C \right] T_C. \quad (11)$$

Для адаптивних приймачів середній час утримання синхронізму:

$$\bar{T}_{ret} = \frac{1}{(1 - P'(1))(1 - P''(1))} \left[\frac{1}{P'(1)^{k1}} - 1 \right] \times \left[\frac{1}{P''(1)^{k2}} - 1 \right] T_C, \quad (12)$$

$$P'(1) = (1 - P_0)^{n_{sg}}, \quad P''(1) = \left(\frac{1}{2} \right)^{n_{sg}}.$$

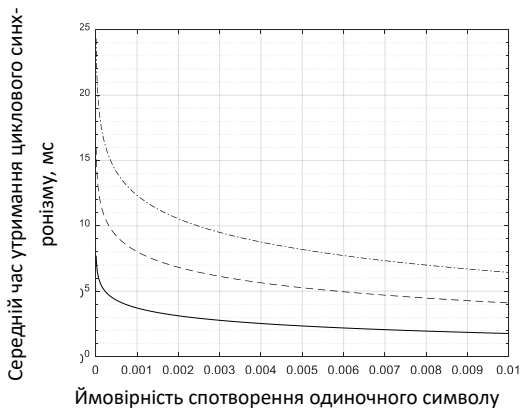


Рис. 1. Залежність середнього часу утримання циклового синхронізму для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від ймовірності спотворення одиночного символу в груповому тракті

хрогрупи містять 7 розрядів; ймовірність спотворення одиночного символу у груповому тракті змінювалася в межах $10^{-5} \dots 10^{-2}$. В результаті експерименту отримано залежність середнього часу утримання циклового синхронізму для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від ймовірності спотворення одиночного символу в груповому тракті (рис.1) при $k1=2$ - нижня крива, при $k1=4$ - середня крива, і при $k1=6$ - верхня крива. З графіків (рис.1) видно, що при невеликих ймовірностях спотворення одиночного символу $P_s = 10^{-5}$ середній час утримання циклового синхронізму досить великий і складає $\bar{T}_{ret} = 5,102 \cdot 10^7$ мс при ємності накопичувача після виходу з синхронізму $k1=2$, $\bar{T}_{ret} = 1,041 \cdot 10^{16}$ мс при $k1=4$ і $\bar{T}_{ret} = 2,125 \cdot 10^{24}$ мс при $k1=6$. Зі збільшенням ймовірності спотворення одиночного символу середній час утримання циклового синхронізму спочатку різко знижується, зі збільшенням ймовірності спотворення одиночного символу зменшення середнього часу утримання циклового синхронізму набуває практично лінійної залежності і надалі практично не змінюється.

У Matlab за допомогою математичного моделювання проведено аналіз характеристик синхронізації в мережах нового покоління з використанням протоколу RTP. Проведено дослідження залежності середнього часу утримання циклового синхронізму неадаптивного приймача циклового синхросигналу від ймовірності спотворення одиночного символу в груповому тракті. Для отримання чисельних значень задані: ємність накопичувача після виходу із синхронізму $k1$ (кількість осередків) приймали значення 2, 4, 6; інтервал проходження синхрогрупи - 0,25 мс; син-

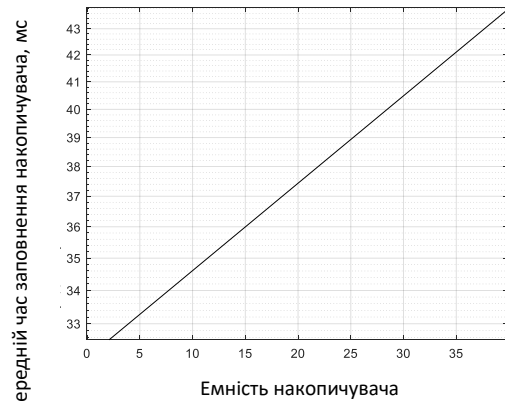


Рис. 2. Залежність середнього часу заповнення накопичувача після виходу із синхронізму для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від ємності накопичувача після виходу із синхронізму

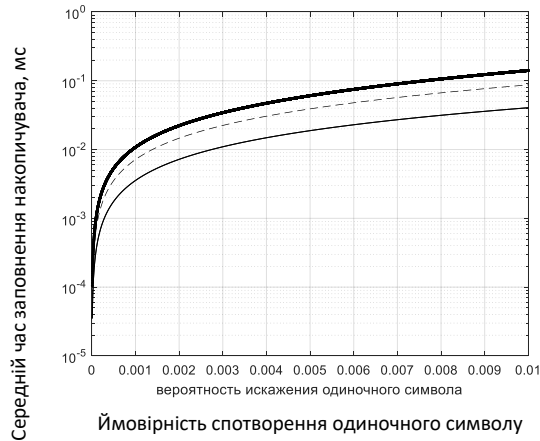


Рис. 3. Залежності середнього часу заповнення накопичувача входу в синхронізм для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від ймовірності спотворення одиночного символу в груповому тракті

росигналу від ймовірності спотворення одиночного символу в груповому тракті. Як вихідні дані задані: інтервал проходження синхрогрупи - 0,25 мс; синхрогрупи містять 7 розрядів, ємність накопичувача по входу в синхронізм k_2 приймала значення 2, 4 та 6 осередків, ймовірність спотворення одиночного символу в груповому тракті P_s змінювалася в межах $10^{-5} \dots 10^{-2}$. Отримано залежність середнього часу заповнення накопичувача по входу в синхронізм для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від ймовірності спотворення одиночного символу в груповому тракті (рис. 3). при $k_2=2$ - нижня крива, при $k_2=4$ - середня крива, і при $k_2=6$ - верхня крива. З графі-

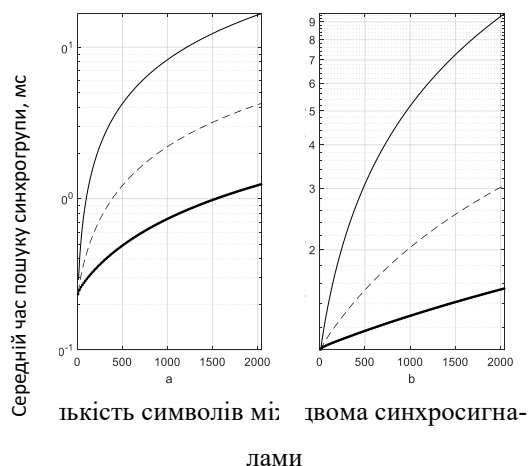


Рис. 5. Залежність середнього часу пошуку синхрогрупи для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від кількості символів між двома синхросигналами

Проведено дослідження залежності середнього часу заповнення накопичувача після виходу із синхронізму для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від ємності накопичувача після виходу із синхронізму. Місткість накопичувача після виходу з синхронізму k_1 (кількість осередків) приймала значення в межах від 2 до 40; інтервал проходження синхрогрупи - 0,25 мс; синхрогрупи містять 7 розрядів. Отримано залежність середнього часу заповнення накопичувача після виходу із синхронізму для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від ємності накопичувача після виходу із синхронізму (рис.2). Судячи з отриманої залежності (рис.2) можна дійти висновку у тому, що середній час заповнення накопичувача після виходу з синхронізму зростає зі збільшенням ємності накопичувача і має лінійну залежність.

Проведено дослідження залежності середнього часу заповнення накопичувача по входу в синхронізм для неадаптивного приймача циклового синх-

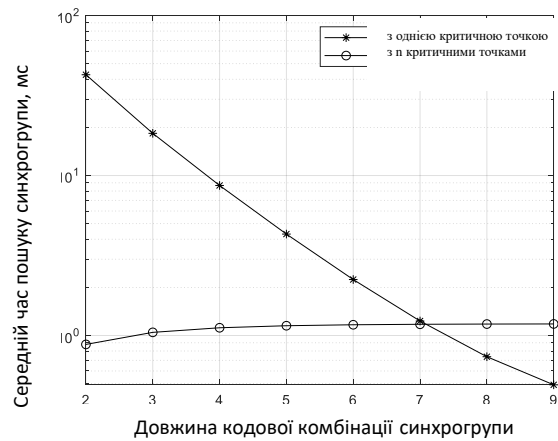


Рис. 4. Залежність середнього часу пошуку синхрогрупи для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від довжини кодової комбінації синхрогрупи

ків (рис.3) видно, що час заповнення накопичувача по входу в синхронізм збільшується з підвищенням ймовірності спотворення одиночного символу. Причому це збільшення спочатку має експоненційний характер, потім набуває лінійної залежності. Також, середній час заповнення накопичувача збільшується зі збільшенням ємності накопичувача по входу в синхронізм.

Проведено дослідження залежності середнього часу пошуку синхрогрупи для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від довжини кодової комбінації синхрогрупи. Як вихідні дані задані: інтервал часу між двома синхросигналами $T_C = 0,25$ мс, довжина кодової комбінації синхрогрупи n_{cc} змінювалася в межах від 2 до 6, кількість символів між двома синхросигналами $N_0 = 256 \cdot 2 - n_{sg}$. Отримано залежність середнього

часу пошуку синхрогрупи для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від довжини кодової комбінації синхрогрупи (рис. 4) з однією та n_{sg} критичними точками. З отриманих залежностей (рис.4) можна дійти невтішного висновку у тому, що середнє часу пошуку синхрогрупи зменшується зі збільшенням довжини кодової комбінації синхрогрупи з першої критичної точкою і залишається практично постійним з n_{sg} критичними точками.

Проведено дослідження залежності середнього часу пошуку синхрогрупи для неадаптивного приймача циклового синхросигналу кількості символів між двома синхросигналами. Як вихідні дані задані: інтервал часу між двома синхросигналами $T_C = 0,25$ мс, довжина кодової комбінації синхрогрупи $n_{sg} = 5$, $n_{sg} = 7$, $n_{sg} = 9$, кількість символів між двома синхросигналами від до $N_0 = 8 \cdot 2 - n_{sg}$ до $N_0 = 1024 \cdot 2 - sg$. Отримано залежність середнього часу пошуку синхрогрупи для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від кількості символів між двома синхросигналами (рис.5). На рис.5 представлені дані залежності при використанні слів з 1-ї критичної точкою. На рис.5 б представлені дані залежності під час використання слів із n_{sg} критичними точками. Верхні криві на цих малюнках відповідають довжині кодової комбінації синхрогрупи $n_{sg} = 5$, середні криві - $n_{sg} = 7$ і нижні криві $n_{sg} = 9$.

З отриманих залежностей (рис.5) видно, що середнє часу пошуку синхрогрупи збільшується зі збільшенням кількості символів між двома синхросигналами. Причому чим більша довжина кодової комбінації синхрогрупи, середній час пошуку синхрогрупи менший. Також з даних графіком можна дійти невтішного висновку у тому, що, середнє часу пошуку синхрогрупи мало залежить, від цього, скільки використано критичних точок в синхрогрупі.

Висновки

Основними причинами, що викликають збій циклової синхронізації є вихід із синхронізму. Це призводить до зміни тривалості циклу, оскільки в циклі з'являться, або пропадуть один або кілька тактових інтервалів, і спотворення символів синхросигналу внаслідок перешкод. У цьому важливою характеристикою системи синхронізації є середній час утримання синхронізму. У роботі запропоновано комплекс характеристик синхронізації у мережах нового покоління з використанням протоколу RTP.

Література

1. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.
2. Поповский В.В., Коляденко Ю.Ю. Пространственно-временной доступ до ретранслятора на стратосферной // Зв'язок. 2004. № 8. С. 37-39.
3. Агеев Д.В. Метод проектирования телекоммуникационных систем с использованием потоковой модели для многослойного графа [Электронный ресурс] // Проблеми телекомунікацій. 2010. № 2 (2). С. 7 – 22. Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2010/2/2/102_ageyev_layer.pdf.
4. Ageyev D.V., Evlash D.V. Multiservice telecommunication systems design with network's incoming self-similarity flow // Proceedings of International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. TCSET 2008. Lviv-Slavsko, 2008. P. 403 – 405.
5. Агеев Д.В. Синтез топологии сети агрегации доступа согласно критерию максимум прибыли оператора связи // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. 2010. Т. 8, № 3. С. 235–241.