

ПУТИ ИНТЕГРАЦИИ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

к.т.н. В.Н. Харченко, А.А. Лаврут
(представил д.т.н., проф. Г.П. Кулемин)

Рассматриваются перспективные направления развития системы спутниковой связи. Предлагается принцип работы системы спутниковой связи двойного назначения.

Технический облик современных специализированных спутниковых систем связи (ССС) обусловлен увеличением количества мобильных абонентов, внедрением автоматизированных сетей управления и связи, ростом объема и разнообразием данных, передаваемых по высокоскоростным каналам.

По мере развития и совершенствования специализированных СССР более жесткие требования стали предъявляться к эффективности использования ресурса системы, пропускной способности каналов связи и экономической эффективности системы в целом.

Для повышения эффективности специализированных СССР применяют технологии, обеспечивающие высокую помехозащищенность, однако затраты на разработку и производство таких систем не соответствуют критерию экономической эффективности. Системы строятся, как правило, на единых спутниках для различных ведомственных структур и требуют разработки "своего" парка земных станций (ЗС) [1], что также существенно усложняет разработку и увеличивает время внедрения специализированных СССР.

Из опыта эксплуатации станций космической системы связи DSCS следует, что они, имея весьма высокие показатели помехо- и разведзащищенности, обладают относительно ограниченными пропускной способностью и скоростью передачи данных. Большие массогабаритные характеристики ЗС затрудняют их быструю доставку в районы использования и, как следствие, не обеспечивают быстрое развертывание системы спутниковой связи [3, 4].

Проведенный анализ [2] показывает, что в 2004-2010 гг. ресурс большинства специализированных космических аппаратов связи (КАС) будет исчерпан и потребуются их замена. При этом актуальной становится задача построения такой архитектуры специализированных СССР, которая обеспечивала бы высокую эффективность функционирования при относительно небольшой стоимости. В США указанную проблему планируется решить путем интеграции в специализированных СССР коммерческих спутников связи (количество и пропускные способности которых значительно превышают аналогичные показатели специализированных ИСЗ), что обеспечивает высокую надежность связи в чрезвычайных условиях за счет многократного дублирования и резервирования каналов связи. Большое количество используемых

коммерческих ИСЗ делает маловероятным их полное физическое или радиоэлектронное подавление. Во время подготовки операции “Буря в пустыне” более 50 % информационного обмена проводилось через коммерческие спутники связи [2].

По мнению экспертов, коммерческие системы в ряде случаев оказались более работоспособными и эффективными чем специализированные. Ныне в вооруженных силах США все активнее используются услуги коммерческих систем спутниковой связи, а в Великобритании прослеживается полный переход к их использованию. Это делается для создания альтернативных путей передачи информации в случае возникновения неисправностей в специализированных системах, а также для предоставления новых типов информационных услуг [5].

Другим направлением совершенствования ССС специального назначения и повышения пропускной способности коммерческих систем является использование многодиапазонных наземных станций и бортовых ретрансляторов (БР) КАС. В середине 90-х годов в интересах министерства обороны США были разработаны, подготовлены к производству и предложены для закупок новые типы трехдиапазонных станций: мобильный терминал STAR-T; мобильный терминал T3; транспортабельный (сбрасываемый на парашюте) FEAST; легкие многодиапазонные терминалы LMST и LST-8000 (V) T. Эти станции предназначены для организации связи с использованием специализированных ИСЗ, работающих в X - диапазоне частот, и коммерческих спутников, работающих в диапазонах частот – С и К_с. Такие станции связи были успешно опробованы в ходе Балканской войны в 1999 г. [3].

Исходя из изложенной концепции развития ССС, становится очевидной необходимость разработки системы спутниковой связи двойного назначения (ССС ДН), обеспечивающей возможность быстрого перераспределения ресурсов системы и соответственно высокую эффективность функционирования в различной помеховой обстановке.

Для обеспечения функционирования ССС ДН в указанных условиях предлагается следующий алгоритм ее работы. Создается и в дальнейшем постоянно обновляется база данных, в которой хранится информация о состоянии ССС ДН и возможных методах ее реконфигурации при изменении помеховой обстановки. Оценка помеховой обстановки и возможности использования различных БР КАС может производиться с использованием методики энергетического расчета спутниковых радиолиний [6].

Для повышения эффективности функционирования ССС ДН может использоваться адаптация к помеховой обстановке за счет изменения скорости передачи, избыточности помехоустойчивого кодирования, изменения длины пакета в зависимости от вероятности ошибки в канале связи, а также переход на запасные рабочие частоты, стволы бортового ретранслятора или БР, находящиеся в других орбитальных позициях.

Для минимизации времени доставки сообщения в пакетном режиме передачи предлагается использование адаптивного изменения длины пакета в

зависимости от вероятности ошибки в канале связи.

При этом время доставки сообщения определяется выражением

$$T = V \cdot L_{\Phi} \cdot \frac{n}{k} \cdot (1 - P_0)^{-n}, \quad (1)$$

где V – скорость передачи информации; L_{Φ} – исходная длина файла; n – длина пакета; k – количество информационных символов в пакете; P_0 – вероятность ошибки в канале связи.

Количество избыточных символов ($n - k$) в пакете определяется требуемой вероятностью необнаружения ошибки при использовании циклического кода в режиме обнаружения ошибок.

В табл. 1 представлены результаты расчетов фактической длины переданного файла при заданной вероятности ошибки в канале ($P_0 = 10^{-1} \dots 10^{-6}$), вероятности необнаружения ошибки в пакете $P_{н.о.} = 10^{-9}$, для различных длин пакетов ($n=127, 255, 511, 1023$) при передаче исходного файла $L_{\Phi} = 8 \cdot 10^6$ бит.

Таблица 1

Результаты расчетов фактической длины переданного файла $L_{\Phi\Sigma}$, бит

P_0	Длина пакета n , бит			
	127	255	511	1023
10^{-2}	$4,159 \cdot 10^7$	$1,238 \cdot 10^8$	$1,485 \cdot 10^9$	$2,442 \cdot 10^{11}$
10^{-3}	$1,219 \cdot 10^7$	$1,187 \cdot 10^7$	$1,429 \cdot 10^7$	$2,305 \cdot 10^7$
10^{-4}	$1,011 \cdot 10^7$	$9,432 \cdot 10^6$	$9,02 \cdot 10^6$	$9,176 \cdot 10^6$
10^{-5}	$9,996 \cdot 10^6$	$8,895 \cdot 10^6$	$8,455 \cdot 10^6$	$8,284 \cdot 10^6$
10^{-6}	$9,985 \cdot 10^6$	$8,875 \cdot 10^6$	$8,416 \cdot 10^6$	$8,209 \cdot 10^6$

Из анализа приведенных результатов расчета можно сделать вывод о том, что для заданной вероятности ошибки в канале связи существует оптимальная длина пакета. Пакеты длиной 127 бит целесообразно использовать в каналах связи с вероятностью ошибки $P_0 > 1,3 \cdot 10^{-3}$, пакеты длиной 255 бит – при $1,3 \cdot 10^{-3} > P_0 > 2,8 \cdot 10^{-4}$, пакеты длиной 511 бит - при $2,8 \cdot 10^{-4} > P_0 > 6,7 \cdot 10^{-5}$ и пакеты длиной 1023 бита в каналах связи с $P_0 < 6,7 \cdot 10^{-5}$.

Выигрыш, получаемый при использовании пакета оптимальной длины в каналах связи с различным качеством, показан в табл. 2.

На основании результатов, приведенных в табл. 2, можно сделать вывод о том, что выигрыш при использовании оптимальной длины пакета для передачи информации в каналах с хорошим качеством составляет от 2 до 20 %. При воздействии преднамеренных помех и, соответственно, плохом качестве канала, использование пакета минимальной длины дает существенный выигрыш по сравнению с остальными. Если вероятность ошибки в канале менее 10^{-1} , то необходимо реконфигурировать сеть спутниковой связи.

Возможны следующие пути реконфигурации.

1. На основе оперативных измерений состояния каналов в используемом стволе выбираются оптимальные рабочие частоты, предоставляемые абонен-

там по требованию. Такая реконфигурация остается незаметной для пользователя.

2. При подавлении канала управления абонентские станции спутниковой связи выполняют переход на запасные частоты канала управления (сканирование запасных частот).

3. При подавлении канала управления, абонентские станции переходят в режим использования помехозащищенного канала управления. В данном режиме рабочие частоты могут назначаться в любом из стволов БР КАС, находящихся в одной из орбитальных позиций. Радиоданные и целеуказания по наведению антенн выдаются на основании информации, хранящейся в базе данных центральной управляющей станции.

Таблица 2

Выигрыш при использовании пакета оптимальной длины (раз)

P ₀	оптимальная длина пакета (n), бит	используемая длина пакета (n), бит			
		127	255	511	1023
5·10 ⁻³	127	-	1,1	1,2	1,2
5·10 ⁻⁴	255	1,6	-	1,05	1,08
9·10 ⁻⁵	511	5	1,06	-	1,02
5·10 ⁻⁶	1023	64	1,3	1,01	-

Таким образом, реализуется концепция построения ССС ДН эффективно функционирующей в условиях сильно изменяющейся помеховой обстановки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Техника электросвязи за рубежом: Справочник / Л. И. Яковлев, В. Д. Федоров, Г. В. Дедюкин, А. С. Немировский. – М.: Радио и связь, 1990 – 256 с.*
2. *Кучейко А. А. Спутниковая связь для силовых ведомств: поиск оптимального решения // Спутниковая связь. – 2000. – № 3. – С. 20 - 23.*
3. *Ливанов И. Трехдиапазонные терминалы космической связи оперативно-тактического звена ВВС США // Зарубежное военное обозрение. – 2000. – № 11. – С. 28 - 33.*
4. *Ливанов И. Станции спутниковой системы связи DSCS, эксплуатируемые в ВВС США // Зарубежное военное обозрение. – 2000. – № 9. – С. 33 - 36.*
5. *Карпенко В. И., Даник Ю. Г. Супутниковий зв'язок: минуле, сучасне та перспективи // Наука і оборона. – 2001. – № 1. – С. 38 - 42.*
6. *Харченко В. М., Лаврут О. О. Енергетичний розрахунок супутникових радіоліній. – Харків: ХВУ, 2000. – 47 с.*

Поступила 28.01.2002

ХАРЧЕНКО Виктор Николаевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ХВУ. В 1973 году закончил Харьковское ВВКИУ. Область научных интересов – системы спутниковой связи.

ЛАВРУТ Александр Александрович, адъюнкт ХВУ. В 1998 году закончил ХВУ. Область научных интересов – системы спутниковой связи.