

ЗВ'ЯЗОК

СВЯЗЬ



COMMUNICATION

**ЦИФРОВЕ ТЕЛЕБАЧЕННЯ
ДЛЯ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ —
ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**



**LTE — ПРОГНОЗ РОЗВИТКУ
В УКРАЇНІ**



**АДАПТАЦІЯ БАГАТОЕТАПНОГО
СОРТУВАННЯ ПОШТОВИХ
ОДИНИЦЬ — МАЙБУТНЄ
ПОШТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ**



**УПРАВЛІННЯ СОЛІТОНАМИ
В ОПТИЧНИХ ТРАКТАХ.
НОВІ ПРИНЦИПИ**



**ІНФОКОМУНІКАЦІЙНІ
МЕРЕЖІ.
ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ**



**НОВА
ІНТЕРАКТИВНА СИСТЕМА
БЕЗПРОВОДОВОГО ДОСТУПУ.
ПОГЛЯД НАУКОВЦІВ**



**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА МАРШРУ-
ТИЗАЦІЯ В МЕРЕЖАХ МАНЕТ-
АНАЛІЗ І ПРОПОЗИЦІЇ**



к.т.н. Сова О.Я. (ВІТІ НТУУ „КПІ”)
д.т.н. Романюк В.А. (ВІТІ НТУУ „КПІ”)
к.т.н. Шацilo П.В. (ВІТІ НТУУ „КПІ”)
Жук П.В. (ВІТІ НТУУ „КПІ”)
Миночкин Д.А. (НТУУ „КПІ”)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ В МОБИЛЬНЫХ РАДИОСЕТЯХ (MANET)

Мобильные радиосети (МР) или *Mobile Ad-Hoc Networks* (MANET) – это динамическая самоорганизующаяся архитектура построения сетей связи, предусматривающая отсутствие базовых станций и фиксированных маршрутов передачи информации. К особенностям сетей класса MANET относятся: динамическая топология (узлы мобильны, каналы радиосвязи с ограниченной дальностью и пропускной способностью); коллективное использование радиоресурса; значительная размерность сетей; неоднородность элементов сети (по мобильности и уровню производительности) и др [1, 2].

К классическим примерам МР относятся персональные сети радиосвязи для дома или офиса, сети радиосвязи которые временно организуются для проведения различных мероприятий (встречи, конференции, олимпиады), для организации временных учебных классов или во время чрезвычайных ситуаций (когда передача информации с использованием стационарной сети невозможна).

Так как топология МР постоянно изменяется, а каналы радиосвязи имеют ограниченную дальность, то пакеты данных от отправителя к адресату передаются через промежуточные узлы, которые одновременно выполняют функции конечных устройств и сетевого оборудования (маршрутизаторов, коммутаторов). Поэтому одной из основных проблем, которую необходимо решить при построении МР, а также в процессе их функционирования, является маршрутизация информационных сообщений. Методы маршрутизации (ММ) представляют собой множество операционных правил, согласно которым определяются маршруты прохождения потоков данных, а также стратегии, алгоритмы и дисциплины их обслуживания в узлах сети [3]. Основная цель маршрутизации заключается в поиске маршрута заданного качества и поддержании его в активном состоянии в процессе передачи информации между отправителем и адресатом.

Однако постоянная мобильность узлов МР усложняет решение проблемы маршрутизации для сетей типа MANET в сравнении со статическими проводными сетями. На сегодняшний день наблюдается противоречие между возможностями существующих методов маршрутизации (разработанных для стационарных сетей связи) и особенностями МР, возрастающими возможностями аппаратных средств, а также выполнением требований по передаче различных типов трафика в этих сетях [3].

Рассматривая самоорганизующиеся сети радиосвязи типа MANET, относящиеся к классу сложных динамических систем, функционирующих в условиях неопределенности и недостоверности контрольной информации о состоянии сети – не возможно говорить об эффективной работе данных сетей без соответствующей системы управления. При этом главными источниками неопределенности в задачах управления МР являются:

- сложность формализованного описания МР и задач управления ими с учетом погрешностей при вычислениях и измерениях;
- нечеткость целей функционирования и задач управления;
- нестационарность параметров МР и системы управления ими (высокая мобильность абонентов, изменение и непредсказуемость топологии сети);
- априорная неопределенность обстановки и условий функционирования МР;
- наличие случайных (иногда намеренных) влияний внешней среды;

– искавление информации во время передачи в каналах радиосвязи и др.

Обеспечение способности МР к самоорганизации, а также адаптации ее элементов к различным условиям функционирования требует разработки новых методов маршрутизации (ММ) с привлечением технологий обработки знаний. Проблемы обработки и использования знаний, как эффективного средства анализа плохо формализованных задач при априорной неполноте и нечеткости исходных данных были и остаются главным предметом изучения в теории искусственного интеллекта [4].

На сегодняшний день системы управления интенсивно развиваются в направлении их интеллектуализации, при этом существенным образом меняется технология принятия управленческих решений. Интеллектуальные информационные системы (ИИС) объединяют возможности систем управления базами данных и технологию искусственного интеллекта, благодаря чему хранение управленческой информации в них объединяется с обработкой и подготовкой ее для использования при принятии решений.

Длительное время считалось, что ИИС эффективны и применимы лишь для решения так называемых неформализуемых и плохо формализуемых задач, связанных с необходимостью включения в алгоритм их решения данных обучения на реальном экспериментальном материале (например, задачи распознавания образа). Однако в последнее время ИИС все шире используются при решении задач в системах связи и телекоммуникаций: управление коммутацией, маршрутизация, управление трафиком, распределение каналов в подвижных системах радиосвязи и т.д.

Наведем некоторые доводы в пользу того, что ИИС должны стать важнейшей составной частью системы управления сетью типа MANET:

– во-первых, главной проблемой при управлении сетью MANET является необходимость выбора из множества возможных управленческих решений в условиях неопределенности и в зависимости от ситуации, сложившейся в сети, а также требований к передаче определенного типа трафика;

– во-вторых, управление сетью требует обработки большого объема служебной информации о ее состоянии, использующейся методами управления различных уровней модели OSI для принятия соответствующих решений. Проблема получения информации с объектов (узлов сети), функционирующих в реальном масштабе времени, в настоящее время решена (использование различных способов зондирования сети). Но это породило другую проблему: как уменьшить долю служебной информации до уровня, который действительно необходим для принятия решения системой управления? В то же время следует отметить, что потеря информации, поступающей от узлов сети, работающих в реальном масштабе времени, может существенно сказаться на конечном решении, принятом системой управления;

– в-третьих, нехватка времени на принятие решений и проблема координации взаимодействия методов управления, выполняющих различные функции.

Таким образом, использование ИИС при разработке системы управления (СУ) узлом сети MANET, в частности подсистемы управления маршрутизацией, способной учитывать вышеупомянутые особенности сетей данного типа, является актуальным направлением на сегодняшний день.

На рис. 1 представлена обобщенная модель интеллектуальной системы управления узлом мобильной радиосети. Система управления имеет достаточно сложную конструкцию, включающую в свой состав ряд функционально-подчиненных подсистем. Иерархия их подчинения обуславливает декомпозицию исходных целей и задач управления на последовательность вложенных составляющих. Такое разделение предполагает многоуровневую организацию системы управления, обладающей развитыми интеллектуальными возможностями по анализу и распознаванию обстановки, формированию стратегии целесообразного поведения, планированию последовательности действий, а также синтезу управляющих воздей-

ствий, направленных удовлетворить требования к обслуживанию определенных типов трафика.

Важно отметить, что главная архитектурная особенность, отличающая интеллектуальную систему управления узлом мобильной радиосети от построенной по „традиционной” схеме, связана с подключением механизмов хранения и обработки знаний (блок „база знаний”) для реализации способности выполнять необходимые функции в условиях неопределенности (неполноты информации) при случайном характере внешних воздействий. В базе знаний содержится информация о принципах построения системы управления и цели ее функционирования, специфике использования различных методов управления, а также особенностях функционирования подсистемы реализации решений и самом объекте управления. Кроме того, в состав системы управления, в случае необходимости, может входить подсистема *пополнения знаний и обучения*, которая обеспечивает обобщение накопленного опыта и, таким образом, пополняет базу новыми знаниями.



Рис. 1. Обобщенная модель интеллектуальной системы управления узлом мобильной радиосети

С позиций системного подхода управление узлом МР должно быть направлено на достижение определенной цели. Задачей метода маршрутизации (подсистемы управления маршрутизацией) в МР является построение, хранение и поддержание маршрута(ов) передачи (между отправителем и адресатом) заданного качества, обычно кратчайшего. Кратчайший маршрут определяется как функция минимальной стоимости маршрута, определяемая как сумма стоимостей всех каналов маршрута.

В динамических условиях функционирования МР может возникать несколько целей управления сетью S , при чем все они имеют разную физическую природу, а также часть из них должна максимизироваться (S – пропускная способность сети, E_6 – емкость узловых батарей), а часть – минимизироваться (t_3 – время задержки передачи сообщений, P – мощность передачи).

Достижение *глобальной оптимизации* в процессе маршрутизации информационных сообщений в условиях децентрализованного управления и в режиме реального времени для

всей МР невозможно из-за невозможности построения соответствующей модели ее функционирования, а также (что самое главное) из-за невозможности сбора в режиме реального времени информации о состоянии МР в целом. Поэтому целесообразно говорить о *пользовательской оптимизации* $U^*(t)$, которая заключается в удовлетворении требований к передаче информации между парой отправитель-адресат при минимизации затрат сетевых ресурсов (например, минимизация служебного трафика) [3].

Оптимизация управляющих решений достигается применением соответствующих стратегий, которые реализуют совокупность методов маршрутизации. Данные стратегии определяются требованиями к информационному обмену с использованием множества контролируемых и неконтролируемых параметров сети, перечень которых определяется принятыми и реализованными на этапе проектирования коммуникационными технологиями, а также условиями функционирования сети.

Оптимальная стратегия передачи должна удовлетворять ограничениям на использование всех известных ресурсов сети при оптимизации определенной целевой функции C :

$$U^*(t) = \arg \underset{U(t) \in \Omega}{opt} C(X(t), U(t)); \quad (1)$$

где

$$C = \{S(X), t_3(X), P(X), E(X)\}; \quad (2)$$

$$X(t) = \{\xi(t), e_6(t), \Gamma_\xi(t), \omega(t), O(t), B(t), b(t)\}, \quad (3)$$

при выполнении ограничений на ресурс и требований к передаче трафика ξ -типа

$$\Omega = \{p_{ij} \leq p_{ij \max}, s_{ij} \leq s_{ij \max}, \omega \leq \omega_{\max}, e_i \leq e_{\max}, t_3^\xi \leq t_{3 \max}^\xi, S \geq S_{\min}\}, \quad (4)$$

где $X = \{x_i(t)\}$ – множество параметров состояния сети (информационного направления между узлом-отправителем i и узлом-адресатом j), $i, j = \overline{1, N}$, N – общее количество узлов сети; $U(t)$ – управляющее воздействие в МР (решение по маршрутизации); $\omega(t)$ – интенсивность изменения топологии сети; $\Gamma_\xi(t)$ – входная нагрузка; s_{ij} – пропускная способность канала ij ; p_{ij} – мощность передачи в канале ij ; t_3^ξ – время задержки передачи пакетов ξ -типа, $V_{ст}$ – объемы служебного трафика; $O(t)$ – объем информации, которую необходимо передать; $B(t)$ – требования к безопасности информации; $b(t)$ – количество адресатов.

Каждый узел, реализуя некоторый метод маршрутизации, осуществляет сбор и обработку служебной информации о состоянии сети (информационного направления). Так как общий трафик в сети состоит из интенсивностей полезного и служебного потоков, то очевидно, что *глобальная оптимизация* $U^{**}(t)$ (оптимизация процесса передачи информации в масштабах сети или ее зоны) должна быть направлена на минимизацию объемов служебного трафика $V_{ст}$, что позволит увеличить пропускную способность сети

$$U^{**}(t) = \arg \min_{U(t) \in \Omega} V_{ст}(X, U(t)). \quad (5)$$

Подсистема контроля, сбора, обработки и хранения данных предназначена для измерения контролируемых параметров мобильных узлов и радиосети в целом по правилам функционирования соответствующего ММ. Различные ММ требуют разного количества параметров (объемов служебного трафика) и глубины сбора информации о состоянии сети. Глубина сбора i -м узлом сети обычно определяется расстоянием (площадью при наличии системы позиционирования), которое задается количеством ретрансляционных участков от данного узла. Конечно, знание полной информации о сети позволяет принимать более обоснованные решения по поиску маршрутов заданного качества, однако приводит к значительному росту служебного трафика в условиях динамики топологии и входной нагрузки.

Методы сбора информации можно классифицировать: по объему – глобальный и локальный (зональный), фиксированный и адаптивный; по типу – в меру необходимости, периодический, по событиям и непрерывный, пассивный (не припускает рассылки служебной информации и основанный на анализе транзитного трафика) и активный; по способу передачи служебной информации – волновой, направленная „волна”, по выделенной подсети и „источником” (передача информации заранее определенным маршрутом), отдельными сообщениями и сопроводительной информацией [3, 5].

Подсистема формирования решений построена по принципу функциональности управления, который представлен в [6]. Объединение функций системы управления в относительно независимые группы позволяет осуществить декомпозицию управления узлом сети на подсистемы (что значительно упрощает задачу разработки математического обеспечения управления). Так, принятие решений подсистемой маршрутизации осуществляется по функциям управления, представленным на рис. 2 (более детально эти функции расписаны в [3]).



Рис. 2. Функции методов маршрутизации в МР

Проведенные исследования показывают отсутствие единого метода управления МР, обеспечивающего оптимизацию сетевых показателей на каждом из уровней эталонной модели взаимодействия открытых систем (OSI), так как каждый из существующих методов имеет свои границы эффективного применения. В связи с этим, в [7] предложено ввести в состав подсистемы формирования решений узловой системы управления (рис. 1) множество методов, которые выполняют соответствующие функции на разных уровнях модели OSI. Множество этих методов образует *базу методов управления*, которая взаимодействует с *подсистемой реализации решений* (содержит знания о цели управления, методах ее достижения или коррекции) для координации взаимодействия методов управления разных функциональных подсистем по уровням модели OSI с целью обеспечения оптимизации показателей функционирования сети.

Иерархия процесса принятия решения на примере подсистемы управления маршрутизацией показана на рис. 3. В базе знаний, на основе анализа параметров функционирования состояния сети и узла (мобильность, загрузка, емкость узловой батареи и др.), а также требований к передаче определенного типа трафика определяется целевая функция управления (максимизация пропускной способности сети или емкости узловых батарей, минимизация времени задержки передачи сообщений или мощности передачи). На основе выбранной целевой функции и с учетом ситуации, сложившейся в сети (узле) подсистемой формирования решений, в частности подсистемой управления маршрутизацией, выбирается метод маршрутизации (из базы методов управления), который в наибольшей мере отвечает указанным условиям (количество адресатов определяет выбор однопользовательской, групповой или волновой маршрутизации; требования надежности и безопасности определяет количество маршрутов – однопутевая или многопутевая маршрутизация и т.д.) [3]. В случае, если существующие в базе методы не отвечают сложившейся ситуации – возможна коррекция цели управления. На следующем этапе *подсистемой реализации решений* проводится выбор необ-

ходимой функции маршрутизации, формата маршрутной информации (МИ) и реализация принятых решений.

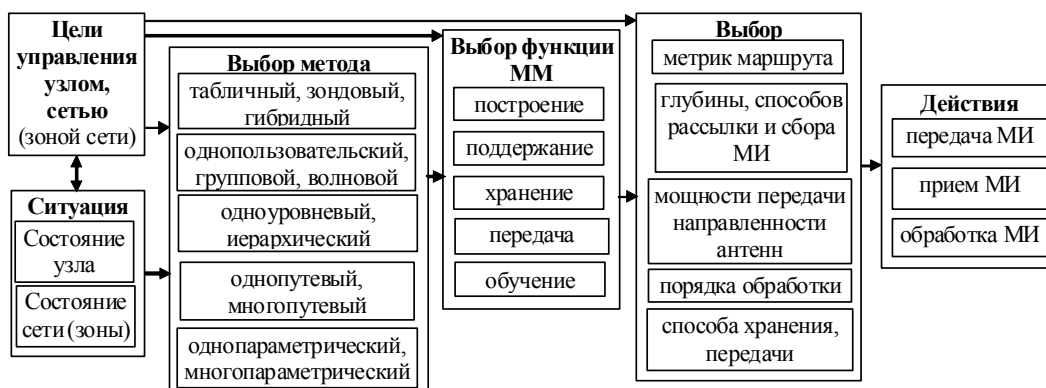


Рис. 3. Иерархия принятия решения по маршрутизации

Для уменьшения объемов служебного трафика (достижение сетевой оптимизации) целесообразно чтобы методы одного уровня модели OSI использовали служебную информацию, полученную на других уровнях. Например, если существующие маршруты (сетевой уровень OSI) не отвечают требованиям к скорости передачи информации, то их можно не перестраивать (т.е. не тратить ресурсы сети на построение новых маршрутов), а осуществить адаптацию скорости и задержки передачи пакетов, используя методы транспортного уровня модели OSI. Т.е. возникает задача интеграции разных уровней эталонной модели OSI, решение которой также возлагается на *подсистему реализации решений*. Основная сложность интеграции состоит в необходимости определения параметров, которые будут использоваться между уровнями OSI с целью получения пользовательской и (или) сетевой (глобальной) оптимизации.

Организация элементов интеллектуальной системы управления сетью припускает использование совокупности моделей представления знаний, информационной поддержки, описания контролируемого объекта и т.д. Главным отличием построения интеллектуальной системы управления МР есть использование методов и технологий искусственного интеллекта, как основных средств борьбы с неопределенностью внешней среды. Практическое воплощение этой концепции припускает выборочное использование тех или иных технологий обработки знаний в зависимости от специфики решаемых задач и особенностей объекта управления.

Как показал проведенный анализ, наиболее перспективными для создания интеллектуальных систем управления представляются четыре технологии: экспертных систем, ассоциативной памяти, нечеткой логики, нейронных сетей [4, 8, 9]. Основная идея при этом заключается в переходе от строго формализованных алгоритмов, которые предлагают метод решения задачи, к логическому программированию с указанием на то, что нужно решать на базе знаний, накопленных специалистами в конкретных предметных областях.

В [10] представлен метод маршрутизации, в котором предложено интеллектуализировать процесс принятия решения по маршрутизации путем использования аппарата нечеткой логики, основным компонентом которого является база правил нечетких продукций, занимающая центральное место в процедурах нечеткого вывода. Как показал анализ существующих ММ, в сетях с динамической топологией более эффективными являются зондовые ММ, поэтому при разработке интеллектуального ММ (ИММ) за основу взят именно зондовый ММ (в частности DSR) [2, 11]. Основные преимущества протокола DSR: быстрая адаптация к изменениям топологии сети, отсутствие периодической рассылки служебной информации в сети, возможность обучения. Недостатки: использование волнового способа

передачи на этапе создания маршрута вызывает довольно значительный служебный трафик; задержка в построении маршрута.

С целью повышения эффективности функционирования протокола DSR в разработанном интеллектуальном методе маршрутизации предложено введение иерархии процесса принятия решения по поиску маршрута заданного качества, которая включает следующие этапы: выбор целевой функции управления маршрутами (построение маршрута минимальной (заданной) стоимости по выбранным метрикам), типа маршрутизации, количества маршрутов и способа зондирования в сети. Выполнение этих функций возложено на подсистему управления маршрутизацией, которая находится в каждом узле МР [12].

Математическая постановка задачи интеллектуальной маршрутизации

Модель сети. Сеть представляется направленным графом $G = (V, E)$, где $V = \{v_n\}$, $n = \overline{1, N}$ – множество случайно расположенных узлов и $E = \{e_j\}$, $j = \overline{1, J}$ – множество каналов. Каждый узел имеет идентификационный номер, топология сети определена.

Заданы параметры МР (информационного направления): количество узлов $N \leq 100$; радиоканалы симметричны и полудуплексные; емкость батарей узла $E^{\delta}(t) = \|e_i^{\delta}(t)\|$; тип информации – $\xi = \overline{1, 3}$, где 1 – видео, 2 – речь, 3 – данные; количество адресатов при каждой сессии $|b| = \overline{1, N-1}$ (многопользовательская передача); интенсивность входных потоков $\Gamma_{\xi}^{a-b}(t) = \|g_{\xi}^{a-b}(t)\|$, $g_{\xi}^{a-b}(t) \leq g_{\max}^{a-b}$ на направлении $a-b$; $\omega^{a-b}(t) \leq \omega_{\max}^{a-b}$ – интенсивность изменения топологии; пропускная способность направления $s^{a-b} \leq s_{\max}^{a-b}$; радиосвязность между узлами сети поддерживается одним из протоколов канального уровня.

Множество требований к методу маршрутизации $\{TR_q\}$, $q = \overline{1, 5}$: минимальная загруженность сети служебной информацией; возможность одновременного использования нескольких метрик поиска маршрута; возможность построения групповых маршрутов; возможность передачи информации несколькими маршрутами; получение маршрута в случае необходимости; обеспечение заданного качества обслуживания трафика ξ -типа ($s_{\text{доп}}^{\xi} \geq s_{\text{доп}}^{\xi}, t_3^{\xi} \leq t_{3 \text{ доп}}^{\xi}$).

Необходимо: осуществить синтез метода маршрутизации, который обеспечит построение маршрутов заданного качества U_M на информационном направлении между отправителем a и адресатом b при удовлетворении *пользовательской оптимизации* (1), при выполнении ограничений на ресурс и требований к качеству обслуживания ξ -го типа трафика (4) и выполнении условий *системной оптимизации* (5).

Как видно из выражения (2), в ходе функционирования МР может возникать несколько целей (критериев) управления сетью. Это порождает задачу многокритериальной (векторной) оптимизации процесса функционирования МР, причем сама сеть выступает в качестве динамической системы со сменными критериями качества [13].

Существует большое количество методов решения задач многокритериальной оптимизации, которые детально рассмотрены в [13, 14, 15]. Учитывая, что требования к обслуживанию разных типов трафика отличаются и могут изменяться даже в ходе передачи информации, а ситуация в сети будет требовать управления системой поиска маршрута по тем критериям, которые в данный момент времени имеют наибольшее значение, то одним из возможных путей решения данной задачи есть поиск компромиссных решений методом последовательных уступок, который состоит в ранжировании критериев по их важности. Кроме того, с учетом указанного, предлагается проводить ранжирование целей управления в зависимости от требований к передаче трафика ξ -типа и состояния информационного направления (4) с целью обеспечения заданного качества обслуживания трафика ξ -типа в различных условиях функционирования МР.

Пусть преимущество критериев имеет следующий вид:

$$C_1^{a-b}(X) \succ C_2^{a-b}(X) \succ \dots \succ C_k^{a-b}(X), \quad k = \overline{1, 4}. \quad (6)$$

Тогда решается задача максимизации (минимизации) одного критерия $C_1^{a-b}(X)$:

$$C_1^{a-b}(X) \rightarrow \max,$$

а найденное максимальное значение критерия обозначим как $\max C_1^{a-b}(X)$. Исходя из требований к качеству обслуживания определенного типа трафика и принятой точности, назначаем некоторую уступку Δ_1 для первого критерия, которую можно допустить, чтобы оптимизировать критерий $C_2^{a-b}(X)$. То есть решается задача математического программирования:

$$\begin{aligned} C_2^{a-b}(X) &\rightarrow \max; \\ C_1^{a-b}(X) &\geq \max C_1^{a-b}(X) - \Delta_1. \end{aligned}$$

Далее определяется уступка Δ_2 и решается задача:

$$\begin{aligned} C_3^{a-b}(X) &\rightarrow \max; \\ C_1^{a-b}(X) &\geq \max C_1^{a-b}(X) - \Delta_1; \\ C_2^{a-b}(X) &\geq \max C_2^{a-b}(X) - \Delta_2, \end{aligned}$$

и, соответственно,

$$\begin{aligned} C_4^{a-b}(X) &\rightarrow \max; \\ C_1^{a-b}(X) &\geq \max C_1^{a-b}(X) - \Delta_1; \\ C_2^{a-b}(X) &\geq \max C_2^{a-b}(X) - \Delta_2; \\ C_3^{a-b}(X) &\geq \max C_3^{a-b}(X) - \Delta_3. \end{aligned}$$

Из-за динамического поведения МР, сложности формирования полной системы показателей их функционирования, неполноту и недостоверность контрольной информации о состоянии информационного направления, предлагается принимать решение по выбору целевой функции управления сетью с помощью нечеткого контроллера (рис. 4), который для ее принятия использует аппарат нечеткой логики [16].

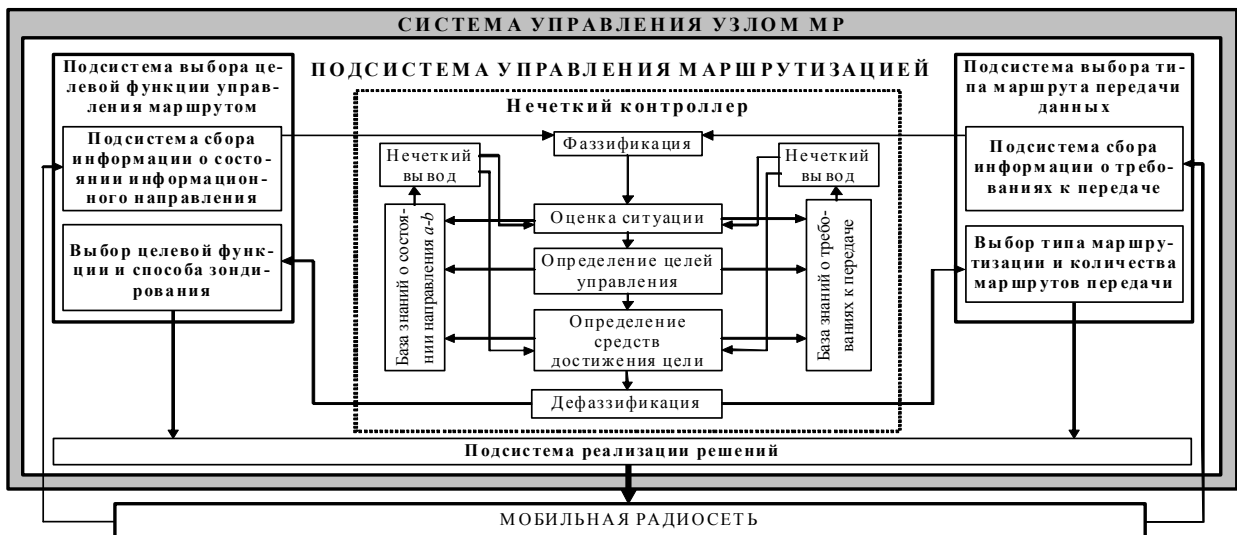


Рис. 4. Нечеткий контроллер в подсистеме управления маршрутизацией

Контроллер использует нечеткое описание управляемого процесса и системы его управления (в виде нечеткой базы знаний), а также превращает нечеткое описание в последовательность команд для достижения целей управления маршрутизацией.

Этапы функционирования ИММ

Интеллектуальный метод маршрутизации предусматривает два основных этапа: построение маршрутов и их поддержание.

Этап построения маршрутов. На данном этапе узел выполняет две основные функции: поиск маршрутов (отвечающих требованиям к передаче ξ -того типа трафика) среди имеющихся в базе маршрутов; в случае отсутствия маршрута заданного качества – выбирает способ построения нового маршрута. Схема алгоритма поиска маршрута заданного качества отправителем изображена на (рис. 5).

В предложенном подходе этап построения маршрута включает подэтапы выбора целевой функции управления маршрутами (многопараметрическая маршрутизация), способа зондирования (локальное зондирование, упреждающее построение нового маршрута, построение маршрутов адресатом и др.), выбора количества маршрутов (одномаршрутная и многомаршрутная передача) и типа маршрутизации (групповая или однопользовательская).

В случае необходимости передачи информации от узла a к узлу b , узлом a инициируется запрос к подсистеме управления маршрутизацией (блок 2), с целью проверки соответствия параметров сети требованиям трафика, который передается. Запрос обрабатывается подсистемой сбора информации о состоянии информационного направления. Происходит выбор целевой функции y_1 , которая будет определяться с учетом состояния информационного направления и требований к передаче трафика ξ -типа (блок 4) (рис. 6а). Далее проводится поиск маршрутов среди имеющихся в базе маршрутов с учетом требований к передаче трафика ξ -типа (количество адресатов, требования к пропускной способности и безопасности передачи информации). Принимается решение о типе маршрутизации и количестве маршрутов (блоки 5 – 11). В случае, когда маршрут с необходимыми параметрами содержится в базе знаний, он используется для передачи сообщений к адресату b (блок 18).

Если такой маршрут отсутствует – отправитель a начинает поиск нового маршрута путем рассылки всем узлам сети зонда-запроса (блоки 12, 13). Зонд-запрос включает идентификаторы отправителя и адресата, требования к маршруту в виде необходимых параметров (метрик выбора маршрута).

На стороне приемника проводится обработка зонда-запроса, принятие решения о состоянии информационного направления $a-b$ и формирование зонда-ответа (рис. 6б). Предполагается, что информация о типе трафика и его объеме получается из заголовков сообщений, которые поступают из прикладного уровня модели OSI.

После получения зонда-ответа отправитель принимает решение о выборе типа маршрутизации и количества маршрутов (рис. 6б).

При функционировании сети через каждый узел будет проходить значительное количество зондов и информационных пакетов, что позволит узлам записывать в память новые маршруты, корректировать старые и использовать их в ходе дальнейшего функционирования.

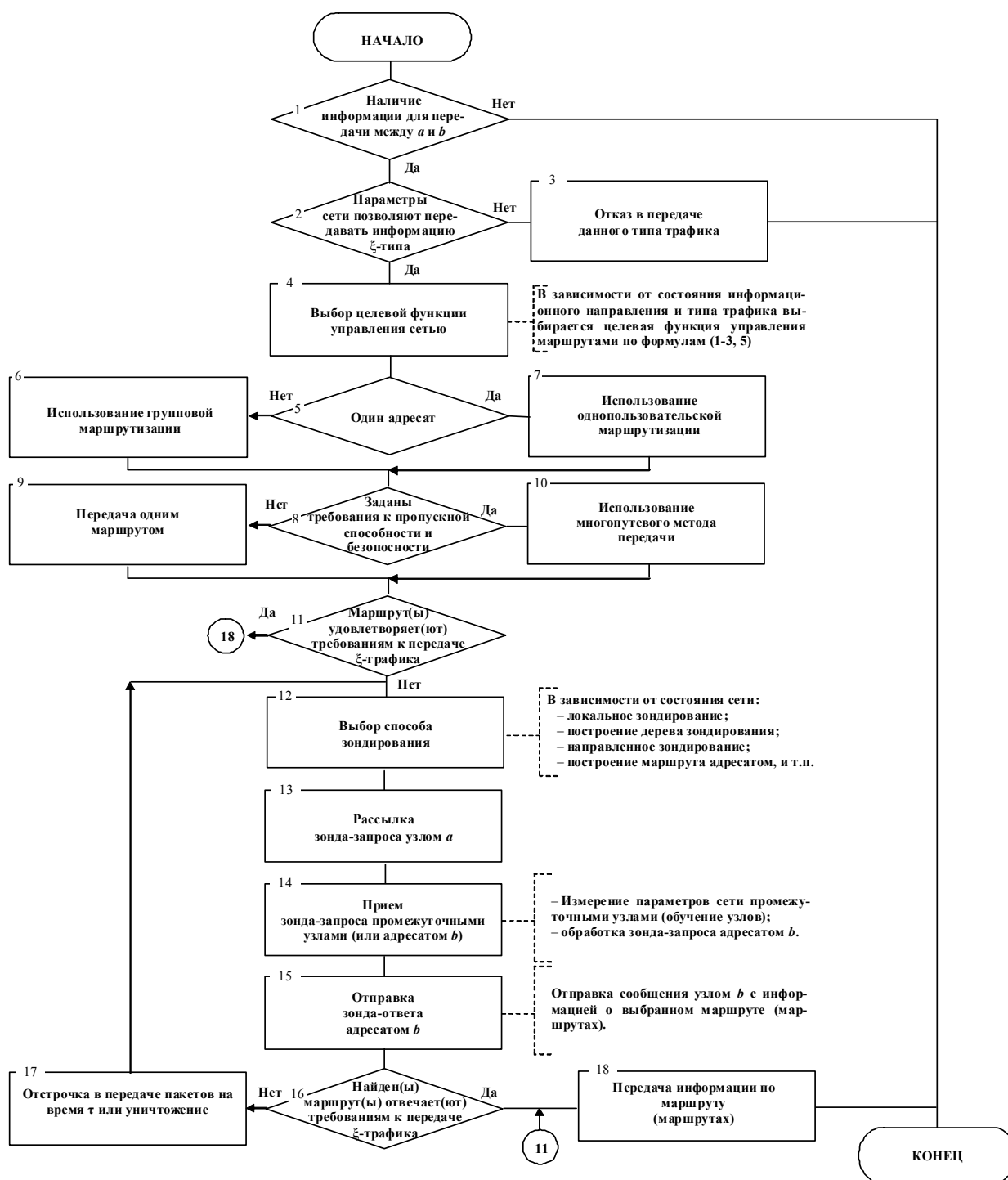


Рис. 5. Схема алгоритма поиска маршрута на стороне отправителя

Если найденные маршруты (блок 16) отвечают требованиям к передаче трафика ξ -типа, то отправитель a передает информацию, в противном случае происходит отсрочка передачи пакетов на некоторый промежуток времени τ , после чего процесс поиска маршрута повторяется (блок 17).

В отличие от большинства ММ, которые используются в проводных сетях и учитывают только один параметр при определении кратчайшего маршрута, предложенный метод использует множество метрик поиска маршрута в зависимости от целевой функции управления маршрутами, требований к качеству маршрутов и ситуации, которая сложилась в сети.

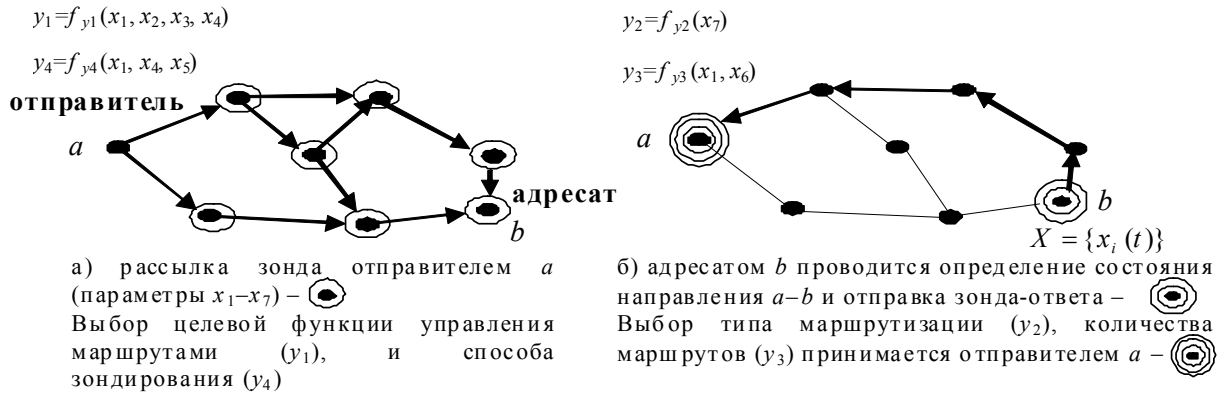


Рис. 6. Этап построения нового маршрута

Этап поддержания маршрутов. Промежуточный узел k определив отказ радиоканала (являющегося составной частью активного маршрута для узла a), присылает зонд-отказ узлам a и b . При получении отправителем a или адресатом b зонда-отказа они инициируют процесс создания нового маршрута. Происходит выбор способа зондирования y_4 на основе параметров x_1, x_4, x_5 и прогнозируемого времени существования канала t_{a-b}^c (рис. 6а). Основным условием принятия решения о построении нового маршрута есть неравенство $t_{a-b}^c \leq t_{\text{пд}}$, где $t_{\text{пд}}$ – время передачи данных в пределах одной сессии.

В зависимости от ситуации, сложившейся в сети, используются разные способы зондирования. С целью ограничения количества зондов, рассылающихся в сети, применяется локальное зондирование, предусматривающее рассылку зондов в ограниченной зоне сети и построение дерева зондирования. Однако эти способы могут увеличить время построения маршрута при значительном расстоянии к адресату.

В случае, когда при передаче определенного типа информации критическим параметром является величина времени задержки t_3 , возможным решением в данной ситуации является построение нового маршрута адресатом и использование направленного зондирования. Схема алгоритма поддержания маршрута заданного качества изображена на (рис. 7).

Математическая модель интеллектуальной системы поиска маршрута. Каждый канал $e = (v_l, v_r) \in E$ и любой узел $v_i \in V$ в момент времени t может характеризоваться вектором параметров $X = \langle x_i \rangle, i = \overline{1, 7}$ – вектор фиксированных значений переменных, поступающих на вход нечеткого контроллера узла $v_i \in V$ [14, 15].

Пользовательская (узловая) оптимизация будет достигаться путем выбора целевой функции управления маршрутами, типа маршрутизации, количества маршрутов и способа зондирования. Выражение (1) перепишем в следующем виде:

$$U_M(t) = \{y_1, y_2, y_3, y_4\},$$

$$y_1 = f_{y_1}\{x_1, x_2, x_3\}, \quad (6)$$

$$y_2 = f_{y_2}\{x_1, x_4, x_5\}, \quad (7)$$

$$y_3 = f_{y_3}\{x_7\}, \quad (8)$$

$$y_4 = f_{y_4}\{x_1, x_6\}, \quad (9)$$

где $U_M(t)$ – решение по выбору маршрута; y_1 – выбор целевой функции управления маршрутами; y_2 – выбор типа маршрутизации; y_3 – выбор количества маршрутов; y_4 – выбор способа зондирования; x_1 – тип трафика, x_2 – объем информации, x_3 – остаточная емкость батарей, x_4 – интенсивность потоков ξ -типа (размер очередей в промежуточных узлах), x_5 – мобильность сети, x_6 – обеспечение безопасности информации, x_7 – количество адресатов.

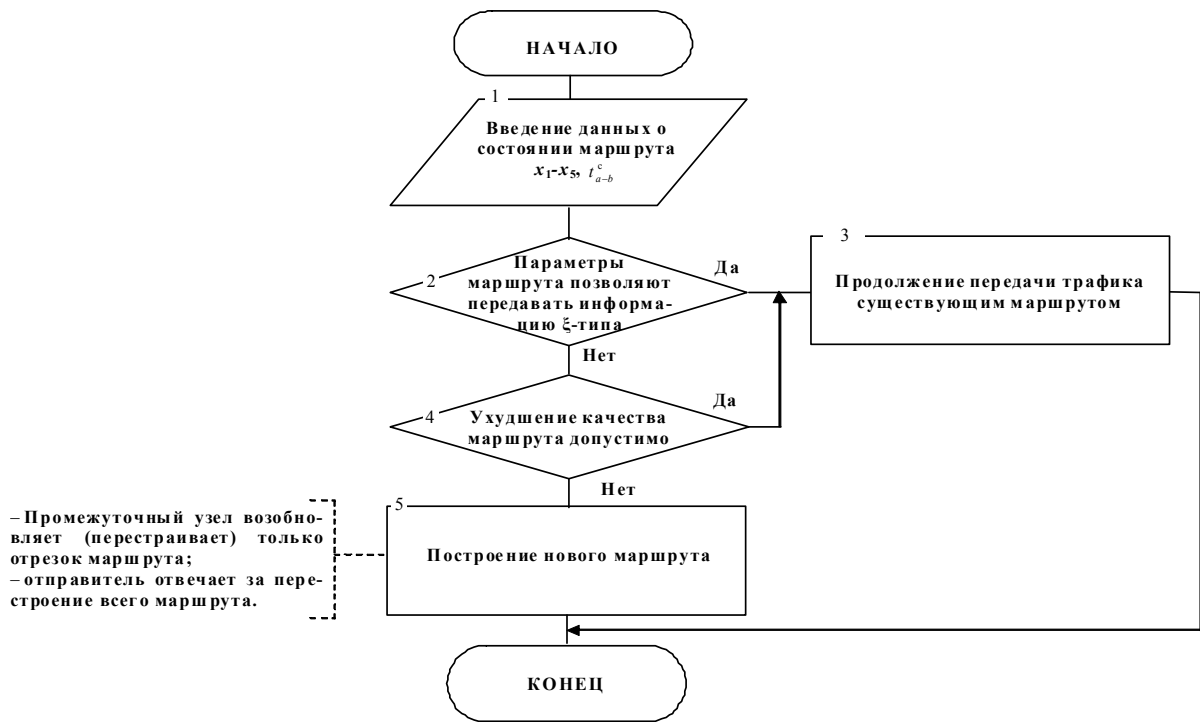


Рис. 7. Схема алгоритма поддержания маршрута

Иерархию процесса принятия решений подсистемой управления маршрутизацией по поиску маршрута заданного качества изображено на (рис. 8).

Каждый узел осуществляет цикл управления, состоящий из этапов: сбор данных о состоянии узла и состоянии направления связи; анализ и идентификация текущей ситуации в узле-передатчике и сети; принятие управляющих решений и их реализация с целью выбора той целевой функции управления сетью, которая наиболее точно будет отвечать требованиям к передаче того или иного типа трафика и состоянию информационного направления $a-b$.

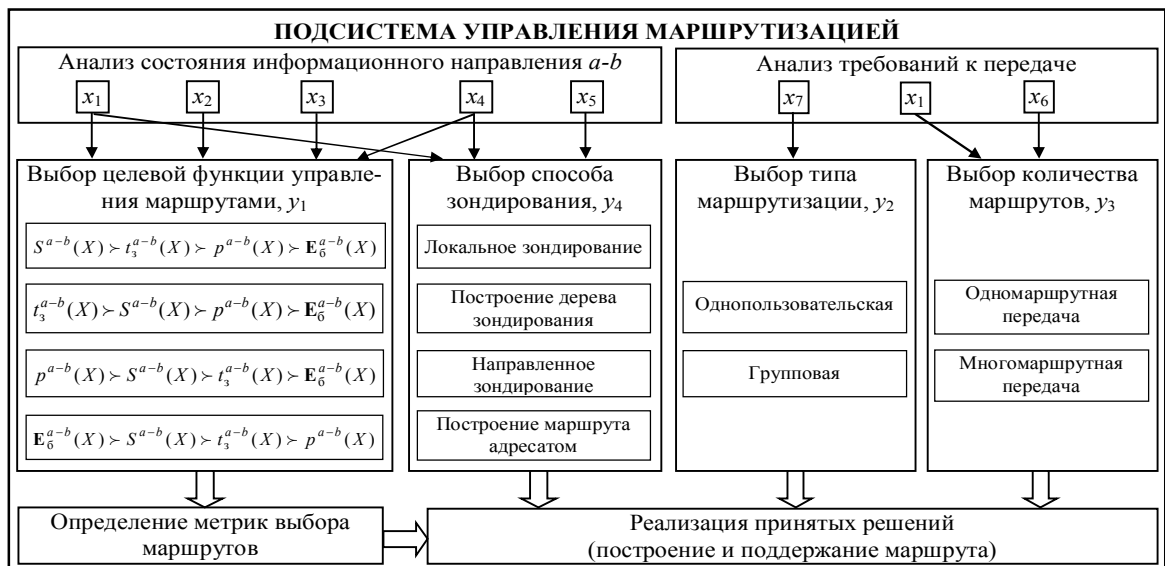


Рис. 8. Иерархия процесса принятия решений по поиску маршрута заданного качества

Анализ и идентификация состояния направления $a-b$ и требований к передаче в

узлах заключается в построении математической модели, которая устанавливает связь между входными (x_1-x_7) и выходными переменными (y_1-y_4) по экспериментальным данным. Модель системы выбора целевой функции управления, выбора типа маршрутизации, количества маршрутов и способа рассылки зонда строится путем проектирования и настраивания нечетких баз знаний [14, 15]. Минимальное количество параметров базы знаний нечеткой системы управления выбором метрик поиска маршрута, типа маршрутизации, количества маршрутов и способа зондирования изображено в таблице 1.

Таблица 1

Параметры базы знаний нечеткой системы управления

Переменные	Значения переменных	Примечание
1	2	3
Входные переменные		
x_1 – тип трафика, который передается	a_1^1 – видео; a_1^2 – речь; a_1^3 – данные	Четкие заранее запрограммированные значения величин
x_2 – объем информации	a_2^1 – высокий; a_2^2 – средний; a_2^3 – низкий	Четкие значения величин, получаемые из прикладного уровня
x_3 – остаточная емкость батарей	a_3^1 – высокая; a_3^2 – средняя; a_3^3 – низкая	Данные о параметрах получают с физического, канального и транспортного уровней модели OSI, попадают на вход фаззификатора и превращаются на нечеткие величины
x_4 – размер очередей в промежуточных узлах	a_4^1 – высокий; a_4^2 – средний; a_4^3 – низкий	
x_5 – мобильность сети	a_5^1 – высокая; a_5^2 – средняя; a_5^3 – низкая	
x_6 – обеспечение безопасности информации	a_6^1 – да; a_6^2 – нет;	Четкие предварительно запрограммированные значения величин
x_7 – количество адресатов	a_7^1 – один; a_7^2 – много;	Четкие значения величин, получаемые из прикладного уровня
Выходные переменные		
y_1 – выбор целевой функции управления сетью	$d_1^1 - S^{a-b}(X) \succ t_3^{a-b}(X) \succ p^{a-b}(X) \succ E_6^{a-b}(X);$ $d_1^2 - t_3^{a-b}(X) \succ S^{a-b}(X) \succ p^{a-b}(X) \succ E_6^{a-b}(X);$ $d_1^3 - p^{a-b}(X) \succ S^{a-b}(X) \succ t_3^{a-b}(X) \succ E_6^{a-b}(X);$ $d_1^4 - E_6^{a-b}(X) \succ S^{a-b}(X) \succ t_3^{a-b}(X) \succ p^{a-b}(X)$	Четкие значения рангов критериев, по которым будет проводится оценка состояния информационного направления
y_2 – тип маршрутизации	d_2^1 – однопользовательская; d_2^2 – групповая	Четкие значения типа маршрутизации
y_3 – количество маршрутов	d_3^1 – один; d_3^2 – несколько	Четкие значения количества маршрутов
y_4 – способ рассылки зондов	d_4^1 – локальное зондирование d_4^2 – построение дерева зондирования d_4^3 – направленное зондирование d_4^4 – построение маршрута адресатом	В зависимости от ситуации, сложившейся в информационном направлении, используются различные способы зондирования

Для оценки значений лингвистических переменных x_1-x_7 будем использовать шкалу лингвистических термов a_i^p , которые формируют базу знаний. Каждый из этих термов представляет собой нечеткое множество, заданное с помощью соответствующей функции принадлежности. Как видно из таблицы 1, только входные переменные x_3-x_5 задаются нечетко, остальные переменные – являются четкими значениями параметров, которые получаются из разных уровней модели OSI. Учитывая различную природу входных лингвистических переменных, функции принадлежности строятся отдельно для каждой переменной. Однако, с целью

обеспечения максимальной скорости выполнения математических операций маломощными процессорами мобильных узлов, предлагается использовать параметрические, нормальные, унимодальные, треугольные функции принадлежности [14, 15].

Пользуясь введенными качественными термами и знаниями экспертов, представим соотношение 6 – 9 в виде таблиц 2 – 5.

Преобразование системы логических высказываний (таблицы 2 – 5) в логические уравнения заключается в представлении входных и выходной переменных в виде нечетких множеств. Лингвистические оценки a_i^{jp} переменных $x_1 \div x_7$, входящие в логические высказывания о решении d_j , рассматриваются как нечеткие числа, определяющиеся на универсальных множествах $X_i = [x_i, \bar{x}_i]$, $i=\overline{1, I}$, $j=\overline{1, J}$. Т.е. осуществляется замена лингвистических оценок a_i^{jp} на функции принадлежности $\mu^{a_i^{jp}}(x_i)$, $i=\overline{1, I}$, $j=\overline{1, J}$.

Таблица 2

Знания о соотношении (6)

x_1	x_2	x_3	x_4	y_1
a_1^1	a_2^1	a_3^1	a_4^3	d_1^1
a_1^1	a_2^1	a_3^1	a_3^2	
a_1^1	a_2^1	a_3^1	a_3^1	
a_1^1	a_2^1	a_3^2	a_4^3	
a_1^1	a_2^1	a_3^2	a_4^2	
a_1^1	a_2^1	a_3^2	a_4^1	
a_1^1	a_2^2	a_3^1	a_4^3	
a_1^1	a_2^2	a_3^1	a_4^2	
a_1^1	a_2^3	a_3^1	a_4^3	
a_1^3	a_2^1	a_3^1	a_4^3	
a_1^3	a_2^1	a_3^2	a_4^2	
a_1^3	a_2^2	a_3^1	a_4^1	
a_1^2	a_2^1	a_3^1	a_4^3	
a_1^2	a_2^1	a_3^1	a_4^2	
a_1^2	a_2^1	a_3^2	a_4^3	
a_1^2	a_2^2	a_3^1	a_4^3	
a_1^2	a_2^2	a_3^1	a_4^2	
a_1^1	a_2^1	a_3^2	a_4^1	d_1^3
a_1^2	a_2^1	a_3^2	a_4^1	
a_1^3	a_2^1	a_3^2	a_4^1	
a_1^1	a_2^1	a_3^3	a_4^3	d_1^4
a_1^2	a_2^1	a_3^3	a_4^3	
a_1^3	a_2^1	a_3^3	a_4^3	

Таблица 3

Знания о соотношении (7)

x_7	y_2
a_7^1	d_2^1
a_7^2	d_2^2

Таблица 4

Знания о соотношении (8)

x_1	x_6	y_3
a_1^1	a_6^1	d_3^1
a_1^2	a_6^1	
a_1^3	a_6^1	
a_1^1	a_6^2	d_3^2
a_1^2	a_6^2	
a_1^3	a_6^2	

Знания о соотношении (9)

x_1	x_4	x_5	y_4
a_1^1	a_4^1	a_5^1	d_4^1
a_1^2	a_4^2	a_5^2	
a_1^3	a_4^3	a_5^3	
a_1^1	a_4^1	a_5^1	
a_1^2	a_4^2	a_5^2	
a_1^3	a_4^3	a_5^3	
a_1^1	a_4^3	a_5^3	d_4^2
a_1^2	a_4^3	a_5^3	
a_1^3	a_4^3	a_5^3	

Вычисление значений исходных переменных y_1 – y_4 проводится с использованием алгоритма идентификации объекта с дискретным входом, который детально описан в [15].

Результаты оценки эффективности разработанного метода маршрутизации показали, что использование интеллектуального метода маршрутизации позволит сократить объем служебного трафика на 20-30% (благодаря учету состояния информационного направления и требований к передаче разных типов трафика) в сравнении с существующими зондовыми методами маршрутизации.

Таким образом, на сегодняшний день происходит интеллектуализация информационных систем управления и трансформация их в ИИС. Введение ИИС в состав системы управления МР позволит:

- уменьшить затраты времени на сбор и анализ служебной информации о состоянии сети, сократить объемы этой информации путем учета ситуации в сети, а также требований к передаче трафика;
- минимизировать ошибки, связанные с принятием неправильных решений по управлению радиосетью, которые вызваны человеческим фактором в процессе инициализации сети.

В статье обоснована необходимость введения интеллектуальных информационных систем в состав системы управления узла сети класса MANET, представлена обобщенная модель интеллектуальной системы управления узлом мобильной радиосети, а также выделено место подсистемы управления маршрутизацией. Кроме того представлен интеллектуальный метод маршрутизации, в котором предложено интеллектуализировать процесс принятия решения по маршрутизации путем использования аппарата нечеткой логики, основным компонентом которого является база правил нечетких продукций, занимающая центральное место в процедурах нечеткого вывода. Использование указанного метода позволит сократить объем служебного трафика на 20 – 30% (благодаря учету состояния информационного направления и требований к передаче разных типов трафика) в сравнении с существующими зондовыми методами маршрутизации.

Направлением дальнейших исследований является разработка новых методов управления МР с динамической топологией, относящихся к разным функциональным подсистемам узлов СУ, а также оценка эффективности их функционирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Akyildiz I. F. CRAHNs: Cognitive radio ad hoc networks / I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee, K. R. Chowdhury // Ad Hoc Networks №7, 2009. – pp. 810 – 836.
2. Hanzo L. A Survey of QoS Routing Solutions for Mobile Ad hoc Networks, in IEEE Communications Surveys and Tutorials / Hanzo L., Tafazolli R. // Vol. 9, no. 2, pp. 50-70, 2nd Quarter 2007.

3. Миночкин А.И. Маршрутизация в мобильных радиосетях – проблема и пути решения / А.И. Миночкин, В.А. Романюк // Зв'язок. – 2006. – № 7. – С. 49 – 55.
4. Макаров И.М. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов; [отв. ред. И.М. Макарова]; Отделение информ. технологий и вычислит. систем РАН. – М.: Наука, 2006. – 333 с.
5. Міночкін А.І. Управління мобільними радіомережами військового призначення – проблеми та шляхи рішення / А.І. Міночкін, В.А. Романюк, Л.В. Скрипник // Збірник наукових праць № 4. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2003. – С. 78 – 91.
6. Міночкін А.І. Концепція управління мобільною компонентою мереж зв'язку військового призначення / А.І. Міночкін, В.А. Романюк // Збірник наукових праць № 3. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2005. – С. 51 – 60.
7. Романюк В.А. Архітектура системи оперативного управління тактичними радіомережами / В.А. Романюк // Збірник наукових праць № 3. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2009. – С. 70 – 76.
8. Комашинский В.И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 94.
9. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.: ил.
10. Міночкін А.І. Інтелектуальний метод маршрутизації в мобільних радіомережах (MANET) / А.І. Міночкін, В.А. Романюк, О.Я. Сова // Збірник наукових праць № 1. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2009. – С. 74 – 87.
11. Мережі MANET – основа побудови тактичних мереж зв'язку IV науково-практичний семінар [“Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”] / Міністерство оборони України, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2007. – С. 15 – 28.
12. Миночкин А.И. Методология оперативного управления мобильными радиосетями / А.И. Миночкин, В.А. Романюк // Зв'язок. – 2005. – № 2. – С. 53 – 58.
13. Воронин А.Н. Многокритериальный синтез динамических систем / А.Н. Воронин; Отв. Ред. Павлов В.В.; АН Украины. Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова. – Киев: Наук. думка, 1992. – 160 с.
14. Герасимов Б.М. Системы поддержки принятия решений: проектирование, применение, оценка эффективности [монография] / Б.М. Герасимов, М.М. Дивизинюк, И.Ю. Субач. – Севастополь: НИЦ ВСУ, 2004. – 320 с.
15. Герасимов Б.М. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации / Б.М. Герасимов, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюмшин – К.: Техника, 2002, – 140с.
16. Сова О.Я. Метод багатопараметричної зондової маршрутизації в мережах MANET з використанням нечіткої логіки / О.Я. Сова // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2007. – № 3. – С. 125 – 136.