

ДИНАМИЧЕСКИЙ ВЫБОР РАДИОЛИНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ ПОДВИЖНОЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

С.В. Дворников^{1*}, С.А. Якушенко¹, Д.А. Лянгузов²

¹Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург, 194064, Российская Федерация

²Учебный центр (инженерно-технический) Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Ленинградская обл., г. Гатчина, 188340, Российская Федерация

*Адрес для переписки: practicdsv@yandex.ru

Информация о статье

УДК 621.391

Статья поступила в редакцию 29.09.2019

Ссылка для цитирования: Дворников С.В., Якушенко С.А., Лянгузов Д.А. Динамический выбор радиолиний для систем подвижной спутниковой связи // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 4. С. 28–36. DOI:10.31854/1813-324X-2019-5-4-28-36

Аннотация: В работе представлены предложения по повышению помехоустойчивости радиолиний подвижной спутниковой связи в сложных физико-географических условиях за счет применения алгоритмов автоматической динамической идентификации пригодности каналов и динамической ориентации антенных устройств. На основании полученных результатов сформулированы рекомендации по практическому применению.

Ключевые слова: системы подвижной спутниковой связи, оценка пригодности радиолиний, динамическая ориентация антенных устройств, помехоустойчивость радиолиний.

Введение

В настоящее время системы подвижной спутниковой связи (СПСС) находят самое широкое применение в различных практических аспектах радиотехники. Прежде всего, это связано с глобальным охватом СПСС территории земного шара, что гарантирует предоставление их абонентам широкого спектра телекоммуникационных услуг [1–7].

Однако сложность физико-географических условий отдельных регионов горно-лесистой местности, а также высокая плотность застройки урбанизированных районов создают серьезные проблемы для гарантированного обеспечения качественной связи [8, 9]. Указанные факторы оказывают значительное влияние на помехоустойчивость и надежность приема радиосигналов СПСС. А поскольку уровень сигнала в точке приема, как правило, имеет случайный характер, обусловленный не только сложным покровом местности, но и движением абонентов СПСС, то в радиолиниях спутниковой связи (РЛСС) возникают замирания, приводящие к снижению качества связи [10, 11].

Для снижения негативных последствий этих факторов в РЛСС и выработки конструктивных мер целесообразно разработать подход к оценке качества функционирования СПСС в динамично изменяющейся помеховой обстановке, обусловленной, прежде всего, рельефом местности [12].

Оценка состояний каналов СПСС

В реальных условиях ведения радиосвязи абонентами СПСС возможны следующие состояния канала связи: открытие, затенение и закрытие [3]. При первых двух возникают замирания сигнала (так называемый эффект «мигания»), приводящий к непериодическому «появлению» и «обрыву» канала (рисунок 1).

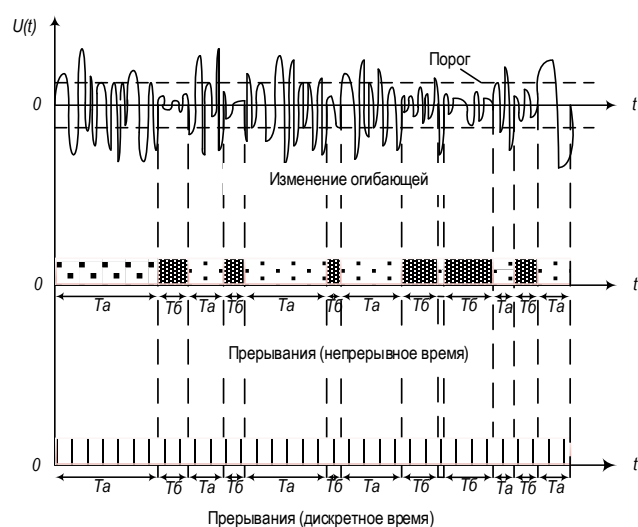


Рис. 1. Представление процесса прерываний в канале СПСС

С учетом характера функционирования РЛСС будем использовать модель с двумя состояниями: A – наличие канала; B – обрыв канала. Обозначим функции распределения времени соответственно Fa (Fb) для условия открытого (или наличие канала) и закрытого (обрыв канала) каналов, a , b – вероятности перехода из одного состояния в другое. Время пребывания канала в каждом из состояний представляет собой случайные величины. Для оценки пригодности РЛСС в сложной помеховой обстановке рассмотрим функционирование во времени составной части радиолинии – канала связи. В этом случае формализация модели процесса временного пребывания канала в определенных состояниях описывается логнормальным распределением.

Далее рассмотрим применение алгоритмов идентификации пригодности радиолинии с последующей переориентацией антенного устройства для обеспечения повышения помехоустойчивости РЛСС.

Алгоритм идентификации пригодности РЛСС

Поскольку при движении абонентов СПСС происходит изменение условий их электромагнитной доступности, то предполагается, что автоматически непрерывно (т.е. в динамике) осуществляется оценка качества РЛСС по заданному алгоритму.

Причем такой алгоритм может быть сведен к определению пригодности канала по установленным критериям в некоторые дискретные моменты времени. Если канал оказывается пригодным, то по нему организуется передача пакетных данных, в противном случае через установленный временной промежуток производится повторная оценка качества канала. Сущность подхода, реализующего оценку качества канала с использованием скользящего временного окна, поясняется взаимосвязью процедур, представленных на рисунке 2.

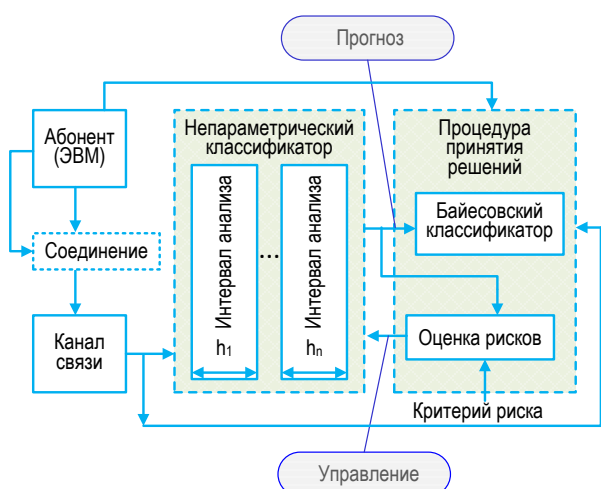


Рис. 2. Процедуры, определяющие алгоритм оценки пригодности канала связи

Отметим, что реализация рассмотренного подхода предполагает сдвиг каждого нового интервала наблюдения относительно предыдущего на некоторое время $t_{\text{сдвиг}}$, что уменьшает задержку обработки данных и формирования заключения. При этом прогноз, сформированный к моменту t_1 , будет действителен только на интервале $t_1 \dots t_{i+1}$, поскольку к моменту времени t_{i+1} уже сформируется новый прогноз.

С учетом сделанных замечаний задачу идентификации сформулируем в следующей редакции: по результатам наблюдений (см. рисунок 1) за прерываниями канала на контрольном интервале времени классифицировать его состояние как пригодное или непригодное для передачи пакетного трафика.

Поскольку такое заключение будет правомерно до следующего контрольного интервала времени, определим его как краткосрочный прогноз. Параметры прерываний предлагается контролировать на интервале временного окна, а именно их количество и длительность по группам.

Разнообразие вариантов условий передвижения абонентов СПСС делает задачу идентификации канала в достаточной степени неопределенной, поэтому целесообразно использовать только одну наиболее репрезентативную группу. В качестве контролируемого параметра предлагается определить количество длительных прерываний на интервале наблюдения.

Заметим, что число таких прерываний в зависимости от условий будет различно, но их появление почти всегда [13] свидетельствует о существенном ухудшении качества канала, поэтому может рассматриваться в качестве индикатора непригодности его для обмена данными. При этом простой факт превышения/не превышения сигналом порогового значения является достаточно грубым индикатором.

В общем случае параметры и закон распределения количества длительных прерываний неизвестны. А объем выборки на контролируемом интервале времени достаточно мал, поэтому разброс результатов наблюдений может быть значительным. Указанные обстоятельства предопределяют необходимость использования непараметрических методов классификации для проверки статистических гипотез. Эти методы не только не предполагают подчинения исходных данных какому-либо закону распределения, но и малочувствительны к неточным измерениям, что позволяет применять их к данным, не имеющим четко выраженной количественной природы (ранги, баллы и т.п.) [14, 15]. К недостаткам таких методов следует отнести слабую чувствительность к незначительным изменениям признака, что может быть компенсировано учетом физической природы наблюдений.

Поскольку возникает необходимость проверки степени случайности отклоняющихся измеряемой величины от средних значений наблюдений, то можно использовать ряд известных в радиотехнике критериев и соответствующих им статистик для проверки гипотез о случайности выборок. Наиболее известными являются критерии знаков, серий и инверсий [16]. Данные методы достаточно просты в вычислениях и требуют минимума априорных предположений.

Если непараметрический классификатор оказывается неэффективен, то можно использовать дополнительную информацию, например, цифровые карты или сопоставлять наблюдения с шаблоном речи [17]. Так, возможность использования цифровых карт предполагает заблаговременное планирование маршрутов движения с учетом особенностей помеховой обстановки в каждой точке. Очевидно, что в таких условиях на работу РЛСС влияют дополнительные замирания радиоволн в точке приема, вызванные влиянием изменяющегося характера подстилающей поверхности и рельефа в зоне нахождения абонентов СПСС.

Учитывая указанные обстоятельства, можно предположить, что для выбора пригодных РЛСС потребуются значительные временные ресурсы, в том числе связанные с необходимостью выбора приемлемого варианта. Очевидно, что для компенсации прерываний необходимо отслеживать их характер. С этой целью вполне могут быть использованы так называемые байесовские решающие схемы, предусматривающие обучение в соответствии с вновь поступающими данными [18]. При этом в качестве априорных данных могут выступать результаты, полученные на этапе непараметрического прогнозирования.

Общность указанных классификаторов заключается в использовании формулы Байеса [15]:

$$p\left(\frac{\Phi_i}{h}\right) = \frac{p(\Phi_i)p(h|\Phi_i)}{\sum_{i=1}^m p(\Phi_i)p(h|\Phi_i)}, \quad i = 1, 2,$$

где $p(h|\Phi_i)$ – условные (апостериорные) вероятности гипотез о пригодности/непригодности канала при наблюдении количества прерываний выше/ниже порогового значения (h_d); $p(\Phi_i)$ – вероятности прерываний выше/ниже порогового значения для гипотезы о пригодности/непригодности канала.

Значения условных вероятностей рассчитываются путем сравнения реального состояния канала с прогнозируемым, по истечении времени, выделяемого на анализ. При этом точность принимаемых решений для алгоритма Байеса сравнима с точностью таких алгоритмов, как деревья решений, нейронные сети, логическая регрессия, метод опорных векторов, дискриминантный анализ, ассоциативные правила [19]. С точки зрения быстроты обучения, стабильности для различных данных и

простоты реализации, алгоритм Байеса превосходит практически все известные эффективные алгоритмы классификации [15]. Кроме того, применение байесовской решающей схемы помимо уточнения прогноза на этапе неопределенности, позволит оценить риски принимаемых решений, поскольку на практике всегда имеется возможность использования различных каналов. С этой целью вводится критерий риска, который будет обоснован в дальнейшем.

Использование процедуры скользящего временного окна в непараметрическом классификаторе позволяет формировать статистически зависимые выборки анализируемых длительных прерываний. В случае явной различимости классов производится оценка риска принимаемых решений, при доступности, например, иного ресурса ретранслятора связи и принимается решение о предоставлении/не предоставлении канала. Если при заданном уровне значимости невозможно сделать вывод о пригодности канала, то используется байесовский классификатор с обучением. В этом случае решение принимается по результатам наблюдения с учетом сопоставления наблюдений с шаблоном [19]. Далее производится оценка рисков принимаемых решений. По итогам работы байесовского классификатора возможна корректировка порога.

Таким образом, предлагаемые классификаторы должны дополнять друг друга, поскольку нечувствительность непараметрического классификатора при высоких значениях уровня значимости вполне будет компенсироваться байесовским классификатором. Дополнение классификаторов решающей процедурой образует идентификатор пригодности канала. Учитывая, что прогнозируемое количество прерываний является случайной величиной и не может быть параметризовано в каком-либо классе, необходимо использовать непараметрические методы проверки гипотез.

Для рассматриваемой ситуации наиболее целесообразным видится применение критериев знаков, серий и инверсий [16]. Реализуемые на их основе методы достаточно просты в вычислениях и требуют минимума априорных предположений. Вместе с тем, существенным «минусом» критерия знаков является слабое использование информации из анализируемых выборок, поэтому он, как правило, используется только на этапе предварительного анализа. В свою очередь критерий инверсий может быть недостаточно чувствительным при выявлении тренда исследуемых флуктуаций. С учетом указанных обстоятельств предлагается использовать критерий серий, являющийся чувствительным как к различиям на уровне средних арифметических, так и на уровне мер изменчивости и асимметрии распределения данных.

Поскольку в качестве статистики выступает совокупность данных, в которых каждое новое значение

получается в результате очередного смещения временного окна, прогнозирование осуществляется только в пределах данной совокупности, а последняя образуется после n сдвигов. Следовательно, выборка на интервале наблюдения состоит из n наблюдений числа длительных прерываний. Для ее формализации образуем следующие индикаторы γ : 1 – если количество прерываний на интервале наблюдения превышает пороговый уровень; 0 – если число прерываний не превысит указанный порог. Реализация случайных величин индикаторов γ представляет собой m -зависимую последовательность из символов 0 и 1 длины n : $z = n - m$.

Назовем цепочки символов одного вида сериями (например, 1100111101010 содержит 8 серий: первая содержит символы 11, вторая – 00, третья – 111, четвертая – 0, и т. д.). Далее обозначим число серий через Q . Среднее значение $M(Q|S = m)$ и дисперсия $D(Q|S = m)$ числа серий будут определяться формулами:

$$M(Q|S = m) = 1 + \frac{2zm}{n},$$

$$D(Q|S = m) = \frac{2zm(2zm - n)}{n^2(n - 1)}.$$

Если $z \gg 1$ и $m \gg 1$, то дискретное распределение вероятностей числа серий можно аппроксимировать нормальным распределением с параметрами $M(Q|S = m)$ и $D(Q|S = m)$.

С учетом поправки на дискретность асимптотическая функция распределения числа серий определяется следующим образом:

$$P(Q_{n,z,m}) = \Phi\left(\frac{k_{z,m} + 0,5 - M(Q|S = m)}{\sqrt{D(Q|S = m)}}\right),$$

где Φ – табулированное значение интеграла вероятности.

Практическую реализацию классификатора поясняет схема, приведенная на рисунке 3. В состав схемы входят:

- тактовый генератор, предназначенный для создания единой шкалы времени;
- задержка на время, равное интервалу анализа;
- генератор пакетов данных, предназначенный для формирования случайного трафика пакетов;
- генератор прерываний в канале подвижной спутниковой связи, предназначенный для формирования периодов наличия/обрыва канала;
- сумматор, осуществляющий подсчет количества корректно принятых пакетов, по итогам подсчета вычисляется отношение потерянных пакетов;
- непараметрический классификатор, осуществляющий краткосрочный прогноз пригодности/непригодности канала;
- схема сравнения, предназначенная для оценки точности прогноза.

Идентификация производится по итогам фиксации длительных прерываний для n выборок. При

этом каждый раз случайное значение h сравнивается с пороговым.

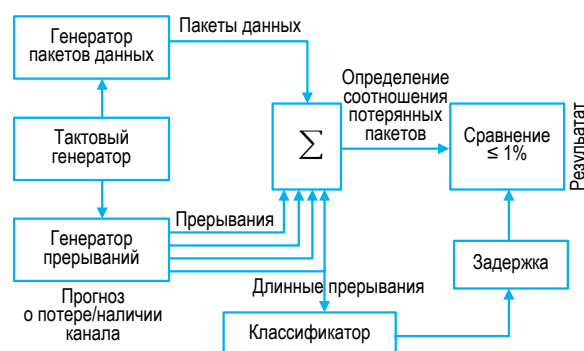


Рис. 3. Схема для оценки работы классификатора

По итогам наблюдений вычисляется количество серий и производится прогноз с требуемым уровнем значимости. На $n + 1$ выборке включается генератор речи и производится вычисление процентного отношения потерянных пакетов. Для обеспечения непрерывного прогноза генератор должен работать постоянно. Полученное значение сравнивается с прогнозируемым на этот интервал. Если состояние канала оценивается как пригодное, то процентное отношение потерянных пакетов на данном интервале должно быть $\leq 1\%$. В зависимости от принятого решения необходимо осуществлять управление антенно-поворотным устройством, обеспечивая непрерывность связи.

Алгоритм динамической ориентации антенного устройства

Предполагается, что при планировании передачи приоритетной информации радиоресурс створов бортовых ретрансляторов многократно резервируется. С учетом сделанных замечаний формулировку задачи динамической ориентации антенны сформулируем в следующей редакции: при оценке канала РЛСС как непригодного для использования необходимо навести антенну на другой орбитальный ретранслятор и организовать канал.

Такой алгоритм должен функционировать как на стоянке, так и в движении. И его реализация сводится к управлению антенно-поворотным устройством на основе вычисленных данных о местоположении спутника согласно приоритету: чем выше угол места на ретранслятор, тем предпочтительнее выбор. Штатная навигационная аппаратура потребителя обеспечивает данными о текущем местоположении станции и направлению на орбитальные ретрансляторы. При ухудшении помеховой обстановки и некорректной работы систем ГЛОНАСС/GPS используется местная система координат, либо наведение на ретранслятор связи только из одной группировки при работе на геостационарную орбиту.

Устойчивость функционирования алгоритма исходит из предположения о необходимости ведения

постоянного контроля доступности орбитальных ретрансляторов, даже при оптимальных условиях ведения связи. Поэтому при обрыве канала наведение антенны осуществляется автоматически, а время на переориентацию антенны компенсируется за счет буферизации трафика. На рисунке 4 представлена структурная схема работы предложенного алгоритма. В качестве анализирующего устройства определен программный модуль.

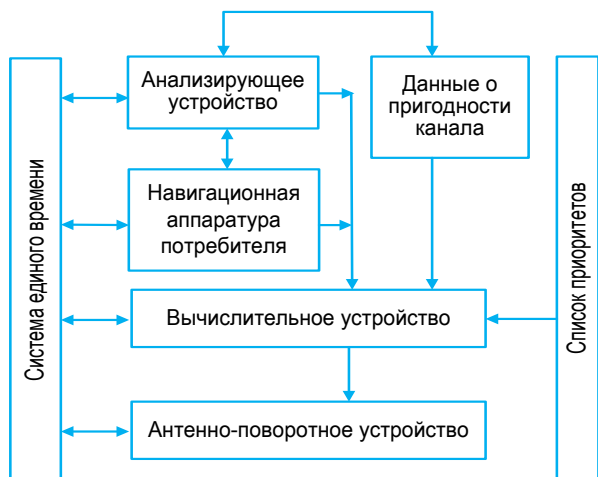


Рис. 4. Структурная схема алгоритма динамической ориентации антенного устройства

Исходными данными для работы служат: обновляемый еженедельно альманах для ретрансляторов на высокоэллиптической орбите; точки стояния для них на геостационарной орбите; данные о текущем местоположении штатных средств навигационной аппаратуры. На основе исходных данных осуществляется расчет угла места на каждый из ретрансляторов. В таблице 1 представлены исходные данные по космическим аппаратам (КА), а в

таблице 2 – результаты работы анализирующего устройства по этим исходным данным. Вычислительное устройство осуществляет сбор данных от анализирующего устройства и навигационной аппаратуры, а также другого вспомогательного объекта (алгоритма оценки пригодности канала), формулирует управляющие команды для антенно-поворотного устройства. Основным требованием к данному блоку является его высокое быстродействие, призванное обеспечить динамическую ориентацию антенны в движении.

ТАБЛИЦА 1. Координатная информация о КА

КА (пример)	Координаты станции (широта и долгота)		Орбитальная позиция
Луч	60°07'28"с.ш.	30°14'07"в.д.	85°в.д.
Луч-2			70° в.д.
Поток			49°в.д.
Стрела			59° в.д.
Молния-2			90°в.д.

ТАБЛИЦА 2. Результат работы программы-анализатора

КА (пример)	Юстировка (азимут и угол места)	Угол места	Приоритет	
Луч	+10	-1	13	1
Луч-2	+10	+14	18	2
Поток	+38	+40	2	4
Стрела	+24	-75	45	3
Молния-2	-72	+33	17	5

Схема, описывающая функционирование вычислительного устройства, представлена на рисунке 5.

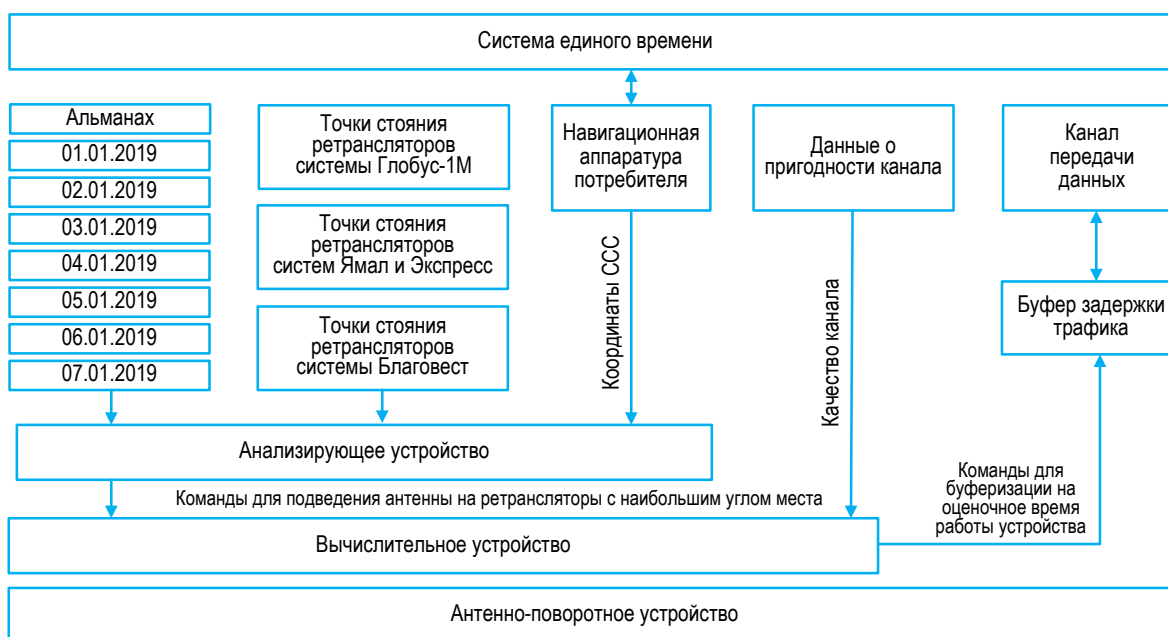


Рис. 5. Схематическое описание функционирования вычислительного устройства

Наглядно работа алгоритма (в виде временных диаграмм) представлена поэтапно на рисунке 6.

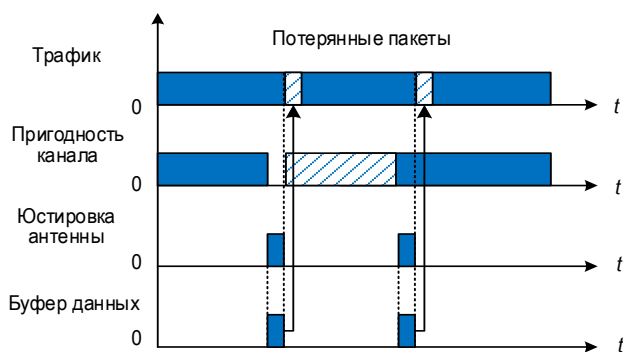


Рис. 6. Временные диаграммы работы алгоритма динамической ориентации антенны

Вследствие влияния растительного покрова на уровень сигнала в точке приёма происходит потеря пакетов трафика. Для переориентирования антенного устройства требуется время. Поэтому с целью повышения качества и устойчивости связи предусмотрена буферизация трафика на интервалах времени, когда канал связи непригоден.

Оценка повышения помехоустойчивости РЛСС в сложных физико-географических условиях

Оценить повышение устойчивости РЛСС возможно лишь при условии совместного функционирования представленных алгоритмов. Поэтому результат работы предлагается рассматривать с позиций пригодности канала по сигналам управления антенно-поворотным устройством, которые используются в алгоритме для перехода функционирования станции спутниковой связи на другой ретранслятор.

В качестве модели канала связи воспользуемся полученным в [12]. Будем полагать, что мобильный объект в сложных физико-географических условиях движется со скоростью 30 км/ч. При этом работа осуществляется на ретрансляторы связи, находящиеся на геостационарной орбите, с использованием разработанных в статье алгоритмов; электромагнитная доступность (видимость) на иные ретрансляторы определяется случайным образом, согласно установленным приоритетам.

Так, в соответствии с алгоритмом динамической ориентации антенны, при недоступности ретранслятора связи необходимо переориентировать антенну на один из четырех доступных ретрансляторов (в начальном состоянии ориентация на 1 станцию) с максимальным углом места. Таким образом, с вероятностью $\sigma = 0,25$ и коэффициентом сдвига $\mu = 1$ условия видимости на ретранслятор изменятся в лучшую сторону.

Время перестройки антенного устройства определим в 1 с, а распределение выбора альтернативного ретранслятора опишем нормальным распределением:

$$z(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right).$$

Проведем измерения плотности вероятности замираний на канале на длительности маршрута, равном 5 км, что с учетом принятой скорости движения 30 км/ч составляет 6 минут (3600 с). Для получения искомой оценки воспользуемся моделью оценки радиоканала при работе станции в движении на направленную антенну [13].

Без использования предложенных алгоритмов: плотность вероятности замираний в общем виде можно представить как $w(x)$, а вероятность возникновения замираний как $f(x)$:

$$w(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x f_x(x) dx,$$

$$f(x) = \sqrt{\frac{\pi}{8\delta^2}} \beta \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x}{10^{x_d/10}} \times \exp\left[-\alpha^2 - \frac{\pi\beta x^2}{4 \cdot 10^{x_d/10}} - \frac{(x_d - x_{дм})^2}{2\delta^2}\right] \times I_0\left(\frac{\sqrt{\pi\beta\alpha x^2}}{10^{x_d/10}}\right) dx_d,$$

где δ – среднеквадратическое отклонение; I_0 – модифицированная функция Бесселя первого рода нулевого порядка; x_d – амплитуда регулярной составляющей сигнала; $x_{дм}$ – медианное значение уровня сигнала; $\alpha^2 = x_d^2/2\delta^2$ – коэффициент, определяющий отношение регулярной и случайной величины сигнала:

$$\beta = [(1 + \alpha^2)I_0(0,5\alpha^2) + \alpha I_1(0,5\alpha^2)] \exp(-0,5\alpha^2);$$

$$w(x) = \int_0^{3600} x \left[\sqrt{\frac{\pi}{8\delta^2}} \beta \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x}{10^{x_d/10}} \times \exp\left[-\alpha^2 - \frac{\pi\beta x^2}{4 \cdot 10^{x_d/10}} - \frac{(x_d - x_{дм})^2}{2\delta^2}\right] \times I_0\left(\frac{\sqrt{\pi\beta\alpha x^2}}{10^{x_d/10}}\right) dx_d \right] dx.$$

С использованием алгоритмов идентификации пригодности канала и динамической ориентации антенны:

$$\hat{w}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x z_x(x) f_x(x) dx,$$

где

$$f(x) = \sqrt{\frac{\pi}{8\delta^2}} \beta \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x}{10^{x_d/10}} \times \exp\left[-\alpha^2 - \frac{\pi\beta x^2}{4 \cdot 10^{x_d/10}} - \frac{(x_d - x_{дм})^2}{2\delta^2}\right] \times I_0\left(\frac{\sqrt{\pi\beta\alpha x^2}}{10^{x_d/10}}\right) dx_d;$$

$$z(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right);$$

$$\hat{w}(x) = \int_0^{3600} x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \times$$

$$\times \left[\sqrt{\frac{\pi}{8\delta^2}} \beta \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x}{10^{x_d/10}} \exp \times \right.$$

$$\times \left[-\alpha^2 - \frac{\pi\beta x^2}{4 \cdot 10^{x_d/10}} - \frac{(x_d - x_{dm})^2}{2\delta^2} \right] \times$$

$$\times I_0 \left(\frac{\sqrt{\pi\beta\alpha x^2}}{10^{x_d/10}} \right) dx_d \Big] dx.$$

Результаты моделирования

На основе полученных аналитических выражений было проведено моделирование, в ходе которого исследовались изменения плотности вероятности замираний в зависимости от величины соотношения регулярной и случайной величины сигнала, а также от его медианного значения (рисунок 7).

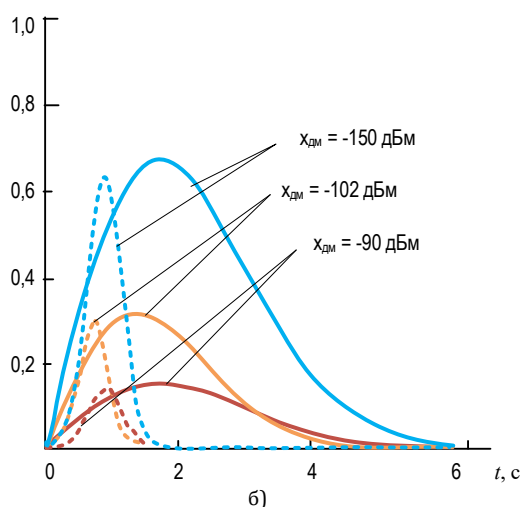
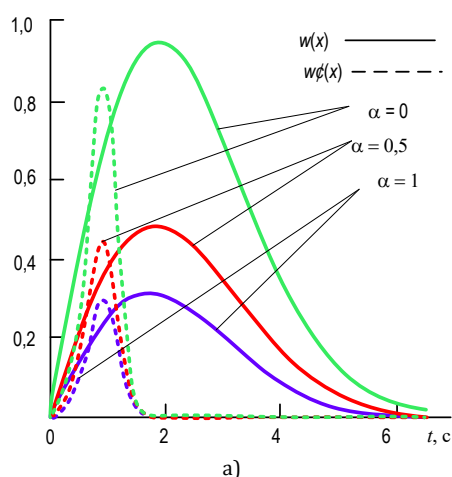


Рис. 7. Измерения плотности вероятности замираний на канале подвижной спутниковой связи: а) для различных значений коэффициента α при $\delta = 5$, $x_{dm} = -102$ дБ; б) для различных значений x_{dm} , при $\delta = 5$, $\alpha = 0,5$

По результатам моделирования могут быть сделаны следующие выводы:

- помехоустойчивость РЛСС возрастает при совместном функционировании описанных алгоритмов после промежутка времени, необходимого для переориентации антенного устройства (≈ 1 секунда);
- наиболее эффективным является применение указанных алгоритмов для случая отсутствия регулярной составляющей сигнала (лесистая местность, городская застройка), при $\alpha = 0$ (см. рисунок 7);
- учитывая сильное затухание сигнала на линии «вниз», наиболее эффективным является применение указанных алгоритмов для повышения помехоустойчивости РЛСС, имеющих в своем составе высокочувствительные приемники [19].

Заключение

На устойчивость радиолинии подвижной спутниковой связи оказывает влияние множество факторов. Оценка таких радиолиний должна проводиться не только по запасу ВЧ-уровня, но и с использованием параметров, характеризующих глубокое и быстрые замирания. Одними из наиболее эффективных способов являются непрерывный контроль за качеством канала и динамическая ориентация антенного устройства. В статье представлен алгоритм автоматической динамической идентификации пригодности РЛСС. Его выходные данные предлагается использовать как управляющие для динамической ориентации антенны.

Для особо важных направлений целесообразно планировать применение ретрансляторов различных группировок для осуществления резервирования на случай потери прямой видимости на ретранслятор. При наличии резервных стволов предлагается применять алгоритм динамической ориентации антенного устройства. На случай потери сигнала предлагается с определенной дискретностью во времени, зависящей от скорости движения вести расчет параметров корректировки антенного устройства относительно текущего положения на каждый из ретрансляторов. При этом предпочтение следует отдавать тем из них, наведение на которые будет осуществляться с максимальным углом места, во избежание потерь в растительности [12, 13, 19, 20].

Таким образом, повышение устойчивости радиолинии спутниковой связи достигается за счёт комплексного применения рассмотренных технических решений. Взаимодействие систем радионавигации и спутниковой связи позволит эффективнее использовать средства подвижной спутниковой связи по назначению.

Список используемых источников

1. Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные сети передачи информации. М.: Техносфера, 2005. 592 с.
2. Спутниковая связь // Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Спутниковая_связь (дата обращения 17.10.2019)
3. Roddy D. Satellite Communications. New York: McGraw-Hill Telecommunications, 2001.
4. Bruce R.E. The Satellite Communication Applications Handbook. Norwood: Artech House, Inc., 2004.
5. Дворников С.В. Проблема поиска сигналов источников информации при радиомониторинге // Мобильные системы. 2007. № 4. С. 33–35.
6. Clarke A.C. Ascent to Orbit. A Scientific Autobiography: The Technical Writings of Arthur C. Clarke. New York: John Wiley & Sons, 1984.
7. Кулк К.И. Спутниковая связь: прошлое, настоящее, будущее. М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 256 с.
8. Дворников С.В. Упрощенное представление модели Ната для расчета затухания сигнала на открытых трассах // Информация и космос. 2017. № 3. С. 6–10.
9. Дворников С.В., Власенко В.И., Муравцов А.А., Дворников С.С., Котов А.А. Предложения по применению формулы Введенского для расчета затуханий радиолиний передачи видео // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2018. № 2. С. 105–111.
10. Дворников С.В., Погорелов А.А., Романенко П.Г., Кочетков А.О., Дворников А.С., Домбровский Я.А., Федоренко И.В., Колушев Е.Е., Котов А.А., Дуйсенбеков О.А. Модель затухания сигналов для планирования зон покрытия цифровых телевизионных передатчиков // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2018. № 1. С. 49–53.
11. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. С. 1104.
12. Коробков Е.С., Лянгузов Д.А., Снежко В.К., Якушенко С.А. Модель оценки изменений параметров устойчивости радиорелейных линий, вызванных движением станций // VI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» (Санкт-Петербург, Россия, 01–02 марта 2017). СПб.: СПбГУТ, 2017. С. 452–457.
13. Якушенко С. А., Снежко В. К., Коробков Е. С., Лянгузов Д. А. Модель оценки пригодности радиорелейного интервала при организации связи в движении // Успехи современной радиоэлектроники. 2017. №12. С. 12–16.
14. Дворников С.В., Дворников С.С., Коноплев М.А. Алгоритм распознавания сигналов радиосвязи на основе симметрических матриц // Информационные технологии. 2010. № 9. С. 75–77.
15. Hettmansperger T.P., McKean J.W. Robust Nonparametric Statistical Methods. London: Edward Arnold, 1998.
16. Gibbons J.D., Chakraborti S. Nonparametric Statistical Inference. Boca Raton: CRC Press, 2003.
17. Дворников С.С., Дворников С.В., Осадчий А.И., Устинов А.А., Коноплев М.А., Сухаруков Г.А. Способ распознавания радиосигналов. Патент на изобретение RUS 2430417 от 25.05.2010. Опубл. 27.09.2011. Бюл. 27.
18. Дворников С.В., Кудрявцев А.М. Теоретические основы частотно-временного анализа кратковременных сигналов: монография. СПб.: ВАС, 2010. 240 с.
19. Якушенко С.А., Сазонов М.А., Бибарсов М.Р. Радиорелейные и спутниковые систем передачи специального назначения. Часть 1. СПб.: ВАС, 2016. 486 с.
20. Дворников С.В., Дворников С.С., Иванов Р.В., Гулидов А.А., Чихонадских А.П. Защита от структурных помех радиоканалов с частотной манипуляцией // Информационные технологии. 2017. Т. 23. № 3. С. 193–198.

* * *

DYNAMIC RADIO LINKS SELECTION FOR MOBILE SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS

S. Dvornikov¹ , S. Yakushenko¹ , D. Lyanguzov² 

¹Telecommunications Military Academy,
St. Petersburg, 194064, Russian Federation

²Training Center (Engineering) of the Telecommunications Military Academy,
Leningrad region, Gatchina, 188340, Russian Federation

Article info

The article was received 29th September 2019

For citation: Dvornikov S., Yakushenko S., Lyanguzov D. Dynamic Radio Links Selection for Mobile Satellite Communication Systems. 2019;5(4):28–36. (in Russ.) Available from: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2019-5-4-28-36>

Abstract: In this paper presents suggestions for the noise immunity improval of mobile satellite communications lines in difficult physical and geographical conditions through the use of automatic dynamic identification algorithms for the suitability of radio lines and the dynamic antenna orientation devices of mobile satellite communications systems. Based on the results obtained, recommendations for practical application are formulated.

Keywords: mobile satellite communication systems, assessment of the suitability of radio links, dynamic orientation of antenna devices, noise immunity of radio links.

References

1. Vishnevskii V.M., Liakhov A.I., Portnoi S.L., Shakhnovich I.V. *Shirokopolosnye seti peredachi informatsii* [Broadband Information Networks]. M: Tekhnosfera; 2005. 592 p. (in Russ.)
2. *Sputnikovaia sviaz* [Satellite Communication]. Wikipedia. Available from: https://ru.wikipedia.org/wiki/Спутниковая_связь. [Accessed 17th October 2019]
3. Roddy D. *Satellite Communications*. New York: McGraw-Hill Telecommunications; 2001.
4. Bruce R.E. *The Satellite Communication Applications Handbook*. Norwood: Artech House, Inc.; 2004.
5. Dvornikov S.V. Searching of Information Sources in Radio-Monitoring. *Mobilnye sistemy*. 2007;4:33–35. (in Russ.)
6. Clarke A.C. *Ascent to Orbit. A Scientific Autobiography: The Technical Writings of Arthur C. Clarke*. New York: John Wiley & Sons; 1984.
7. Kukl K.I. *Sputnikovaia sviaz: proshloe nastoiashchee budushchee* [Satellite Communications: Past, Present, Future]. Moscow: Goriachaia liniia – Telekom; 2015. 256 p.
8. Dvornikov S.V. Uproshchennoe predstavlenie modeli Hata dlia rascheta zatukhaniia signala na otkrytykh trassakh [Simplified Representation Hata Model for Calculating Signal Attenuation at the Open Tracks]. *Informatsiia i kosmos*. 2017;3:6–10. (in Russ.)
9. Dvornikov S.V., Vlasenko V.I., Muravtsov A.A., Dvornikov S.S., Kotov A. A. Proposals for application formula Vvedensky for calculating the diffusions of radioline transmission video. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Tekhnika teledeniia*. 2018;2:105–111. (in Russ.)
10. Dvornikov S.V., Pogorelov A.A., Romanenko P.G., Kochetkov A.O., Dvornikov A.S., Dombrovsky Y.A., Fedorenko I.V., Kolushev E. E, Kotov A. A, Duisenbekov O.A. Model of damping of signals for planning zones of covering digital television transmitters. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Tekhnika teledeniia*. 2018;1:49–53. (in Russ.)
11. Sklar B. *Digital Communications: Fundamentals and Applications*. Moscow: Viliams Publ.; 2007. 1104 p.
12. Korobkov E., Ljanguzov D., Snezhko V., Jakushenko S. Model of Assessment of Changes of Parameters of Stability of the Radio Relay Lines Caused by the Movement of Stations. *Proceedings of the VIth International Conference on Infotelecommunications in Science and Education, 01–02 March 2017, St. Petersburg, Russia*. St. Petersburg: The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications Publ.; 2017. p.452-457. (in Russ.)
13. Yakushenko S.A., Snezhko V.K., Korobkov E.S., Lianguzov D.A. Model for assessing the suitability of the radio-relay communication interval when organizing management in motion. *Achievements of Modern Radioelectronics*. 2017;12:12–16. (in Russ.)
14. Dvornikov S.V., Dvornikov S.S., Konoplev M.A. Radio Signals Identification Algorithm Based on Symmetrical Matrix. *Information Technology*. 2010;9:75–77. (in Russ.)
15. Hettmansperger T.P., McKean J.W. *Robust Nonparametric Statistical Methods*. London: Edward Arnold; 1998.
16. Gibbons J.D., Chakraborti S. *Nonparametric Statistical Inference*. Boca Raton: CRC Press; 2003.
17. Dvornikov S.S., Dvornikov S.V., Osadchii A.I., Ustinov A.A., Konoplev M.A., Sukharukov G.A. *Sposob raspoznavaniia radiosignalov* [The Method of Recognition of Radio Signals]. Patent RF, no. 2430417, 25.05.2010. (in Russ.)
18. Dvornikov S.V., Kudryavtsev A.M. *Teoreticheskie osnovy chastotno-vremennogo analiza kratkovremennykh signalov: monografiia* [Theoretical Foundations of Time-Frequency Analysis of Short-Term Signals. Monograph]. St. Petersburg: Telecommunications Military Academy Publ.; 2010. 240 p. (in Russ.)
19. Yakushenko S.A., Sazonov M.A., Bibarsov M.R. *Radioreleinye i sputnikovye sistem peredachi spetsialnogo naznacheniia. Chast 1* [Radio Relay and Satellite Transmission Systems for Special Purposes. Part 1]. St. Petersburg: Telecommunications Military Academy Publ.; 2016. 486 p. (in Russ.)
20. Dvornikov S.V., Dvornikov S.S., Ivanov R.V., Gulidov A.A., Chihonadskih A.P. Protection of Structural Noise Radio Channel Frequency Shift Keying. *Information Technology*. 2017;23(3):193–198. (in Russ.)