

3. Какие сочетания антенн могут быть использованы для достижения эффективного покрытия при синхронной работе?

Далее Ассамблея постановляет:

Результаты указанных исследований должны быть направлены на подготовку Рекомендации по синхронной работе ЧМ передатчиков звукового вещания.

Литература

1. *Стереофоническое радиовещание* / Н. М. Балан, С. А. Бедойа, А. В. Выходец и др.; Под ред. Выходца А. В. и Одинцова Б. В.— К.: Техника, 1995.— 240 с.

2. *Document 6/223E Radiocommunication Study Group 6 ITU / Draft new Question «Synchronised transmitters in VHF-FM analogue sound broadcasting».— 2001.*

3. Выходец А. В., Мельникова Т. Н. Синхронное радиовещание в диапазоне с ЧМ // *Праці УНДІРТ.— 1999.— № 3 (19).— С. 41–44.*

4. Захарин В. М., Прокоп С. Н. Защитные отношения в синхронных сетях ОВЧ-ЧМ вещания // *Праці УНДІРТ.— 1999.— № 3 (19).— С. 45–51.*

5. Выходец А. В., Глотов С. П., Кузнецова А. С. Линейные искажения радиоприема в сети синхронного МВ-ЧМ радиовещания // *Праці УНДІРТ.— 2001.— № 2 (26).— С. 98–105.*

6. ГОСТ 13924-93. Передатчики радиовещательные стационарные. Основные параметры, технические требования и методы измерений.

7. ГОСТ 11515-91. Каналы и тракты звукового вещания. Основные параметры качества. Методы измерений.

А. И. МИНОЧКИН, В. А. РОМАНИК

УПРАВЛЕНИЕ ТОПОЛОГИЕЙ МОБИЛЬНОЙ РАДИОСЕТИ

Рассматриваются сети MANET (Mobile Ad-Hoc Networks) [1], обладающие динамической самоорганизующейся архитектурой построения мобильных радиосетей, предполагающей отсутствие фиксированной сетевой инфраструктуры (базовых станций) и централизованного управления.

Одной из основных задач оперативного управления сетью мобильной радиосвязи (МР) является управление ее топологией.

Под топологией сети понимают совокупность узлов на местности и соединяющих их каналов. Топология определяет потенциальные возможности сети по доставке данных между взаимодействующими узлами. Предполагается, что каждый узел i может изменять мощность передачи $p_i = [p_{i\min} \dots p_{i\max}]$ с определенным шагом дискретизации Δp . С увеличением мощности передачи узлов уменьшается число ретрансляций в маршруте и, соответственно, сокращается задержка передачи сообщения, однако в то же время возрастает уровень взаимных помех и уменьшается пропускная способность сети. Уменьшение мощности передачи узлов приводит к снижению общей расходуемой мощности (напомним, что часть узлов оснащена батареями), увеличивая тем самым «время жизни» сети и ее пропускную способность. Однако при этом увеличивается длина маршрутов передачи (диаметр сети), что влечет за собой возрастание времени доставки сообщений, а возможно, и разделение сети на несвязные компоненты. Также узел i может быть оснащен В-секторной направленной антенной, обладающей способностью передачи одновременно в β_i секторах ($1 \leq \beta_i \leq V$) и образующей β_i диаграмму направленности.

Под управлением топологией МР будем понимать управление U_i , изменяющее топологию МР в процессе ее функционирования за счет перераспределения мощностей передач узлов p_i (и/или направленности их антенн β_i) с целью Z_k , $k = \overline{1, K}$:

► Z_1 — обеспечения связности сети (связности между узлами i и $j - c_{ij} = 1$);

► Z_2 — пользовательской оптимизации, т. е. выполнения требований по маршрутизации информационных сообщений [2] (например, по оперативности доставки сообщений между парой отправитель — адресат);

► Z_3 — системной оптимизации, т. е. максимизации пропускной способности сети ($\max S$);

► Z_4 — минимизации времени задержки передачи сообщений ($\min \bar{t}_1$);

► Z_5 — минимизации мощностей передач узлов ($\min \bar{P}$);

► Z_6 — минимизации числа однонаправленных каналов ($\min E_0$) и др.

Для повышения эффективности функционирования МР подсистему маршрутизации (как составную часть системы управления) необходимо реализовать на двух уровнях: на верхнем уровне осуществляется оперативное управление топологией сети (создаются потенциальные маршруты передачи информации); на нижнем — управление построением и поддержанием маршрутов при полученной топологии (реализуется конкретный метод маршрутизации из имеющейся совокупности) [3]. Верхний и нижний уровни работают в различных временных интервалах. Цикл управления маршрутами значительно меньше цикла управления топологией. Соотношение циклов управления должно быть таким, чтобы на каждом шаге топологических изменений происходил весь цикл управления маршрутами. Только в этом случае достижима эффективность реализованной топологии.

Задача управления топологией формулируется в следующем виде: в фиксированный момент времени t необходимо отыскать матрицу связности узлов C_k^* , обеспечивающую выполнение k -й цели управления пользовательской или системной оптимизации МР.

Математическая модель. МР представляется в виде стохастического графа $G = (V, E)$ со множеством вершин $V = \{v_i\}$ и множеством ребер $E = \{(i, j) | d_{ij} \leq r_i \wedge d_{ij} \leq r_j\}$, определяющих матрицу связности $C = \|c_{ij}\|$, где $c_{ij} = \{0, 1\}$ — булева переменная; d_{ij} — расстояние между

узлами i і j для $i \neq j$, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, N}$; $r_i(p_i)$ — радіус (мощність) передачі i -го узла. Кожен вузол графа v_i в момент t описується сукупністю параметрів: координатами розташування (x_i, y_i) ; радіусом (мощністю) передачі $r_i = [r_{i\min}, r_{i\max}]$; направленістю антен β_i ; ємністю батареї e_i^0 ; швидкістю і направленістю переміщення v_i, γ_i ; маршрутною таблицею кратчайших шляхів $\Pi_i = \|\Pi_{ij}^{(k)}\|$, де $k = \overline{1, N}$; $(i, j) \in E$;

$\Pi_{ij}^{(k)} = \{0, 1\}$ — маршрутна змінна, визначає наявність (відсутність) маршруту від відправника i до адресата k через сусідній вузол $j \in N$; l_{ij} — довжина найкоротшого маршруту; $\eta = \overline{1, N}$ — додатні метрики (наявність радіосвязності — η_1 , пропускна спроможність — η_2 , затримка передачі — η_3 , потужність передачі — η_4 , відстань — η_5 і т.д.). Інтенсивність вхідних потоків визначається матрицею тяготіння $\Gamma = \|\gamma_{jk}(t)\|$,

$\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \gamma_{jk} \leq \gamma_{\max}$ для $j \neq k$; пропускна спроможність радіо-

каналу $s_{ij} \leq s_{ij\max}, \forall (i, j) \in E$; радіосвязність між вузлами мережі підтримується одним з протоколів каналного рівня (випадковим, з контролем несучої і т.д.).

Необхідно: знайти в режимі реального часу матрицю звязності C^* (визначити радіус передачі $r: V \rightarrow R^+$ і/або направленість антен $\beta: V \rightarrow R^+$), забезпечуючу виконання цільової функції $Z_k, k = \overline{1, K}$:

$$C_k^* = \arg \operatorname{opt}_{U_i \in \Omega_i} Z_k(C) \quad (1)$$

при виконанні обмежень на множину керуючих впливів і ресурсів мережі

$$\Omega_r: \{t_3 \leq t_{3\text{доп}} (l_{ij}(\pi_{ij}^{(k)}) \leq l_{\text{доп}}); g_{ij} \leq s_{ij}(c_{ij}), r_i \leq r_{i\max} (p_i \leq p_{i\max}), e_i^0 \leq e_{i\max}^0\},$$

де t_3 — затримка передачі; g_{ij} — інтенсивність потоків пакетів, поступаючих по всім шляхам m_{ab} , які

проходять через даний канал $(i, j), g_{ij} = \sum_{a=1}^N \sum_{b=1}^N \gamma_{ab};$

$(i, j) \in m_{ab}$ — маршрут з відправником в вузлі a і отримувачем $b; a, b, i, j \in V$.

Складність і результат рішення C^* залежить від цільової функції управління $Z_k, k = \overline{1, K}$ і типу управління: централізованого (зонного) управління мережею (виникає при ієрархічній організації МР великої розмірності [4]) і децентралізованого. Основна задача управління топологією заключається в задоволенні показників якості обслуговування потоків даних при максимізації пропускної спроможності мережі Z_3 . В цьому випадку цільова функція і обмеження примуть вигляд

$$C_3^* = \|c_{ij}^*\| = \arg \max_{U_i \in \Omega_i} S(C) = \arg \max_{U_i \in \Omega_i} \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^N \sum_{b=1}^N s(m_{ab}), \quad (2)$$

$$\Omega_r: \{t_3(m_{ab}) \leq t_{3\text{доп}} (l_{ab}(m_{ab}) \leq l_{\text{доп}}); s(m_{ab}) \geq s_{\text{доп}}, g_{ij} \leq s(c_{ij}), r_i \leq r_{i\max}, e_i^0 \leq e_{i\max}^0\}, \quad (3)$$

де $S(C)$ — пропускна спроможність мережі; $i, j, a, b \in V$; $s(m_{ab})$ — пропускна спроможність маршруту $m_{ab} = \overline{1, M}$ в відповідності з прийнятими маршрутними рішеннями

$\Pi_i: s(m_{ab}) = \min_{(i,j) \in m} \{s(c_{ij})\}, c_{ij} = \{0, 1\}; t_3$ — затримка передачі (число ретрансляцій) повідомлень по маршруту $m_{ab}; l$ — довжина цього маршруту; $r_i(p_i)$ — радіус (мощність) передачі i -го вузла; $p(m_{ab}) = \sum_{(i,j) \in m_{ab}} (k_1 d_{ij}^\alpha + k_2), \alpha = 2, 3, 4,$

k_1 і k_2 — константи; $s_{\text{доп}}, t_{3\text{доп}}, l_{\text{доп}}$ — допустимі значення названих параметрів.

Цикл управління топологією МР включає в себе наступні етапи: збір інформації про стан мережі і параметри функціонування мережі або її зони (інформація може бути отримана при функціонуванні одного з методів маршрутизації [2]); розрахунок і оцінка характеристик її функціонування; знаходження нової топології мережі (в випадку відхилення параметрів функціонування від допустимих значень), реалізуючої ціль управління вузлом Z_k і доведення до вузлів прийнятого рішення (потужність передачі і/або направленість антени). Алгоритм оперативного управління топологією МР складається з чотирьох кроків (рис. 1).

Крок 1. Збір інформації про стан мережі (зони мережі) і введення вихідних даних (блок 1 алгоритму):

1) параметрів $N; (x_i, y_i), r_i(p_i), \beta_i$ вузлів мережі (визначають топологію мережі C^k , де $k=0$ — номер ітерації пошуку рішення), $e_i^0, v_i, \gamma_i, \Pi_i, g_{ij}, i, j \in V$; протокола доступу до каналу;

2) допустимих значень параметрів в (3) $s_{\text{доп}}, t_{3\text{доп}}, l_{\text{доп}}, r_{i\max}, p_{i\max}, e_{i\max}^0$.

Крок 2. Аналіз умов застосовності алгоритму для вихідної топології C^0 (блоки 2 і 3):

1) розрахунок параметрів мережі s, t_3, l, p для активних пар $a-b$ відправник—адресат;

2) перевірка виконання обмежень Ω_r (3).

При задоволенні всіх умов — закончить алгоритм (перестроювати топологію не потрібно), інакше як функціонування методу маршрутизації забезпечує потрібну якість передачі повідомлень), інакше — перейти до кроку 3.

Крок 3. Аналіз можливості отримання нової топології (блок 4).

Якщо рішення існує, перейти до кроку 4, інакше — оцінити ефективність отриманого рішення, довести його до вузлів і завершити алгоритм (блоки 11 і 12).

Крок 4. Пошук допустимої топології (блоки 5–10):

1) пошук нового рішення — C^{k+1} ;

2) побудова маршрутних таблиць $\Pi_i(C^{k+1})$, визначених матрицею тяготіння Γ і прийнятим методом маршрутизації;

3) перерозподіл потоків g_{ij} згідно $\Pi_i(C^{k+1})$;

4) розрахунок параметрів s, t_3, l і p для існуючих пар відправник—адресат;

5) перевірка виконання обмежень (3) для C^{k+1} .

Якщо (3) не виконується або $S(C^{k+1}) < S(C^k)$, то відкинути C^k , інакше $C^k = C^{k+1}$;

6) перейти до кроку 3.

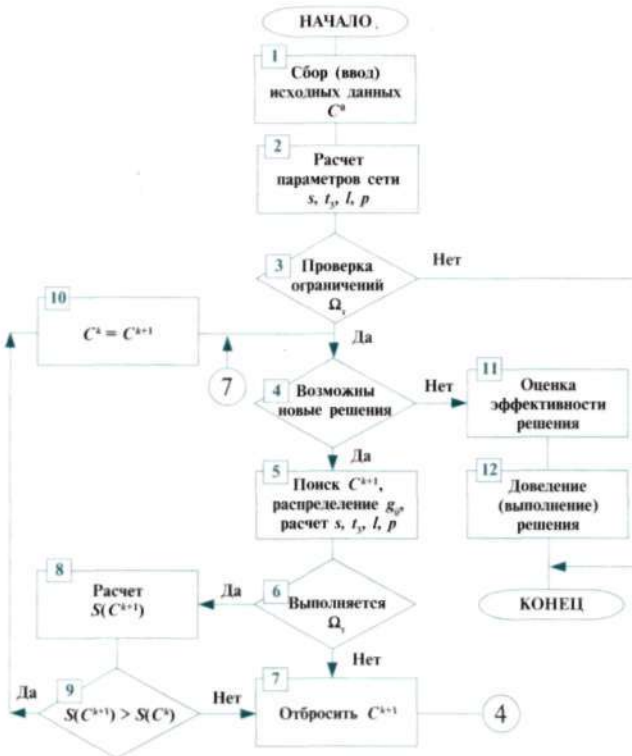


Рис. 1. Алгоритм управления топологией МР

В основу предлагаемого алгоритма положен расчет параметров МР (пропускной способности и среднего времени задержки доставки сообщений) при помощи аналитических моделей [5] с учетом возможности использования направленных антенн [6].

Задача поиска матрицы связности C^* (1) относится к классу NP-полных [7]. Применение для ее решения классических методов приводит к экспоненциальной сложности. Получение точного решения для сети, которая насчитывает десятки (сотни) узлов, сопряжено со значительными временными затратами. **Поэтому для сокращения перебора топологий предлагается использовать множество правил, объединенных в базу знаний, изменяющих связность сети для улучшения ее параметров.** Это позволяет получить в реальном времени близкие к оптимальным решения и использовать алгоритм для оперативного управления МР. Критерием определения момента перестройки топологии сети является невыполнение одного из условий ограничения Ω_i .

Применение базы знаний (в соответствии с алгоритмом) включает в себя итерационную процедуру, состоящую из модулей АНАЛИЗ, БАЗА ЗНАНИЙ, УПРАВЛЕНИЕ и работающую в такой последовательности (рис. 2):



Рис. 2. Схема получения решения с использованием базы знаний

1. Анализ текущего состояния сети (расчет параметров МР с помощью аналитической модели [5]).
2. Проверка параметров сети на множестве правил. Если нет условий для выполнения правил, то процеду-

ру закончить, иначе — применить правила из базы знаний для изменения связности сети.

3. Вычисление параметров модифицированной сети. Если параметры улучшились, то перейти к шагу 2, иначе — отбросить последнее изменение связности и перейти к шагу 2.

Модуль АНАЛИЗ предназначен для нахождения пропускной способности сети S , средней задержки передачи пакетов t_p по маршрутам при заданной входной нагрузке Γ , маршрутных решениях Π , связности C и протоколе доступа к каналу с помощью математических моделей [5].

Модуль БАЗА ЗНАНИЙ содержит правила, которые обеспечивают направленный поиск изменения связности, используя полученные параметры из модуля АНАЛИЗ. Правила продукционного типа состоят из двух компонент: условия и действия [8]. Условие определяет применимость правила в количественном выражении, а действие используется для удовлетворения условия и описывает изменение связности сети, ведущее к системной или пользовательской оптимизации:

$$\text{Pr}_i: \alpha_i \rightarrow \beta_i$$

где Pr_i — i -е правило; α_i — условие; β_i — действие. Для избежания комбинаторного взрыва каждое действие изменяет связность с одним узлом при минимальных изменениях мощности передачи узла.

Модуль УПРАВЛЕНИЕ определяет момент окончания применения правил и выполняет роль интерпретатора [8], работая циклически. В каждом цикле он просматривает все правила, чтобы выявить те, посылки которых совпадают с известными на данный момент фактами из памяти. После выбора правило срабатывает, его заключение заносится в память, а затем цикл повторяется сначала. В одном цикле может сработать только одно правило. Если несколько правил успешно сопоставлены с фактами, то интерпретатор на основании метаправил выбирает единственное правило. Метаправила определяют предпочтительность правил в зависимости от k -й цели управления сетью ($\text{MPr}_i: \text{Pr}_i \rightarrow w_i^k$). То правило, которое в наибольшей степени улучшает требуемые параметры, будет иметь больший вес w_i^k .

Ключевой особенностью в предлагаемой процедуре является база знаний. Правила базы знаний работают в соответствии с различными целями управления сетью Z_k (рис. 3). Управляемыми параметрами являются составляющие структуры сети (степень связности, угол и взаимное расположение узлов, диаметр сети и др.) и параметры узла (нагрузка, емкость батареи и пр.). Структурные правила анализируют структуру графа сети и пытаются создать структуру сети, обладающую наивысшей производительностью, а потоковые — обнаруживают перегруженный участок сети и пытаются направить сообщения по маршрутам с малой загрузкой. Все правила, независимо от цели управления, определяют одно из двух возможных действий — увеличение или уменьшение мощности передачи узла (изменение направленности его антенны), что приводит к увеличению или уменьшению числа узлов, принимающих данную передачу.

Структурные правила получены в результате экспериментальных исследований структуры сети и применения теории графов [9–16]. Они направлены на улучшение параметров сети. В качестве примера можно привести ряд структурных правил.



Рис. 3. Классификация правил базы знаний

Правило 1. Если текущее значение степени связности узла $i - cv_i > cv_{opt}$ ($cv_i < cv_{opt}$), тогда требуется уменьшить (увеличить) i -ю мощность передачи.

В основу данного правила положены результаты исследований Л. Клейнрока о «магическом числе» — оптимальной степени связности узлов сети cv_{opt} [9]. Данные исследования показали, что сети с одинаковой степенью связности (регулярной структурой) имеют большую пропускную способность, чем сеть с нерегулярной структурой. Поэтому используются два правила. Одно «включается», когда $cv_i > cv_{opt}$, а другое — в случае $cv_i < cv_{opt}$. Значение cv , оптимизирующее пропускную способность МР, составляет $cv_{opt} = 6, 7, 8$ [9]. В общем случае cv_{opt} зависит от используемого протокола канального уровня и может быть рассчитано на этапе проектирования сети [9–12] или получено в процессе «обучения» узлов на этапе ее функционирования [3]. Если целевой функцией является связность сети, то для N случайным образом расположенных узлов каждый узел должен быть связан по крайней мере, с $\Theta(\log N)$ соседей [13; 14]. Вероятность связности сети стремится к нулю при $cv < 0,074 \log N$ ($\lim_{N \rightarrow \infty} P_{CB}(G(N, cv)) = 0$) и единице при $cv > 5,1774 \log N$ ($\lim_{N \rightarrow \infty} P_{CB}(G(N, cv)) = 1$).

Рассмотрим правила, использующие в качестве параметра величину угла между узлами [15; 16].

Правило 2. Если угол $\gamma = jik$ «большой» и увеличение i -й мощности добавляет канал (i, l) , находящийся между узлами j и k (посредством этого уменьшается угол между любыми двумя узлами, принимающих от i), то i -му узлу следует увеличить мощность передачи.

Ситуацию, определяющую применимость данного правила, иллюстрирует рис. 4,а (точками на рисунке показан создаваемый канал). Это выгодно в первую очередь для маршрутизации (дополнительные маршруты передачи). Однако применимость данного правила будет зависеть от ситуации на сети, например от степени связности узла cv_i , уровня нагрузки g_j и $g_k, j \in N_i$.

Правило 3. Если узел i передает узлам j и k , а угол $\gamma = ijk$ «мал» и снижение i -й мощности исключает канал (i, j) или (i, k) , то i -му узлу следует уменьшить мощность передачи.

Структура сети, требуемая для применимости данного правила, изображена на рис. 4,б. Суть этого правила

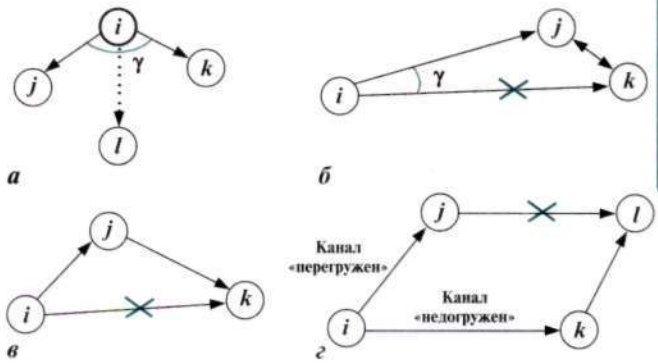


Рис. 4. Условия применения правил

заключается в том, что при наличии «длинного» канала в одном направлении мы увеличиваем помехи другим узлам без заметного увеличения пропускной способности. Исключая «длинный» канал при существовании «короткого» в одном направлении, мы обеспечиваем выигрыш в пропускной способности сети.

Ряд правил получен в [12–18]. Например, в [12] показано, что тандемная цепь имеет большую пропускную способность, благодаря своей уникальной структуре. Поэтому сформулировано следующее правило, основанное на взаимном расположении узлов (рис. 4,в).

Правило 4. Если узел i передает узлам j и k , узел j также передает k , причем нагрузка в канале (i, k) мала и уменьшение i -й мощности позволяет исключить канал (i, k) , то i -му узлу следует уменьшить мощность передачи.

Правила, использующие в качестве параметра нагрузку, получены из теории сетей с множественным доступом [12]. Эти правила разделяют каналы и узлы по следующим категориям: «перегружен» и «недогружен». В силу этих определений правила выполняют одно из двух действий: «перемещение» части нагрузки из загруженного участка сети в зону с незначительной нагрузкой или полное исключение перегруженной зоны из процесса маршрутизации.

Правило 5. Если узел i передает узлу l по маршруту $i-j-l$, тогда как канал (i, j) «перегружен» и «недогружен» канал (i, k) , причем с уменьшением j -й мощности теряется связность с узлом l , то следует уменьшить мощность передачи j -му узлу.

Это правило (рис. 4,г) стремится переместить нагрузку с перегруженного маршрута $i-j-l$ на маршрут $i-k-l$, который использует слабо нагруженный канал.

Правило 6. Если узел i ретранслирует сообщение через узел j , а узел j «перегружен» и в его направлении находятся другие ретрансляторы, то узлу i следует увеличить мощность передачи.

Правило 6 дает возможность уменьшить нагрузку на узел j , обеспечив большую вероятность нахождения ретранслятора в заданном направлении и тем самым уменьшить число переключений.

В [17; 18] доказывается, что ряд планарных графов RNG (Relative Neighborhood Graph) и GG (Gabriel Graph) обладают свойством минимизации мощности передачи в сети. Построение RNG графа из исходного определяется согласно следующему правилу:

$$\forall a \neq b, c : |cb| \leq \max(|ca|, |ba|) \quad (\text{рис. 5,а}). \text{ GG-граф строится по такому правилу: } \forall a \neq b, c : |cb|^2 \leq (|ca|^2 + |ba|^2)$$

(рис. 5, б). Доказано, что $MST(G) \subseteq RNG(G) \subseteq GG(G)$, где $MST(G)$ — остов минимального веса.

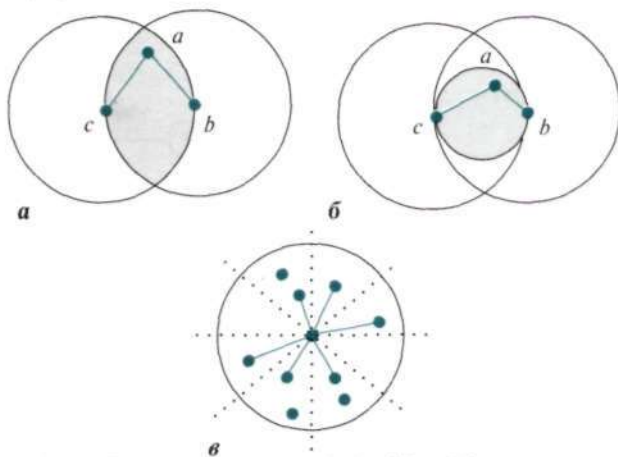


Рис. 5. Правила построения RNG, GG и YG_6 графов

Объединение этих правил позволяет строить так называемый Yao граф (YG) [18]. Построение YG_B графа заключается в следующем: каждый узел i делит пространство на $B \geq 6$ равных секторов; в каждом секторе выбирается ближайший узел (рис. 5, в).

Результаты теоретических исследований применения приведенных правил для коэффициентов k_d (k_p), определяющих увеличение длины пути (уменьшение затрачиваемой мощности): $k_d = d(m_{ab})/d(a, b)$, где $d(m_{ab})$ — длина кратчайшего пути m_{ab} между всеми парами отправитель a — получатель b ; $d(a, b)$ — евклидово расстояние, $a, b \in V$; $k_p = P_H(m_{ab})/P_G(m_{ab})$, $P_H(m_{ab})$ — суммарная мощность передач узлов в графе $H \subseteq G$ по кратчайшим маршрутам m_{ab} с метрикой мощность передачи, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Правило	$\max k_d$	$\max k_p$	$\max cv$
RNG-граф	$N - 1$	$N - 1$	$N - 1$
GG-граф	$4\pi\sqrt{2N} - 4 / 3$	1	$N - 1$
YG-граф	$1/(1 - 2\sin(\pi/k))$	$1/(1 - 2\sin(\pi/k)^\alpha)$	$k \cdot (N - 1)$

Построение RNG, GG и YG графов возможно распределенным образом. Временная сложность данного алгоритма равна $O(cv^2)$, где cv — степень связности узла. Результаты применения правил построения данных графов для сети, имеющей такие параметры: $N = 100$, площадь 10×10 , радиус передачи $r_{i, \max} = \sqrt{10}$, $\alpha = 2$, $B = 8$, приведены на рис. 6 и в табл. 2.

Таблица 2

H	$\max cv$	\bar{cv}	$\frac{\max(k_d)_{H'}}{\max(k_d)_G}$	$\frac{(\bar{k}_d)_H}{(\bar{k}_d)_G}$	$\frac{\max(k_p)_{H'}}{\max(k_p)_G}$	$\frac{(\bar{k}_p)_H}{(\bar{k}_p)_G}$
G	48	23,57	1,000	1,000	1,000	1,000
$YG_8(G)$	20	9,05	1,723	1,041	1,461	1,002
RNG(G)	5	2,38	4,549	1,319	3,509	1,056
GG(G)	8	6,57	1,991	1,124	1,000	1,000

Значения k_d при различных правилах построения топологии и стратегиях маршрутизации (правилах выбора ретрансляторов) [19] — ближний к отправителю (БО), дальний от отправителя (ДО), с максимальным продви-

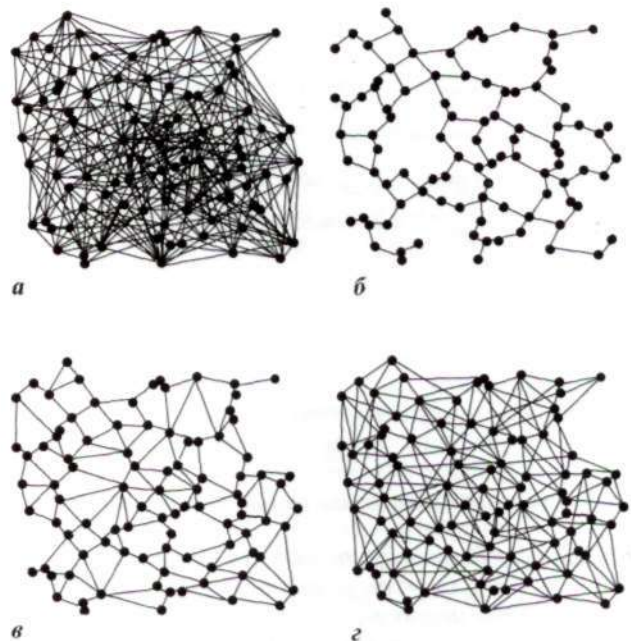


Рис. 6. Варианты топологии сети при применении различных правил: а — исходный граф сети G ; б — $RNG(G)$; в — $GG(G)$; г — $YG_8(G)$

жением (МП), с минимальным углом (МУ), ближайший к адресату (БА) — сведены в табл. 3.

Таблица 3

Правило	БО	ДО	МП	МУ	БА
YG-граф	1,9	4,2	4,8	3,3	2,1
RNG-граф	2,1	2,8	3,2	2,9	3,5
GG-граф	1,9	2,7	2,4	2,8	2,2

Таким образом, процесс модификации топологии сети можно представить в виде дерева поиска решений (рис. 7). Каждой вершине дерева соответствует определенная топология сети, а ребрам — правила перехода из одного состояния в другое. В корне дерева находится исходная топология T^0 . Начальное решение по топологии сети (наибольший вес правила) зависит от цели оптимизации. Поиск решения осуществляется пошаговым спуском по дереву решений. На k -м уровне дерева расположены все возможные топологии сети, получаемые из исходной, при применении k правил.

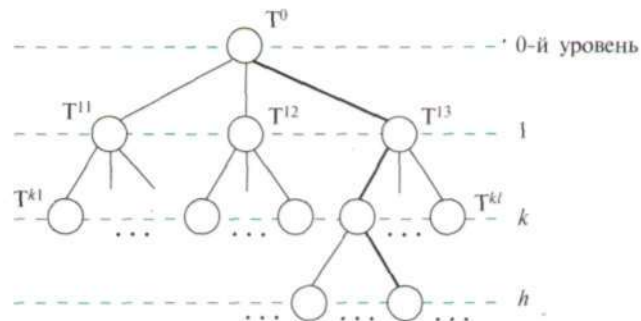


Рис. 7. Дерево поиска C^*

Для уменьшения ширины дерева поиска вместо всех возможных комбинаций мы ограничиваемся единственным топологическим изменением — добавлением или

исключением одного радиоканала (в предположении его пороговой модели). Порядок применения правил определяется метаправилами. Глубина поиска ограничена максимальным диаметром сети или числом ретрансляций (допустимым временем доведения пакетов) в маршрутах синтезируемой топологии сети.

Исследования оценки эффективности алгоритма оперативного управления МР проводились для сетей различной размерности ($N = 20, 40, 60$) и средней степени связности ($\overline{cv} = 5...14$). Для проведения исследований была осуществлена программная реализация алгоритма оперативного управления топологией МР. Результаты работы программы таковы: выигрыш (в процентах) в пропускной способности полученной топологии сети $S(C^k)$ по сравнению с исходной топологией $S(C^0)$; отклонение от оптимального решения, полученного полным перебором для слабосвязных топологий; время поиска C^k . **Результаты исследований эффективности алгоритма оперативного управления топологией МР показали, что его применение позволяет увеличить пропускную способность сети в 1,5–2 раза (по сравнению с отсутствием управления топологией). Решение, полученное централизованным алгоритмом (центром управления сетью), на 15–20% эффективней распределенного. Применение базы знаний позволяет получать решения в режиме реального времени (доли и единицы секунд) и отклонения от оптимальных решений не превысили 6%.**

* * *

Для эффективного управления МР функции маршрутизации информационных потоков необходимо осуществлять на двух уровнях: на верхнем — управление топологией, на нижнем — управление маршрутами при заданной топологии. Для верхнего уровня управления разработан алгоритм оперативного управления топологией МР. Алгоритм предполагает оценку параметров функционирования МР и при их уменьшении ниже допустимых значений — выработку управляющих воздействий (изменение мощностей передач узлов и/или направленности антенн), позволяющих осуществить пользовательскую или системную оптимизацию. Задача нахождения новой топологии сети является NP-полной. Поэтому для сокращения перебора предложены правила, объединенные в базу знаний. Применение базы знаний позволяет получить близкие к оптимальным решения в реальном времени и использовать разработанный алгоритм для оперативного управления топологией сети.

Литература

1. <http://www.ieff.org/html.charters/manet-charter.html>.
2. Минович А. И., Романюк В. А. Протоколы маршрутизации в мобильных радиосетях // Зв'язок.— 2001.— № 1.— С. 31–36.
3. Романюк В. А. Активная маршрутизация в мобильных радиосетях // Зв'язок.— 2002.— № 3.— С. 21–25.
4. Романюк В. А. Иерархическая маршрутизация в мобильных радиосетях // Зв'язок.— 2001.— № 6.— С. 31–36.
5. Минович А. И., Романюк В. А. Аналітичне моделювання автоматизованих мереж радіозв'язку // Збірник наукових праць № 1.— К.: КВУЗ.— 2001.— С. 88–94.
6. Ramanathan R. On the Performance of Ad Hoc Networks with Beamforming Antennas // In Proceedings of ACM/SIGMOBILE MOBICOM, 2001.
7. Lloyd E. L., Liu R., Marathe M. V., Ramanathan R., Ravi S. S. Algorithmic Aspects of Topology Control Problems for Ad hoc Networks // In Proceedings of IEEE MOBIHOC, 2002.

8. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем.— СПб.: Питер, 2000.— 384 с.
9. Takagi H., Kleinrock L. Optimal transmission ranges for randomly distributed packet radio terminals // IEEE Transaction Communications.— 1984.— Vol. 32.— P. 246–257.
10. Sousa E., Silvester J. Optimum Transmission Range in Direct-Sequence Spread-Spectrum Multi-hop Packet Radio Networks // IEEE Journal on Selected Areas in Communication.— 1990.— Vol. 8, no. 5.—P. 762–770.
11. Ramanathan R., Rosales-Hain R. Topology Control of Multihop Wireless Networks Using Transmit Power Adjustment // In Proceedings of IEEE INFOCOM, 2000.— P. 404–413.
12. Тобази Ф. А. Моделирование и анализ характеристик пакетных радиосетей // ТИИЭР.— 1987.— Т. 75, № 1.— С. 162–186.
13. Xue F., Kumar P. R. The number of neighbors needed for connectivity of wireless networks // Wireless Networks, 2002.
14. Narayanaswamy S., Kawadia V., Sreenivas R. S., Kumar P. R. Power Control in Ad-Hoc Networks: Theory, Architecture, Algorithm and Implementation of the COMROW Protocol // In Proceedings EuroWireless, 2002.— P. 156–162.
15. Wattenhofer R., Li L., Bahl P., Wang Y.-M. Distributed Topology Control for Power Efficient Operation in Multihop Wireless Ad-hoc Networks // In Proceedings of IEEE INFOCOM, 2001.
16. Li L., Halpern J. Y. Analysis of a Cone-Based Distributed Topology Control Algorithm for Wireless Multihop Networks // In Proceedings of ACM PODC'01, 2001.
17. Li X.-Y., Calinescu G., Wan P.-J. Distributed Construction of Planar Spanner and Routing for Ad Hoc Wireless Networks // In Proceedings of IEEE INFOCOM, 2002.
18. Li X.-Y., Wan P.-J., Wang Y., Frider O. Sparse Power Efficient Topology for Wireless Networks // Journal of Parallel and Distributed Computing, 2002.
19. Романюк В. А. Геомаршрутизація в мобільних радіосетях // Зв'язок.— 2001.— № 5.— С. 37–39.

«ПРОМПОЛИПЛАСТ»

г. Донецк, 83015, пр. Мира, 8.
Тел./факс (062) 345-28-48, тел. (062) 345-28-47;
(062) 345-35-28, E-mail: prom@skif.net
(Директор — Деревянкин Владислав Владимирович)

Материалы для строительства и ремонта линейно-кабельных сооружений связи с ДОСТАВКОЙ (автотранспортом, ж/д багажом, почтовыми отправлениями, спецсвязью и другими удобными для Вас видами транспорта) на объекты по Украине.

Дополнительная оплата за доставку любым видом транспорта не взимается!

- ◆ **Стеклопруток** — корд стеклопластиковый в полимерной оболочке — для заготовки кабеля в канализацию: бухты по 150 м (возможна комплектация тележкой); наружный диаметр стеклопрутка — 10 или 12 мм.
Цена — от 1635,00 грн. за комплект.
- ◆ **Термоусаживаемые трубки** (в таблице приведены диаметры существующих типов трубок до (пом)/ после (min) усадки), мм.

1,6/0,8	6,4/3,2	15,8/6,4	38/19
2,4/1,2	8,0/2,0	19,0/9,5	51/25,4
3,2/1,6	9,5/4,8	25,4/12,7	76,0/38,0
4,8/2,4	12,7/6,4	31,8/12,7	102,0/51,0

- ◆ **Ленты специального назначения** — стеклолента для спаянных работ, сигнальная лента с надписью «Ничке кабель зв'язку ВАТ «Укртелеком»! Не копати!», ленты киперная и тафтяная, изоляенты ПВХ, ХБ, лента ФУМ и пр.
 - ◆ **Пояски-стяжки с застежкой** — для монтажа и подвязки жгутов провода, крепежа бирок и пр.; приведенные типоразмеры — длина и ширина, мм: 100 × 2,5; 120 × 2,5; 150 × 2,5; 180 × 3,6; 200 × 2,5; 200 × 4,8; 250 × 3,6; 250 × 7,6; 300 × 3,6; 300 × 4,8; 350 × 4,8; 380 × 4,8; 400 × 4,8; 450 × 7,6; 500 × 4,8.
 - ◆ **Трубы полиэтиленовые** — технические и питьевого водоснабжения. Возможность изготовления и поставки труб для кабельной канализации в ВУХТАХ при наружных диаметрах от 10 до 90 мм включительно!
 - ◆ **Трубы полиэтиленовые** диаметром 110; 160; 225 мм в прямых отрезках длиной по 6; 9; 12 м и более. (Имеются соединительные и разветвительные фитинги и переходники).
 - ◆ **Трубка ПВХ гофрированная**, стойкая к возгоранию диаметром 16; 20; 25; 32; 40 и 50 мм.
 - ◆ **Изделия производства ОАО «НЕФТЕПРОММАШ»** — коробки КРТМ-10, УК-Р, УК-П, шкафы ШР(П/М), боксы БКТ и БММ, устройства УКС.
- Цены ЗАВОДА — от дилера.
- ◆ **Люки кабельных колодцев телефонной канализации** (типы «Т» или «Л»). Комплектация: горловина, верхняя и нижняя крышки, а также запорное устройство.
 - ◆ **Широкий спектр электроизоляционных материалов:** текстолит, гетинакс, стеклотекстолит и многое другое.