

СЕРПЕНЬ
2003
tvlazok@ukrpack.net

Ж 14808

2003.4

114

К

О

З

Я

В

З

НАУКОВО-ВИСЛІДНИЙ ЖУРНАЛ ДЕРЖАВНОГО КОМІТЕТУ ЗВ'ЯЗКУ ТА ІНФОРМАТИЗАЦІЇ УКРАЇНИ

МЕЖА СИНХРОНІЗАЦІЇ: ЯКОЮ ЇЇ БУТИ?

ІМІТАЦІЙНА КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ЦЕНТРУ ОБРОБКИ ВИКЛИКІВ

КОНФЛІКТИ ТА УПРАВЛІННЯ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

**ЗАКОН УКРАЇНИ «ПРО ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ» —
ПЕРСПЕКТИВИ ДІЇ**

ПРОБЛЕМАТИКА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ
В МЕРЕЖАХ СТІЛЬНИКОВОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ



ЕКСКЛЮЗИВ

У ФОКУСІ УВАГИ

ЗАКОН ЖИТТЯ ГАЛУЗІ ВІД ПЕРШОЇ ОСОБИ	2
ВИСОКИЙ ПРЕСТИЖ – ВИСОКІ ВИМОГИ	4
СЛОВО НАУКОВЦЯ	

ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ
ЄДИНОЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ

Хиленко В. В., Копийка О. В., Суворова Н. В., Бирюков Н. Л. Архитектура сетей синхронизации: эволюция представлений о синхронизации сетей	7
Виноградов Н. А., Кармазин В. К., Лесная Н. Н. Имитационная компьютерная модель центров обработки вызовов	12
Аношков В. М. Визначення коефіцієнта готовності мережі спільноканальної сигналізації № 7	16
Каток В. Б., Омеціньська О. Б., Шаповалова М. В. Вимоги щодо ПМД оптичного волокна для високошвидкісних мереж зв'язку	19
Бирюков Н. Л., Триска Н. Р. Анализ суммарных фазовых искажений в цифровых трактах	22
Романюк В. А. Волновая маршрутизация в мобильных радиосетях	27
Рыжаков В. А., Сакович Л. Н. Однородная система плановых ремонтов средств связи	31

УПРАВЛІННЯ РАДІОЧАСТОТНИМ РЕСУРСОМ:
ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Олейник В. Ф. Методы коллективного принятия решений в задачах электромагнитной совместимости систем подвижной связи	36
Олійник В. Ф., Корсак В. Ф., Афонін С. В. Проблеми електромагнітної сумісності мереж стільникового радіозв'язку різних стандартів у діапазоні 800...900 МГц	37

ЕКСКЛЮЗИВНА РЕКЛАМНА ПІДТРИМКА ЖУРНАЛУ

ПРОБЛЕМИ ПОШТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ.
ПОШТОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Ящук Л. О. Алгоритм побудови найкоротших кільцевих маршрутів перевезення пошти	40
Заплотинський Б. А. Шляхи вдосконалення управління якістю в поштовому зв'язку	43

НАУКА. ЕКСПЛУАТАЦІЯ. ВИРОБНИЦТВО

Степлов В. К., Беркман Л. Н., Колченко Г. Ф. Математичне модельовання оптимальної системи управління телекомунікаційними мережами за деякими її критеріями	45
Кільчицький Є. В. Конфлікти та управління телекомунікаціями	47
Сакович Л. Н., Мервинский А. И. Техническое диагностирование резервируемых средств связи	50
Нетудыхата Л. И. Синтез структур оптимальных по быстродействию двухвальных систем ФАП при комплексных корнях характеристического уравнения замкнутого контура основной системы	53
Кирпач Л. А. Влияние отклонений параметров комбинированной системы ФАП на квадратичную интегральную оценку	57
Сукачев Э. А., Арбузников В. А., Лабунский В. А. Исследование влияния ограниченной спектра на форму селективных сигналов и уровень МСИ	61
Власов О. М., Каток В. Б., Михайленко Є. В. Спектральні та часові зміни солітоноподібних імпульсів у світловоді	64
Бадия В. А., Кременецкая Я. А., Чайка Г. Е. Влияние неоднородности контакта Шоттки на силу избыточного тока через контакт	66

ІНФОРМБЮРО

Сердюк Н. В., Черкасский В. И., Курпас А. С. Снижаем затраты – улучшаем связь	68
Бабосюк А. Л., Тесля В. Я., Тютюнник В. В. На стыке технологий	69
Фундаменты перспектив (К итогам Международной научно-технической конференции, посвященной 10-летию УНИИРТ)	72
Нестеренко О. В. Национальна мережа обміну Інтернет-трафіком	74
Лищенко О. В. Киевский форум фельдсвязистов СНГ	76

Науково-виробничий журнал
Заснований 1995 року

Передплатний індекс 74224

ЗАСНОВНИК
Державний комітет зв'язку
та інформатизації України

ВИДАВЕЦЬ
Державне видавничо-
інформаційне агентство «ЗВ'ЯЗОК»

Реєстраційне свідоцтво
КВ № 1230 від 08.02.95 р.

Директор видання
В. М. ІЛЬКЕВИЧ

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

В. О. Балашов, В. Л. Банкет,
Л. Н. Беркман, М. А. Виноградов,
П. П. Воробієнко, В. І. Голуб,
В. М. Горицький, О. В. Гофайзен,
В. М. Гранатуров, В. Л. Женжера,
С. Є. Захаренко (заст. головного редактора),
В. Б. Каток, Н. О. Князева, В. Г. Кривуца,
С. С. Кузьміна (відповідальний секретар),
В. М. Мороз, В. М. Орлов, В. І. Петров,
В. М. Почерняєв, В. К. Степлов,
Л. В. Скрипник, Ю. О. Соловійов,
В. В. Хиленко, Л. О. Ящук

Літературне редагування

О. П. Бондаренко

Коректура

І. М. Барвінок

Комп'ютерний набір та верстка

В. В. Бельський, Т. О. Кононенко,

В. В. Богданенко

Підписано до друку 12.08.2003 р.



ДО ВІДОМА АВТОРІВ



У часопису вміщуються праці, які відповідають профілю
видання, раніше не опубліковані й такі, що водночас не
публікуватимуться в інших виданнях. Листування з читача-
ми провадиться виключно на сторінках журналу.

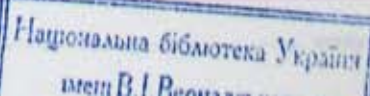
Рукописи не повертаються.

Думка редакції може не збігатися з позицією, викладе-
ною у статті. Матеріали, які подаються до редакції, мають
бути роздруковані на одному боці сторінки, при цьому ба-
жано додати текстовий файл у форматі Word. За наявності
рисунків (графіків) потрібно подати їх у окремих файлах
(CorelDraw, Visio чи у форматах TIF та EPS), причому текст
не конвертується в криві. Матеріали мають бути підписані
автором із зазначенням прізвища, імені, по батькові, місця
роботи, посади, поштової адреси й телефонів.

При передруку посилання на «ЗВ'ЯЗОК» обов'язкове.
Усі права з а х и щ е н о.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ ТА АГЕНТСТВА: 03110, Київ-110,
вул. Солом'янська, 3, прим. 6. ☎ (044) 248 91 82, 248 91 85
✉ (044) 248 91 87 E-mail: zviazok@ukrpack.net

© ДВІА «ЗВ'ЯЗОК»



В. А. РОМАНЮК

ВОЛНОВАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ В МОБИЛЬНЫХ РАДИОСЕТЯХ

Рассматриваются сети MANET (Mobile Ad-Hoc Networks) [1] — динамическая самоорганизующаяся архитектура построения мобильных радиосетей (МР), предполагающая отсутствие фиксированной сетевой инфраструктуры (базовых станций) и централизованного управления.

в формат пакета вводится поле h_p (предельное число ретрансляций). Каждый узел при каждой ретрансляции пакета вычитает из текущего значения h_p единицу. Если значение $h_p = 0$, пакет уничтожается. Например, при зондовой маршрутизации на этапе поддержания маршрута целесообразно осуществлять локальное зондирование, предполагающее рассылку зондов-запросов в ограниченной зоне сети [6]. Глубина зондирования рассчитывается из предположения, что длина нового маршрута возрастет незначительно: $h_p = l_{o,m} + l_n$, где $l_{o,m}$ — длина отказавшего маршрута; $l_n = f(v, N)$ — прирост маршрута, зависящий от мобильности узлов и размерности сети. При построении маршрута узел может k раз осуществлять локальное зондирование с переменной глубиной ($h_{p1} = 2, h_{p2} = 4, \dots, h_{pk} = 2k$), что позволяет уменьшать количество рассылаемых зондов, если адресат находится на расстоянии нескольких ретрансляционных участков от отправителя.

Ныне предложено немало волновых алгоритмов (ВА), позволяющих значительно уменьшить число ретрансляций пакетов при ВМ [7–11]. Цель статьи — провести классификацию основных ВА и дать оценку эффективности их применения в МР. Рассмотрим математическую постановку задачи.

Модель сети. Сеть представляется ненаправленным графом $G = (N, E)$, где $|N|$ — множество узлов; $|E|$ — множество двунаправленных каналов. Каждый из узлов имеет идентификационный номер, и все они осуществляют передачу с одинаковой мощностью. Применяется один из протоколов канального уровня (например, IEEE 802.11).

Необходимо разработать волновые алгоритмы передачи информации A_p ($p = \overline{1, P}$), обеспечивающие доставку пакетов в МР при минимизации числа ретрансляций:

$$A_p^* = \arg \min_{A_p \in A} |F|, F \subset G.$$

С точки зрения теории графов данная задача интерпретируется следующим образом [12]: вычислить наименьшее связанное доминирующее множество (НСДМ) узлов сети с целью ретрансляции сообщений. Для ее решения необходима информация о связности всей сети, что для МР невозможно (ВА должен быть распределенным). Так как поставленная задача относится к классу NP-полных [12], получение точного решения за приемлемое время возможно лишь при ограниченной размерности сети. Поэтому для ее решения используются многочисленные приближенные волновые алгоритмы, которые (в зависимости от того, каким способом — случайным или детерминированным — осуществляется выбор ретранслятора пакетов) можно классифицировать на две группы (рис. 1).

Случайный выбор ретранслятора

При случайном способе каждый узел ретранслирует пакет с вероятностью p и стирает его с вероятностью $1-p$. При этом решение может приниматься обменом служебной информацией с соседними узлами (кооперированно) или на основании содержимого принимаемых сообщений (изолированно). Значение p может быть фиксированным, не изменяясь в процессе передачи

Особенно привлекательными данные сети стали с появлением недорогих беспроводных сетевых решений (стандарт IEEE 802.11, технологии HiperLAN/2 и Bluetooth [2]), не требующих связанной инфраструктуры и использующих нелицензионные полосы частот. Все узлы (хосты) сети мобильны и обмениваются информацией непосредственно между собой или применяют ретрансляцию передаваемых пакетов. Под узлом сети понимается радиотерминал (переносной компьютер, оснащенный радиомодемом) с функциями маршрутизатора. Классическими примерами МР являются сети военного назначения (оперативно-тактического уровня) [3] и сети обеспечения национальной безопасности в кризисных ситуациях. Возможны и другие сценарии применения таких сетей: персональные сети связи для дома или офиса; сенсорные сети; сети для проведения конференций, олимпиад; обучения в виртуальных классах.

Сети MANET характеризуются значительной размерностью, высокой динамикой топологии, сравнительно низкой пропускной способностью радиоканалов, неоднородностью (ограниченными ресурсами мощности и производительности части узлов), высокой плотностью их размещения на местности.

Фундаментальный сервис МР — волновая маршрутизация (ВМ) или волновой (поточковый) способ передачи информации, обеспечиваемый ширококвотельной природой радиоканала. ВМ применяется при передаче однопользовательской [4] и групповой [5] информации в условиях высокой динамики топологии сети, а также на этапах построения и поддержания маршрутов с применением зондовых методов маршрутизации. Волновая маршрутизация предполагает рассылку пакетов всем узлам сети по схеме: узел-отправитель ширококвотельно передает пакет своим соседям; каждый соседний узел, приняв пакет впервые, ретранслирует его. Для исключения повторной ретрансляции пакета каждый узел хранит (определенное время) информацию о нем, а именно: номер пакета и идентификатор узла отправителя. Если узел принимал какой-либо пакет ранее, он стирает его, иначе — ретранслирует. Процесс продолжается до тех пор пока все узлы сети не получают данный пакет. К преимуществам ВМ относятся: простота реализации, распределенность выполнения, отсутствие необходимости передачи или сбора служебной информации о состоянии сети, высокая надежность доставки информации. Основной недостаток ВМ — стремительный рост трафика, вследствие которого резко возрастает частота столкновений пакетов (при использовании протоколов случайного множественного доступа) и значительно снижается пропускная способность сети.

Эффективность ВМ можно повысить локализацией ширококвотельной зоны рассылки пакетов. Для этого

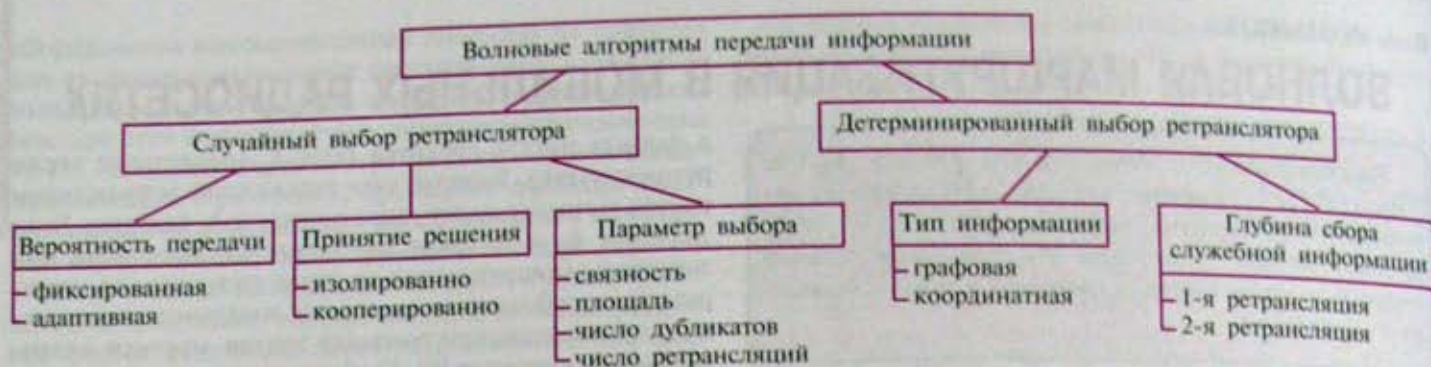


Рис. 1. Классификация волновых алгоритмов передачи информации

пакета, или адаптивным, изменяясь при каждой передаче пакета в зависимости от условий функционирования узла и состояния локальной зоны сети.

Исследования волновых алгоритмов BA_1 и BA_2 с фиксированной вероятностью передачи при различных параметрах сети (размерность, средняя степень связности узла) проведены в [8]. Особенности этих алгоритмов:

+ $BA_1(p, k)$ — осуществляет k ретрансляций согласно ВМ ($p = 1$), а далее пакет передается с вероятностью p ;

+ $BA_2(p_1, k, p_2, C)$ — в результате k ретрансляций пакет передается с вероятностью p_1 , а далее — с вероятностью p_1 при $c_i < C$ и p_2 при $c_i > C$, где c_i — текущая степень связности i -го узла; C — пороговое значение степени связности.

Результаты моделирования ВА с фиксированной вероятностью передачи ($p = 0,65...0,85$, $k = 2...4$) продемонстрировали сокращение объема трафика до 35% при следующих параметрах сети: размерность $N = 150$, диаметр $d = 15$, средняя степень связности $\bar{c} = 8$.

Однако фиксированная вероятность передачи пакета определяется отправителем и не позволяет учесть конкретные условия функционирования узла или участка сети. Поэтому целесообразней осуществлять адаптацию p при каждой ретрансляции пакета. Например, передача пакета узлом i может определяться случайной задержкой времени передачи τ_i , значение которой для следующих алгоритмов может рассчитываться с учетом:

+ BA_3 — количества принятых копий пакета [7]. Первоначально при приеме пакета узел i разыгрывает значение задержки передачи в интервале $\tau_i = [0... \tau_{\max}]$. При приеме дубликата пакета значение τ_i увеличивается на единицу;

+ BA_4 — количества прошедших ретрансляций пакетов. При этом время $\tau_i = b(h - 1) + r$, где b — константа; h — число ретрансляций пакета; r — случайное число в интервале $0...1$. Этот алгоритм позволяет реализовывать стратегию «передача адресату с минимальным числом ретрансляций» (узлы, находящиеся на большем расстоянии от отправителя, быстрее передают пакет);

+ BA_5 — относительной степени связности i -го узла: $\bar{c}_i = (\max c_j) / c_i$, где $\max c_j$ — максимальная степень связности соседних узлов $j \in N(i)$, $j \neq i$; c_i — степень связности i -го узла. При превышении задержкой определенного порога $\tau_i > T$ или при прослушивании передач всеми соседними узлами $N(i)$ узел i не ретранслирует пакет.

В алгоритме BA_6 в качестве параметра принятия решения о ретрансляции применяется площадь покрытия

[7]. Принимающий узел может отказаться от передачи пакета при незначительном расстоянии от передающего узла. Смысл данного правила: если принимающий узел находится вблизи передающего узла, то площадь покрытия незначительно увеличивается. Оценку близости узлов можно найти, измерив уровень принимаемого сигнала (при знании мощности передачи) или воспользовавшись системой позиционирования, например GPS. В последнем случае при ретрансляции каждый узел добавляет в пакет свои координаты. При приеме таких сообщений от соседних узлов узел i вычисляет разность в площади покрытия $\Delta s_i = s_j - s_i$. При превышении определенного порога $\Delta s_i > S$ пакет передается далее, иначе — стирается. Причем данный порог варьируется в зависимости от степени связности узла $S = \psi(c)$: слабо связный участок сети — значение S меньше (пакет передается чаще) и наоборот.

Можно отметить, что BA_3 и BA_4 принимают решение о передаче изолированно, а BA_5 и BA_6 — кооперированно, поскольку требуют информации о связности (координатах) своих соседей.

Детерминированный (селективный) выбор ретрансляторов

Детерминированные ВА по типу имеющейся информации о состоянии локальной зоны сети делятся на графовые и координатные. В первом случае узел владеет информацией о связности, во втором — о координатах расположения узлов, при этом ограничение зоны рассылки пакетов осуществляется способами, используемыми при координатной маршрутизации: ограничением расстояния и применением правил направленного зондирования [9]. Рассмотрение методов координатной волновой передачи [9–11] выходит за рамки данной статьи.

Остановимся на графовых ВА. Предполагается, что каждый узел сети в процессе обмена hello-сообщениями поддерживает информацию о связности со своими соседями, находящимися на расстоянии одного или двух ретрансляционных участков. Данное условие является довольно распространенным при использовании большинства методов маршрутизации [3; 4]. Рассмотрим два основных детерминированных ВА.

+ BA_7 . Каждый узел путем обмена hello-сообщениями поддерживает информацию о связности со своими соседями. При передаче широковещательного пакета узел i включает в заголовок список своих соседних узлов $N(i)$. Узел j , приняв пакет, вычисляет $F = N(j) - N(i) - 1$ и принимает решение о дальнейшей его ретрансляции. Если $F \neq 0$, то j передает пакет, иначе — стирает.

+ BA_8 . Кожний вузол підтримує інформацію о зв'язності с сусідніми вузлами на відстані двох ретрансляційних участків.

Рассмотрим применение BA_7 и BA_8 для общего случая. Пусть дано: узел j — отправитель пакета, ему известно множество соседей, находящихся на расстоянии одного $N(j)$ и двух ретрансляционных участков $N(N(j))$, а также он владеет информацией об их связности.

Необходимо найти подмножество $F \subseteq N(j)$, покрывающее все множество $U = N(N(j))$. Определение наименьшего множества F является NP-полной задачей. Для ее приближенного решения относительно узла j может быть предложен следующий алгоритм [9].

1. Пусть $F = 0, Z = 0$ — множество покрытых узлов, $K = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$, где $P_k = N(k) \cap U$ ($1 \leq k \leq m$), $k \in N(j)$.

2. Найти множество P_k , имеющее максимальный размер в множестве K .

3. $F = F \cup \{k\}, Z = Z \cup \{P_k\}, K = K - \{P_k\}, P_l = P_l - P_k \forall P_l \in K$.

4. Если $Z = U$, то алгоритм закончить, иначе переход к шагу 2.

Можно доказать, что данный алгоритм имеет приближенное решение $(\ln|U| + 1)$, причем его временная сложность равна $O(|U||K| \min(|U|, |K|))$.

Для уменьшения числа передач предлагается использовать BA_8 , позволяющий учесть предыдущую передачу узла, т. е. множество $U = N(N(j)) - N(i) - N(j)$ (рис. 2). Узел j , приняв пакет от узла i , определяет множество

передающих узлов $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\} \subseteq B(i, j)$, где $B(i, j) = N(j) - N(i)$, чтобы $\bigcup_{f \in F} (N(f) \cap U) = U$.

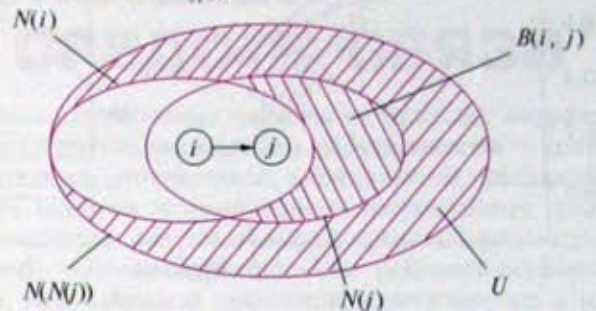


Рис. 2. Иллюстрация применения BA_8

Эффективность основных ВА ($BM, BA_3, BA_5, BA_6, BA_8$) оценивалась с помощью имитационного моделирования по следующим характеристикам: P_d — вероятность доставки пакетов и $N_{\text{рет}}$ — число ретрансляций при различных условиях ее функционирования (количество узлов сети N , интенсивность входящего трафика λ и скорость узлов v). Средняя степень связанности узла \bar{c} задавалась табл. 1. Выбор данных ВА обоснован их явным преимуществом в своем классе [13].

Зависимости $N_{\text{рет}}$ и P_d при увеличении размерности статичной сети от 20 до 100 узлов и при отсутствии столкновений пакетов иллюстрируют рис. 3, а и 4, а. Наименьшее число передач генерируют более сложные

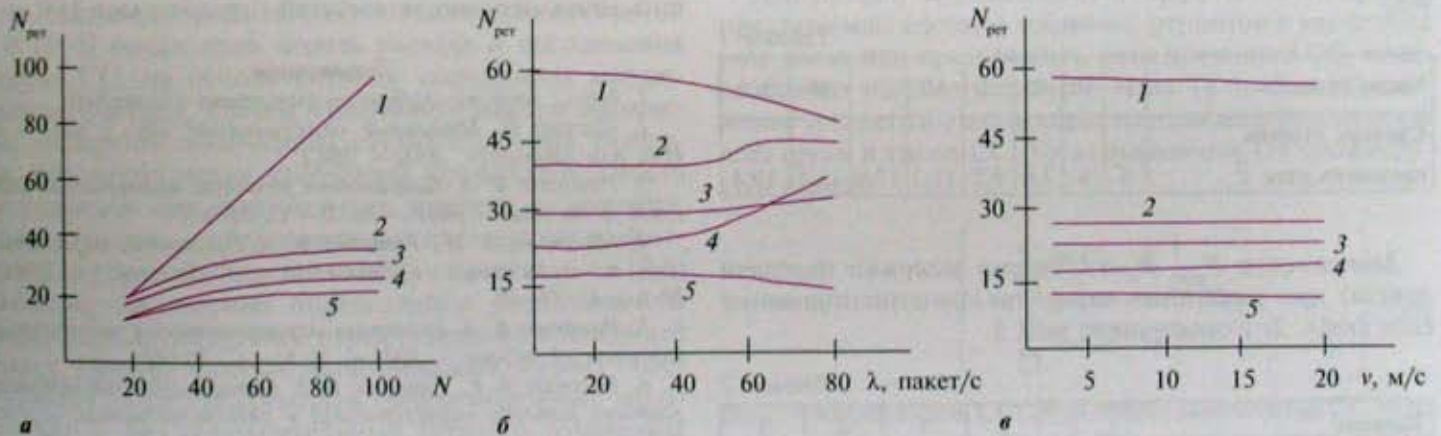


Рис. 3. Зависимости $N_{\text{рет}}$ от N, λ и v : а — $v = 0; \lambda = 10$ пакетов/с; б — $v = 0; N = 60$; а — $N = 60; \lambda = 10$ пакетов/с (1 — BM ; 2 — BA_3 ; 3 — BA_6 ; 4 — BA_5 ; 5 — BA_8)

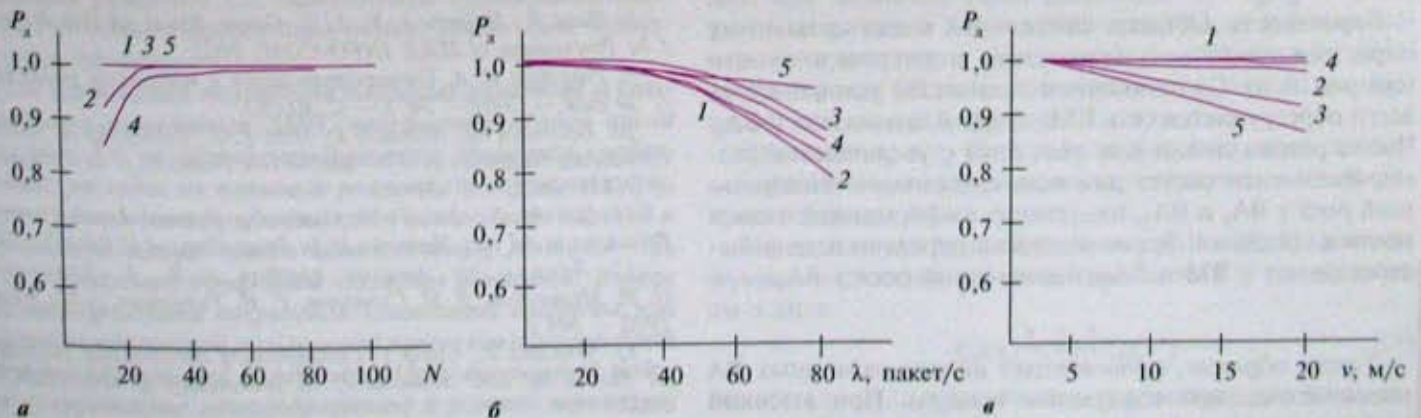


Рис. 4. Зависимости P_d от N, λ и v : а — $v = 0; \lambda = 10$ пакетов/с; б — $v = 0; N = 60$; а — $N = 60; \lambda = 10$ пакетов/с (1 — BM ; 2 — BA_3 ; 3 — BA_6 ; 4 — BA_5 ; 5 — BA_8)

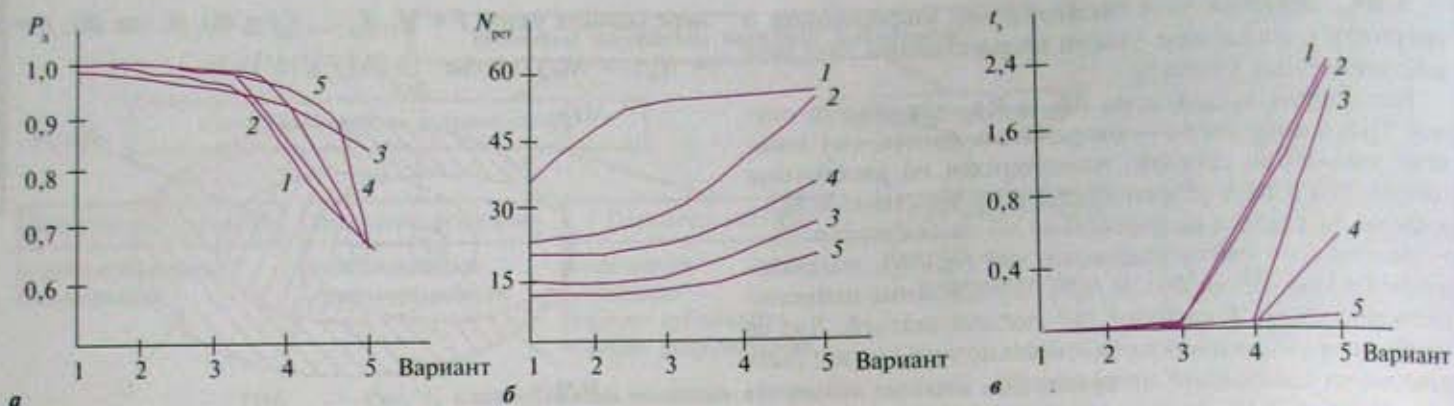


Рис. 5. Зависимости P_d , $N_{\text{нет}}$ и t_s при пяти вариантах функционирования сети (1 — VM; 2 — VA₃; 3 — VA₅; 4 — VA₆; 5 — VA₈)

алгоритмы — VA₈ и VA₅. Однако они требуют знания каждым узлом информации о связности на расстоянии двух ретрансляционных участков, что, в свою очередь, приводит к увеличению служебного трафика.

Зависимости $N_{\text{нет}}$ и P_d при увеличении входной нагрузки λ до 80 пакетов в секунду в статичной сети и при использовании протокола канального уровня IEEE 802.11 изображены на рис. 3, б и 4, б. Наилучшую устойчивость к перегрузкам показали VA₈ и VA₅.

Зависимости $N_{\text{нет}}$ и P_d при росте мобильности узлов сети представлены на рис. 3, в и 4, в. Меньшую вероятность доставки продемонстрировал VA₈ (рассылка hello-сообщений запаздывает по отношению к перемещению узлов), наименее чувствителен к изменению топологии VA₆.

Таблица 1

Число узлов N	20	30	40	50	60	70	80	100
Средняя степень связности узла \bar{c}	4	6	7,6	9,2	11,3	13,9	15,5	19,4

Зависимости $N_{\text{нет}}$, P_d и t_s (время задержки передачи пакета) при различных вариантах функционирования сети (табл. 2) иллюстрирует рис. 5.

Таблица 2

Вариант	1	2	3	4	5
Число узлов	40	50	60	70	90
Средняя скорость узла, м/с	1	5	10	15	20
Нагрузка в сети, пакетов/с	10	20	40	60	80

Вероятность доставки каждого ВА имеет свою точку перегиба из-за возникновения перегрузки в сети (см. рис. 5, а). С увеличением количества узлов быстрее всего перегружается сеть VM, лучший показатель у VA₈. Число ретрансляций (см. рис. 5, б) с увеличением размерности сети растет для всех алгоритмов. Наименьший рост у VA₈ и VA₅, владеющих информацией о связности с соседями. Время задержки передачи пакета быстрее растет у VM и VA₃, наименьший рост у VA₈.

* * *

Таким образом, проведенный анализ различных ВА позволяет сделать следующие выводы. При высокой мобильности для достижения эффективного функционирования МР узлов целесообразно применять волновую маршрутизацию информационных сообщений.

Предложены новые адаптивные волновые алгоритмы, учитывающие при передаче пакета информацию о связности локального участка сети: VA₈ основан на приближенном алгоритме вычисления наименьшего связанного доминирующего множества, VA₅ вводит задержку широкоэмитальной передачи информации по критерию максимальной степени связности среди соседних узлов. Применение данных волновых алгоритмов позволяет минимизировать число передач пакета при различных условиях функционирования сети: VA₈ эффективен в статичной и малодинамичной сети, а также при ее перегрузке; во всех других случаях — VA₅. Направлением дальнейших исследований является разработка методов маршрутизации (в том числе волновых), осуществляющих минимизацию мощностей передач узлов [14].

Литература

1. <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>.
2. Шиллер Й. Мобильные коммуникации: Пер. с англ. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2002. — 384 с.
3. Романюк В. А. Направления развития тактических сетей связи // Зв'язок. — 2001. — № 3. — С. 63–65.
4. Минович А. И., Романюк В. А. Протоколы маршрутизации в мобильных радиосетях // Зв'язок. — 2001. — № 1. — С. 31–36.
5. Романюк В. А. Групповая маршрутизация в мобильных радиосетях // Зв'язок. — 2001. — № 6. — С. 36–41.
6. Минович А. И., Романюк В. А. Оптимізація функціонування зондових методів маршрутизації в автоматизованих мережах радіозв'язку тактичної ланки управління: Наук.-техн. зб. — К.: ННДЦ ОТ і ВБ України. — 2002. — № 13. — С. 43–48.
7. Ni S., Tseng Y., Chen Y., Sheu Y. The broadcast storm problem in a mobile ad hoc networks // In Proceedings of ACM/IEEE MOBICOM, 1999.
8. Haas Z., Halpern J. Y., Li L. Gossip-Based Ad Hoc Routing // In Proceedings of IEEE INFO-COM, 2002.
9. Романюк В. А. Геомаршрутизация в мобильных радиосетях // Зв'язок. — 2001. — № 5. — С. 61–63.
10. Galinescu G., Mandoiu I., Wan P.-J., Zelikovsky A. Selecting Forwarding Neighbors in Wire-less Ad Hoc Networks // In Proceedings of DIAM, 2001. — P. 34–43.
11. Sun M.-T., Lai T.-H. Computing Optimal Local Cover Set Broadcast in Ad Hoc Networks // In Proceedings of IEEE ICC, 2002.
12. Лекции по теории графов / В. А. Емельянов, О. И. Мельников, В. И. Сарванов, Р. И. Тышкевич. — М.: Наука, 1990. — 384 с.
13. Williams B., Camp T. Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks // In Proceedings of MOBIHOC'02, 2002.
14. Cartigny J., Simplot D., Stojmenovic I. Localized minimum-energy broadcasting in ad-hoc networks // In Proceedings of IEEE INFOCOM, 2003.