

## АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ЦИКЛОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОТОКОЛА RTP (IEEE1588v2)

**Коляденко Ю. Ю.** – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры инфокоммуникационной инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина.

**Шостко И. С.** – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры инфокоммуникационной инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина.

**Агеев Д. В.** – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры инфокоммуникационной инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина.

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** В статье приводятся результаты анализа характеристик синхронизации в сетях нового поколения с использованием протокола RTP. Объектом исследования является процесс синхронизации в сетях нового поколения с использованием протокола RTP (IEEE1588v2). Целью данной работы является проведение анализа характеристик синхронизации в сетях нового поколения с использованием протокола RTP.

**Метод.** Основными причинами, вызывающими сбой цикловой синхронизации являются выход из синхронизма. Это приводит к изменению длительности цикла, так как в цикле появятся, или пропадут один или несколько тактовых интервалов, и искажение символов синхросигнала в результате воздействия помех. При этом важной характеристикой системы синхронизации является среднее время удержания синхронизма. Предложен комплекс характеристик синхронизации в сетях нового поколения с использованием протокола RTP: среднее время удержания циклового синхронизма; среднее время заполнения накопителя по выходу из синхронизма; среднее время заполнения накопителя по входу в синхронизм и среднее время поиска синхрогруппы.

**Результаты.** Проведен анализ предложенных характеристик синхронизации в сетях нового поколения с использованием протокола RTP. Проведено исследование зависимости среднего времени удержания циклового синхронизма для неадаптивного приемника циклового синхросигнала от вероятности искажения одиночного символа в групповом тракте. Проведено исследование зависимости среднего времени заполнения накопителя по выходу из синхронизма от емкости накопителя по выходу из синхронизма. Проведено исследование зависимости среднего времени заполнения накопителя по входу в синхронизм для неадаптивного приемника циклового синхросигнала от вероятности искажения одиночного символа в групповом тракте. Проведено исследование зависимости среднего времени поиска синхрогруппы для неадаптивного приемника циклового синхросигнала от длины кодовой комбинации синхрогруппы. Проведено исследование зависимости среднего времени поиска синхрогруппы для неадаптивного приемника циклового синхросигнала от количества символов между двумя синхросигналами.

**Выводы.** Проведенные исследования характеристик синхронизации позволяют дать рекомендации по применению протокола RTP в конкретных практических ситуациях. Перспективы дальнейших исследований могут заключаться в разработке синхронизирующих кодовых слов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** технология синхронизации RTP, анализ характеристик синхронизации.

### АББРЕВИАТУРЫ

GNSS – глобальная навигационная спутниковая система;

NTP – Network Time Protocol;

RTP – Precision Time Protocol;

SDH – Synchronous Digital Hierarchy;

БУЦС – блок управления цикловой синхронизации;

Пер СС – передатчик синхросигнала;

ПРМ СС – приемник синхросигнала;

СЦС – система цикловой синхронизации;

ФСС – формирователь синхросигнала;

ЦСП – цифровая система передачи;

ЦСС – цикловой синхросигнал.

### НОМЕНКЛАТУРА

$C_k$  – значение побочного максимума корреляции для сдвига на  $k$  символов  $N$ -битной кодовой последовательности ( $X_i$ );

$P_{ws}$  – вероятность пропуска для  $N$ -битного слова, если допустимо  $k$  или меньше ошибок;

$t_{ac.e}$  – время накопления по входу в синхронизм;

$t_s$  – время поиска синхросигнала;

$P_s$  – вероятность искажения одиночного символа в групповом сигнале;

$T_C$  – период формирования циклового синхросигнала;

$p$  – вероятность битовой ошибки;

$X_i$  – отдельный кодовый символ, приобретает значение  $\pm 1$ ;

$P_{fa}$  – вероятность ложной тревоги, вызванная  $N$  битами случайной последовательности данных;

$t_r$  – периодом удержания и (или) восстановления синхронизма;

$t_{out.ac}$  – время накопления по выходу из синхронизма;

$P(1)$  – вероятность искажения синхрогруппы (вероятность поступления единицы в накопитель по выходу из синхронизма);

$n_{sg}$  – длина кодовой синхрогруппы (количество символов в синхрогруппе);

$\bar{T}_{ret}$  – среднее время удержания циклового синхронизма;

$k1$  – емкость накопителя по выходу из синхронизма;

$\bar{T}_{out}$  – среднее время накопления по выходу из синхронизма ;

$\bar{T}_{ent}$  – среднее время входа в синхронизм;

$k2$  – емкость накопителя по входу в синхронизм;

$\bar{T}_s(1)$  – среднее время поиска синхросигнала для синхрогруппы с одной критической точкой;

$\bar{T}_s(n_{sg})$  – среднее время поиска синхросигнала для синхрогруппы с  $n_{sg}$  критическими точками;

$N_0$  – количество символов между двумя синхросигналами;

$P'(1)$  – вероятность появления единицы на входе накопителя по входу в синхронизм, равная вероятности искажения хотя бы одного разряда синхросигнала;

$P''(1)$  – вероятность появления единицы на входе накопителя по входу в синхронизм, равная вероятности формирования ложной синхрогруппы.

## ВВЕДЕНИЕ

СЦС предназначена для восстановления и удержания состояния циклового синхронизма между передающей и приемной станциями цифровой системы передачи, что обеспечивает правильное распределение групповых сигналов по отдельным каналам, а также синхронную работу передающего и приемного оборудования временного группообразования. Цикловая синхронизация осуществляется с помощью ЦСС, который вводит в соответствующие цифровые потоки.

В настоящее время сети операторов связи активно внедряют сети синхронизации, реализованные на транспортной сети IP/MPLS. При увеличении количества устройств (например, точек доступа) проблемы синхронизации не могут быть рассмотрены в частном порядке и должны рассматриваться системно [1]. С дальнейшим увеличением количества цифровых устройств начинают меняться концепции построения сети синхронизации и принципы управления ею с целью предотвращения сбоя синхронизации [2, 3]. Основными причинами, вызывающими сбой цикловой синхронизации являются выход из синхронизма. Это приводит к изменению длительности цикла, так как в цикле появятся, или пропадут один или несколько тактовых интервалов, и искажение символов синхросигнала в результате воздействия помех. При

этом важной характеристикой системы синхронизации является среднее время удержания синхронизма.

**Объектом исследования** является процесс синхронизации в сетях нового поколения с использованием протокола RTP (IEEE1588v2).

**Предмет исследования** составляют модели и методы синхронизации в сетях нового поколения с использованием протокола RTP (IEEE1588v2).

**Целью работы** является проведение анализа характеристик синхронизации в сетях нового поколения с использованием протокола RTP (IEEE1588v2).

## 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В самом общем виде канал цикловой синхронизации является совокупностью следующих основных блоков (рис. 1): ФСС, формирующий определенную структуру синхросигнала; Пер СС, обеспечивающий ввод синхросигнала в структуру соответствующего цифрового потока; ПРМ СС, выделяющий синхросигнал с цифрового сигнала соответствующего потока, БУЦС, обеспечивающий управление процессами цикловой синхронизации, а именно поиск и поддержка синхронизма, защита от ошибочного синхронизма.

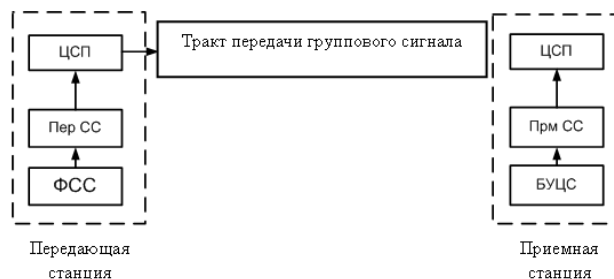


Рисунок 1 – Канал цикловой синхронизации

Выбор способа синхронизации – достаточно сложная техническая задача, от решения которой зависит выполнение требований по быстродействию, надежности и экономичности СЦС. Это обстоятельство привело к разработке большого количества способов синхронизации, отличающихся друг от друга, как принципами действия, так и объемом оборудования. Самым простым методом, используемым для обеспечения цикловой синхронизации, является введение синхросигнала. Синхросигнал, определяющий начало каждого цикла, формируется на передающей станции и вместе с информационными сигналами передается по соответствующим трактам ЦСП (рис. 1). Для выделения синхросигнала на приемной станции его необходимо отделить от информационного сигнала.

Синхросигнал различают по количеству символов или разрядов (многоуровневые и одноуровневые), по структуре (по характеру чередования импульсов и пропусков) и по распределению символов в цикле передачи (сосредоточенные и рассредоточенные). В частном случае в качестве синхросигнала может быть использована периодическая последователь-

ность, состоящая из одиночных импульсов или чередующихся импульсов.

Выбор количества разрядов в синхросигнале определяется компромиссом между необходимым временем восстановления синхронизма и эффективной емкостью ЦСП, а выбор его структуры – требованием обеспечения малой вероятности формирования информационных кодовых групп, аналогичных по характеру и периодичности переданному синхросигналу (защита от ошибочного синхронизма).

Преимуществом введения циклового синхросигнала является его простота. Для синхронизации может быть достаточно даже одного бита, чтобы принять решение, находится система в состоянии цикловой синхронизации. Основным недостатком заключается в том, что данное достаточное число может быть очень большим, следовательно, большим может быть и время, необходимое для достижения синхронизации. Таким образом, наибольшую пользу цикловые синхросигналы оказывают в системах, которые непрерывно передают данные, подобно многим телефонным и компьютерным каналам связи, и не подходят для систем, передающих отдельные пакеты, или систем, требующих быстрого получения цикловой синхронизации. Еще одним недостатком циклового синхросигнала является то, что введенный бит (биты) может повысить громоздкость структуры потока данных.

В системах с неустойчивыми или пульсирующими передачами или в системах с необходимостью быстрого получения синхронизации рекомендуется использовать синхронизирующие кодовые слова. Обычно такие кодовые слова передаются как часть заголовка сообщения. Приемник должен знать кодовое слово и постоянно искать его в потоке данных, возможно, используя для этого коррелятор на согласованных фильтрах. Детектирование кодового слова укажет известную позицию (как правило, начало) информационного цикла. Преимуществом такой системы является то, что цикловая синхронизация может достигаться практически мгновенно. Единственная задержка – отслеживание кодового слова. Недостаток – кодовое слово, выбираемое для сохранения низкой вероятности ложного детектирования, может быть длинным по сравнению с цикловым синхросигналом. Следует отметить, что сложность определения корреляции пропорциональна длине последовательности, поэтому при использовании кодового слова коррелятор может быть относительно сложным.

## 2 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Передача сигнала синхронизации любого типа осуществляется с некоторой точностью, которая должна подчиняться требованиям технологий новых сервисов или нормативным документам. Таким образом, требования к синхронизации определяются в итоге приложениями и сервисами, которые предоставляются операторами связи, но транспортная сеть должна иметь возможность удовлетворить все потребности и соответствовать даже очень строгим

© Коляденко Ю. Ю., Шостко И. С., Агеев Д. В., 2019  
DOI 10.15588/1607-3274-2019-3-11

нормам [1, 4]. Сегодня можно сказать о трех способах решения этой проблемы – с помощью GNSS, стандарта SyncEthernet или протокола PTP.

К недостаткам GNSS можно отнести обязательное использование антенны и то, что система не может работать в закрытых помещениях. Кроме того, резервирование может быть осуществлено только установкой двух приемников на каждую базовую станцию, что удорожает решение [5, 6]. Изначально технология Ethernet разрабатывалась исключительно для использования в локальных сетях. Методы линейного кодирования информации на физическом уровне выбирались в соответствии с задачами, которые не предполагали передавать синхросигнал. В сетях SDH изначально использовались линейные коды NRZ, которые приспособлены для передачи синхронизации на физическом уровне канала связи [1, 4–6]. При создании технологии SyncEthernet физический уровень и методы кодирования были заимствованы у технологии SDH, а второго (канального) уровня изменения практически не коснулись. Структура кадров осталась неизменной, за исключением SSM-байта статуса синхронизации. Его значения также были заимствованы в технологии SDH.

К преимуществам технологии SyncEthernet можно отнести использование SDH структуры физического уровня, а вместе с этим – огромный опыт проектирования и построения сетей тактовой сетевой синхронизации. Идентичность методов сохранила актуальность старых рекомендаций G.803, G.804, G.811, G.812 и G.813 в новой технологии. Дорогие устройства – первичные эталонные генераторы, вторичные задающие генераторы – могут быть задействованы также и в новой транспортной сети, построенной на стандарте SyncEthernet.

К недостаткам SyncEthernet можно отнести то, что во всей сети передачи каждое устройство должно поддерживать новый стандарт, и, если в линии остается устройство, которое не поддерживает SyncEthernet, то все устройства, которые стоят за этим узлом, не могут работать в синхронном режиме. Следовательно, требуются большие материальные затраты на модернизацию всей сети. Так же к недостаткам следует отнести, что данный метод поддерживает передачу только частотной синхронизации.

И последний способ передачи синхронизации, который в последнее время становится все более популярным, – это протокол PTP. Он описан в рекомендации IEEE 1588. В 2008 году вышла вторая версия этого документа, которая описывает использование протокола в телекоммуникационных сетях. Precise Time Protocol достаточно молодой, но сама технология передачи времени была заимствована у протокола NTP [7, 8]. Протокол NTP в своей последней версии не дает точность, которая необходима для современных приложений, и поэтому он остался хорошим средством для временной синхронизации, которое широко используется в синхронизации серверов, распределенных баз данных и т.д. Но в построении сети такто-

вой сетевой синхронизации подходит логическое продолжение протокола NTP – это протокол PTP. Сетевыми элементами, которые участвуют во взаимодействии по протоколу PTP, являются следующие устройства: PTP Grand Master и PTP Slave. Обычно Grand Master берет синхронизацию от GNSS приемника и, используя эту информацию, обменивается пакетами с Slave устройством и постоянно корректирует временные расхождения между Grand Master и Slave устройствами. Чем активнее будет этот обмен, тем точность корректировки будет выше.

Недостатком такого активного обмена является увеличение полосы пропускания, которая выделяется для протокола PTP. Самой главной проблемой в расчете расхождения временных интервалов является то, что между устройствами Grand Master и Slave могут стоять «классические» маршрутизаторы 3-го уровня. Термин «классические» в данном случае употреблен для того, чтобы подчеркнуть, что данные устройства ничего не понимают в протоколе PTP 5-го уровня. Задержками в буферах таких маршрутизаторов управлять достаточно сложно, и они носят случайный характер. Для того чтобы осуществлять контроль над этими случайными ошибками, а также чтобы расчет расхождения времени между Grand Master и Slave был точнее, в протоколе PTP был введен специальный параметр – метка времени (Time Stamp). Эта метка указывает на время прохождения пакета через маршрутизатор. Если на всем пути от Grand Master до Slave маршрутизаторы будут обладать функциональностью PTP и выставлять метку времени, то случайную ошибку, связанную с прохождением пакетов PTP через IP сеть, можно будет свести к минимуму [9–12].

Следует отметить, что в известных работах отсутствует анализ характеристик синхронизации в сетях нового поколения с использованием протокола PTP.

### 3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Хорошим синхронизирующим кодовым словом является то, которое имеет малое абсолютное значение «побочных максимумов корреляции». Побочный максимум корреляции – это значение корреляции кодового слова с собственной сдвинутой версией. Итак, это значение побочного максимума корреляции для сдвига на  $k$  символов  $N$ -битной кодовой последовательности  $(X_i)$  ( $1 \leq i \leq N$ ) описывается следующим выражением:

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

Система, использующая синхронизирующее слово, описывается двумя вероятностями – вероятностью пропуска синхронизма и вероятностью его ошибочного установления (вероятностью ложной тревоги). Вероятность пропуска для  $N$ -битного слова, если допус-

тимо  $k$  или меньше ошибок, описывается следующим выражением:

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

Вероятность ложной тревоги, вызванная  $N$  битами случайной последовательности данных, описывается следующим выражением:

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

Установлению состояния синхронизма в ЦСП предшествует режим его поиска. Поиск состояния синхронизма – это процесс контроля импульсных позиций группового цифрового сигнала с целью выявления синхросигнала. По результатам каждого контрольного испытания принимается решение о соответствии или несоответствии символов рассматриваемого группового сигнала синхросигнала, а, следовательно, о необходимости продолжения или прекращения поиска. Состояние циклового синхронизма в ЦСП обычно считается достигнутым с выявлением кодовых групп синхросигнала определенное количество раз подряд, хотя возможны и другие критерии фиксации состояния синхронизма.

По способу построения приемники циклового синхросигнала можно разделить на адаптивные и неадаптивные. В неадаптивных приемниках емкости накопителей по входу и выходу из синхронизма не меняются в процессе работы. Недостаток такого способа построения приемников заключается в том, что при увеличении вероятности искажения символов группового сигнала емкость накопителя по выходу из синхронизма оказывается недостаточной, а при уменьшении этой вероятности лишний объем накопителя необоснованно увеличивает время восстановления синхронизма. В адаптивных приемниках емкости накопителей по входу и выходу из синхронизма меняются соответственно изменению статистики ошибок в групповом сигнале.

Неадаптивные приемники характеризуются периодом удержания и (или) восстановления синхронизма, состоящего из нескольких составляющих:

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

Процессы, определяющие время удержание и восстановления синхронизма, принято характеризовать средним временем удержания синхронизма, которое равно среднему интервалу времени между двумя сбоями цикловой синхронизации. Сбой происходит при искажении синхрогрупп, появляющихся одна за другой. При этом количество искаженных синхрогрупп должно быть не меньше емкости накопителя по выходу из синхронизма. Единица на входе накопителя

появляется при искажении хотя бы одного импульса синхрогруппы. Вероятность такого события:

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

Среднее время удержания циклового синхронизма:

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

Среднее время выхода из синхронизма равно среднему времени заполнения накопителя по выходу из синхронизма. Формирование единицы при сбое синхронизма происходит при отсутствии ложного синхросигнала в такте посылки сигнала от ГО. Вероятность такого события:

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

Вероятность нуля или единицы будет равна 1/2. При этих условиях среднее время по выходу из синхронизма описывается выражением (6), в котором  $P(1)$  определяется по формуле (7). Выражение для среднего времени накопления по выходу из синхронизма с учетом последнего замечания, можно представить в виде:

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

Среднее время входа в синхронизм равно среднему времени заполнения накопителя по входу в синхронизм:

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

Среднее время поиска сигнала в процессе восстановления синхронизма зависит от структуры синхросигнала, которую классифицируют по наличию критических точек. Суммарное время поиска состоит из двух составляющих: времени поиска в зоне случайного сигнала и в зоне синхрогруппы.

Запишем расчетные соотношения для среднего времени поиска синхросигнала:

– для синхрогруппы с одной критической точкой:

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

для синхрогруппы с  $n_{sg}$  критическими точками:

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

Таким образом, для неадаптивных приемников цикловой синхронизации емкости накопительных устройств (по выходу из синхронизма и по входу в синхронизм) являются постоянными величинами и соответствуют предполагаемой вероятности ошибок в линейном тракте.

Для адаптивных приемников среднее время удержания синхронизма:

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

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

#### 4 ЭКСПЕРИМЕНТЫ

В среде Matlab с помощью математического моделирования проведен анализ характеристик синхронизации в сетях нового поколения с использованием протокола RTP. Проведено исследование зависимости среднего времени удержания циклового синхросигнала от вероятности искажения одиночного символа в групповом тракте. Для получения численных значений заданы: емкость накопителя по выходу из синхронизма  $k1$  (количество ячеек) принимали значения 2, 4, 6; интервал прохождения синхрогруппы – 0,25 мс; синхрогруппы содержат 7 разрядов; вероятность искажения одиночного символа в групповом тракте  $P_s$  изменялась в пределах  $10^{-5} \dots 10^{-2}$ .

Проведено исследование зависимости среднего времени заполнения накопителя по выходу из синхронизма для неадаптивного приемника циклового синхросигнала от емкости накопителя по выходу из синхронизма. Емкость накопителя по выходу из синхронизма  $k1$  (количество ячеек) принимала значения в пределах от 2 до 40; интервал прохождения синхрогруппы – 0,25 мс; синхрогруппы содержат 7 разрядов.

Проведено исследование зависимости среднего времени заполнения накопителя по входу в синхронизм для неадаптивного приемника циклового синхросигнала от вероятности искажения одиночного символа в групповом тракте. В качестве исходных данных заданы: интервал прохождения синхрогруппы

– 0,25 мс; синхрогрупи містять 7 разрядів, ємкість накопичувача по вході в синхронізм  $k2$  приймає значення 2, 4 і 6 ячеек, ймовірність спотворення окремого символу в груповому тракті  $P_s$  змінюється в межах  $10^{-5} \dots 10^{-2}$ .

Проведено дослідження залежності середнього часу пошуку синхрогрупи для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від довжини кодової комбінації синхрогрупи. В якості вихідних даних задані: інтервал часу між двома синхросигналами  $T_C = 0,25$  мс, довжина кодової комбінації синхрогрупи  $n_{cz}$  змінюється в межах від 2 до 6, кількість символів між двома синхросигналами  $N_0 = 256 \cdot 2 - n_{sg}$ .

Проведено дослідження залежності середнього часу пошуку синхрогрупи для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від кількості символів між двома синхросигналами. В якості вихідних даних 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  $N_0 = 8 \cdot 2 - n_{sg}$  до  $N_0 = 1024 \cdot 2 - sg$ .

## 5 РЕЗУЛЬТАТИ

В результаті експерименту отримані залежності середнього часу утримання циклового синхронізму для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від ймовірності спотворення окремого символу в груповому тракті (рис. 2) при  $k1=2$  – нижня крива, при  $k1=4$  – середня крива, і при  $k1=6$  – верхня крива.

Отримана залежність середнього часу заповнення накопичувача по виході з синхронізму для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від ємкості накопичувача по виході з синхронізму (рис. 3).

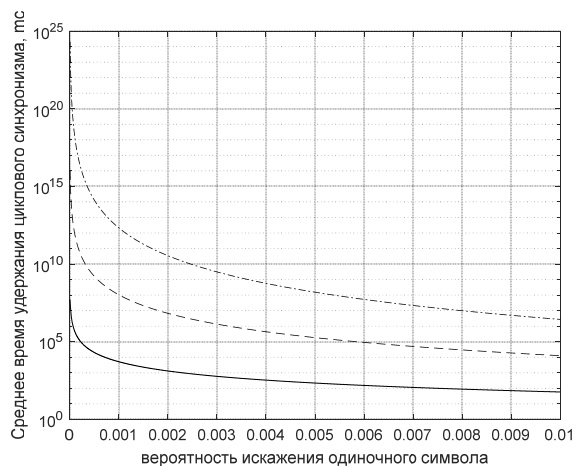


Рисунок 2 – Залежності середнього часу утримання циклового синхронізму для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від ймовірності спотворення окремого символу в груповому тракті

© Коляденко Ю. Ю., Шостко І. С., Агєєв Д. В., 2019  
 DOI 10.15588/1607-3274-2019-3-11

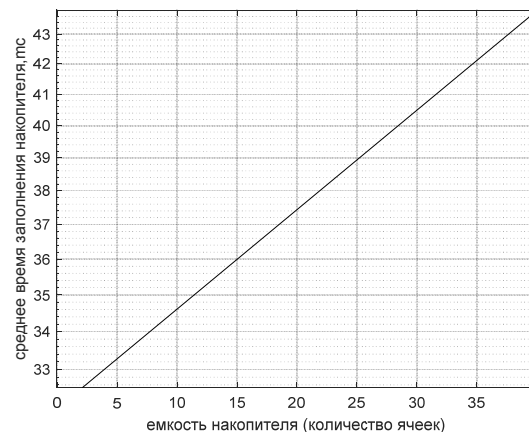


Рисунок 3 – Залежність середнього часу заповнення накопичувача по виході з синхронізму для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від ємкості накопичувача по виході з синхронізму

Отримані залежності середнього часу заповнення накопичувача по вході в синхронізм для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від ймовірності спотворення окремого символу в груповому тракті (рис. 4) при  $k2=2$  – нижня крива, при  $k2=4$  – середня крива, і при  $k2=6$  – верхня крива.

Отримані залежності середнього часу пошуку синхрогрупи для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від довжини кодової комбінації синхрогрупи (рис. 5) з однією і  $n_{sg}$  критичними точками.

Отримані залежності середнього часу пошуку синхрогрупи для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від кількості символів між двома синхросигналами (рис. 6). На рис. 6 а представлені дані залежності при використанні слів з 1-й критичною точкою. На рис. 6 б представлені дані залежності при використанні слів з  $n_{sg}$  критичними точками. Верхні криві на даних рисунках відповідають довжині кодової комбінації синхрогрупи  $n_{sg} = 5$ , середні криві –  $n_{sg} = 7$  і нижні криві  $n_{sg} = 9$ .

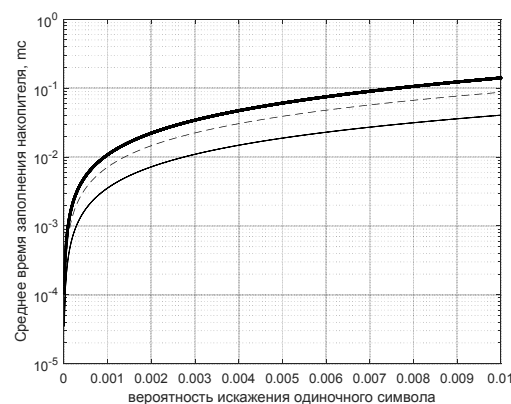


Рисунок 4 – Залежності середнього часу заповнення накопичувача по вході в синхронізм для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від ймовірності спотворення окремого символу в груповому тракті

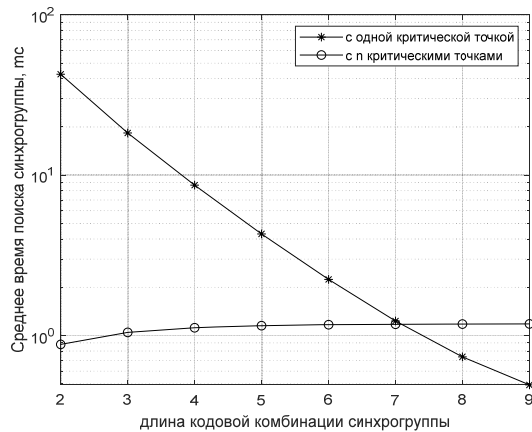
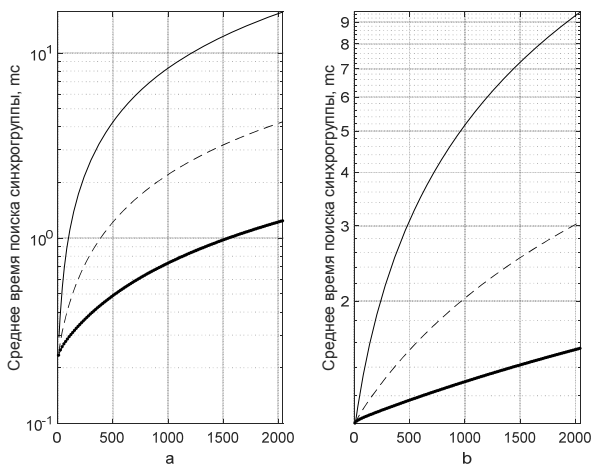


Рисунок 5 – Зависимости среднего времени поиска синхросигнала для неадаптивного приемника циклового синхросигнала от длины кодовой комбинации синхросигнала



Количество символов между двумя синхросигналами

Рисунок 6 – Зависимости среднего времени поиска синхросигнала для неадаптивного приемника циклового синхросигнала от количества символов между двумя синхросигналами

## 6 ОБСУЖДЕНИЯ

Из графиков (рис. 2) видно, что при небольших вероятностях искажения одиночного символа  $P_s = 10^{-5}$  среднее времени удержания циклового синхронизма достаточно большое и составляет:  $\bar{T}_{ret} = 5,102 \cdot 10^7$  мс при емкости накопителя по выходу из синхронизма  $k1=2$ ,  $\bar{T}_{ret} = 1,041 \cdot 10^{16}$  мс при  $k1=4$  и  $\bar{T}_{ret} = 2,125 \cdot 10^{24}$  мс при  $k1=6$ . С увеличением вероятности искажения одиночного символа среднее времени удержания циклового синхронизма вначале резко снижается, с увеличением вероятности искажения одиночного символа уменьшение среднего времени удержания циклового синхронизма приобретает практически линейную зависимость и в дальнейшем практически не меняется.

Судя по полученной зависимости (рис. 3) можно сделать вывод о том, что среднее время заполнения

накопителя по выходу из синхронизма растет с увеличением емкости накопителя и имеет линейную зависимость.

Из графиков (рис. 4) видно, что среднее время заполнения накопителя по входу в синхронизм увеличивается с повышением вероятности искажения одиночного символа. Причем это увеличение сначала имеет экспоненциальный характер, затем приобретает линейную зависимость. Также, среднее время заполнения накопителя увеличивается с увеличением емкости накопителя по входу в синхронизм.

Из полученных зависимостей (рис.5) можно сделать вывод о том, что среднее время поиска синхросигнала уменьшается с увеличением длины кодовой комбинации синхросигнала с 1-й критической точкой и остается практически постоянным с  $n_{sg}$  критическими точками.

Из полученных зависимостей (рис. 6) видно, что среднее время поиска синхросигнала увеличивается с увеличением количества символов между двумя синхросигналами. Причем чем больше длина кодовой комбинации синхросигнала, среднее время поиска синхросигнала меньше. Так же из данных графиком можно сделать вывод о том, что, среднее время поиска синхросигнала практически не зависит, от того, сколько использовано критических точек в синхросигнале.

## ВЫВОДЫ

Основными причинами, вызывающими сбой цикловой синхронизации являются выход из синхронизма. Это приводит к изменению длительности цикла, так как в цикле появятся, или пропадут один или несколько тактовых интервалов, и искажение символов синхросигнала в результате воздействия помех. При этом важной характеристикой системы синхронизации является среднее время удержания синхронизма. В работе предложен комплекс характеристик синхронизации в сетях нового поколения с использованием протокола RTP.

**Научная новизна** полученных результатов заключается в том, что впервые проведен комплексный анализ характеристик синхронизации в сетях нового поколения с использованием протокола RTP: среднего времени удержания циклового синхронизма; среднего времени заполнения накопителя по выходу из синхронизма; среднего времени заполнения накопителя по входу в синхронизм и среднего времени поиска синхросигнала.

**Практическая значимость** полученных результатов заключается в том, что проведенные исследования характеристик синхронизации позволяют дать рекомендации по применению протокола RTP в конкретных практических ситуациях.

**Перспективами дальнейших исследований** является разработка синхронизирующих кодовых слов.

## БЛАГОДАРНОСТІ

Робота виконана при содействии кафедри інфо-комунікаційної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки.

## ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Coping with overload on the Network Time Protocol public servers, Proc. Precision Time and Time Interval (PTTI) / [D.L.Mills, J.Levine, R.Schmidt, D.Plonka] // Applications and Planning Meeting, Washington, 25 december 2004: proceedings. Washington, 2004. – P. 5–16.
2. Mills D.L. Computer Network Time Synchronization: the Network Time Protocol / D.L.Mills. – University of Delaware: Published by CRC Press, 2006. – 304 p.
3. Definitions and terminology for synchronization networks // Recommendation ITU-T G.810. – 1996.
4. Borovkov A. Ergodicity of a polling network / A. Borovkov, R. Schassberger // Stoch. Proc. Appl. – 1994. – Vol. 50. – P. 253–262.
5. Winands E. Mean value analysis for polling systems/ E. Winands, I. Adan, G. J. Houtum // Queueing Systems. – 2006. – Vol. 54. – P. 45–54.
6. Boon M. Applications of polling systems/ M. Boon, R. Mei, E. Winands // Surveys in Operations Research and Management Science. – 2011. – Vol. 16, № 2. – P. 67–82.
7. Liskov B. Practical uses of synchronized clocks in distributed systems/ B. Liskov // Proceedings of the 10th Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, Montreal 18–20 april 1991: proceedings. Montreal, 1991. – P.1–9.
8. Lamport L. Time, clocks and the ordering of events in a distributed system/ L. Lamport // Commun. ACM. – 1978. – № 21(7). – P. 558–565.
9. Mills D. L. Internet time synchronization: the Network Time Protocol / D. L. Mills / IEEE Trans. Commun., COM-39. – 1991. – № 10. – P. 1482–1493.
10. Timing characteristics of primary reference clocks // Recommendation ITU-T G.811. – 1997.
11. Implementation of FPGA-Based Network Synchronization Using IEEE 1588 Precision Time Protocol (PTP) / [Chavan A., Nagurvalli S., Jain M., Chaudhari S.] // Recent Findings in Intelligent Computing Techniques. Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2018. – № 708. – P. 137–143.
12. Laine T. New synchronization metrics for packet networks: thesis ... doctor of philosophy/ T. Laine. – Espoo : Faculty of Electronics, Communications and Automation of Aalto University, 2010. – 92 p.

Статья поступила в редакцию 19.03.2019  
После доработки 03.06.2019.

УДК 621.396.677.49

## АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ЦИКЛОВОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯ ПРОТОКОЛУ РТР (IEEE1588v2)

**Коляденко Ю. Ю.** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри інфокомунікаційної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна.

**Шостко І. С.** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри інфокомунікаційної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна.

**Агеев Д. В.** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри інфокомунікаційної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна.

## АНОТАЦІЯ

**Актуальність.** У статті наводяться результати аналізу характеристик синхронізації в мережах нового покоління з використанням протоколу РТР. Об'єктом дослідження є процес синхронізації в мережах нового покоління з використанням протоколу РТР (IEEE1588v2). Метою даної роботи є проведення аналізу характеристик синхронізації в мережах нового покоління з використанням протоколу РТР.

**Метод.** Основними причинами, що викликають збій циклової синхронізації є вихід із синхронізму. Це призводить до зміни тривалості циклу, так як в циклі з'являться, або пропадуть один або декілька тактових інтервалів, і спотворення символів синхросигналу в результаті дії завад. При цьому важливою характеристикою системи синхронізації є середній час утримання синхронізму. Запропоновано комплекс характеристик синхронізації в мережах нового покоління з використанням протоколу РТР: середній час утримання циклового синхронізму; середній час заповнення накопичувача по виходу із синхронізму; середній час заповнення накопичувача по входу в синхронізм і середній час пошуку синхрогрупи.

**Результати.** Проведено аналіз запропонованих характеристик синхронізації в мережах нового покоління з використанням протоколу РТР. Проведено дослідження залежності середнього часу утримання циклового синхронізму для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від ймовірності спотворення одиночного символу в груповому тракті. Проведено дослідження залежності середнього часу заповнення накопичувача по виходу із синхронізму від ємності накопичувача по виходу із синхронізму. Проведено дослідження залежності середнього часу заповнення накопичувача по входу в синхронізм для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від ймовірності спотворення одиночного символу в груповому тракті. Проведено дослідження залежності середнього часу пошуку синхрогрупи для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від довжини кодової комбінації синхрогрупи. Проведено дослідження залежності середнього часу пошуку синхрогрупи для неадаптивного приймача циклового синхросигналу від кількості символів між двома синхросигналами.

**Висновки.** Проведені дослідження характеристик синхронізації дозволяють дати рекомендації щодо застосування протоколу РТР в конкретних практичних ситуаціях. Перспективи подальших досліджень можуть полягати в розробці синхронізуючих кодових слів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** технологія синхронізації РТР, аналіз характеристик синхронізації.



UDC621.396.677.49

**ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF CYCLIC SYNCHRONIZATION SYSTEMS WITH THE USE OF THE PTP PROTOCOL (IEEE1588v2)**

**Kolyadenko Yu. Yu.** – Dr. Sc, Professor, Professor of the Department of Information and Communication Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkov, Ukraine.

**Shostko I. S.** – Dr. Sc, Professor, Professor of the Department of Information and Communication Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkov, Ukraine.

**Ageev D. V.** – Dr. Sc, Professor, Professor of the Department of Information and Communication Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkov, Ukraine.

**ABSTRACT**

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

**Method.** The main causes of frame alignment failures are out of synchronism. This leads to a change in the cycle duration, since one or several clock intervals will appear in the cycle, or the clock symbols will become distorted as a result of interference. In this case, an important characteristic of the synchronization system is the average retention time. A set of synchronization characteristics in the networks of the new generation using the PTP protocol is proposed: the average retention time of frame alignment; average time to fill the drive to get out of sync; the average time of filling the drive at the entrance to synchronism and the average time of searching for a sync group.

**Results.** The analysis of the proposed synchronization characteristics in the networks of the new generation using the PTP protocol has been carried out. A study was made of the dependence of the average cycle hold time for a non-adaptive receiver of a cyclic clock signal on the probability of distortion of a single symbol in the group path. A study was conducted of the dependence of the average filling time of a drive for sync matching from the capacity of the drive for sync matching. A study was made of the dependence of the average drive fill time on an entry into synchronism for a non-adaptive receiver of a cyclic sync signal on the probability of distortion of a single symbol in a group path. A study was made of the dependence of the average search time of a sync group for a non-adaptive receiver of a cyclic sync signal on the length of a code combination of a sync group. A study was made of the dependence of the average sync group search time for a non-adaptive receiver of a cyclic sync signal on the number of symbols between two sync signals.

**Conclusions.** Conducted studies of the characteristics of synchronization allow us to make recommendations on the application of the PTP protocol in specific practical situations. Prospects for further research may lie in the development of sync code words.

**KEYWORDS:** PTP synchronization technology, synchronization characteristics analysis.

**REFERENCES**

1. Mills D. L., Levine J., Schmidt R., Plonka D. Coping with overload on the Network Time Protocol public servers, Proc. Precision Time and Time Interval (PTTI), *Applications and Planning Meeting, Washington, 25 december 2004: proceedings*. Washington, 2004, pp. 5–16.
2. Mills D.L. Computer Network Time Synchronization: the Network Time Protocol, University of Delaware: Published by CRC Press, 2006, 304 p.
3. Definitions and terminology for synchronization networks, Recommendation ITU-T G.810, 1996.
4. Borovkov A., Schassberger R. Ergodicity of a polling network, *Stoch. Proc. Appl.*, 1994, Vol. 50, pp. 253–262.
5. Winands E., Adan I., Houtum G. J. Mean value analysis for polling systems, *Queueing Systems*, 2006, Vol. 54, pp. 45–54.
6. Boon M., Mei R., Winands E. Applications of polling systems, *Surveys in Operations Research and Management Science*, 2011, Vol. 16, No. 2, pp. 67–82.
7. Liskov B. Practical uses of synchronized clocks in distributed systems, *Proceedings of the 10th Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, Montreal 18–20 april 1991: proceedings*. Montreal, 1991, pp. 1–9.
8. Lamport L. Time, clocks and the ordering of events in a distributed system, *Commun. ACM*, 1978, No. 21(7), pp. 558–565.
9. Mills D. L. Internet time synchronization: the Network Time Protocol, *IEEE Trans. Commun.*, COM-39, 1991, No. 10, pp. 1482–1493.
10. Timing characteristics of primary reference clocks. Recommendation ITU-T G.811, 1997.
11. Chavan A., Nagurvalli S., Jain M., Chaudhari S. Implementation of FPGA-Based Network Synchronization Using IEEE 1588 Precision Time Protocol (PTP), *Recent Findings in Intelligent Computing Techniques. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, No. 708, pp. 137–143.
12. Laine T. New synchronization metrics for packet networks: thesis ... doctor of philosophy, Espoo, Faculty of Electronics, Communications and Automation of Aalto University, 2010, 92 p.