

УДК 004.414.22/004.051/519.687.5

И.Б. Туркин, Д.С. Игнатьев

*Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*

## МЕТРИКИ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О ПЕРЕДАЧЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ В ГЕТЕРОГЕННЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ МОБИЛЬНЫХ КОММУНИКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

*Рассмотрены современные направления развития беспроводных сетей и мобильной связи. Показано, что новые направления программно-определяемого и когнитивного радио требуют формирования системы метрик для принятия решений о маршруте, либо передаче обслуживания в гетерогенных беспроводных сетях. Выделено 2 класса таких метрик, характеризующих затраты ресурсов для функционирования беспроводной сети и значения показателей качества обслуживания. Сформулирован вывод о необходимости комплексного учета всех перечисленных метрик.*

**Ключевые слова:** беспроводная сеть, когнитивное радио, метрика, мобильное коммуникационное устройство, программно-определяемая радиосистема, точка доступа.

### Введение

Современная парадигма мобильной связи базируется на тесной интеграции технологии беспроводных сетей (БС) и сотовой связи, делающая эти методы доступа неразличимыми для конечного пользователя. Беспроводные компьютерные сети – это технология, позволяющая создавать вычислительные сети, полностью соответствующие стандартам для обычных проводных сетей, без использования кабельной проводки [1]. Существующая проблема перегруженности доступного радиоспектра только усугубляется, необходимы новые, «интенсивные», подходы к использованию имеющегося частотного ресурса. К числу таких подходов относится программно-определяемая радиосистема, которая может быть настроена на произвольную полосу частот и принимать различные виды модулированного сигнала. Второе направление – это система когнитивного радио [2], использующая технологию, позволяющую этой системе получать знания о своей среде эксплуатации и о своем внутреннем состоянии; динамически и автономно корректировать согласно полученным знаниям свои эксплуатационные параметры и протоколы для достижения заранее поставленных целей, самообучаясь на основе полученных результатов.

**Анализ публикаций.** Роль телекоммуникационных систем в современном мире все возрастает, возрастает и объем передаваемой информации. Отрасль телекоммуникаций переживает бурный рост и рождение новых видов связи: интернет, сотовая связь, мобильная спутниковая телефония. В процессе развития перечисленных направлений отрасли уже несколько раз сменились поколения стандартов.

### Изложение основного материала

Комитет по стандартам IEEE 802 сформировал рабочую группу по стандартам для беспроводных

локальных сетей 802.11 в 1990 году. Эта группа занялась разработкой всеобщего стандарта для радиооборудования и сетей, работающих на частоте 2,4 ГГц со скоростями доступа 1 и 2 Мбит/с. Работы по созданию стандарта были завершены через 6 лет, последний черновой вариант стандарта был представлен в ноябре 1995 г. Представление в Международную организацию по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO) произошло в марте 1996 г. Первые комплексные испытания прошли в марте 1996 г., окончательные комплексные испытания – в июле 1996 г., а в июне 1997 года была ратифицирована первая спецификация стандарта 802.11. Стандарт IEEE 802.11 стал первым стандартом для продуктов WLAN от независимой международной организации, разрабатывающей большинство стандартов для проводных сетей.

Совместимость продуктов различных производителей устройств в стандарте 802.11 гарантируется независимой организацией – Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA), которая была создана лидерами индустрии беспроводной связи в 1999 году. В 2000 году WECA была переименована в Wi-Fi Alliance. В настоящее время членами Wi-Fi Alliance являются более 320 компаний, в том числе такие известные производители, как Cisco, 3Com, IBM, Intel, Apple, Compaq, Dell, Fujitsu, Siemens, Sony, AMD и прочие [3].

На канальном уровне стандартной модели OSI все спецификации 802.11 определяют 2 подуровня: управления логической связью (Logical Link Control, LLC) и управления доступом к носителю (MAC). 802.11 использует тот же LLC и 48-битовую адресацию, что и другие сети 802. Это позволяет легко объединять беспроводные и проводные сети, однако MAC уровень имеет кардинальные отличия, поскольку стандарт 802.11 предусматривает использование полудуплексных приёмопередатчиков.

Стандарт 802.11 определяет два типа оборудования – клиент, который обычно представляет собой компьютер, укомплектованный беспроводной сетевой интерфейсной картой (Network Interface Card, NIC), и точку доступа (Access point, AP), которая выполняет роль моста между беспроводной и проводной сетями.

Стандарт IEEE 802.11 определяет два режима работы сети – режим "Ad-hoc" и клиент/сервер (или режим инфраструктуры – infrastructure mode).

Режим «Ad-hoc» (также называемый точкой (Peer to Peer), или независимый базовый набор служб, IBSS) – это простая сеть, в которой связь между многочисленными станциями устанавливается напрямую, без использования специальной точки доступа [4]. Такой режим полезен в том случае, если инфраструктура БС не сформирована, либо по каким-то причинам не может быть сформирована.

В режиме клиент/сервер БС состоит из, как минимум, одной точки доступа, подключенной к проводной сети, которая выполняет в беспроводной сети роль своеобразного концентратора, и некоторого набора беспроводных оконечных станций. Такая конфигурация носит название базового набора служб (Basic Service Set, BSS). В режиме BSS все станции связываются между собой только через AP, которая может выполнять также роль моста к внешней сети. Два или более BSS, образующих единую подсеть, формируют расширенный набор служб (Extended Service Set, ESS). В расширенном режиме ESS существует инфраструктура нескольких сетей BSS, причем сами точки доступа взаимодействуют друг с другом, что позволяет передавать трафик от одной BSS к другой.

Достижения в области когнитивного радио сделали динамическое распределение радиоспектра в беспроводных системах технически осуществимым. Но в настоящее время большинство научно-исследовательских публикаций сосредоточено на нижних двух уровнях семиуровневой модели OSI, а управление логической организацией такой сети требуют решения существенных технических проблем во многих аспектах, включая алгоритмы управления радиоресурсами. Эффективная схема управления доступом должна одновременно обеспечивать и максимальное использование ресурсов радиосвязи, и качество услуг.

В условиях гетерогенной беспроводной сети актуальной задачей является обеспечение прозрачного перемещения абонента, что реализуется за счет процедуры передачи обслуживания от одной точки доступа или базовой станции к другой. Передача обслуживания между соседними точками доступа сети одной технологии называется горизонтальной, между разными типами сетей – верти-

кальной. В гетерогенной сетевой среде параметры разных типов сетей находятся в разных диапазонах, поэтому необходима разработка такого критерия и алгоритма, который бы учитывал максимальное количество параметров.

Анализ способов измерения качества услуг, или качества обслуживания в беспроводных сетях является целью данной статьи. Измеренное значение такого качества является критерием для принятия решения о передаче обслуживания, выборе оптимального маршрута в сети и т.д. [5, 6].

### Метрики затрат ресурсов

Принятие решения о горизонтальной передаче обслуживания в гомогенных сетях происходит на основе метрик RSS (Received Signal Strength - мощность принимаемого сигнала) и доступности канала. Возможны следующие варианты передачи обслуживания на основе метрик RSS, когда выбор новой БС осуществляется, если [7]:

- ее сигнал мощнее сигнала текущего канала (выбрать базовую станцию  $B_{new}$ , если  $RSS_{new} > RSS_{old}$ );

- ее сигнал мощнее и сигнал текущей БС ниже заданного порогового значения  $T$  (выбрать  $B_{new}$ , если  $RSS_{new} > RSS_{old}$  и  $RSS_{old} < T$ );

- RSS новой БС больше, чем RSS старой БС на заданную величину гистерезиса  $H$  (выбрать  $B_{new}$ , если  $RSS_{new} > RSS_{old} + H$ );

- RSS новой БС больше, чем RSS старой БС на заданную величину гистерезиса  $H$ , а сигнал текущей БС ниже заданного порогового значения  $T$  (выбрать  $B_{new}$  если  $RSS_{new} > RSS_{old} + H$  и  $RSS_{old} < T$ ).

Для всех перечисленных вариантов возможно также применение таймера задержки, когда передача происходит при выполнении условия передачи на продолжении заданного интервала времени таймера.

В вертикальных передачах обслуживания в условиях гетерогенных сетей единственной метрики RSS не достаточно, поскольку RSS из разных сетей не могут быть сопоставлены непосредственно в связи с различными характеристиками этих сетей. Широкое распространение получили следующие дополнительные метрики [8].

1. Количество переключений широко используется в качестве метрики маршрутизации в существующих протоколах маршрутизации, таких как Dynamic Source Routing (DSR) [9], On-demand Distance Vector routing AODV [10], и др. Метрика не учитывает различия в скоростях передачи и коэффициенты потери пакетов в различных сегментах сети.

2. Стандарт IEEE 802.11s требует, чтобы все устройства поддерживали метрику времени пере-

дачи в канале (Airtime Link Metric). Эта обязательная метрика необходима для совместимости устройств. Она задается формулой [11]:

$$C_a = \left( O + \frac{B_t}{r} \right) \frac{1}{1 - e_f}, \quad (1)$$

где  $O$  и  $B_t$  – константы, определенные стандартом для различных физических реализаций:  $B_t$  – число битов в тестовом пакете (8192),  $O$  – накладные расходы доступа к каналу, которые включают в себя заголовки пакетов, кадры протоколов доступа и т.д.;  $r$  – скорость передачи данных в канале (Мбит/с);  $e_f$  – вероятность возникновения ошибки (измеряется экспериментально на пакетах длиной  $B_t$ ). Эта метрика представляет собой оценку времени передачи (в секундах) пробного пакета длиной  $B_t$  с учетом возможных ретрансляций при потерях в канале.

3. Количество ожидаемых передач (ETX – Expected transmission count) – является одной из первых метрик маршрутизации, предназначенных для беспроводных ячеистых сетей [12]:

$$ETX = \sum_{k=1}^{\infty} k p^{k-1} (1-p) = \frac{1}{1-p}, \quad (2)$$

где  $k$  – количество попыток передачи;  $p$  – вероятность удачной попытки.

Поскольку передача должна подтверждаться соответствующей квитанцией, то (2) может быть записана в виде:

$$ETX = 1 / (d_f \times d_s), \quad (3)$$

где  $d_f, d_s$  – количество ожидаемых попыток передачи пакета в прямом и обратном направлениях, необходимых для успешной передачи по конкретному беспроводному каналу связи и обеспечивающих прием пакета.

Метрика ETX не учитывает влияние различных скоростей передачи в различных беспроводных каналах связи и различных размеров пакетов данных. В длинных путях потери возрастают, поэтому метрика ETX зависит от длины пути. Метрика ETX обеспечивает простой расчет минимальных путей в сети без циклов для всех протоколов маршрутизации, но не учитывает потребление энергии.

4. Ожидаемое время передачи (ETT – expected transmission time) определяет время, необходимое для передачи пакета размером  $S$  по каналу со скоростью передачи данных  $B$  с помощью:

$$ETT = ETX \times S / B. \quad (4)$$

5. Метрики ETT и ETX не позволяют учесть возможность использования различных путей в сети. Для поиска путей с меньшим уровнем помех при использовании переадресаций в работе [13] предложена метрика – взвешенное кумулятивное ожидаемое время передачи (WCETT – Weighted

Cumulative Expected Transmission Time):

$$WCETT = (1-\beta) \sum ETT_i + \beta \times \min_{l \leq j \leq k} (X_j), \quad (5)$$

где  $\beta$  – настраиваемый параметр;

$X_j$  – сумма ожидаемых времен передачи (ETT) для всех переадресаций (скачков) канала;

$k$  – количество возможных каналов.

WCETT метрика состоит из двух слагаемых: первый определяет задержку от начала до конца канала, а второй учитывает разнообразие сегментов канала на протяжении пути.

6. Метрика ожидаемых затрат энергии на передачу (ETE – Expected Transmission Energy), предложена в [14] для применения в беспроводных сенсорных сетях, исходя из предположений, что все узлы считаются одинаково важны, а потеря любого из них ведет к потере контроля над определенным пространством в области зондирования. Для предотвращения этой ситуации необходимо обеспечить:

– примерное равенство остаточных значений запасов энергии ( $E_i$ ) в узлах сети после передачи:

$$\min(\delta_E^2) = \min\left(\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2 / n\right), \quad (6)$$

где  $n$  – количество узлов в сети;

$\bar{E}$  – средняя энергия;

– отсутствие превышения над заданным порогом  $E_t$  общих затрат на передачу:

$$\bar{E}_c = \sum_{i=1}^{n_j} E_i / n_j \leq E_t, \quad (7)$$

где  $n_j$  – количество узлов в пути передачи;

$E_i$  – энергетические затраты в узлах, задействованных в передаче.

Комбинируя предложенную метрику с рекомендованной стандартом IEEE 802.11s метрикой времени передачи в канале, авторы предлагают с учетом нормализации:

$$C_a = \left( O + \frac{B}{r} + \sum_{i=1}^{n_j} \frac{E_{init}}{100E_i} \right) \frac{1}{1 - e_f} + \frac{\sum_{i=1}^{n_j} E_i}{E_{init} n_j}, \quad (8)$$

где  $E_{init}$  – начальная энергия узла.

При выборе протокола маршрутизации важно обеспечивать эффективность его работы в широком диапазоне сценариев, с этой целью необходимо применять гибридный подход, суть которого состоит в том, что каждый узел использует информацию, полученную проактивно, пока не обнаружит, что эта информация неверна (в этом случае узел запускает реактивный сбор сетевой информации). Такой подход применяется в протоколе HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol – гибридный протокол для беспроводных mesh-сетей) [15 – 17].

7. В работе [18] предложена метрика, объединяющая метрику WCETT с задержкой переключения (hop delay).

Пусть  $P$  – путь между узлом-источником  $S$  и узлом-приемником  $P$ :

$$P = \{S, N_1, N_2 \dots N_m, D\},$$

где  $\{N_1, N_2 \dots N_m\}$  – множество промежуточных узлов.

Связи между узлами – это пары, определенные на множестве  $P$ :

$$l_i = \langle S, N_1 \rangle; \forall i, 2 \leq i \leq m, l_i = \langle N_{i-1}, N_i \rangle; l_{m+1} = \langle N_m, D \rangle.$$

Тогда метрика связи  $l_i$ :

$$M_{l_i} = (1 - \beta) E T T_{l_i} + \beta (DL_i - \max X_j), \quad (9)$$

где  $DL_i$  – задержка переключения связи  $l_i$ ,

$X_j$  – максимальное значение метрики двойного переключения на канале  $j$ .

Общая метрика пути определяется как сумма метрик связей:  $M_p = \sum_{i=1}^{m+1} M_{l_i}$ .

8. Метрика, учитывающая энергетические возможности узлов в сети для расширения протокола маршрутизации HWMP [19], прогнозирует максимальную продолжительность работы устройства в режиме ожидания с выключенным сетевым интерфейсом, которая зависит от остаточной емкости аккумуляторной батареи:

$$L_{\max} = C / I_{\min}, \quad (10)$$

где  $C$  – номинальная емкость батареи узла в соответствии со спецификацией,

$I_{\min}$  – минимальный ток разряда батареи.

Метрика, учитывающая энергетические возможности узлов – это относительная величина в интервале  $[0, 1]$ :

$$M_E = 1 - \frac{T_E}{T_{\max}} = \frac{L_{\max} + L^2}{L \cdot T_{\max}}, \quad (11)$$

где  $T_e = L_{\max} / L + L = (L_{\max} + L^2) / L$ ,  $T_{\max}$  – максимальное значение величины  $T_e$ , введенное в формулу для приведения диапазона значений  $M_E$  к отрезку  $[0, 1]$ .

### Метрики качества обслуживания в беспроводных сетях

Сетевые механизмы должны использоваться в комбинации с характеристиками качества обслуживания, формируемыми в зависимости от требований приложений.

Различные типы приложения или сервисов требуют различные скорости передачи данных, сетевых задержек, уровни надежности и безопасности. Насыщенные данными приложения, такие как потоковое видео, будут работать лучше, если

пропускная способность будет высокой. Приложениям, которые работают в реальном времени, необходима минимальная задержка сети, прочие приложения не так чувствительны к латентности сети.

Для большинства случаев качество связи определяется четырьмя параметрами:

– полоса пропускания описывает номинальную пропускную способность среды передачи информации, определяет ширину канала;

– потеря пакетов (Packet loss). Определяет количество пакетов, потерянных в сети во время передачи;

– задержка при передаче пакета, измеряется в миллисекундах;

– колебания (дрожание) задержки при передаче пакетов – джиттер.

Джиттер или фазовое дрожание цифрового сигнала данных [20] – нежелательные фазовые и/или частотные случайные отклонения передаваемого сигнала. Возникают вследствие нестабильности задающего генератора, изменений параметров линии передачи во времени и различной скорости распространения частотных составляющих одного и того же сигнала.

В телекоммуникациях под джиттером часто понимается разброс максимального и минимального времени прохождения пакета.

Различные виды прикладных задач критичны к различным показателям качества связи (табл. 1). Так, для телемедицины точность доставки более важна, чем суммарная средняя задержка или джиттер, тогда как для IP-телефонии джиттер и задержка являются ключевыми характеристиками и должны быть минимизированы.

В вертикальных передачах обслуживания в условиях гетерогенных сетей необходимо учесть следующие дополнительные метрики для принятия решения о передаче [21].

1. Стоимость услуг является одним из основных моментов для пользователя, поскольку различные сетевые операторы и поставщики услуг могут использовать различные планы и стратегии биллинга. Некоторые компании в целях экономии предпочитают использовать пути через собственные каналы, а не более высокопроизводительные, но платные каналы других операторов.

2. Величина энергопотребления может быть существенным фактором для передачи обслуживания из-за ограниченности автономной работы при питании от батареи. Например, когда уровень заряда батареи уменьшается, возрастает предпочтительность выбора сети с меньшим энергопотреблением.

3. Безопасность. Способность сети (в том числе операторов сетей и корпоративных сетей) про-

тивостоять нападению вирусных программ, злоумышленников и хакеров, защита сетевой инфраструктуры, конфиденциальности и целостности данных клиентов является важным вопросом, и иногда может стать решающим фактором в выборе сети.

4. Условия работы мобильного устройства, так, например, передача к вложенной сети не рекомендуется при движении на высокой скорости, поскольку вскоре снова придется делать передачу

обслуживания к первоначальной сети из-за выхода устройства из зоны покрытия вложенной сети.

5. Пользовательские настройки, такие как предпочтительный оператор, тип технологии, допустимая максимальная стоимость также должны учитываться. В зависимости от доступных сетей и решаемых задач пользователь может выбрать безопасную и дорогую сеть для его официального почтового трафика, но предпочесть более дешевую сеть для доступа к веб-информации.

Таблица 1

Чувствительность прикладных задач к различным показателям качества связи

Показатель качества связи	Уровень чувствительности			
	Полоса пропускания	Потеря пакетов	Задержка	Джиттер
Передача голоса	Очень низкий	Средний	Высокий	Высокий
Электронная коммерция	Низкий	Высокий		Низкий
Транзакции				
Электронная почта		Средний	Средний	
Telnet				
Разовый поиск в сети	Средний	Средний	Высокий	
Постоянный поиск в сети				
Пересылка файлов	Высокий	Средний	Низкий	Высокий
Видеоконференции				
Мультикастинг		Высокий	Высокий	

Метрика отдельных каналов может быть статической (задаваемой администратором сети) и динамической. Пример первой – метрика стоимости. Динамическая метрика может определяться как пассивно, без дополнительных служебных пакетов, так и использовать специальные "пробные" пакеты для сбора статистики по каждому каналу (задержки, потери и пр.)

## Выводы

Все известные метрики для принятия решения о передаче обслуживания в гетерогенных беспроводных сетях мобильных коммуникационных устройств можно разделить на 2 категории.

Первая из них – метрики затрат ресурсов для функционирования беспроводной сети поддается количественному измерению. В зависимости от решаемой задачи могут измеряться длина маршрута, время на доставку сообщения, затраты энергии мобильного устройства и т.д.

Вторая – метрики качества обслуживания в беспроводных сетях характеризуется большей сложностью и неоднозначностью. Помимо обще-

признанных характеристик, таких как полоса пропускания, количество потерянных пакетов, задержек при передаче пакета, джиттера, для конечного пользователя не менее важны стоимость услуг, безопасность, скорость расходования заряда аккумуляторной батареи.

Следовательно, эффективные методы маршрутизации, горизонтальной, а тем более вертикальной передачи обслуживания в гетерогенных беспроводных сетях должны базироваться на комплексном учете метрик двух перечисленных категорий.

## Список литературы

1. Таненбаум Э. Компьютерные сети [Текст] / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл // СПб.: Питер, 2012. – 960 с.
2. Гурьянов И.О. Когнитивное радио: новые подходы к обеспечению радиочастотным ресурсом перспективных радиотехнологий [Текст] / И.О. Гурьянов // Электросвязь. – 2012. – №8. – С. 5-8.
3. Member Companies | Wi-Fi Alliance [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://www.wi-fi.org/who-we-are/member-companies>.
4. Rashvand H.F Dynamic Ad-Hoc Networks [Text] / H.F. Rashvand, H.-C. Chao. – London: The Institution of Engineering and Technology, 2013. – 506 p.

5. Adibi S. *Quality of service architectures for wireless networks: performance metrics and management [Text]* / Sasan Adibi. – Hershey, PA: Information Science Reference, 2010. – 716 p.
6. Вишнеvский В. Маршрутизация в широкополосных беспроводных mesh-сетях стандарта IEEE 802.11s [Текст] / В. Вишнеvский, Д. Лаконцев, А. Сафонов, С. Шпилев // Электроника. – 2008. – № 6. – С. 64-69.
7. Pahlavan K. *Handoff in Hybrid Mobile Data Networks [Text]* / K. Pahlavan // IEEE Personal Comm. – 2000. – P. 34-47.
8. Siddiqui F. *Mobility Management across Hybrid Wireless Networks: Trends and Challenges [Text]* / F. Siddiqui, S. Zeadally // Computer Communications. – 2006. – P. 1363-1385.
9. Johnson D.B. *Dynamic source routing in AdHoc wireless networks [Text]* / D.B. Johnson, D.A. Maltz // Mobile Computing, vol. 353, Kluwer Academic, Boston, Mass, USA, 1996. – P. 320-328.
10. Perkins C. *Ad-Hoc on-demand distance vector routing [Text]* / C. Perkins // Proceedings of the IEEE Military Communications Conference on Ad Hoc Networks (Milcom '97), 1997. – P. 34-44.
11. IEEE 802.11s Task group, *Draft Amendment to Standard for Information Technology – Telecommunication and Information Exchange Between Systems – LAN/MAN Specific Requirements. Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specification: Amendment: ESS Mesh Networking, IEEE P802.11s/D4.0, December 2009.*
12. Ni X. *On the performance of expected transmission count (ETX) for wireless mesh networks [Text]* / Xian Ni, Kun-chan Lan, Robert Malaney // Proceedings of the 3rd International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools, 2008. – P. 120-134.
13. Skalli H. *Channel assignment strategies for multiradio wireless mesh networks: issues and solutions [Text]* / H. Skalli // Communications Magazine, IEEE, 2007. – 45 (11). – P. 86-95.
14. Jin Y.L. *Expected Transmission Energy Route Metric for Wireless Mesh Sensor Networks [Text]* / Yan Liang Jin, Hui Jun Miao, Quan Ge, Chi Zhou // International Journal of Digital Multimedia Broadcasting. – 2011. – Volume 2011. – P. 27-34.
15. Голубничая Е.Ю. Упрощенный алгоритм маршрутизации в WI-FI MESH-сетях мониторинга [Текст] / Е.Ю. Голубничая, Б.Я. Лихтциндер // Инфокоммуникационные технологии. – 2014. – Том 12, № 2. – С. 53-57.
16. Namicheishvili O. *Two models for two hop relay routing with limited packet lifetime [Text]* / Oleg Namicheishvili, Hamlet Meladze, Irma Aslanishvili // Transactions. Georgian Technical University. Automated control systems. – 2011. – No 1 (10). – P. 54-58.
17. Groenevelt R. *The Message Delay in Mobile Ad Hoc Networks [Text]* / R. Groenevelt, P. Nain, G. Koole // Proc. of Performance 2005, les-Pins, France, 2005. Published in Performance Evaluation, Vol. 62, Issues 1-4, October 2005, pp. 210-228.
18. Cheikh S.O. *New metric for HWMP protocol (NMH) [Text]* / Sidi Ould Cheikh, Malik Mubashir Hassan and Abdelhak Geuroui // International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC). – 2013. – Vol. 5. – No. 2 – P. 49-58.
19. Крикин К.В. Исследование метрик учета энергетических возможностей мобильных узлов для протоколов маршрутизации беспроводных mesh-сетей [Текст] / К.В. Крикин, Д.В. Юранов // Труды научных сессий Научная сессия МИФИ-2010. Т. 5 Информационно-телекоммуникационные системы. Проблемы информационной безопасности. – С. 112-115
20. *IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM) [Электронный ресурс]* – Режим доступа: <https://tools.ietf.org/html/rfc3393>.
21. Siddiqui F. *Mobility Management across Hybrid Wireless Networks: Trends and Challenges [Text]* / F. Siddiqui, S. Zeadally // Computer Communications. – 2006. – P. 1363-1385.

Поступила в редколлегию 23.04.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.М. Варганян, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

## МЕТРИКИ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ПЕРЕДАЧІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В ГЕТЕРОГЕННИХ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖАХ МОБІЛЬНИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ

І.Б. Туркін, Д.С. Ігнат'єв

Розглянуто сучасні напрями розвитку бездротових мереж та мобільного зв'язку. Показано, що нові напрями програмно-обумовленого та когнітивного радіо вимагають формування системи метрик для прийняття рішень про маршрут, або передачу обслуговування в гетерогенних бездротових мережах мобільних комунікаційних пристроїв. Виділено 2 класу таких метрик, що характеризують витрати ресурсів для функціонування бездротової мережі і значення показників якості обслуговування. Сформульовано висновок про необхідність комплексного врахування всіх перерахованих метрик.

**Ключові слова:** бездротова мережа, когнітивне радіо, метрика, мобільний комунікаційний пристрій, програмно-обумовлена радіосистема, точка доступу.

## METRICS FOR DECISIONS ON HANDOFF IN HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORKS OF MOBILE COMMUNICATION DEVICES

I.B. Turkin, D.S. Ignatieff

The modern directions of wireless networks and mobile communications development are described. It is shown that the new directions in software-defined and cognitive radio systems require the formation of metrics to make decisions about the route or handover in heterogeneous wireless networks of mobile communication devices. Allocated 2 class of metrics that characterize the resource costs for the operation of the wireless network and the value of the quality of service. Conclusions on the need for integrating all of these metrics are confirmed.

**Keywords:** wireless network, cognitive radio, metric, mobile communication device, Software-defined radio, access point.