

Выбор техник сжатия заголовков пакетов при передаче IP-трафика через ВЧ-каналы связи

А.Г. Меркулов

В статье обсуждается вопрос применения техник сжатия заголовков пакетов речи и данных в пакетных ВЧ-каналах. На основе сравнительного анализа предложены две концепции использования техник сжатия заголовков, предназначенных для использования в ВЧ-системах связи.

Ключевые слова: ВЧ-связь, пакетные сети, VoIP, сжатие заголовков.

1. Введение

На сегодняшний день всё более актуальным становится вопрос организации конвергентных пакетных сетей между объектами энергетических предприятий с использованием систем ВЧ-связи. При передаче IP-трафика по многосегментным IP-ВЧ каналам связи, одним из основных вопросов является увеличение доли полезного трафика и уменьшения доли трафика заголовков пакетов. Это позволяет более эффективно использовать пропускную способность канала связи.

Задачей исследования, результаты которого приводятся в статье, является поиск эффективных техник сжатия заголовков пакетов речи и данных при использовании их с ЦВЧ-оборудованием.

2. Анализ информационной нагрузки ЦВЧ-каналов связи

ЦВЧ-системы связи с функцией передачи IP-трафика [1 – 3] появились относительно недавно. Напомним, что ЦВЧ – это оборудование, в котором используются цифровые методы модуляции: OFDM, QAM и др.

Системы высокочастотной связи (ВЧ) по воздушным линиям (ВЛ) электропередачи (ЛЭП) представляют собой класс оборудования, широко распространенного в ведомственных телекоммуникационных сетях энергетических компаний. Оборудование используется для передачи речи и данных между подстанциями (ПС) и диспетчерскими центрами. Для передачи информационного сигнала в технике ВЧ-связи используются фазные провода и грозозащитные тросы ВЛ. Оборудование ВЧ-связи по ВЛ применяется на линиях классом напряжения от 35 до 1150 кВ. Для работы используется спектр частот от 16 до 1000 кГц с каналами шириной, кратной 4 кГц. Типовые полосы ВЧ-каналов связи: 4, 8, 12, 16, 20, 24, 32 кГц в каждую сторону передачи.

Рассматривая вопрос информационной нагрузки IP-ВЧ каналов связи, необходимо отметить, что трафик имеет отраслевую специфику и может быть разделён на четыре класса:

- трафик диспетчерских каналов связи;
- трафик передачи данных от системы диспетчерского управления и сбора данных подстанцией – Supervisory for Control And Data Acquisition (SCADA);

- трафик передачи данных автоматизированной системы коммерческого учёта электроэнергии - АСКУЭ;
- дополнительные сервисы: электронная почта, интернет и др.

Первые три класса являются приоритетными и обязательными в процессе управления подстанцией, четвёртый класс представляет собой дополнительные низкоприоритетные сервисы, необязательные для процесса управления, работающие при наличии свободного ресурса пропускной способности канала связи.

При пакетированной передаче информации используются различные сетевые протоколы модели открытого взаимодействия OSI. В зависимости от типа трафика могут совместно использоваться несколько типов протоколов, и каждый из них будет увеличивать размер пакета. В табл. 1 приведены характеристики используемых протоколов с указанием доли нагрузки заголовков в общем объёме пакета и требуемой пропускной способности канала связи для приоритетных обязательных видов трафика. В качестве канального протокола в IP-ВЧ каналах, как правило, используется протокол PPP или организуются Ethernet-мосты.

Таблица 1. Доля заголовков в пакетах приоритетных видов трафика

Тип сервиса	Размер заголовков, байт				Суммарный размер заголовка пакета, байт	Полезная нагрузка, байт	Общая длина пакета, байт	Доля заголовков	Доля полезной нагрузки	Требуемая скорость передачи, кБит/с
Голос	PPP	IP	UDP	RTP		фрейм, мс	VoIP	PPP/IP/UDP/RTP	G.729	
	8	20	8	12	48	20	68	0.71	0.29	27.2
	8	20	8	12	48	30	78	0.62	0.38	20.8
	8	20	8	12	48	40	88	0.55	0.45	17.6
	8	20	8	12	48	60	108	0.44	0.56	14.4
IEC -60870 -5- 104 телеграмма										
АСУ ТП	PPP	IP	TCP	---		Данные, байт	Данные	PPP/IP/TCP		T<200 мс
	8	20	20		48	254	302	0.16	0.84	12.4
Объём данных оперативной информации для 4-х каналов учёта, байт										
АСКУЭ	PPP	IP	UTP	---		Данные, байт	Данные	PPP/IP/TCP		T<1000 мс
	8	20	20		48	120	168	0.29	0.71	1.3

Как можно увидеть из таблицы, наиболее критичным по объёму заголовков является трафик VoIP. В случаях, когда используется стандартный размер IP-дейтаграммы с двумя фреймами G.729, равными 10 мс, доля объёма полезной информации равна всего 29 %, при этом пропускная способность канала будет расходоваться в основном на передачу трафика заголовков.

Увеличение размера количества фреймов для кодека G.729 в 6 раз позволяет снизить требования к пропускной полосе для одного речевого канала более чем в три раза. Это приемлемо для односегментных каналов, но может быть критичным для многосегментных ка-

налов, так как в соответствии с рекомендацией UTI-T G.114 время задержки передачи речи из конца в конец не должно превышать 400 мс. Заметим, что каждый последующий сегмент увеличивает задержку на несколько десятков миллисекунд.

Пропускная способность IP-ВЧ канала связи зависит от скорости передачи информации между двумя устройствами, причём требования к пропускной способности должны удовлетворять следующему условию:

$$\sum_{i=1}^M (B_{i(H)} + B_{i(L)}) < B_i, \quad (1)$$

где M – количество сегментов многосегментного IP-ВЧ канала связи;

$B_{i(H)}$ – требуемая скорость передачи информации для передачи трафика заголовков пакетов i -ой службы;

$B_{i(L)}$ – требуемая скорость передачи информации для передачи трафика полезной нагрузки пакетов i -ой службы.

B_i – выполняемая скорость передачи информации для i -ого сегмента.

Скорость передачи информации определяется двумя основными параметрами:

отношением сигнал/шум (ОСШ) на входе приёмника;

техническими возможностями оборудования – спектральной плотностью информации и методами кодирования.

С увеличением затухания ВЧ-тракта и шума в линии уменьшается значение ОСШ, что приводит к уменьшению выполняемой скорости передачи информации. Скорость передачи информации при минимально возможном для конкретного оборудования значении ОСШ определяет нижнюю границу пропускной способности канала.

С другой стороны, при достижении определённого значения ОСШ увеличение скорости передачи информации уже не происходит. В современных ЦВЧ-устройствах максимальная скорость передачи информации приближается к пределу Шеннона. Выполняемая скорость передачи информации для ЦВЧ-системы может быть описана следующей функцией:

$$B = \begin{cases} B_{\max}, & \text{при } \text{ОСШ} > \text{ОСШ}_{B_{\max}}; \\ f(\text{ОСШ}), & \text{при } \text{ОСШ}_{B_{\min}} < \text{ОСШ} < \text{ОСШ}_{B_{\max}}; \\ 0, & \text{при } \text{ОСШ} < \text{ОСШ}_{B_{\min}}. \end{cases} \quad (2)$$

где: $B_{\max}$ – максимальная скорость передачи информации;

$B_{\min}$ – минимальная скорость передачи информации.

На рис. 1 приведены графики усреднённых значений $B = f(\text{ОСШ})$, полученные путём анализа технических характеристик ЦВЧ-оборудования различных производителей [1 – 3].

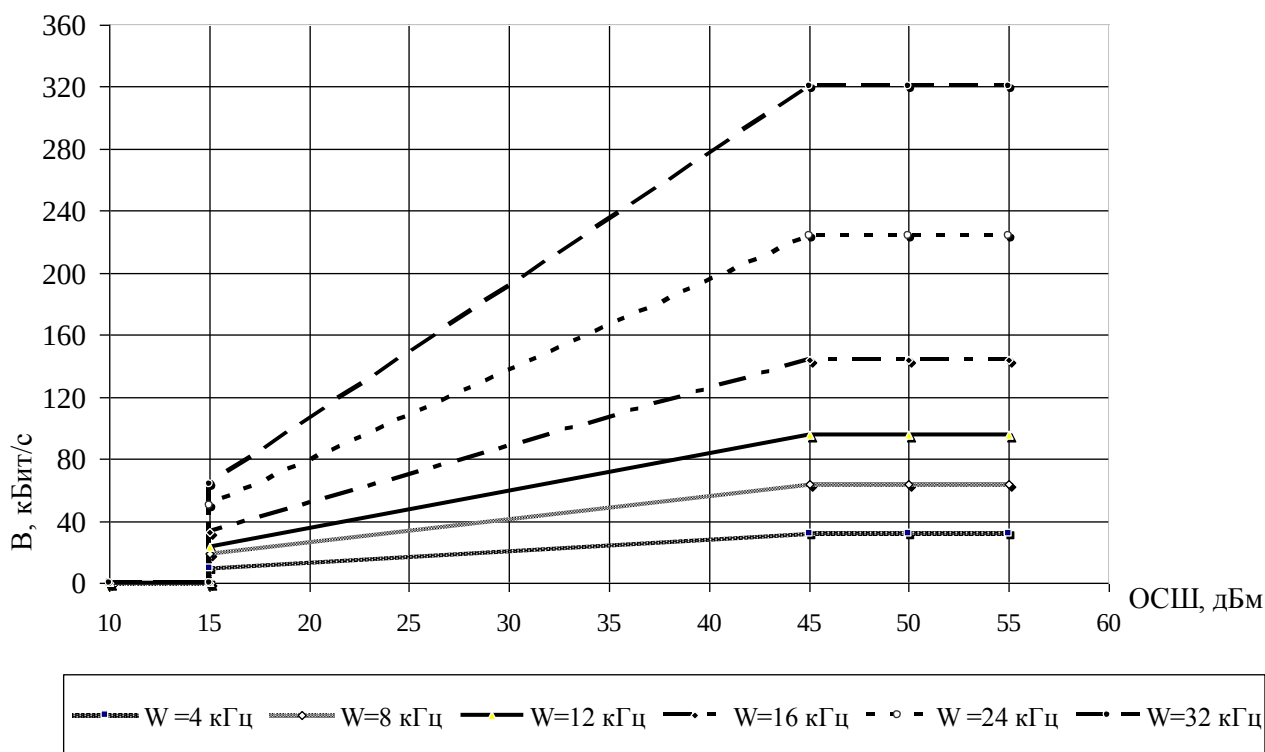


Рис. 1. Графики зависимости скорости передачи информации V от параметра ОСШ для рабочих полос ЦВЧ различной ширины W

Добиться увеличения объёма передаваемого трафика можно увеличением ширины рабочей полосы оборудования. Это даст определённое увеличение пропускной способности, но необходимо учитывать уменьшения ОСШ из-за увеличения ширины рабочей полосы при неизменном уровне передачи. Данный подход имеет относительно низкую эффективность и приводит к увеличению загруженности спектра частот ВЧ-связи.

3. Использование техник сжатия заголовков пакетов при передаче пакетного трафика через IP-ВЧ каналы связи

При передаче трафика по IP-ВЧ каналам становится актуальным вопрос уменьшения доли трафика, приходящегося на заголовки пакетов; добиться этого можно, применяя техники сжатия заголовков пакетов. Наиболее важным вопросом является уменьшение доли заголовков при передаче голосового трафика. Основной выигрыш при использовании техник сжатия заголовков приходится на речевые пакеты – полезная нагрузка в среднем 80 % при использовании сжатия против 30% – без сжатия. Для данных результаты 95% против 85%.

Для того чтобы определить сценарии практического применения техник сжатия заголовков пакетов речи и данных для IP-ВЧ каналов, был проведён обобщённый сравнительный анализ существующих алгоритмов по следующим параметрам:

- эффективность компрессии;
- надёжность работы при высоком уровне помех в канале связи;
- возможность практического применения с ЦВЧ-оборудованием.

Результаты сопоставления характеристик техник сжатия заголовков приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Параметры техник сжатия заголовков пакетов

Алгоритм Параметр	RFC 5225 Robust Header Compression Version 2	RFC- 3545 Enhanced Compressed RTP	RFC 4996 Robust Header Compression TCP	RFC 2507 IP Header Compression
Сжатия заголовков / компрессия	IP4/UDP – 96,4 % 28/1 IP4/UDP/RTP- 97,5% 40/1	IP4/UDP/RTP-90 % 40/4	IP4/TCP-90 % 40/4	IP4/UDP – 75 % 28/7 IP4/TCP – 77,5 % 40/7
Устойчивость синхронизации к потере пакетов	Высокая	высокая	высокая	низкая
Устойчивость син- хронизации к непо- следовательному приёму пакетов	Высокая	высокая	низкая	низкая
Устойчивость к задержкам	Высокая	высокая	высокая	средняя
Использование сов- местно с техникой VAD (автоматиче- ского детектирова- ния речи)	Устойчивая работа	Устойчивая работа	---	---
Практическая реализация	Контроллер Effnet_AB . Необходима интеграция в ЦВЧ	Маршрутизаторы CISCO. Испол- зование совмест- но с ЦВЧ	Контроллер Effnet_AB . Необходима интеграция в ЦВЧ	Маршрутизаторы CISCO. Испол- зование совместно с ЦВЧ
Взаимодействие маршрутизаторов и ЦВЧ	Подключение сетевого обо- рудования напрямую к ЦВЧ через ин- терфейс Ethernet	Возможность ис- пользования только с после- довательным ин- терфейсом марш- рутизатора X.21, V.35, RS.530	Подключение сетевого обо- рудования напрямую к ЦВЧ через интерфейс Ethernet	Возможность использования только с после- довательным интерфейсом маршрутизатора X.21, V.35, RS.530

В табл. 3 приведены данные о требуемой пропускной способности IP-ВЧ канала при использовании техник сжатия заголовков.

Таблица 3. Требуемая пропускная способность IP-ВЧ канала при использовании техник сжатия заголовков

Тип сервиса	Объем заголовка PPP, байт	Объем сжимаемых заголовков, байт	Размер заголовка RONSv2	Размер заголовка ECRTTP	Полезная нагрузка, байт	Общая длина пакета с RONSv2+PPP, байт	Общая длина пакета с ECRTTP+PPP, байт	Доля полезной нагрузки RONSv2	Требуемая скорость передачи PPP+RONSv2, кБит/с	Доля полезной нагрузки ECRTTP	Требуемая скорость передачи PPP+ECRTTP, кБит/с
Голос					фрейм, мс	VoIP	VoIP	G.729		G.729	
	8	48	1	4	20	29	32	0.69	11.6	0.6	12.8
	8	48	1	4	30	39	42	0.77	10.4	0.7	11.2
	8	48	1	4	60	69	72	0.87	9.2	0.8	9.6
Данные		Суммарный размер заголовка пакета, байт	Размер заголовка RONS TCP	Размер заголовка IPHC		Общая длина пакета с RONS TCP+PPP, байт	Общая длина пакета с IPHC+PPP, байт	Доля полезной нагрузки RONS TCP	Требуемая скорость передачи PPP+RONS TCP, кБит/с	Доля полезной нагрузки IPHC	Требуемая скорость передачи PPP+IPHC, кБит/с
АСУ ТП	8	48	4	7	254	266	269	0.95	10.64	0.94	10.76
АСКУЭ	8	48	4	7	120	132	135	0.91	5.28	0.89	1.08

Результаты исследования позволяют предложить две концепции использования техник сжатия заголовков пакетов в отношении IP-ВЧ каналов связи:

– интеграцию алгоритмов сжатия заголовков в функции ЦВЧ-оборудования связи – Internal headers compression **ИНС**. ИНС предусматривает применение техники RONS v2 (RFC 4995, 5225) [4] для заголовков IP/UDP, IP/UDP/RTP пакетов VoIP или SNMP управления и RONS-TCP (RFC 4996) [5] для заголовков IP/TCP;

– использование внешних устройств, поддерживающих сжатие заголовков пакетов совместно с ЦВЧ-оборудованием – External headers compression **ЕНС**. ЕНС предусматривает применение техники ECRTTP (RFC 3545) [6] для заголовков IP/UDP/RTP и IPHC (RFC 2507) для заголовков IP/TCP и IP/UDP [7].

Схематическое изображение концепций приведено на рис. 2.

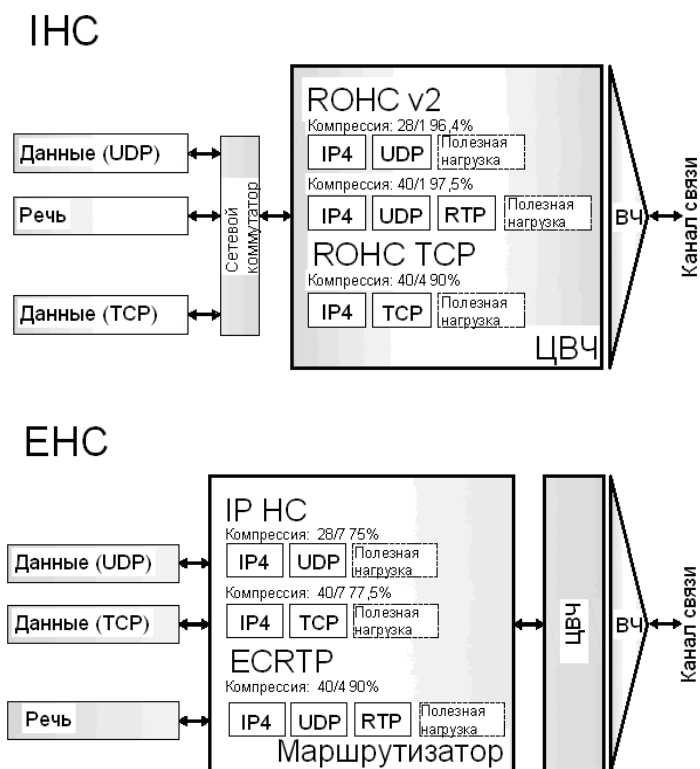


Рис. 2. Использование сжатия заголовков для ЦВЧ-оборудования

Изначально концепция ИНС требует больших затрат на реализацию. Сложность заключается в том, что необходима интеграция алгоритмов сжатия в функции ЦВЧ-оборудования. Частичная реализация данной концепции с использованием техник ROHC (RFC 3095) для заголовков речевых пакетов и RFC 1144 для заголовков пакетов данных реализована в оборудовании SIEMENS PowerLink 50/100 CSPi и ABB ETL 600.

Предлагаемые в концепции ЕНС техники сжатия заголовков ROHCv2 и ROHC TCP имеют широкое распространение в системах сотовой связи 3G и 4G и имеют лучшие характеристики в отношении эффективности компрессии заголовков, чем техники ECRTTP и IPHC, что показано в сравнительном анализе, приведённом в табл. 2. Но техники ECRTTP и IPHC, обеспечивающие использование концепции ЕНС, реализованы в широко распространённых маршрутизаторах CISCO с функциями голосового шлюза. В концепции ЕНС функции обработки информационного трафика и реализация абонентских окончаний выполняется маршрутизатором. Соединение между маршрутизатором и ЦВЧ-оборудованием выполняется через интерфейс X.21, который реализован в большинстве современных систем ВЧ-связи.

Таким образом, применение концепции ЕНС на текущем этапе развития технологии ЦВЧ-систем видится наиболее приемлемым в отношении скорейшей практической реализации IP-сетей по ЦВЧ-каналам связи.

Литература

1. Техническое описание оборудования ВЧ-связи PowerLink 100 CSPi: Siemens AG, 2011.
2. Техническое описание оборудования ВЧ-связи ETL 600: ABB, 2011.
3. Техническое описание оборудования ВЧ-связи UCC 2021D: PLC International Inc., 2010.
4. Robust Header Compression Version 2. RFC 5225: Network Working Group – 2008.
5. The concept of robust header compression, ROHC. White paper: Effnet AB – 2004.
6. Enhanced Compressed RTP (CRTP). RFC 3545 Network Working Group – 2008.

7. *Carl Knutsson* Evaluation and Implementation of Header Compression Algorithm EC RTP, Lulea University of Technology – 2004.

*Статья поступила в редакцию 18.12.2012;
переработанный вариант — 26.03.2013*

Меркулов Антон Геннадьевич

инженер отдела телекоммуникаций сектора «Инфраструктура и города» TOO SIEMENS
Kazakhstan, г. Алматы, пр. Достык 117/6, тел. +7(701) 2-127-507, e-mail:
anton.merkulov@siemens.com.

Choosing of Header Compression Techniques Application in Relation to Power Line Carrier Links

A. Merkulov

The article discusses the problem of packets headers compression techniques application in relation to high voltage PLC equipment and packet PLC links. On the basis of the comparative analysis, two concepts of compression techniques application for PLC equipments are suggested.

Keywords: power line carrier, packet networks, VoIP, header compression.