

УДК 621.396.946

ДИНАМИЧЕСКОЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КОММУТИРУЕМОГО СПУТНИКОВОГО МОНОКАНАЛА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОТОКОЛОВ МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА

К. Ю. Цветков,

доктор техн. наук

А. В. Родионов,

канд. техн. наук, доцент

А. Ф. Акмоллов

адъюнкт

Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского

Излагается новый подход к использованию известного протокола случайного множественного доступа P-ALOHA применительно к коммутируемому спутниковому моноканалу. Функции по обнаружению активности и конфликтов пакетов в приемных лучах восходящих радиолиний возлагаются на спутниковый ретранслятор. Предлагается математическая модель коммутируемого спутникового моноканала и структурная схема ретранслятора. Получены зависимости коэффициента использования моноканала от числа лучей приемной антенны ретранслятора и сформулированы рекомендации по построению системы спутниковой связи.

This article presents a new approach to the use of the well-known P-ALOHA multiple access protocol in a switched satellite monochannel. The satellite retransmitter discovers packet activity and conflicts in the receiving rays of rising radio lines. We propose a mathematical model of the switched satellite monochannel and the structural scheme of a satellite retransmitter. The proposed method allows us to obtain the dependence of the monochannel utilization coefficient on the number of rays in the reception antenna and to formulate the recommendations for the construction of satellite communication systems.

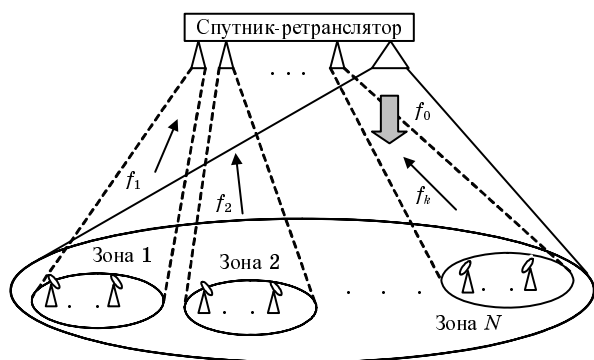
В современных системах спутниковой связи (ССС) предъявляются высокие требования к пропускной способности, достоверности и оперативности передаваемой информации, скрытности и устойчивости функционирования [1]. Высокая стоимость создания и эксплуатации ССС требует эффективного использования пропускной способности спутника-ретранслятора (СР).

Существующие ССС ориентированы на жесткое закрепление ресурса пропускной способности ретранслятора за земными станциями (ЗС). В ССС реализуется, как правило, многостационарный доступ с частотным или временным разделением ресурса пропускной способности бортового ретранслятора. В условиях разнотипного пульсирующего трафика в виде обмена данными, передачей факсимильных сообщений и электронного документооборота, организацией телефонных каналов связи данный подход характеризуется низкой эффективностью использования пропускной способности ретранслятора.

Качественно новый уровень эффективности использования дорогостоящих ССС и сервиса услуг может быть достигнут путем реализации систем пакетной передачи различных видов информации на основе протоколов множественного доступа [2]. Наиболее эффективный протокол случайного множественного доступа с контролем несущей и обнаружением конфликтов (МДКН/ОК) ориентирован на передачу информации в локальных сетях, характеризующихся минимальными задержками распространения сигнала, что не позволяет рекомендовать его прямое использование в ССС. В связи с этим в ССС представляется целесообразным перенос функций обнаружения активности приемных лучей и конфликтов пакетов в одном приемном луче непосредственно на СР.

Вид такой ССС, включающей наземный и космический сегменты с повторным использованием K частот в N зонах ($K < N$), показан на рис. 1.

При этом ЗС осуществляют передачу пакетов в соответствии с протоколом P-ALOHA на частотах



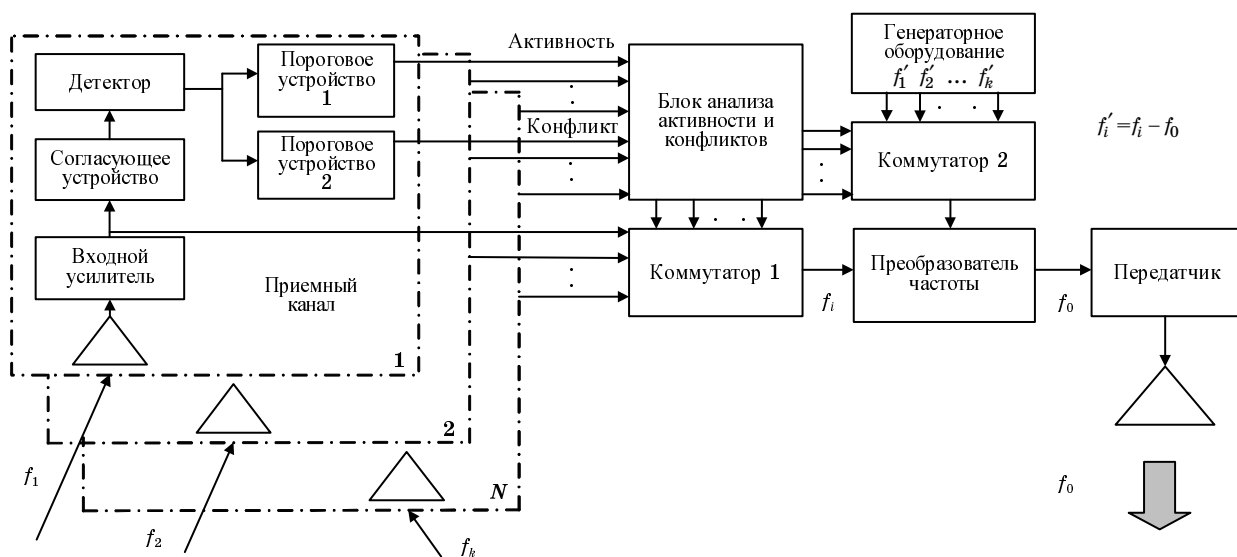
■ Рис. 1. Схема системы спутниковой связи

зон f_1, \dots, f_k , а прием – на общей для всех частоте f_0 моноканала.

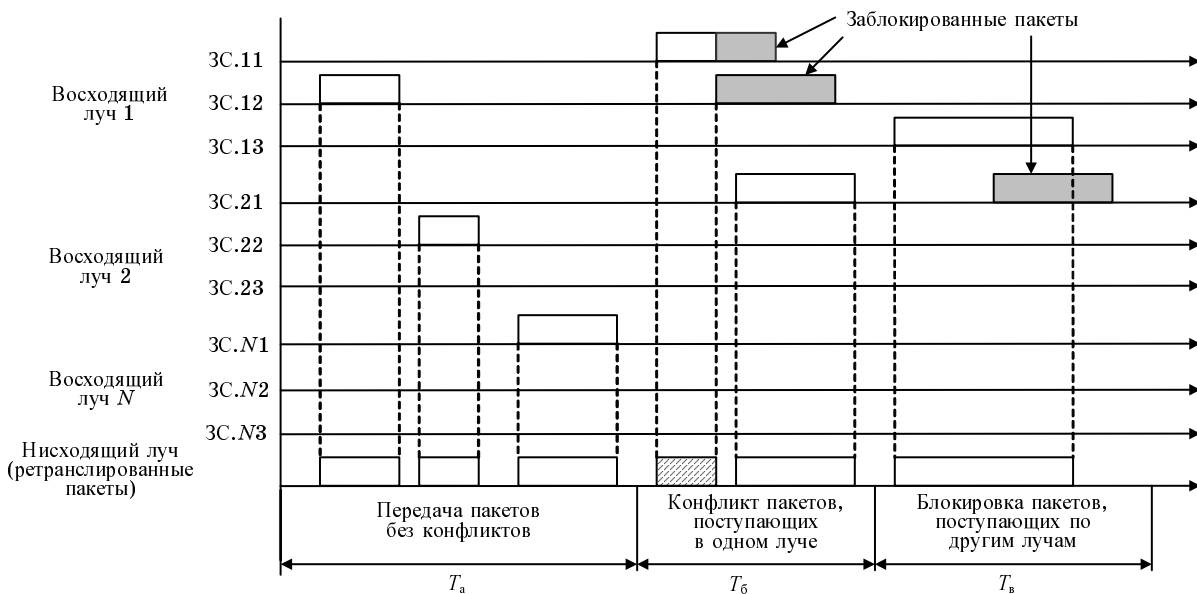
Структурная схема ретранслятора представлена на рис. 2.

Временные диаграммы, поясняющие процесс передачи пакетов, показаны на рис. 3. Передача пакетов на интервале T_a осуществляется следующим образом.

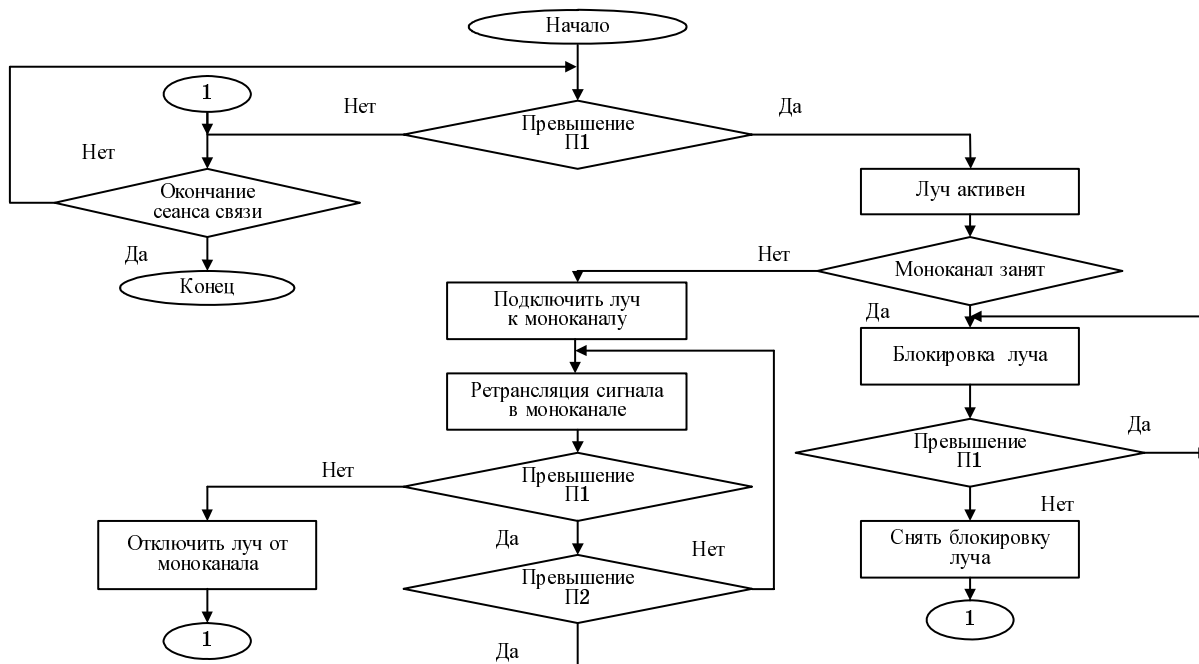
Пакет информации от ЗС.12 поступает из луча 1 в приемный канал 1, при этом на выходе детектора уровень сигнала превышает порог срабатывания (П1) порогового устройства 1 и идентифицируется блоком анализа (БА) как сигнал активности луча 1 (см. рис. 2). БА формирует управляющее воздействие



■ Рис. 2. Структурная схема бортового оборудования спутника-ретранслятора



■ Рис. 3. Временные диаграммы работы ретранслятора



■ Рис. 4. Алгоритм работы коммутируемого моноканала

на коммутаторы 1 и 2. Коммутатор 1 обеспечивает подключение сигнала ЗС.12 луча 1 ко входу преобразователя частоты. По этому же воздействию от БА коммутатор 2 подключает сигнал частотной подставки f'_1 ко второму входу преобразователя, что обеспечивает перенос принимаемого сигнала в полосу передачи на частоте f_0 моноканала. На время передачи пакета сигналы всех остальных приемных каналов блокируются на уровне коммутатора 1. Конечное время срабатывания БА приводит к срезанию нескольких бит преамбулы синхронизации (...010101...), что не влияет на качество выделения тактовой частоты и приема пакетов ЗС.

На интервале T_6 показан конфликт пакетов в одном луче. При возникновении конфликта суммарный сигнал ЗС.11 и ЗС.12 на выходе детектора превышает порог срабатывания (П2) порогового устройства 2 ($П2 > П1$), что идентифицируется БА как конфликт. БА осуществляет блокировку передачи пакетов в этом луче до момента окончания передачи сигналов в нем. При этом моноканал освобождается, и при поступлении пакета из другого приемного луча (ЗС.21) он бесконфликтно передается в моноканал.

На интервале $T_в$ показан пример бесконфликтной передачи пакета от ЗС.13 и блокировка пакета в другом луче (ЗС.21). При этом сигнал в луче 2 остается заблокированным до момента окончания передачи сигнала в этом луче.

Алгоритм работы коммутируемого моноканала представлен на рис. 4.

Математическая модель коммутируемого спутникового моноканала для протокола P-ALOHA с обнаружением активности и конфликтов пакетов основывается на следующих положениях:

- пакеты, поступающие в произвольные моменты времени на вход приемной многолучевой антенны, имеющей N лучей, имеют среднюю длительность τ и образуют простейший поток с интенсивностью $\lambda_\Sigma = \lambda_0 N$, где λ_0 – интенсивность трафика в одном луче;
 - поступающая нагрузка определяется как $\rho = \lambda_\Sigma \tau$;
 - проконфликтовавшие или заблокированные пакеты передаются повторно, при этом $\Lambda_\Sigma = \Lambda_0 N$ интенсивность трафика в N -лучах с учетом повторных передач, где Λ_0 – интенсивность трафика в одном луче с учетом повторных передач;
 - фактическая нагрузка выражается как $a = \Lambda_\Sigma \tau$.
- Вероятность конфликта пакетов в луче [3]

$$P_k = 1 - e^{-2\tau\Lambda_0}. \quad (1)$$

Одновременно с передачей пакета в активном луче остальные $(N-1)$ -лучи блокируются с вероятностью P_τ :

$$P_\tau = 1 - e^{-(N-1)\tau\Lambda_0}. \quad (2)$$

Вероятность блокировки

$$P_{\text{бл}} = (1 - P_k)P_\tau, \quad (3)$$

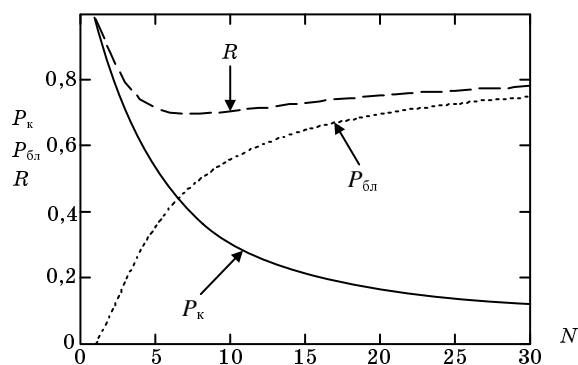
где $(1 - P_k)$ характеризует вероятность сохранения блокировки лучей, т. е. отсутствие конфликта в активном луче.

Вероятность повторной передачи пакетов выражается как вероятность двух совместных событий – конфликта P_k и блокировки $P_{\text{бл}}$ (рис. 5):

$$R = P_k + P_{\text{бл}} - P_k P_{\text{бл}}. \quad (4)$$

Среднее число повторных передач

$$K = \frac{1}{1 - R}. \quad (5)$$



■ Рис. 5. Зависимости вероятностей конфликта, блокировки и повторной передачи от числа приемных лучей ретранслятора

Суммарная интенсивность поступления пакетов с учетом повторных передач по \$N\$-приемным лучам выражается в виде

$$\Lambda_{\Sigma} = \lambda_{\Sigma} K. \quad (6)$$

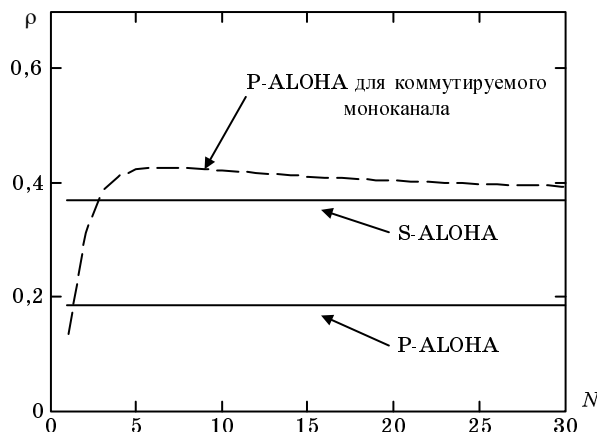
С учетом \$a = \Lambda_{\Sigma} \tau\$ и уравнений (1) – (6) формула для коэффициента использования пропускной способности \$\rho = \lambda_{\Sigma} \tau\$ имеет вид

$$\rho = a \left(e^{-a \frac{(N+3)}{N}} + e^{-a \frac{2}{N}} - e^{-a \frac{4}{N}} \right). \quad (7)$$

При \$N = 1\$ получаем частный случай для известного протокола P-ALOHA [2]. В системе без потерь загрузка моноканала \$a\$ имеет предельное значение 1.

Получена графическая зависимость коэффициента использования пропускной способности \$\rho\$ спутникового моноканала от числа приемных лучей \$N\$ антенны (рис. 6).

Максимум коэффициента использования \$\rho\$ при числе приемных лучей \$N\$ от 5 до 10 объясняется наличием минимума вероятности повторной передачи \$R\$ как функции от \$N\$ (см. рис. 5). Протокол P-ALOHA



■ Рис. 6. Зависимости коэффициента использования моноканала от числа приемных лучей ретранслятора

для коммутируемого моноканала позволяет обеспечить выигрыш коэффициента использования по сравнению с известным протоколом P-ALOHA в 2,33 раза, а в сравнении с протоколом S-ALOHA – на 20%, при этом система остается асинхронной, что существенно упрощает реализацию ССС. Достоинством предложенного подхода является возможность, как широковещательной передачи, так и ведения обмена по принципу каждый с каждым.

Литература

1. Камнев В. Е., Черкасов В. В., Чечин Г. В. Спутниковые сети связи: Учеб. пособие / М.: Альпина Паблишер, 2004. 536 с.
2. Спутниковый ретранслятор / А. В. Родионов, О. И. Лагутенко; Патент № 2101866 10.01.98; Бюл. № 1.
3. Иносе Х. Интегральные цифровые сети связи: Введение в теорию и практику: Пер. с англ./Под ред. В. И. Неймана. М.: Радио и связь, 1982. 320 с.