

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА АДАПТАЦИИ ПАКЕТНОЙ РАДИОСЕТИ К УСЛОВИЯМ СЛОЖНОЙ ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ

М. В. Солнцев

Серпуховской военной институт ракетных войск

В статье приводится математическая модель процесса адаптации пакетной радиосети к условиям сложной помеховой обстановки, позволяющая оценить вероятностно-временные характеристики исследуемого процесса адаптации.

Важнейшей проблемой, определяющей готовность систем и сетей радиосвязи (СРС) к применению по назначению, является проблема оперативного оптимального выбора рабочих частот (РЧ) приемопередающих комплексов (ППК), обеспечивающих устойчивый информационный обмен между абонентами в условиях динамики сложной помеховой обстановки (СПО).

Одним из возможных путей решения данной проблемы является использование в современных цифровых пакетных системах и средствах радиосвязи, оснащенных автоматическими устройствами поддержки принятия решения на основе специализированных вычислительных комплексов, интеллектуальной технической подсистемы, осуществляющей постоянный мониторинг текущей помеховой обстановки и выработку соответствующих решений на реконфигурацию радиосети путем синхронного изменения РЧ ППК на оптимальные. Данная подсистема обеспечивает возможность реализации в рассматриваемой сети связи режима адаптации к условиям СПО, что, с одной стороны, существенно повышает надежность и оперативность доведения сообщений до пользователей радиосети по сравнению с системами радиосвязи, функционирующих в режимах непосредственного предоставления каналов (НПК) или заранее подготовленных частот (ЗПЧ), а с другой — требует обоснованного подхода к определению необходимого числа и значений частот адаптации. Решение поставленной задачи, в частности, заключается в построении математической модели процесса адаптации пакетной радиосети к условиям СПО и нахождении на ее основе вероятностно-вре-

менных характеристик (ВВХ) исследуемого процесса, для чего рассмотрим его более подробно.

При работе в режиме адаптации ППК обмениваются служебными кодограммами (КД). По командам, полученным в КД, комплексы переходят на одну из ЗПЧ. Смена частот происходит централизованно и синхронно. ЗПЧ хранятся в исходных данных, записанных в память микроЭВМ комплексов. Обмен кодограммами осуществляется по командному каналу связи (КС) с передачей широкополосных сигналов (ШПС). Ввиду того, что база ШПС велика и каждая КД многократно повторяется, можно считать, что обмен служебными КД между комплексами будет достоверным в любой помеховой обстановке.

Нахождение ВВХ адаптации пакетной радиосети рассмотрим на примере радиальной СРС, состоящей из четырех ППК (рис. 1).

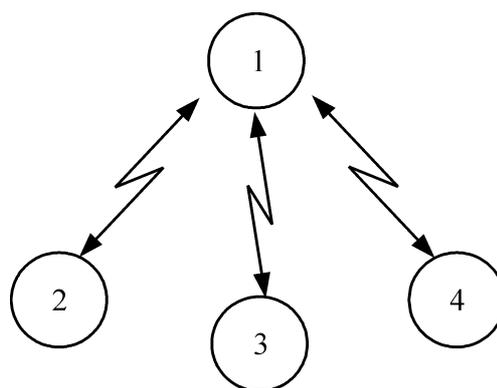


Рис. 1. Вариант построения радиальной сети радиосвязи

В представленной СРС комплекс 1 является узловым или центральным (Ц), а комплексы 2, 3 и 4 — подчинёнными или неЦ. Для построения математической модели адаптации выделим те состояния, в которых может находиться процесс

организации информационного обмена, и определим возможные переходы между этими состояниями. Режим адаптации имеет существенные особенности, отличающие его от режимов НПК и ЗПЧ:

- выбор частот для организации требуемых каналов осуществляется из больших множеств: десятки частот;

- выбор частот для связи «вниз» и частот для связи «вверх», осуществляется практически независимо друг от друга, но одновременно;

- для организации связи «вниз» используется только одна частота, тогда как для организации связи «вверх» может использоваться большое количество частот;

- если частота для связи «вниз» по какой-либо причине не выбрана, то в этом случае не будут выбираться и частоты для связи «вверх».

Процесс адаптации, или перехода с одних частот на другие, осуществляется в результате обмена между комплексами служебными кодограммами: вызывной (ВК), ответной (ОК) и КД общей частоты приёма (ОЧП). Отметим, что при браковке организованных каналов оконечной аппаратурой (ОА) какого-либо ППК перевод всей сети организованных каналов с одних частот на другие осуществляется централизо-

ванно, комплексом с высшим приоритетом, для рассматриваемой СРС (рис. 1) — комплексом номер один. Поэтому, рассматривая режим адаптации, будем считать, что браковка осуществляется на комплексе 1.

Будем полагать, что массив частот адаптации состоит из 4 ЗПЧ. Тогда при браковке канала связи СРС переходит на следующую частоту из массива свободных частот; частота, на которой был организован канал, в выборе не участвует. При последующей браковке данная частота участвует в выборе наравне со всеми остальными. Всё это даёт право описать процесс организации канала в виде конечной цепи Маркова, представленной на рис. 2 сигнальным графом переходов.

Данная цепь Маркова включает в себя два поглощающих состояния и четыре переходных. Причём состояние x_5 соответствует установлению связи, а x_6 — отказу в установлении вследствие того, что уровень шумов на всех частотах превышает пороговое значение h_0^2 . В первом случае ОА прекращает браковку каналов связи, а во втором случае СРС переходит в режим, в котором сеть деформируется, оператор имеет возможность изменить значение h_0^2 и СРС вновь переходит к организации каналов.

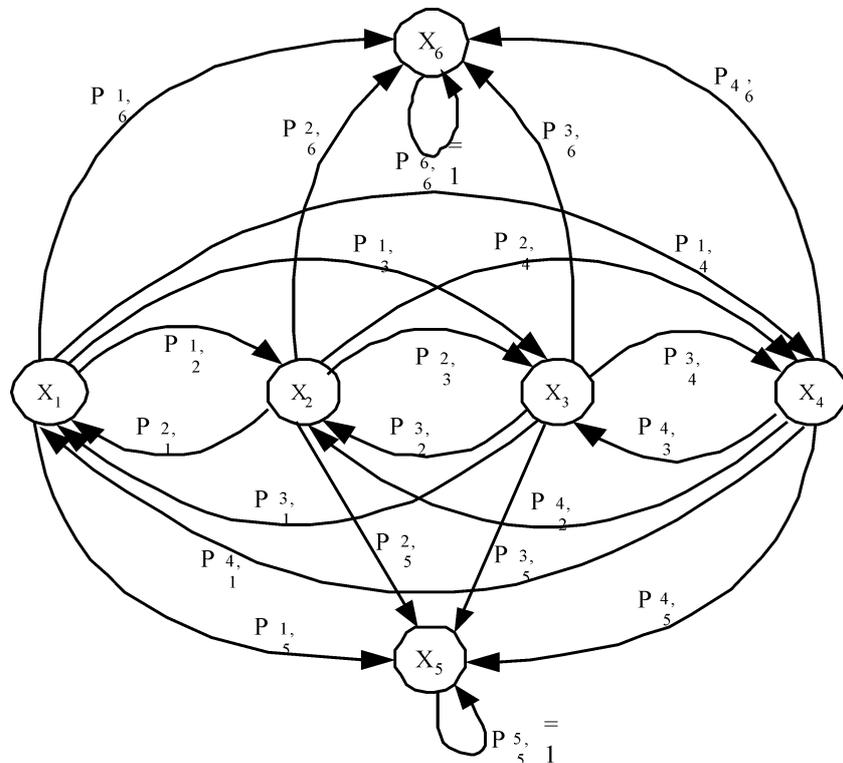


Рис. 2. Сигнальный граф переходов, описывающий процесс адаптации пакетной радиосети к условиям сложной помеховой обстановки

Состояния $x_1 \dots x_4$ равнозначны по своему описанию и из любого состояния x_i возможен переход в любое другое состояние x_j , за исключением случая перехода в прежнее состояние ($i, j = 1(1)4, i <> j$). В связи с этим опишем какие-либо два переходных и оба поглощающих состояния исследуемого процесса:

x_1 — ОА комплекса 1 произвела браковку каналов связи, ЭВМ комплекса снимает с блока согласования (БС) ОА сигнал "готовность каналов". Между комплексами 1 и 2 (3, 4) осуществляется обмен служебными ШПС кодограммами: ВК, ОК и ОЧП. В результате этих операций все комплексы информационной сети переходят на другие оптимальные частоты. В БС ОА выдается сигнал "готовность канала связи". Если данный канал удовлетворяет требованиям ОА, то процесс переходит в состояние x_3 . В противном случае он переходит либо в x_4 , либо в x_6 ;

x_3 — ОА вновь производит браковку каналов связи, происходят те же операции, что и в состоянии x_1 . Процесс может перейти как в состояние x_5 или x_6 , так и в состояние x_k ($j, k = 1(1)4, k <> j$);

x_5 — ОА прекратила браковку каналов в связи с тем, что нашлась частота, на которой величина h_0^2 выше пороговой. Состояние установления связи;

x_6 — отказ в установлении связи на данных частотах адаптации в связи с тем, что вследствие помех или других причин в массиве частот нет частоты, на которой величина h_0^2 выше пороговой.

Процесс адаптации СРС в рассматриваемом варианте можно проанализировать, решая уравнения Колмогорова—Чепмена

$$\mathbf{P}_{<6>}(n) = \mathbf{P}_{<6>}(0) \cdot \mathbf{P}_{[6,6]}^n, \quad (1)$$

где $\mathbf{P}_{[6,6]}$ — матрица переходных вероятностей (МПВ) данной марковской цепи, а

$$\mathbf{P}_{<6>}(0) = \langle P_{x_1}(0), \dots, P_{x_i}(0), \dots, P_{x_6}(0) \rangle; \quad (2)$$

$\mathbf{P}_{<6>}(n) = \langle P_{x_1}(n), \dots, P_{x_i}(n), \dots, P_{x_6}(n) \rangle$ — векторы вероятностей состояний исследуемого процесса на нулевом и n -ом шагах соответственно. Причем в МПВ только те значения переходных вероятностей $P_{i,j}$ ($i, j = 1(1)6$) отличны от нуля, для которых указаны соответствующие переходы на сигнальном графе (см. рис. 2).

Зная длительность шага-перехода из одного состояния в другое, можно по известному времени T найти число шагов процесса следующим образом [4]

$$n = E \left[\frac{T}{T_{\text{ш}}} \right], \quad (3)$$

где E — знак целой части дроби; $T_{\text{ш}}$ — длительность шага перехода.

Аналогичным образом можно построить марковскую цепь режима адаптации и для другого количества частот адаптации. Следовательно, для нахождения ВВХ адаптации необходимо только определить переходные вероятности МПВ. Очевидно, что в условиях СПО в МПВ будут три типа вероятностей:

— P_y — вероятность переходов в пятое состояние $x_i - x_5$, ($i = 1(1)4$), которое соответствует установлению связи. Очевидно $P_y = 1 - P_1$, где P_1 — вероятность поражения помехой одной из ЗПЧ массива адаптации. Наиболее вероятным является возникновение помех с шириной спектра $\Delta F_{\text{н}} = 1$ МГц. Если принять, что $\Delta f_{\text{ЗПЧ}}$ — ширина диапазона частот, в котором назначаются ЗПЧ и все ЗПЧ распределены равномерно в этом диапазоне, то $P_1 = \Delta F_{\text{н}} / \Delta f_{\text{ЗПЧ}}$ [2].

— P_o — вероятность переходов в десятое состояние $x_i - x_6$, ($i = 1(1)4$), которое соответствует отказу в установлении связи на всех частотах адаптации, следовательно, $P_o = P_1^4$;

— $P_{\text{н}}$ — вероятность перехода в другое переходное состояние $x_i - x_j$ ($i, j = 1(1)4, i <> j$). Так как выбор одной из частот массива ЗПЧ равновероятен, то:

$$P_{\text{н}} = \frac{P_1 - P_o}{3}. \quad (4)$$

Результаты расчётов для диапазона рабочих частот $\Delta f_{\text{ЗПЧ}} = 2,5$ МГц и $\Delta f_{\text{ЗПЧ}} = 4,5$ МГц при условии $n = 16$ комплектов частот адаптации приведены в виде графиков на рис. 3 [3]. Из графиков видно, что оперативность организации каналов в условиях СПО выше в более широком диапазоне рабочих частот по сравнению с менее широким.

Стационарное распределение вероятностей в режиме адаптации достигается за 7—8 шагов процесса, что при длительности шагов $T_{\text{ш}} \sim 25$ с составляет значительный промежуток времени. Для сокращения времени организации информационного обмена необходимо уменьшить $T_{\text{ш}}$, что возможно либо сокращением длины служебных кодограмм, либо уменьшением числа их повторов с одновременным увеличением базы модулирующей псевдослучайной последовательности для достижения заданного уровня помехоустойчивости.

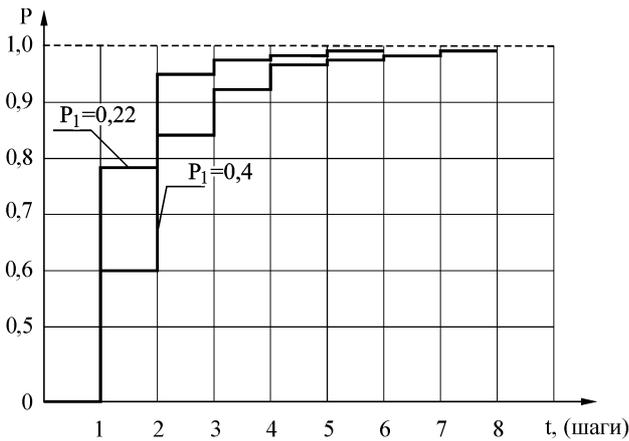


Рис. 3. Результаты расчета вероятности адаптации пакетной радиосети к условиям сложной помеховой обстановки

Теория конечных марковских цепей позволяет найти математическое ожидание и дисперсию времени адаптации рассматриваемой СРС [1]. Проведя анализ МПВ, были получены следующие зависимости:

$$M[t] = \frac{1}{1 - (n - 1) \cdot p} \cdot T_{ш}, \quad (5)$$

$$\sigma[t] = \frac{\sqrt{(n - 1) \cdot p \cdot (p^2 + (2 - n) \cdot p + 1)}}{(n - 1) \cdot p^2 + (n - 2) \cdot p - 1} \cdot T_{ш}, \quad (6)$$

где n — количество частот в массиве ЗПЧ; p — вероятность перехода из одного переходного состояния в другое.

Анализ полученных выражений (5), (6) показывает, что с увеличением числа частот в массиве ЗПЧ математическое ожидание окончания процесса адаптации уменьшается, как и среднеквадратическое отклонение того же времени. Полученные зависимости позволяют найти вышеуказанные характеристики без процедуры обращения матриц, что приводит к улучшению точности вычислений и снижению времени проведения вычислений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кенеми Д. Дж., Снелл Дж. Ларк. Конечные цепи Маркова. М.: Мир, 1970. — 186 с.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Физматгиз, 2001. — 576 с.
3. Потёмкин В. Г. MATLAB 6. Среда проектирования инженерных приложений. М.: Диалог — МИФИ, 2003. — 569 с.