

Старченко Ирина Борисовна

E-mail: star@tti.sfedu.ru.

Kirichenko Igor Alekseevitch

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: igork@fep.tti.sfedu.ru.

2, Shevchenko street., Taganrog, 347922, Russia.

Phone: +78634371795.

Pivnev Peter Petrovitch

E-mail: pivnev@fep.tti.sfedu.ru.

Starchenko Irina Borisovna

E-mail: star@tti.sfedu.ru.

УДК 681.3

Е.А. Пакулова

**КРИТЕРИИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ОБЪЕКТА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ
ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА
И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ПОДВИЖНЫХ И СТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Основной целью данной статьи является разработка критериев переключения объекта с одной беспроводной технологии связи на другую. Дано краткое описание каждого из критериев, определен алгоритм распределения нагрузки в сети. Определен круг используемых технологий передачи данных.

Беспроводная сеть; стандарта IEEE 802.11g; IEEE 802.16e; IEEE 802.21; UMTS; гетерогенная беспроводная сеть; система мониторинга и диспетчеризации подвижных и стационарных объектов; алгоритм вертикальной передачи данных; триггеры канального уровня модели OSI.

Е.А. Pakulova

**SWITCHING CRITERIONS IN VERTICAL HANDOVER TASKS
IN MONITORING SYSTEM OF MOBILE AND FIXED OBJECTS**

The main subject of this article is development of switching criterions from on wireless technology to another. The concise descriptions of each criterion and load distribution algorithm are given. The spectrum on wireless technologies is specified.

Wireless technology; IEEE 802.11g; IEEE 802.16e; IEEE 802.21; UMTS; heterogeneous wireless network; monitoring system of mobile and fixed objects; vertical handover algorithm; link layer triggers.

За последние годы правительства развитых стран обеспокоились вопросом безопасности движения на дорогах. Появляется все больше программ, ставящих перед собой цели увеличения уровня безопасности граждан на дорогах, уменьшения вероятности пробок на автотранспортных магистралях, контроля передвижения транспортных средств и пр. Для реализации подобных программ в конце XX в. были организованы рабочие группы Европы, США и Азии. Уже сейчас разработаны целые серии стандартов, охватывающие различные области функционирования всей транспортной системы мира. Введено основополагающее понятие интеллектуальной транспортной системы (ITS). Под ITS понимается совокупность вычислительных средств, средств связи, технологий позиционирования и автомати-

зации, использующих доступные в существующей транспортной системе данные с целью повышения уровня безопасности наземного транспорта и улучшения эффективности его работы [1]. Понятие ITS – комплексное, и включает в себя огромное количество различных подсистем и служб. В частности, в рамках работы над ITS были разработаны и внедрены такие подсистемы как информационная подсистема остановок общественного транспорта, подсистема адаптивного управления транспортным потоком, подсистема парковки ТС, подсистема навигации ТС и пр. В том числе в пределах понятия ITS можно выделить целый класс систем мониторинга и диспетчеризации стационарных и подвижных объектов (СМДПСО). Как правило, они предназначены для определения местоположения объекта системы, контроля и учета его технических и эксплуатационных характеристик, контроля маршрута передвижения подвижных объектов, оповещения владельца в случае тревоги через сервисы беспроводной связи.

В это же время получили повсеместное распространение общественные, корпоративные и домашние беспроводные сети, работающие в стандартах ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi, WiMAX и 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Все эти стандарты до недавнего времени использовались каждый в своей области и имели свою зону покрытия. Однако в рамках понятия интеллектуальной транспортной системы появилась необходимость их объединения в гетерогенную беспроводную сеть – для осуществления непрерывной связи объектов системы, повышения уровня ее надежности, оптимизации процессов связи. Для решения данной задачи была создана группа стандартов CALM (Communications Architecture for Land Mobile environment) организации ISO, стандарт IEEE 802.21 или MHN (Media Independent Handover), а также предложено большое количество решений различных научных организаций.

В данной статье рассмотрим критерии переключения подвижных объектов СМДПСО, влияющих на выбор той или иной точки доступа или базовой станции стандартов IEEE 802.11g, IEEE 802.16e или UMTS в рамках разработанного алгоритма вертикального переключения (Vertical Handover Algorithm, VHA). Данный алгоритм базируется на стандарте IEEE 802.21, который предоставляет необходимый интерфейс взаимодействия для технологий связи стандартов IEEE 802.3, IEEE 802.11, IEEE 802.16 и 3GPP посредством независимого от них абстрактного уровня, расположенного между канальным и сетевым уровнями модели протоколов передачи данных OSI (Open Systems Interconnection, взаимодействие открытых систем). На данном уровне определена функция «переключения, независимого от носителя» (media independent handover, MHN). Основной задачей функции MHN является координация передачи информации и команд между различными механизмами, вовлеченными в процедуру принятия решения о переключении с одного стандарта связи на другой и его исполнении [2].

Целью алгоритма вертикального переключения является оптимизация распределения нагрузки в гетерогенной беспроводной сети и, как следствие, повышение скорости передачи данных от подвижных объектов СМДПСО с учетом требований к каналу связи и системе каждого бортового устройства подвижного объекта.

Реализация алгоритма VHA позволит повысить надежность всей системы, а также интегрировать существующие системы безопасности различных стандартов беспроводной связи при передаче информации от подвижного объекта на диспетчерский пункт (ДП) в единой системе мониторинга и диспетчеризации.

Следует заметить, что алгоритм VHA должен быть реализован на каждой точке доступа (базовой станции) каждой обслуживающей MN сети. Функция MHN стандарта IEEE 802.21 решает проблемы обмена стандартными сообщениями между различными беспроводными сетями (или точками доступа) о текущем состоя-

нии связи, нагрузке по потоку сообщений, пропускной способности сети и прочее. Таким образом, всю необходимую информацию для принятия решения о переключении VNA получает посредством стандарта IEEE 802.21, а именно информацию триггеров канального уровня (Link Layer Triggers, LLT). Среди основных триггеров канального уровня, участвующих в процедуре переключения, можно выделить:

- ◆ Link_Up – триггер подключения к сети, означает, что мобильный объект подключен к точке доступа или базовой станции. В некоторых протоколах на этой стадии уже прошла взаимная аутентификация.
- ◆ Link_Down – триггер разрыва соединения, означает разрыв соединения между мобильным объектом и точкой доступа или базовой станцией.
- ◆ Link_Quality_Crosses_Threshold – триггер порога качества связи, оповещает о том, что качество связи упало ниже определенного порога и остается на том же уровне некоторый промежуток времени.
- ◆ Link_Going_Down – триггер возможного разрыва связи, предупреждает, что в скором времени возможна ситуация разрыва соединения.
- ◆ Link_Going_Up – триггер возможного установления связи, предупреждает, что в скором времени возможна ситуация установления соединения.
- ◆ Trigger_Rollback – триггер отката имеет место быть только совместно с триггерами Link_Going_Down и Link_Going_Up, в случаях когда, например, ожидается, что связь прервется (сработал Link_Going_Down), но в течение некоторого промежутка времени связь восстанавливается, в результате чего процессу, породившему Link_Going_Down, будет отправлен Trigger_Rollback.
- ◆ Better_Signal_Quality_AP_Available – триггер доступности точки доступа с лучшими параметрами связи, имеет место быть в том случае, если у мобильного объекта появилась возможность соединения с другой точкой доступа или базовой станцией с лучшими параметрами связи [3].

Исходя из этого, определим два основных критерия переключения:

- 1) уровень получаемого мобильным объектом сигнала падает ниже допустимого порога;
- 2) в зоне видимости мобильного объекта появляются другие сети с более высокой скоростью передачи данных и большей шириной пропускного канала сети.

Конкретизируем основные условия переключения для алгоритма VNA СМДПСО. Для этого введем ограничение на три стандарта связи: IEEE802.11g, IEEE 802.16e и UMTS. Это необходимо для упрощения модели СМДПСО, однако в дальнейшем спектр стандартов возможно будет расширен.

Итак, возможны три ситуации.

1. Подвижной объект обслуживается одной из точек доступа (Access Point, AP) стандарта IEEE 802.11g. В течение некоторого промежутка времени получаемый подвижным объектом сигнал RSS_a (Received Strength Signal) от точки доступа падает ниже определенного порога Q_a . В результате чего объект становится кандидатом для переключения на любые доступные базовые станции стандартов IEEE 802.16e и 3GPP, а также любые другие точки доступа стандарта IEEE 802.11g (у которых $Q_a < RSS_a$), удовлетворяющих требованиям объекта.
2. Подвижной объект обслуживается базовой станцией BS_b (Base Station) стандарта IEEE 802.16e. Если в течение некоторого промежутка времени подвижной объект получает сведения о том, что уровень сигнала от одной или нескольких точек доступа стандарта IEEE 802.11g превысил некоторый определенный порог Q_a ($Q_a < RSS_a$), то объект становится кандида-

том для переключения на точки доступа сети стандарта IEEE 802.11g. В случае, если в зоне видимости объекта нет точек доступа WiFi, а уровень получаемого подвижным объектом сигнала RSS_b от базовой станции стандарта IEEE 802.16e упал ниже определенного порога Q_b , то объект становится кандидатом для переключения на базовые станции стандартов IEEE 802.16e и UMTS, удовлетворяющих требованиям объекта.

3. Подвижной объект обслуживается базовой станцией (BS_c) стандарта UMTS. Если в течение некоторого промежутка времени MN получает сведения о том, что уровни сигналов (RSS_a и RSS_b) от одной или нескольких точек доступа или базовых станций стандартов IEEE 802.11g и IEEE 802.16e превысили некоторые определенные пороги Q_a ($Q_a < RSS_a$) или Q_b ($Q_b < RSS_b$), то объект становится кандидатом для переключения на точки доступа сети стандарта IEEE 802.11g или на базовые станции стандарта IEEE 802.16e. В случае, если в зоне видимости подвижного объекта нет точек доступа WiFi или базовых станций сети WiMAX, а уровень получаемого объектом сигнала RSS_c от базовой станции стандарта UMTS упал ниже определенного порога Q_c , то объект становится кандидатом для переключения на другие базовые станции стандарта UMTS, удовлетворяющих требованиям объекта или кандидатом для переключения в режим альтернативной передачи данных (рассмотрение данного режима не входит в круг рассматриваемых вопросов этой статьи).

Следует также отметить, что кроме доступности для подвижного объекта точек доступа или базовых станций при принятии решения о переключении учитывается степень их загруженности.

Кроме основных условий переключения, учитываются также дополнительные критерии, установленные диспетчером СМДПСО и характеризующие требования конкретного подвижного объекта к сети передачи данных.

Итак, среди дополнительных критериев переключения можно выделить:

- ◆ стоимость услуг передачи данных;
- ◆ скорость передачи данных;
- ◆ качество обслуживания сети;
- ◆ приоритет объекта в системе;
- ◆ уровень безопасности сети.

Практически все эти данные, косвенно или напрямую, алгоритм VHA получает от информационного сервиса функции MHN стандарта IEEE 802.16e, а именно от следующих информационных элементов (Information Element, IE):

- ◆ List of networks available – список доступных беспроводных сетей;
- ◆ Operator – имя оператора связи;
- ◆ Cost – стоимость услуг связи;
- ◆ Security – алгоритмы безопасности, поддерживаемые канальным уровнем (например, WEP для IEEE 802.11 и PKM для IEEE 802.16);
- ◆ Quality of Service – параметры качества обслуживания сети [2].

Теперь опишем математическим языком параметры беспроводной гетерогенной сети, существенные для алгоритма VHA, в том числе и уже изложенные.

Прежде всего, определим состав гетерогенной сети – определим три множества:

- ◆ множество точек доступа (Access Point, AP) стандарта IEEE 802.11g как непустое конечное множество $A = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$;
- ◆ множество базовых станций (Base Station, BS_b) стандарта IEEE 802.16e как непустое конечное множество $B = \{b_1, b_2, \dots, b_K\}$;

- ◆ множество базовых станций (Base Station, BS_c) стандарта UMTS как непустое конечное множество $C = \{c_1, c_2, \dots, c_M\}$.

Теперь определим множество всех подвижных объектов как непустое конечное множество $\bar{U} = \{u_1, u_2, \dots, u_L\}$. Поскольку подвижной объект постоянно перемещается, он может переходить от одной базовой станции (точки доступа) к другой, при этом теряя на некоторое время связь и запрашивая процедуру переключения на другой стандарт связи. Поэтому разобьем множество всех подвижных объектов на два подмножества: на те подвижные объекты, которые имеют хорошую стабильную связь со своей точкой доступа (или базовой станцией), и те, которые находятся в процессе поиска пункта подключения и стабильной связи не имеют.

Таким образом, пусть $U_t = \{u_{n_1}, u_{n_2}, \dots, u_{n_{m(t)}}\}$ есть множество подвижных объектов, запрашивающих процедуру переключения в момент времени t , где $n_1, n_2, \dots, n_{m(t)}$ – соответствующие индексы подвижных объектов, в то время как $V_t = \bar{U} - U_t$ есть непустое конечное множество объектов, имеющих хорошее соединение.

Очевидно, что в один и тот же момент времени объект может обслуживаться только одной технологией связи среди IEEE 802.11g, IEEE 802.16e и UMTS. Исходя из этого разобьем множество V_t на три подмножества $V_t^{(a)}, V_t^{(b)}, V_t^{(c)}$ в зависимости от того, к какой из них обслуживается объект $u_j \in V_t$.

Каждая сеть беспроводной передачи данных может обслуживаться разными операторами связи. Поэтому выделим непустое конечное множество операторов связи O , в котором, в свою очередь, опишем три подмножества O_a, O_b и O_c , в зависимости от стандарта связи, поддерживающего этими операторами, IEEE 802.11g, IEEE 802.16e и UMTS. Отметим, что информацию об операторах связи O_a, O_b и O_c алгоритм VHA получает от одного из информационных элементов функции MIN стандарта IEEE 802.21.

В зависимости от сети связи и обслуживающего ее оператора связи варьируется и стоимость услуг, предоставляемых подвижному объекту. Определим ее как PCost – это один из дополнительных критериев, учитываемых при переключении. Данный критерий также определен одним из информационных элементов функции MIN стандарта IEEE 802.21.

Теперь определим понятие скорости передачи данных. Этот критерий переключения крайне важен при выборе той или иной сети связи. Реальная скорость передачи данных в любой сети существенно ниже скорости подключения. Поэтому определим понятие реальной скорости для подвижных объектов множеств $V_t^{(a)}, V_t^{(b)}, V_t^{(c)}$ как $e_{ij}^{(a)}, e_{ij}^{(b)}, e_{ij}^{(c)}$ соответственно. Очевидно, что для подвижных объектов, вовлеченных в процедуру переключения, реальную скорость определить нельзя, так как у них нет стабильной связи ни с одной точкой доступа или базовой станцией. Поэтому для каждого подвижного объекта из множества U_t определим ($u_j \in U_t$) требуемую скорость передачи данных r_j . Это и будет являться вторым дополнительным критерием для переключения объекта. Таким образом, при поиске подвижным объектом точки доступа или базовой станции последние должны обеспечить скорость не ниже r_j .

Для этого определим параметр загруженности точки доступа ρ_i (или базовой станции) и соответственно возможной предоставляемой подвижному объекту скорости w_j ($w_j \geq r_j$).

Для более простого описания системы опустим значения времени во множествах $U_t, V_t, V_t^{(a)}, V_t^{(b)}, V_t^{(c)}$ а взамен введем новые множества U, V, V_a, V_b, V_c . Итак, определим действующую нагрузку на точку доступа $a_i \in A$ ($1 \leq i \leq N$) как

$$\rho_a = \sum_{u_i \in V_a} e_{ij}, \text{ где } 1 \leq i \leq N.$$

Нагрузка на базовую станцию $b_i \in B$ ($1 + N \leq i \leq N + K$) будет определяться как

$$\rho_b = \sum_{u_i \in V_b} e_{i'j}^{(b)}, \text{ где } 1 + N \leq i \leq N + K$$

и нагрузка на базовую станцию $c_i \in C$ ($1 + N + K \leq i \leq N + K + M$) определяется как

$$\rho_c = \sum_{u_i \in V_c} e_{i''j}^{(c)}, \text{ где } 1 + N + K \leq i \leq N + K + M.$$

Алгоритмы распределения скорости для точек доступа и базовых станций описаны в стандартах IEEE 802.11g, IEEE 802.16e и UMTS, определим их как D_a, D_b и D_c соответственно. Таким образом, возможная предоставляемая для подвижного объекта скорость w_j будет зависеть от действующей на точку доступа или базовую станцию нагрузки, и определяться алгоритмом распределения скорости D_a, D_b и D_c , т.е.

$$\begin{aligned} \text{для AP } a_i \in A \ (1 \leq i \leq N) \quad w_a &= D_a(\rho_a), \\ \text{для BS}_b \ b_i \in B \ (1 + N \leq i \leq N + K) \quad w_b &= D_b(\rho_b), \\ \text{для BS}_c \ c_i \in C \ (1 + N + K \leq i \leq N + K + M) \quad w_c &= D_c(\rho_c). \end{aligned}$$

При выборе точки подключения подвижной объект среди всех прочих условий должен проверить условие ($w_j \geq r_j$). Если оно выполняется, то подвижной объект может рассматривать точку доступа или базовую станцию как точку возможного подключения, в противном случае – нет.

Третий дополнительный критерий – критерий качества обслуживания сети (Quality of Service, QoS). Он определяет гарантированный уровень надежности сети и означает вероятность того, что сеть связи соответствует заданному соглашению о трафике.

Основными параметрами QoS считаются:

- ◆ полоса пропускания (Bandwidth) – определяет ширину канала;
- ◆ задержка при передаче пакета (Latency);
- ◆ колебания задержки при передаче пакетов (Jitter);
- ◆ потеря пакетов (Dropped packets);
- ◆ ошибки при передаче (Errors);
- ◆ и пр.

Таким образом, подвижной объект может взаимодействовать только с теми точками подключения (AP, BS_b или BS_c), которые смогут обеспечить надлежащий уровень QoS.

Четвертым дополнительным критерием для переключения является приоритет объекта в системе PSig. Он устанавливает диспетчером системы для каждого объекта и выражает важность объекта в системе. Приоритет объекта в системе необходим для разрешения конфликтов объектов при подключении к одной и той же точке доступа или базовой станции. Объект с более высоким уровнем приоритета имеет больше шансов на подключение.

Пятым критерием при переключении является уровень безопасности передачи данных. Как известно, в любом стандарте группы IEEE и в стандарте UMTS определены алгоритмы обеспечения безопасности передаваемых данных. Целью данной статьи не является их рассмотрение и сравнение. Мы лишь определим па-

параметр безопасности PSec. В нашей системе определены три таких параметра: PSec_a, PSec_b и PSec_c. Как уже упоминалось ранее, необходимые данные о параметрах безопасности. Алгоритм VHA получает посредством одного из информационных элементов функции MHN стандарта 802.21.

Таким образом, при выборе той или иной сети объект посредством алгоритма VHA опирается на основные и дополнительные критерии переключения, которые определяют доступность точек подключения с большей шириной пропускного канала, возможную предоставляемую подвижному объекту скорость, уровень безопасности возможного подключения, а также его стоимость. Все эти данные позволяют алгоритму VHA распределить нагрузку в сети и повысить общий уровень безопасности, что крайне важно для системы с большим количеством разнотипных объектов, каковой является СМДПСО.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. International Telecommunication Union, "Intelligent Transport system and CALM", ITU-T Technology Watch Report #1, October 2007.
2. Institute of Electrical and Electronics Engineers, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Part 21: Media Independent Handover Services", IEEE Std 802.21, 2008.
3. *Vivek G Gupta, David Johnston*, Intel Corporation. A Generalized Model for Link Layer Triggers, IEEE 802.21, 2004.

Пакулова Екатерина Анатольевна

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: pakulova_e@mail.ru.

347900, г. Таганрог, ул. Чехова, 2, ком. 412.

Тел.: +79185299149.

Pakulova Ekaterina Anatol'evna

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Autonomy Establishment of Higher Vocational Education "Southern Federal University".

E-mail: pakulova_e@mail.ru.

Room 412, 2, Chekhov street, Taganrog, 347900.

Phone: +79185299149.