Модель управления когнитивной декаметровой радиосетью

Control model of cognitive decameter radio network

Присяжнюк / Prisyazhnyuk A.
Андрей Сергеевич
(pas@itain.ru)
кандидат технических наук.
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»
(Университет ИТМО),
доцент кафедры ГИС.
г. Санкт-Петербург

Присяжнюк / Prisyazhnyuk S.
Сергей Прокофьевич
(office@itain.ru)
доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,
действительный член Академии инженерных наук им. А. М. Прохорова.
Университет ИТМО,
заведующий кафедрой ГИС.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: когнитивная декаметровая радиосеть – cognitive decameter radio network; управление пакетной радиосетью – packet-radio network control; модель управления – control model; оперативная модель – operation model; зондовый контроль радиосети – radio network probing; эффективность радиосети – radio network efficiency.

Рассмотрены особенности радиосетей в декаметровом диапазоне частот. Предложена информационная модель управления когнитивной радиосетью в декаметровом диапазоне частот. Рассмотрена радиосеть общего пользования со сплошной зоной радиопокрытия больших территорий.

Specific characteristics of radio networks within decameter frequency range have been reviewed. Information model for control of cognitive radio frequency network within decameter frequency range has been proposed. Public access radio network with a contiguous long-distance radio coverage has been reviewed.

Радиосвязь в декаметровом (ДКМ) диапазоне частот используется для обеспечения уверенной передачи информации на больших территориях, особенно при стихийных бедствиях или в труднодоступных регионах, например крайнего севера, при оперативном резервировании других видов связи в случаях выхода из строя, связь на больших расстояниях с мобильными абонентами (самолетами, кораблями и др.). С помощью мобильных станций небольшой мощности связь в этом диапазоне во многих случаях имеет значительное экономическое и практическое преимущество перед другими видами связи. Особенно выделяются требования к живучести ДКМ сетей.

Радиосвязь в декаметровом диапазоне часто называют коротковолновой из-за длины волн от 10 до 100 метров. Распространяются короткие волны поверхностной волной на десятки километров, а ионосферной волной – до тысяч километров.

Несмотря на развитие других видов связи, потребность в ДКМ радиосвязи растет, а частотная емкость ДКМ диапазона (1,5–30 МГц) ограничена. В связи с этим связь в ДКМ-сети организована по зонам, что позволяет многократно использовать частотный ресурс. Зона, как правило, представляет собой район земной поверхности с размерами 500×500 км.

Большое число декаметровых сетей радиосвязи различаются структурами (радиальные, кустовые, линейные, звездные, радиально-кольцевые и др.), числом каналов связи, скоростью передачи информации, размерами зон, дальностью действия, типами используемого оборудования, степенью автоматизации управления и другими показателями [1, 6].

Основными проблемами при передаче данных в ДКМ-сети являются сильная зависимость от состояния ионосферы земли, времени передачи информации, особенностей местности, а также наличия помех от других работающих радиостанций в декаметровом диапазоне частот.

Наличие мешающих факторов приводит к многолучевости, замираниям сигналов, наличию зон молчания, низкой скорости передачи данных и низкой надежности передачи данных в каналах связи.

Дальнейшим развитием декаметровых радиосетей является создание крупномасштабных сетей общего пользования с пакетной коммутацией, оперативно адаптирующихся к быстро меняющейся ситуации на сети [2], так называемых самоорганизующихся (когнитивные) ДКМ-сетей.

Когнитивная декаметровая сеть представляет собой интеллектуальную многопользовательскую сеть радиосвязи с процессом организации такого целенаправленного воздействия на ее элементы, в результате которого обеспечивается максимальная пропускная способность ДКМ-сети [3, 6, 7].

Рассмотрим предложенную в [2] крупномасштабную ДКМ-сеть радиосвязи со сплошной зоной радиодоступа.

Когнитивная сеть ДКМ-радиосвязи строится на основе применения когнитивных систем радиосвязи (использует их возможность изучать и адаптироваться к условиям ведения радиосвязи) [8, 9], а также адаптивной сетевой инфраструктуры (включая подсистемы интеллектуального радиодоступа и базовой сети с интеллектуальной системой оперативного управления).

Отличительная особенность когнитивной сети ДКМ-радиосвязи состоит в том, что в ней применяются технологии и оборудование, гарантирующее, что сеть, абонентские и сетевые устройства могут развертываться, функционировать и управляться (конфигурироваться, оптимизироваться, восстанавливаться и защищаться) в реальном масштабе времени. Сеть мультисервисная с пакетной коммутацией, приоритетным обслуживанием разнородного трафика от стационарных и мобильных терминалов радиодоступа.

Для обеспечения высокой автономной связности сети, унифицированные узлы ДКМ-сети размещаются с возможностью не менее трехкратного пересечения зон радиовидимости и используют односкачковые линии ионосферной связи. Такой подход к построению ДКМ-сети не требует мощных радиопередающих устройств [2].

Приемные устройства радиолиний оснащаются навигационными устройствами. Абонент, находящийся в области пересечения зон и на различных расстояниях от смежных узлов, будет иметь разные частоты доступа к этим узлам. Для таких абонентов частоты доступа к одному узлу не совпадают с частотами доступа к другому узлу, и электромагнитная совместимость абонентских терминалов, находящихся в одном месте, но обращающихся к разным узлам, не ухудшается, общее число доступных каналов не уменьшается. Пересечение зон радиодоступа увеличивает вероятность доступа абонента хотя бы к одному узлу.

Таким образом, оптимальным размещением унифицированных базовых узлов, организуется сеть с высоким коэффициентом связности и достигается требуемый уровень пропускной способности ДКМ-сети (рис.1).

Модель управления такой ДКМ-сетью сводится к следующему – каждый узел по заданному суточному графику выполняет вертикальное зондирование ионосферы над узлом и наклонное зондирование по заданной группе азимутов вокруг узла. По результатам зондирования формируется карта текущего распределения критических частот над всей зоной радиодоступа сети и адаптируется структура базовой сети и сетей радиодоступа в зонах [8].

В когнитивных ДКМ-сетях предусматривается осуществление распределенного децентрализованного оперативного управления, основанного на взаимодействии сетевых устройств с целью максимизации пропускной способности и живучести ДКМ-сети.

Объектами управления являются те элементы ДКМ-сети, состояние которых представляет интерес и на которые можно воздействовать целенаправленно, т.е. управлять ими (магистральные адаптивные радиолинии, коммутаторы пакетов в узлах, фазированные антенные устройства, устройства радиодоступа и др.) [9].

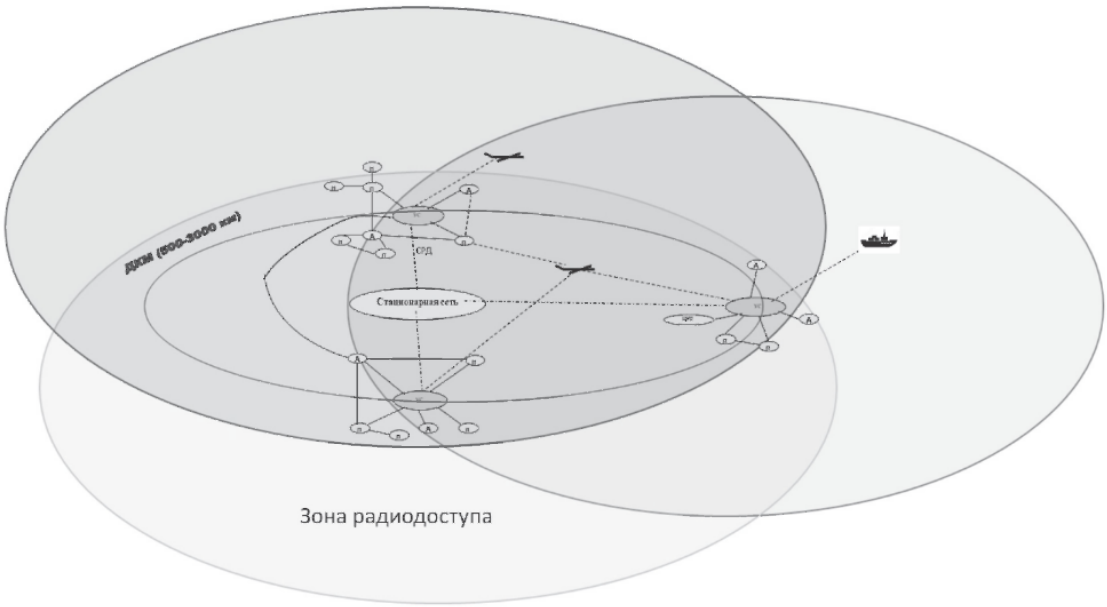

Рис. 1

4 2018.indd 45 15.12.2018 15:54

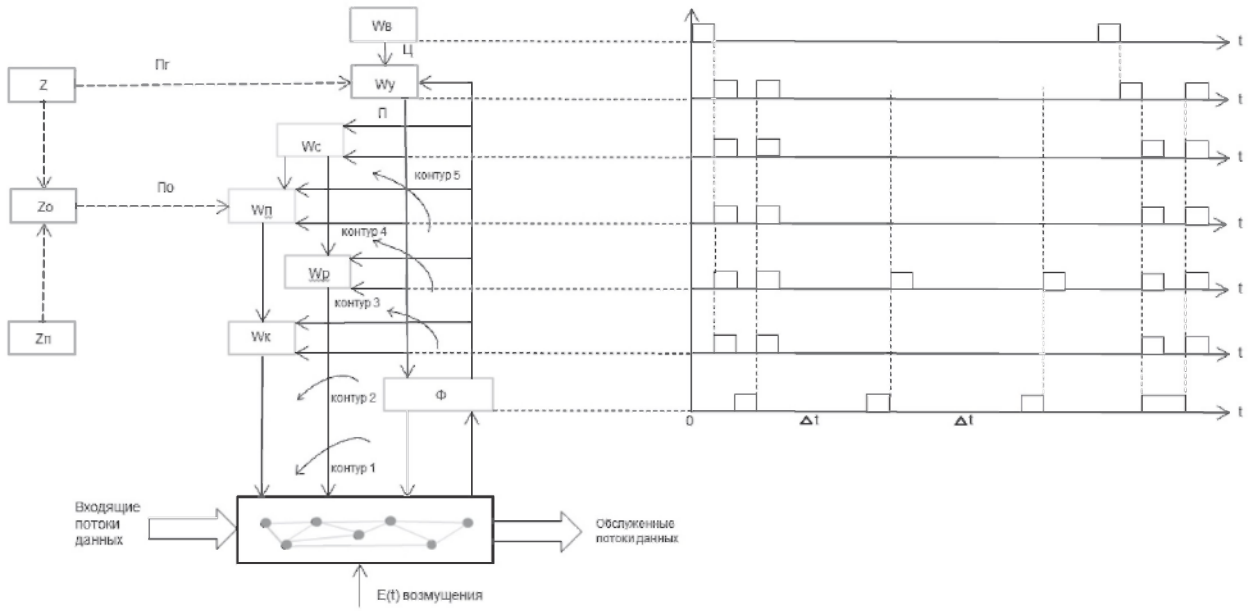

Рис. 2. Операторная схема модели управления ДКМ-сетью

Система управления ДКМ-сетью представляет собой иерархическую систему, на каждом уровне которой реализуются несколько функций управления: определение целей управления, планирование, оперативное управление, включая функцию контроля анализа и координации (рис. 2).

Управление здесь сводится к выявлению критических ситуаций и выработке оптимальных решений в них. Такой подход требует сбора в каждом узле базовой сети значительной информации о сложившейся ситуации, для чего необходима совершенная система контроля за ситуацией в ДКМ-сети. Кроме того, нужна оптимальная модель управления.

Введением в оперативное управление пакетной ДКМ-сетью элементов программного управления, таких как оперативного плана изменения структуры сети $П_с$ и оперативного плана управления потоками данных $П_п$, а также динамического управления маршрутизацией достигается квази оптимальное управление.

В общем случае управление определяется как

$$V_{t+1} = W\,(V_t, П_с, П_п, T, C, B), \text{ при } B \to \max,$$

где W – оператор рекурентного оперативного управления,

V_t, T, C, P – значения управляемых параметров и измеренные значения функционалов T_t, C_t, P_t в момент времени t,

T – вектор средних времен доведения пакетов между корреспондирующими парами абонентов,

C – вектор разрешенной к использованию в каналах связи скоростью передачи данных,

B – пропускная способность сети.

Пропускная способность пакетной ДКМ-сети определяется как максимальное количество пакетов, переданное по сети за заданный интервал времени между всеми корреспондирующимися парами абонентов с требуемым качеством обслуживания при заданной матрице тяготений и фиксированной структуре сети.

Оператор управления W имеет иерархическую структуру и представляет кортеж:

$$W = <\Phi, W_в, W_у, W_п, W_с, W_р, W_k, Z, Z_о, Z_п>,$$

где Z, $Z_с$, $Z_п$ – операторы зондирования ионосферы постоянного (наклонного), оперативного (вертикального) и пассивного,

Ф – подоператор сетевого зондового контроля состояния ДКМ-сети;

$W_в$ – подоператор организационного управления;

$W_у$ – подоператор планирования;

$W_с$ – подоператор оперативного управления структурой сети (оперативного планирования);

$W_п$ – подоператор управления потоками данных;

$W_р$ – подоператор управления маршрутизацией;

W_k – подоператор управления безопасностью информации и радиодоступа в зоне.

Операторная схема модели управления ДКМ-сетью показана на рис. 2.

Подоператоры $W_в$, $W_у$, Z находятся в центре управления сетью, а подоператоры $W_с$, $W_п$, $W_р$, W_k, $Z_о$, $Z_п$ – на каждом узле базовой сети, обеспечивая децентрализованное оперативное управление ДКМ-сетью.

На верхнем уровне $W_у$ устанавливаются цели, требования к качеству обслуживания и структуры взаимодействия подоператоров. В $W_у$ синтезируется структура

Таблица 1

Тип структуры сети	Нагрузка. Общее время занятия каналов зондами, усл. ед.		Время контроля состояния сети, усл. ед.	
	Метод безадресного зондирования	Одноадресный метод	Метод безадресного зондирования	Одноадресный метод
Радиальная	$2N - 2$	$N^2 - N$	2	$2N - 2$
Кольцевая: при $N = 2n$ при $N = 2n+1$	 $4n$ $4n + 2$	 $5N^2 - 2$ $5N^2 - n$	 $2n$ $4n + 2$	 $2n^2$ $2n^2 - n$
Радикально-кольцевая	$5N - 5$	$3N^2 - 7N + 4$	3	$2N - 2$
Полносвязная	$2N^2 - 5N + 3$	$N^3 - 4N^2 + 7N - 4$	3	$2N - 2$

сети и разрабатывается план изменения структуры сети. Для этого используются результаты наблюдения за ионосферой службой ионосферного зондирования Z, которой определяются рабочие частоты в зонах обслуживания, матрицы тяготений потоков в сети и требования к качеству обслуживания.

На оперативном уровне в подоператоре W_c формируется оперативный план управления структурой $П_c$ при заданной структуре сети, матрице тяготений потоков данных и ситуации на сети.

В процессе функционирования сети оператором Z_c контролируется помеховая обстановка, с учетом которой в $W_т$ формируется план управления потоками данных в ДКМ-сети (ограничение нагрузки на сеть, управление потоками данных при передаче по адаптивным каналам связи).

В операторе $W_р$ реализуется процедура маршрутизации и коммутации пакетов в ДКМ-сети, при этом используется как статическое, так и динамическое управление маршрутизацией с помощью сетевых зондовых методов маршрутизации [3, 4, 5].

Вопросы обеспечения безопасности информации и связи реализуются в подоператоре $W_к$. Подоператор сетевого зондового контроля состояния ДКМ-сети Ф выполняет функции «нервной» системы когнитивной ДКМ-сети.

Подоператор Ф в результате «наблюдения» за состоянием ДКМ-сети отображает его в матрицу оценки состояния, которую используют все подоператоры управления $< W_у, W_п, W_с, W_р, W_к >$ при выборе управляющих воздействий на ДКМ-сеть (объект управления). Оператор Ф строится на принципах зондирования сети контрольными пакетами данных, которые специальным образом пробегая по ДКМ-сети, формируют реальный оптимальный план распределения потоков данных в маршрутизаторах ДКМ-сети в реальном масштабе времени, максимизируя пропускную способность $\{\max P\}$ ДКМ-сети.

Диаграмма взаимодействия подоператоров в процессе функционирования оператора управления ДКМ-сетью W представлена на рис. 2. Статические периоды управления ДКМ-сетью отражены интервалами времени Δ_i. Каждый подоператор предложенной модели управления ДКМ-сетью имеет право инициировать работу подоператора Ф.

Результатами сетевого зондирования контрольными пакетами пользуются все подоператоры оператору W. Установленными правилами взаимодействия подоператоров управления в данной модели управления регулируется загрузка сети служебной информацией. В работах [4, 5] доказана эффективность безадресных методов зондирования перед адресными. Для типовых структур в таблице 1 приведены результаты сравнения, где N – количество узлов связи в ДКМ-сети [10].

Результаты получены в предположении, что в сети циркулируют зонды (пакеты) фиксированной длины.

4 2018.indd 47 15.12.2018 15:54

каналы дуплексные, время передачи зонда по каналу равно условной единице времени.

Анализ верхних (неулучшаемых) оценок оперативности сбора полной информации о состоянии сети в узле-инициаторе зондирования и ресурсоемкости, определенной в зондо-занятиях каналов связи, показывает очевидное преимущество безадресного зондирования пакетной ДКМ-сети.

В работах [4, 5] предложен безадресный метод, обеспечивающий полной информацией о состоянии сети за один цикл зондирования всех узлов сети произвольной структуры с любого узла сети. Данное свойство обеспечивает максимальную живучесть сети при ее деградации или наращивании.

Предложенная модель управления когнитивной пакетной ДКМ-сетью реализует рациональным способом дифференциацию функций управления. Соотношение темпов управления в каждом контуре управления на каждом шаге должно быть таким, чтобы на каждом шаге структурных изменений происходил весь цикл управления потоками как внешними, так и внутренними. В этом случае достигается максимальная эффективность управления, что приводит к устойчивому функционированию ДКМ радиосети в чрезвычайных ситуациях и обеспечивает требуемую пропускную способность.

Литература

1. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи / под ред. О.В. Головина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 598 с.

2. Пат. № 2619471 Российская Федерация, МПК H04B 7/00. Крупномасштабная сеть ДКМВ радиосвязи со сплошной зоной радиодоступа / А.Е. Андреечкин [и др.] ; патентообладатель С.П. Присяжнюк ; № 2016110932 ; заявл. 24.03.2016; опубл. 16.05.2017, Бюл. 14.

3. Присяжнюк, С.П. Пакетная радиосвязь / С.П. Присяжнюк, В.И. Комашинский // Информация и Космос. Спецвыпуск – 2009. – № 5. – 132 с.

4. Аванесов, М.Ю. Оперативное управление потоками данных в мультисервисных сетях связи / М.Ю. Аванесов, С.П. Присяжнюк. – СПб.: Изд-во балт. гос. техн. ун-та, 2007. – 87 с.

5. Пат. № 2574814 Российская Федерация: МПК H04L 12/70 Способ оперативного управления потоками данных в сетях с коммутацией пакетов / С.П. Присяжнюк, М.Ю. Аванесов ; заявитель и патентообладатель ЗАО «Институт телекоммуникаций». – № 2014133011/08; заявл. 12.08.2014; опубл. 10.02.2016, Бюл. № 4.

6. Синсер, Р. Архитектура связи в распределенных системах [:пер. с англ.] / Р. Синсер. – М.: Мир, 1981. – 1127 с.

7. Моделирование процесса информаионного обмена в тракте передачи данных из совокупности параллельных декаметровых каналов / В.А. Цымбал [и др.] // Технологии информационного общества. X Международная отраслевая научно-техническая конференция: Сборник трудов, 2016. – С. 79.

8. Комплекс определения области ионосферы с мелкомасштабными неоднородностями по данным GPS-мониторинга / В.П. Пяменцев [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Социальные, гуманитарные, медико-биологические науки. – 2016. – Т. 18, № 2. – С. 941.

9. Анализ моделей затухания радиосигналов дециметровых волн / С.В. Дворников [и др.] // Информация и Космос. – 2018. – № 2. – С. 6–12.

10. Аванесов, М. Ю. Модель оценивания служебной информации в пакетной сети / М.Ю. Аванесов // Информация и Космос. – 2001. – № 2. – С. 36–38.