

**ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТЕЙ СОСТОЯНИЙ УСТРОЙСТВА ЦИКЛОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ
В УСЛОВИЯХ ЭМУЛЯЦИИ КАНАЛОВ В СЕТИ MOBILE BACKHAUL**

**ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТЕЙ СТАНІВ ПРИСТРОЮ ЦИКЛОВОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ
В УМОВАХ ЕМУЛЯЦІЇ КАНАЛІВ У МЕРЕЖІ MOBILE BACKHAUL**

**STATES PROBABILITY ESTIMATIONS FOR FRAME ALIGNER IN MOBILE BACKHAUL
UNDER CIRCUIT EMULATION CONDITIONS**

Аннотация. В статье приводятся результаты исследования влияния условий эмуляции каналов на вероятностные характеристики устройств цикловой синхронизации в сети Mobile Backhaul.

Анотація. У статті наводяться результати дослідження впливу умов емуляції каналів на ймовірнісні характеристики пристроїв циклової синхронізації мережі Mobile Backhaul.

Summary. The article contains research results on how the circuit emulation in Mobile Backhaul affects probability characteristics of a frame aligner.

Характерной особенностью конвергентного периода развития сетей операторов мобильной связи является необходимость решения проблемы сопряжения технологически неоднородных участков сети, например, участков с синхронным и асинхронным режимами переноса информации. Использование технологий асинхронного режима переноса в сегментах уровня распределения/агрегации сетей мобильных операторов, получивших международное название Mobile Backhaul (MB), обеспечивает более эффективное использование сетевых ресурсов и сравнительно невысокую стоимость наращивания пропускной способности. При этом на уровне мобильного абонентского доступа, а также на уровне ядра (опорная сеть) может сохраняться существующее оборудование, которое использует синхронный режим переноса информации и еще не исчерпало своего рыночного потенциала.

Проблематика, указанная выше, активно исследуется. Топологии сетей MB при применении технологии эмуляции каналов CES (Circuit Emulation Service) представлены в [1]. Характерные особенности методов эмуляции каналов рассмотрены в [2]. Процедуры и критерии достижения и потери цикловой синхронизации в случае использования трактов с импульсно-кодовой модуляцией подробно изложены в Рекомендации ITU-T G.706 [3]. В работах [4, 5] высказана и обоснована гипотеза о влиянии эмуляции каналов на число вынужденных потерь синхронизма устройствами синхронизации оборудования, которое использует синхронный режим переноса информации. Однако остается открытым вопрос влияния пакетного транспорта и эмуляции каналов в сегменте MB на обеспечение корректности работы оборудования синхронного режима переноса.

Целью данной статьи является определение величины влияния использования эмуляции каналов в сети MB.

На рис. 1 показан сегмент MB, который обеспечивает пакетный транспорт для трафика, формируемого оборудованием, работающем по принципу синхронного режима переноса.

На участках между BTS и TDM/Ethernet шлюзом, а также между TDM/Ethernet шлюзом и BSC, информация передается в виде TDM-потока. На участке между TDM/Ethernet шлюзами используется асинхронный режим переноса информации. Для этого используется технология эмуляции каналов [1, 2], обеспечивающая реализацию в TDM/Ethernet шлюзах функцию взаимодействия IWF (Interworking Function) [2].

На передающей стороне, в TDM/Ethernet шлюзе, биты циклов TDM-потока инкапсулируются в кадры Ethernet. На приемной стороне производится декапсуляция и восстановление исходного TDM-потока.

В состав оборудования базовой станции (BTS) и контроллера базовых станций (BSC) входит устройство цикловой синхронизации FA (Frame Aligner), которое отвечает за установление, поддержание и восстановление циклового синхронизма. Цикловой синхронизм необходим для выделения кодовых слов и их групп в принимаемом битовом потоке.

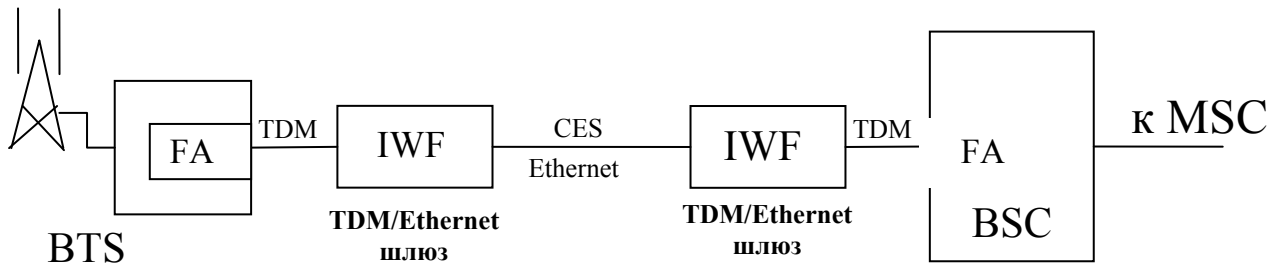


Рисунок 1 – Эмуляция каналов в сети МВ

В состав FA входит счетчик, который называется буфером по выходу из синхронизма. В случае ошибки распознавания синхрослова значение счетчика увеличивается на единицу. Когда значение счетчика превышает пороговое, принимается решение о потере синхронизма.

Рассмотрим устройство цикловой синхронизации, которое функционирует в условиях установленного синхронизма. В данном режиме возможны вынужденные потери циклового синхронизма, вызванные ошибками передачи синхроинформации. Цикловая синхронизация считается потерянной в случае, когда синхрослово принято с ошибками (не распознано) три раза подряд [3]. Для отслеживания числа ошибок принятия синхрослов, устройство цикловой синхронизации использует буфер по выходу из синхронизма. При заполнении указанного буфера устройство цикловой синхронизации принимает решение о потере цикловой синхронизации и начинает осуществлять поиск синхрослова в принимаемом битовом потоке.

Для описания поведения устройства цикловой синхронизации в условиях эмуляции канала, с учетом состояний буфера по выходу из цикловой синхронизации, может быть использована модель, базирующаяся на применении цепей Маркова [4, 6]. Указанная модель представлена на рис. 2.

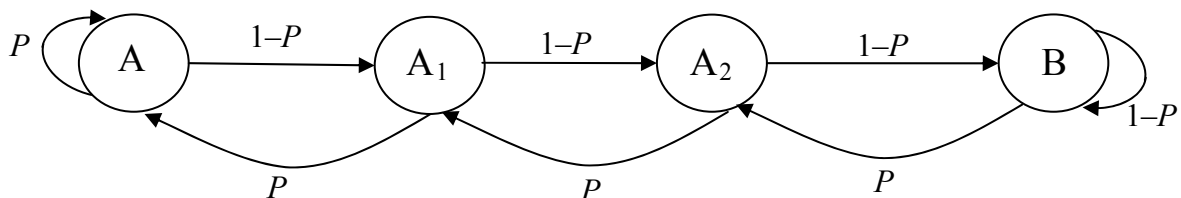


Рисунок 2 – Модель состояний буфера FA по выходу из синхронизма

Состояние A соответствует наличию циклового синхронизма (содержимое буфера по выходу из синхронизации при этом отсутствует). При приеме синхрослова с ошибкой, с вероятностью $1-P$, модель переходит в состояние A_1 (буфер содержит информацию об одной ошибке приема синхрослова). С аналогичной вероятностью достигаются состояния A_2 и B. Состояние B соответствует трем ошибкам принятия синхрослов, т.е. потере цикловой синхронизации. В случае корректного распознавания синхрослова, модель с вероятностью P , переходит в предыдущее состояние.

Вероятность правильного распознавания синхрослова может быть определена как $P = (1 - \varepsilon)^a$ [6]. В случае же инкапсуляции циклов TDM потока в Ethernet кадры формула вероятности правильного распознавания синхрослова примет вид:

$$P = (1 - \varepsilon)^a \cdot (1 - p_{plr}), \quad (1)$$

где ε – коэффициент ошибок в TDM потоке; a – количество бит в синхрослове; p_{plr} – вероятность потери кадра.

Значение p_{plr} , в соответствии с Рекомендацией ITU-T G.826, может быть определено следующим образом [7]:

$$P_{plr} = \frac{ESR \cdot 0,175 \cdot n_c \cdot L}{f_0}, \quad (2)$$

где ESR – частота появления секундных интервалов, в которых наблюдается одна и более битовых ошибок; n_c – количество циклов TDM-потока, которые упаковываются в один кадр; f_0 – номинальная скорость TDM потока; L – длина цикла, выраженная в битах.

Оценку вероятностей состояний модели, которая представлена на рис. 2, можно произвести с использованием матрицы переходов:

$$P_A = \begin{pmatrix} P & 1-P & 0 & 0 \\ P & 0 & 1-P & 0 \\ 0 & P & 0 & 1-P \\ 0 & 0 & P & 1-P \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Для оценки влияния эмуляции каналов на вероятности переходов между состояниями модели используем матрицу переходов (3), где P определяется с использованием выражения (1).

Синхрослово состоит из семи бит и передается только в четных циклах TDM-потока [8]. Таким образом, синхрослова следуют с периодом 256 мкс. Искомые вероятности переходов для модели (рис. 2) можно найти, возведя матрицу (3) в степень, которая соответствует числу шагов работы модели (числу принятых синхрослов). Значения вероятностей перехода между состояниями приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Вероятности переходов между состояниями модели

| Вероятность состояния | A | A ₁ | A ₂ | B |
|---------------------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|---|
| Синхронный режима переноса информации | 0,999993 | $7 \cdot 10^{-7}$ | $4,9 \cdot 10^{-13}$ | 0 |
| Эмуляция каналов | 0,999923 | $7,699 \cdot 10^{-6}$ | $5,93 \cdot 10^{-11}$ | 0 |

Из табл. 1 следует, что применение эмуляции каналов в сети МВ оказывает влияние на вероятности переходов между состояниями устройства цикловой синхронизации. Наиболее вероятным состоянием буфера по выходу из синхронизации (как в случае синхронного режима переноса информации, так и в случае эмуляции канала) является состояние А, т.е. отсутствие информации об ошибках распознавания синхрослов. Состояние А₁ (одна ошибка распознавания синхрослова) достигается с вероятностью $7 \cdot 10^{-7}$ в случае синхронного режима переноса информации; и с большей вероятностью $7,699 \cdot 10^{-6}$ при эмуляции канала. Вероятность достижения состояния А₂ на два порядка выше в случае эмуляции каналов. Состояние В не достигается (ни в случае синхронного режима переноса информации, ни в случае эмуляции канала) потому, что значение коэффициента ошибок в TDM-потоке $\varepsilon = 10^{-7}$ ниже порогового значения 10^{-4} [9], а p_{plr} вычислено исходя из требования Рекомендации ITU-T G.826 [7]. Такие значения соответствуют штатному режиму работы сети.

Оценка влияния битовых ошибок в TDM-потоке на вероятностные характеристики устройства цикловой синхронизации может быть получена путем моделирования в среде MathCad (последовательного возведения матрицы (3) в степень, определяемую количеством поступающих синхрослов) процесса изменения состояний буфера FA при выходе из синхронизма.

Зададимся числом TDM-циклов n_c , которые инкапсулируются в кадр Ethernet, равным 2 и диапазоном изменения величины коэффициента ошибок ε в TDM-потоке в пределах от 10^{-8} до 10^{-2} .

Экспериментальное исследование вероятностей изменения состояний показало, что они практически не изменяются уже после четвертого шага моделирования. Для повышения достоверности результатов продолжим возведение матрицы вероятностей переходов (3) в степень 4000, что соответствует одной секунде работы FA. Интервал в одну секунду обеспечит возможность экстраполяции результатов на другие временные интервалы. Результаты моделирования приведены в табл. 2.

Таблиця 2 – Зависимость вероятностей состояний системы от значений ε

| ε | A | A ₁ | A ₂ | B |
|------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 10 ⁻⁶ | 9,9999125·10 ⁻¹ | 8,7499877·10 ⁻⁶ | 7,6562956·10 ⁻¹¹ | 0 |
| 10 ⁻⁵ | 9,9992824·10 ⁻¹ | 7,1749877·10 ⁻⁵ | 5,1484143·10 ⁻⁹ | 3,694246·10 ⁻¹³ |
| 10 ⁻⁴ | 9,9929776·10 ⁻¹ | 7,0174843·10 ⁻⁴ | 4,9279692·10 ⁻⁷ | 3,4606248·10 ⁻¹⁰ |
| 10 ⁻³ | 9,9294889·10 ⁻¹ | 7,0013897·10 ⁻³ | 4,9367553·10 ⁻⁵ | 3,4809594·10 ⁻⁷ |
| 10 ⁻² | 9,2475899·10 ⁻¹ | 6,9607255·10 ⁻² | 5,2393867·10 ⁻³ | 3,943723·10 ⁻⁴ |

Из приведенной таблицы видно, что вероятность безошибочного распознавания синхросигналов устройством цикловой синхронизации линейно уменьшается при возрастании значения коэффициента ошибок в TDM-потоке. Вероятность однократной ошибки распознавания синхрослова линейно увеличивается с ростом значения коэффициента ошибок в TDM-потоке. Вероятность двукратной ошибки распознавания синхрослова увеличивается с ростом значения коэффициента ошибок в TDM-потоке. Вероятность вынужденной потери синхронизации за одну секунду работы устройства цикловой синхронизации составляет $3,694246 \cdot 10^{-13}$ при $\varepsilon = 10^{-5}$ и $3,943723 \cdot 10^{-4}$ при $\varepsilon = 10^{-2}$.

Описание состояний буфера по выходу из синхронизма устройства цикловой синхронизации, может быть выполнено благодаря модели, построенной с использованием цепи Маркова.

Сравнение вероятностей перехода между состояниями модели в условиях передачи информации трактом E1 и в условиях эмуляции канала в сети Mobile Backhaul показывает, что пакетный транспорт способен влиять на вероятности переходов между состояниями устройства цикловой синхронизации.

Подводя итоги, можно сказать, что применение эмуляции каналов в сети МВ оказывает влияние на вероятности состояний устройств цикловой синхронизации оборудования с синхронным режимом переноса информации. Показано, как уменьшается вероятность синхронной работы устройства цикловой синхронизации при увеличении числа битовых ошибок в TDM-потоке.

Полученные результаты могут быть использованы при создании системы мониторинга параметров работы устройств цикловой синхронизации в сетях Mobile Backhaul, которая будет способна прогнозировать ситуации потери цикловой синхронизации.

Литература

1. MEF 22.1 Mobile Backhaul Implementation Agreement – Phase 2 // The Metro Ethernet Forum. – 2012. – 88 p.
2. MEF 3 Circuit Emulation Service Definitions, Framework and Requirements in Metro Ethernet Networks // The Metro Ethernet Forum. – 2004. – 65 p.
3. ITU-T Recommendation G.706 Frame Alignment and Cyclic Redundancy Check (CRC) Procedures Relating to Basic Frame Structures Defined in Recommendation G.704. – Geneva, April 1991. – 18 p.
4. Никитюк Л.А. Модель опису станів пристрою циклової синхронізації у мережі Mobile Backhaul із застосуванням пакетного транспорту / Л.А. Никитюк, Ю.О. Бабич // Матеріали науково-методическої конференції «Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій – 2012», (Львов 1-4 ноября 2012 г.) / Национальный университет «Львівська політехніка». – Львов, 2012. – С. 96-98.
5. Бабич Ю.О. Оценка числа вынужденных потерь цикловой синхронизации / Ю.О. Бабич // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2012. – № 2. – С. 117-119.
6. Bregni S. Synchronization of digital telecommunications networks / Bregni S. – West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2002. – 395 p.
7. ITU-T Recommendation G.826 Error performance parameters and objectives for international, constant bit rate digital paths at or above the primary rate. Geneva. February, 1999. – 34 p.
8. ITU-T Recommendation G.704 Synchronous frame structures used at 1544,6312, 2048, 8448 and 44 736 kbit/s hierarchical levels. – October 1998. – 45 p.
9. ITU-T Recommendation G.732 Characteristics of primary PCM multiplex equipment operating at 2048 kbit/s. – Geneva. 1993. – 9 p.