

# АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ЭМУЛЯЦИИ КАНАЛОВ В СЕТЯХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Ю. О. Бабич

Старший преподаватель\*

E-mail: babich159@gmail.com

Л. А. Никитюк

Кандидат технических наук, профессор,

заведующий кафедрой\*

E-mail: nikityuk\_l@mail.ru

\*Кафедра сетей связи

Одесская национальная академия связи

им. А.С. Попова

ул. Кузнечная, 1, Одесса, Украина, 65029

*У статі представлені результати дослідження впливу кількості циклів TDM-потoku, які інкапсулюються в кадри Ethernet при емуляції каналів у сегменті розподілу/агрегації мережі мобільного оператора, на ймовірність втрати циклової синхронізації та на час її відновлення. Наведено рекомендації стосовно вибору оптимального числа інкапсульованих циклів*

*Ключові слова: емуляція каналів, інкапсуляція циклів TDM-потoku, CESoETH, мережа мобільного оператора*

*В статье представлены результаты исследования влияния числа циклов TDM-потока, инкапсулируемых в кадры Ethernet при эмуляции каналов в сегменте распределения/агрегации сети мобильного оператора, на вероятность потери цикловой синхронизации и на время ее восстановления. Приведены рекомендации относительно выбора оптимального числа инкапсулируемых циклов*

*Ключевые слова: эмуляция каналов, инкапсуляция циклов TDM-потока, CESoETH, сеть мобильного оператора*

## 1. Введение

Конвергентные процессы, наблюдаемые в современных телекоммуникационных сетях операторов связи, – одна из характерных черт современного этапа развития телекоммуникационного рынка. Объединение стационарных и мобильных сетей связи, сочетание синхронного и асинхронного режимов переноса информации позволяют не только повышать доходы операторов, но и решать проблемы повышения эффективности использования каналов связи в условиях финансовых ограничений на расширение сетей.

Пакетный транспорт сегодня приобретает особую актуальность в сетях операторов мобильной связи. Использование технологий асинхронного режима переноса информации, в частности использование режима эмуляции канала (Circuit Emulation Service, CES), в сетях уровня распределения/агрегации операторов мобильной связи, так называемых Mobile Backhaul (MB), предполагает необходимость объединения оборудования различных технологических поколений (синхронного и асинхронного режимов переноса).

На сегодняшний день достаточно проработаны как реализация режимов CES [1 – 4], так и условия потери и восстановления циклового синхронизма оборудованием, обеспечивающим синхронный режим переноса информации [5]. Однако вопросы влияния числа циклов TDM-потока, инкапсулируемых в кадр Ethernet, на вероятность вынужденной потери циклового синхронизации, а также на время восстановления последней исследованы недостаточно.

В данной статье приводятся результаты исследования указанных вопросов, а также рекомендации от-

носительно выбора оптимального числа циклов TDM-потока инкапсулируемых в кадр Ethernet.

## 2. Анализ исследований и публикаций

Известны следующие подходы к реализации CES:

1) неструктурированный метод эмуляции каналов SAToP (Structure-Agnostic Time Division Multiplexing over Packet), определенный в IETF RFC 4553 [2];

2) структурированный метод эмуляции каналов CESoPSN (Structure-Aware Time Division Multiplexed Circuit Emulation Service over Packet Switched Network), определенный в IETF RFC 5086 [3];

3) сервис эмуляции каналов, поддерживающий структурированный и неструктурированный режимы работы CESoETH (Circuit Emulation Services over Ethernet), определенный в Технических Спецификациях MEF 3 [1] и MEF 8 [4].

Для любого из вышеперечисленных методов характерно использование оборудования, реализующего функцию взаимодействия (ФВ) между синхронным и асинхронным сегментами сети, которая осуществляет инкапсуляцию битов TDM-потока в кадры Ethernet на передающей стороне и декапсуляцию и восстановление исходного TDM-потока на приемной стороне.

Отличие структурированного метода эмуляции каналов от неструктурированного заключается в том, что ФВ в первом случае может вносить структурные изменения в передаваемый поток. Например, биты синхронизации могут передаваться отдельно от бит пользовательской информации, а биты циклового синхронизации могут изыматься на передающей стороне

и добавляться ФВ при реконструкции TDM-потока на приемной стороне. При неструктурированном методе ФВ обеспечивает перенос бит поступившего TDM-потока без структурных изменений. Как результат – возможна потеря бит синхрослов, передаваемых по асинхронному сегменту МВ, что может вызывать потерю циклового синхронизма и оказывать влияние на время его восстановления. Это же характерно и для сервиса CESoETH.

Как следует из приведенного анализа, при реализации CES в сетях МВ в случае использования неструктурированного метода риск потери синхронизма возрастает, что является предметом исследования в данной работе.

### 3. Формирование целей и задач

Целью данной работы является исследование влияния числа циклов TDM-потока, инкапсулируемых в кадр Ethernet, на такие параметры режима эмуляции каналов как вероятность вынужденной потери цикловой синхронизации и время ее восстановления.

Поскольку ФВ обеспечивает упаковку в кадр Ethernet любого задаваемого числа байт TDM-потока в пределах допустимого размера поля данных кадра, возникает задача определения оптимального, с точки зрения минимизации вероятности вынужденной потери циклового синхронизма и времени его восстановления, числа инкапсулируемых байтов.

Для постановки указанной задачи примем следующие условия:

- через асинхронный сегмент МВ передается поток E1;
- число инкапсулируемых байтратно длине цикла TDM-потока (32 байта);
- нумерация циклов TDM-потока начинается с нуля, нулевой цикл является четным, синхрослова передаются в четных циклах [6];
- цикловой синхронизм считается потерянным в случае трех подряд ошибок распознавания синхрослова [5]. В режиме установившегося синхронизма, ошибка распознавания синхрослова возникает как в случае битовой ошибки в синхрослове, так и в случае потери кадра, куда было инкапсулировано синхрослово (в случае потери кадра, ФВ заменяет каждый потерянный байт шаблоном из единиц (AIS code) [4]).

Для определения вероятности правильного распознавания синхрослова и вероятности потери кадра воспользуемся моделью изменения состояний регистра по выходу из синхронизма устройства цикловой синхронизации оборудования с синхронным режимом переноса информации [7] (рис. 1).

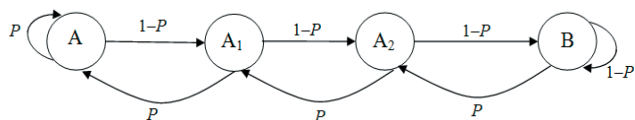


Рис. 1. Модель состояний буфера по выходу из синхронизма

Состояние А соответствует наличию циклового синхронизма (содержимое буфера обнулено). При

приеме синхрослова с ошибкой, с вероятностью 1–Р, модель переходит в состояние А<sub>1</sub> (буфер содержит информацию об одной ошибке приема синхрослова). С аналогичной вероятностью достигаются состояния А<sub>2</sub> (две ошибки) и В (три ошибки). Состояние В соответствует потере цикловой синхронизации. В случае корректного распознавания очередного синхрослова, модель с вероятностью Р, переходит в предыдущее состояние.

### 4. Оценка влияния числа инкапсулируемых циклов на вероятность вынужденной потери синхронизма и время его восстановления

Вероятность правильного распознавания синхрослова Р может быть определена в случае инкапсуляции циклов TDM-потока в кадр Ethernet следующим образом:

$$P = (1 - \epsilon)^a \cdot (1 - \beta \cdot n_c), \tag{1}$$

где  $\epsilon$  – коэффициент ошибок в TDM потоке;  $a$  – количество бит в синхрослове;  $n_c$  – число циклов TDM-потока, которые инкапсулируются в кадр Ethernet;  $\beta = ESR \cdot 0,175 \cdot L / f_0$  – коэффициент, учитывающий принятые условия TDM-потока ( $ESR$  – регламентируемая частота появления секундных интервалов, в которых наблюдается одна и более битовых ошибок [8];  $f_0$  – номинальная скорость TDM потока;  $L$  – длина цикла, выраженная в битах). С учетом [8] и [6] величина  $\beta$  для кадров инкапсулирующих поток E1 составляет  $8,75 \cdot 10^{-7}$ .

Величина  $\beta \cdot n_c$  в (1) определяет вероятность потери кадра Ethernet.

Вероятность потери цикловой синхронизации  $P_{ВП}$  (достижение состояния В модели, представленной на рис. 1) может быть обусловлена, как битовыми ошибками в трех подряд синхрословах TDM-потока, так и потерей кадра Ethernet, точнее говоря, структурой инкапсулированных данных. Так в зависимости от числа инкапсулируемых байтов  $n_c$ , в кадре может присутствовать различное число синхрослов. В общем виде  $P_{ВП}$  может быть определено как:

$$P_{ВП} = f(P_1, P_2), \tag{2}$$

где  $P_1 = \epsilon^{3a}$  – вероятность битовых ошибок в трех подряд синхрословах TDM-потока;

$P_2 = (\beta \cdot n_c)^3$  – вероятность потери синхрослов обусловивших потерю цикловой синхронизации.

Формализуем процедуру определения  $P_{ВП}$ . Для этого введем следующие обозначения.

Пусть  $N$  – множество всех циклов TDM-потока, мощностью  $n_c$ , которые ФВ упаковывает в каждый кадр Ethernet. Множество  $N$  может быть представлено объединением двух подмножеств:

$$N = K \cup L, \tag{3}$$

где  $K$  – подмножество нечетных инкапсулируемых циклов TDM-потока, мощностью  $k_c$ ;  $L$  – подмножество четных циклов, которые содержат синхрослова, мощностью  $l_c$ .

Значение вероятности вынужденной потери цикловой синхронизации  $P_{ВП}$  может быть определено с использованием теоремы сложения вероятностей совместных событий [9, 10] битовых ошибок и потери кадра. Это можно записать следующим образом:

$$P_{ВП} = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 \quad (4)$$

Таким образом, процедура определения  $P_{ВП}$  для потока E1 сводится к следующему:

$$P_{ВП} = \begin{cases} \epsilon^{30} + 0,125 \cdot \beta^3 \cdot (1 - \epsilon^{30}) & \text{при } n_c = k_c = l_c = 1; \\ \epsilon^{30} + 8 \cdot \beta^3 \cdot (1 - \epsilon^{30}) & \text{при } n_c = 2; k_c = 1; l_c = 1; \\ \epsilon^{30} + \beta^2 \cdot n_c^2 \cdot (1 - \epsilon^{30}) & \text{при } n_c = 3 \vee 4; (k_c = 1; l_c = 2) \vee (k_c = 2; l_c = 1) \vee \\ & \vee (k_c = 2; l_c = 2); \\ \epsilon^{30} + \beta \cdot n_c \cdot (1 - \epsilon^{30}) & \text{при } n_c = \overline{5, 46}; (k_c = m; l_c = (m - 1)) \vee \\ & \vee (k_c = (m - 1); l_c = m) \vee (k_c = m; l_c = m), m = \overline{3, 23}; \end{cases} \quad (5)$$

На рис. 2 представлены результаты моделирования вероятности вынужденной потери циклового синхронизма при транспортировке потока E1 с коэффициентом ошибок  $\epsilon = 10^{-6}$ , (что допустимо при штатном режиме работы оборудования).

Анализируя кривую, приведенную на рис. 2, можно сделать вывод, что с точки зрения минимизации вероятности вынужденной потери цикловой синхронизации инкапсуляция более двух циклов TDM-потока в один кадр Ethernet не целесообразна.

Рассмотрим влияние числа инкапсулируемых в кадр Ethernet циклов TDM-потока на время восстановления цикловой синхронизации  $t_B$  в случае потери кадра. Поскольку синхронизм может быть восстановлен при первом же правильно распознанном синхрослове, минимальное время восстановления не может составлять меньше 250 мкс.

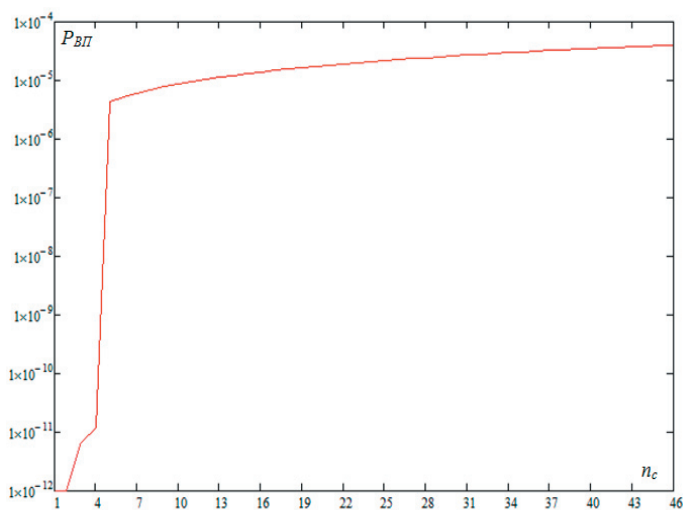


Рис. 2. Зависимость вероятности вынужденной потери  $P_{ВП}$  циклового синхронизма от количества инкапсулируемых циклов TDM-потока  $n_c$

В общем виде зависимость времени  $t_B$  восстановления синхронизма от числа инкапсулируемых циклов

при потере кадров разной длины, может быть формализована следующим образом:

$$t_B = \begin{cases} 2 \times t_c & \text{при } n_c = k_c = l_c = 1; \\ n_c \times t_c & \text{при } n_c = \overline{2, 46}; (k_c = m; l_c = m), m = \overline{1, 23}; \\ (n_c - 1) \times t_c & \text{при } n_c = \overline{3, 45}; (k_c = m; l_c = (m - 1)), m = \overline{2, 23}; \\ (n_c + 1) \times t_c & \text{при } n_c = \overline{3, 45}; (k_c = (m - 1); l_c = m), m = \overline{2, 23}; \end{cases} \quad (6)$$

где  $t_c$  – длительность цикла TDM-потока (125 мкс).

Зависимость величины  $t_B$  от числа инкапсулированных циклов TDM-потока, при потере кадров разной длины приведена на рис. 3.

Из приведенного рисунка следует, что минимальное время восстановления цикловой синхронизации обеспечивается инкапсуляцией в один кадр Ethernet не более двух циклов TDM-потока.

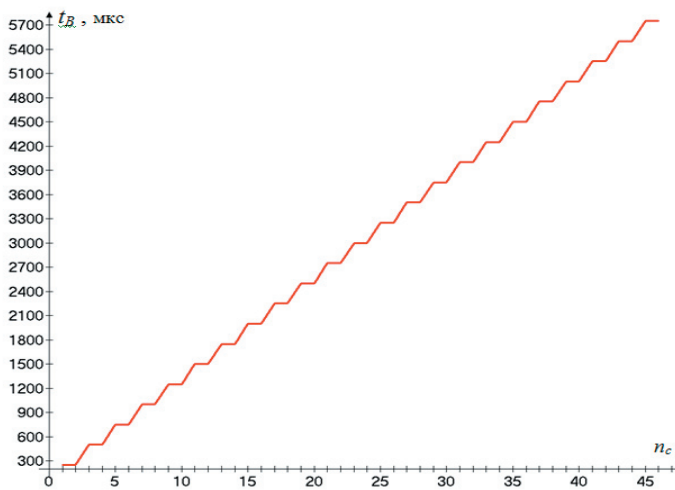


Рис. 3. Зависимость времени восстановления циклового синхронизма  $t_B$  от числа инкапсулированных циклов TDM-потока  $n_c$

При увеличении  $n_c$  с целью повышения эффективности использования пропускной способности канала, некоторого уменьшения  $t_B$  можно достигнуть, упаковывая в кадр четное число циклов (что соответствует ступенчатому характеру изменения зависимости).

## 5. Выводы

В работе показано, что количество байт, инкапсулируемых в кадр Ethernet, оказывает влияние, как на вероятность вынужденной потери цикловой синхронизации, так и на время ее восстановления.

Выбор оптимального числа инкапсулируемых байтов, при использовании неструктурированного режима – это поиск компромисса между вероятностью вынужденной потери синхронизма, минимальным

временем его восстановления и эффективностью использования пропускной способности каналов асинхронного сегмента сети МВ.

Оптимальным, с точки зрения минимизации  $P_{\text{ВП}}$  и  $t_{\text{В}}$ , числом циклов TDM-потока, инкапсулированных в кадр Ethernet, следует считать величину  $n_c = 2$ .

---

#### Литература

1. MEF 22.1 Mobile Backhaul Implementation Agreement – Phase 2 [Электронный ресурс] / The Metro Ethernet Forum. – Режим доступа: \www/ URL: <http://metroethernetforum.org/carrier-ethernet/technical-specifications/> – 01.2012 г. – Загл. с экрана.
2. MEF 3 Circuit Emulation Service Definitions, Framework and Requirements in Metro Ethernet Networks [Электронный ресурс] / The Metro Ethernet Forum. – Режим доступа: \www/ URL: <http://metroethernetforum.org/carrier-ethernet/technical-specifications/> – 13.04.2004 г. – Загл. с экрана.
3. IETF RFC 4553 Structure-Agnostic Time Division Multiplexing (TDM) over Packet (SAToP) [Электронный ресурс] / The Internet Society. – Режим доступа: \www/ URL: <http://www.faqs.org/rfcs/rfc4553.html/> – 06.2006 г. – Загл. с экрана.
4. IETF RFC 5086 Structure-Aware Time Division Multiplexed (TDM) Circuit Emulation Service over Packet Switched Network (CESoPSN). [Электронный ресурс] / The Internet Society. – Режим доступа: \www/ URL: <http://www.faqs.org/rfcs/rfc5086.html/> – 12.2007 г. – Загл. с экрана.
5. MEF 8 Implementation Agreement for the Emulation of PDH Circuits over Metro Ethernet Networks [Электронный ресурс] / The Metro Ethernet Forum. – Режим доступа: \www/ URL: <http://metroethernetforum.org/carrier-ethernet/technical-specifications/> – 10.2004 г. – Загл. с экрана.
6. ITU-T Recommendation G.706 Frame Alignment and Cyclic Redundancy Check (CRC) Procedures Relating to Basic Frame Structures Defined in Recommendation G.704 [Текст]. – Approved 1991-04-05. – Geneva: ITU, 1991. – 18 p.
7. ITU-T Recommendation G.704 Synchronous frame structures used at 1544,6312, 2048, 8448 and 44 736 kbit/s hierarchical levels [Текст]. – Approved 1998-10-13. – Geneva: ITU, 1998. – 45 p.
8. Бабич, Ю. О. Оценка числа вынужденных потерь цикловой синхронизации [Текст] / Ю. О. Бабич // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2012. – №2. – С. 117-119.
9. ITU-T Recommendation G.826 Error performance parameters and objectives for international, constant bit rate digital paths at or above the primary rate [Текст]. – Approved 2002-12-14. – Geneva: ITU, 2002. – 34 p.
10. Баврин, И. И. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / И. И. Баврин. – М.: Высшая школа, 2005 – 160 с.