

HRP (ГПМ): гибридный протокол маршрутизации для беспроводной ячеистой сети.

Авторы статьи: Мухаммад Шоаб Сиддик, Сон Чон Хонго (Кафедра вычислительной техники, Университета Кенг Хи)

Автор перевода: Климов И. А.

Аннотация

Беспроводная ячеистая сеть представляет собой особый тип (MANET) (с англ. Mobile Ad hoc Network) — беспроводные децентрализованные самоорганизующиеся сети, состоящие из мобильных устройств. Каждое такое устройство может независимо передвигаться в любых направлениях, и, как следствие, часто разрывать и устанавливать соединения с соседями, в которых большинство из узлов являются статическими или имеют относительно фиксированное положение. Большая часть решений беспроводных сетей (БС) предоставляются с использованием гибридных сетей, которые состоят из статических маршрутизаторов инфраструктуры и специальных компонентов мобильных клиентов. Так как оба, реактивный и проактивный протоколы кажутся неэффективными в сложившихся условиях, поэтому необходим гибридный подход. В настоящем документе предлагается гибридный протокол маршрутизации, который сочетает в себе преимущества обоих, реактивного и проактивного протоколов маршрутизации, чтобы обеспечить эффективное решение для заинтересованных этой проблемой.

1. Введение

Беспроводные сотовые сети БСС (WMNs) [1] представляют собой хорошее решение для обеспечения беспроводного подключения к Интернету в значительные географические районы; это новая и перспективная парадигма позволяет развертывание сети за гораздо более низкую цену, чем классическая беспроводная сеть. В БСС можно покрыть те же площади, по сравнению с WiFi, с меньшим количеством беспроводных маршрутизаторов, что делает использование БСС предпочтительными в экономическом плане [2]; БСС,

таким образом, пригодны для областей, в которые не существуют кабельных линий или для развертывания временной беспроводной сети.

БСС имеют высокую надежность, так как каждый узел подключен к нескольким другим узлам. Если один узел выпадает из сети из-за поломки оборудования или по другой причине, ее соседям просто найти другой маршрут. Дополнительные мощности могут быть установлены простым добавлением узлов. Mesh сети может включать фиксированные или мобильные устройства, как показано на рисунке 1. Принцип прост: данные будут прыгать от одного устройства к другому, пока они не достигнут заданного места назначения. Одним из преимуществ является то, что, чем естественней системы балансировки нагрузки, тем для многих устройств пропускная способность становится более доступной. Так как эта беспроводная инфраструктура имеет потенциал, чтобы быть намного дешевле, чем традиционные сети, многие беспроводные сообщества сетевых групп уже создают беспроводные mesh сети.

На практике mesh сети не полностью mesh сети, а лишь частично. На практике пример беспроводной mesh сети – гибридная mesh сеть. Гибридная mesh сетка состоит из множества ad hoc узлов многих беспроводных клиентов. С другой стороны, магистральный маршрутизатор в действительности статичен или малоподвижен. Каждый ad hoc компонент связан с маршрутизатором, который присутствует в магистральном маршрутизаторе. Каждый маршрутизатор управляет своим ad hoc компонентом, указывая при этом адрес, маршруты до места назначения, аутентификацию и безопасность коммуникаций с узлами на его ad hoc регион¹. Поскольку узлы в ad hoc компонентах могут быть весьма мобильные, топология, в пределах ad hoc области, часто изменяется, а узлы динамически соединены произвольным образом. Кроме того, эти беспроводные клиенты имеют низкую мощность передачи, ограниченную мощности и малые диапазоны частот. Небольшой диапазон передачи ограничивает количество

соседних узлов, что еще больше увеличивает частоту изменения топологии, из-за узла мобильности. Все эти факторы складываются и делают маршрутизацию затруднительной.

2. Маршрутизация в WMN

В беспроводных mesh сетях (WMNS), узлы имеют относительные фиксированные положения и связь в Интернет через один или более шлюзов. В то время как традиционная специальная маршрутизация алгоритмов, таких как DSR [3] и AODV [4], может быть использована в WMNS, их производительность, как правило, меньше, чем идеальная [5].

Проблема в том, что такие алгоритмы делают предположения, что они больше не являются истинными в WMNS, и те предположения могут иметь значительные потери производительности в mesh среде.

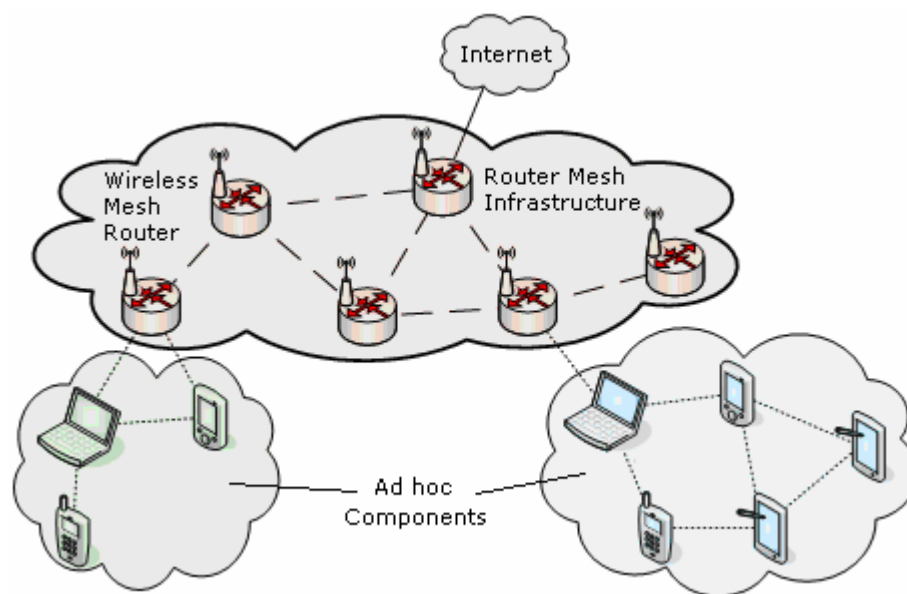


Рисунок 1: Пример беспроводной mesh сети (гибрид Mesh)

Номера протоколов маршрутизации, [5] были предложены для WMNS. Эти протоколы могут быть классифицированы как проактивные протоколы и реактивные протоколы. 2.1.

2.1 Проактивная маршрутизация

Проактивные протоколы табличны и будут активно определять расположение в сети. Через регулярные обмена сетевых пакетов топологии

между узлами сети, полное представление о сети поддерживается на каждом узле [6]. Существует, следовательно, минимальная задержка при определении маршрута должны быть приняты. Это особенно важно для срочности трафика. Однако недостатком к активному протокола является то, что продолжительность срока делает ссылку значительно короткой. Это явление вызвано увеличением подвижности узлов которые будут подавать информацию о маршрутизации в таблице недействительным быстро.

Когда информация о маршрутизации быстро становится недействительной, есть много коротких маршрутам, которые определяются и не используется прежде чем они превратятся в недействительные. Итак, еще одним недостатком результатов с увеличением подвижности объем трафика верхний генерируется при оценке этих ненужных маршрутов. Это особенно усугубляется когда размер сети увеличивается. Долю общего управления трафика, которая состоит из реальных практических данных, дополнительно уменьшена.

Наконец, если узлы передают редко, большинство маршрутной информации считается излишним. Узлы, тем не менее, продолжают расходовать энергию, постоянно обновления эти неиспользуемые записи в свои таблицы маршрутизации. таким образом активные протоколы работают лучше всего в сетях, которые имеют низкую подвижность узла или где узлы передачи данных чаще.

Примеры активного протоколы включают: OLSR [7], TBRPF [8], DSDV [7, 9] LANMAR [10], и т.д.

2.2. Реактивная маршрутизация

Реактивные протоколы только находят маршрут к узлу назначения когда есть необходимость передавать данные [11]. Исходный узел начинает с передачи маршрутов на запросы по всей сети. Отправитель будет ожидать узел назначения или промежуточный узел (который имеет маршрут до пункта назначения), реагировать с перечнем промежуточных узлов между источником и назначения. Это известно как масштабный поиск, который, в свою очередь,

приводит к значительной задержке, прежде чем пакет может быть передан [11]. Он также требует передачу значительного количества регулирования трафика. Таким образом, реактивные протоколы являются наиболее подходящими для сетей с высокой мобильностью узла или где узлы передают данные нечасто. Примерами реакционноспособных протоколов включают в себя: AODV [4], DSR [3], TORA [12] и т.д.

2.3. Гибридная маршрутизация

Так как проактивные и реактивные протоколы маршрутизации работает лучше в противоположном сценариев, есть все основания развивать гибридные протоколы маршрутизации, которые используют сочетание предупреждающие и реагирующие протоколы маршрутизации. Эти гибридные протоколы могут использоваться, чтобы найти баланс между проактивным и реактивным протоколами. Основная идея гибридных протоколов маршрутизации является использование активной маршрутизации

механизмы в некоторых районах сети в определенное время и реактивной маршрутизации для остальной части сети [6]. В связи с двойственной природой гибридной сети, мы предлагаем гибридный протокол. Наш протокол призван обеспечить оптимальное решение для гибридной mesh сети путем объединения лучших свойства проактивного и реактивного протоколов. Другой разновидностью гибридных реактивных/проактивных протоколов маршрутизации является Зоновый Протокол Маршрутизации Корнелла (ЗПМ) [13] и научно-исследовательский корпорации – Беспроводной протокол маршрутизации для одноранговых сетей (WARP).

3. Предлагаемый протокол

3.1. Мотивация

И проактивные, и реактивные протоколы имеют свои преимущества и недостатки, которые делают их пригодными для определенных типов сценариев. Так как проактивная маршрутизация обрабатывает информацию,

так, что она сразу же доступна, задержка перед отправкой пакета является минимальной. Напротив, реактивным протоколам необходимо сначала определить маршрут, который может привести к значительной задержке, если информация не доступна в кэше.

Кроме того, реактивная процедура поиска маршрута требует значительного контроля трафика из-за лавинного распространения пакетов. Это вместе с большой задержкой установки, может сделать чистой реактивную маршрутизацию менее пригодны для трафика реального времени. Тем не менее, объем трафика может быть уменьшен за счет использования схемы маршрута обслуживания. Чисто активные схемы используют большую часть пропускной способности для поддержания наиболее актуально маршрутной информации. Вследствие быстрой мобильности узлов, обновления маршрутов могут быть более частыми, чем запросы маршрутизации, и большая часть информации о маршрутизации никогда не используется. Некоторая часть из дефицитной пропускной способности, таким образом, тратится впустую [17].

Когда мы смотрим на архитектуру беспроводной mesh-сети, то можем сделать вывод, что оба эти типа протоколов сталкиваются с проблемой принятия решения [6]. Лучшим решением было бы использовать различные протоколы маршрутизации для различных частей сети. Для объявления компонентов, мы можем использовать реактивный протокол для контроля динамического изменения топологии и подвижности узлов. Активный протокол лучше подошел бы для статического маршрутизатора инфраструктуры, чтобы обеспечить быструю доступность маршрутов в маршрутизаторе ядра. На основе этой концепции, мы предлагаем гибридный протокол, который обещает обеспечить лучшее решение проблемы маршрутизации.

3.2. Архитектура

Как уже говорилось в предыдущем разделе, гибридная сетка (скелет) состоит из нескольких *ahh* компонентов и маршрутизатора инфраструктуры, который работает в качестве ядра сети. Каждый *ahh* компонент рассматривается как отдельный регион. Маршрутизатор, подключенный к

этому региону несет ответственность за выдачу адресов узлам, маршруты к узлам других регионов и сетей и управление в этом регионе. Предлагаемый протокол маршрутизации состоит из трехкомпонентов маршрутизации, как показано на рисунке 2.

Этими компонентами являются:

IntraRegionRoutingProtocol – IRRP

RouterInfrastructureRoutingProtocol – RIRP

Region Gateway Routing Protocol – RGP

Маршрутизатор инфраструктуры использует Router Infrastructure Routing Protocol. Поскольку маршрутизатор инфраструктуры имеет статические mesh-маршрутизаторы, RIRP – это семейство беспроводных активных протоколов маршрутизации, как описано в предыдущем разделе. RIRP работает на каждом узле статического маршрутизатора и обеспечивает маршруты в регионы, связанных с mesh-маршрутизаторами. Таблицы маршрутизации всегда актуальны, чтобы обеспечить немедленную маршрутизацию. Это позволяет существенно сократить задержки при определении маршрута.

В конкретном регионе или adhoc-компоненте маршруты поддерживаются с помощью компонент протокола определенных как IntraRegionRoutingProtocol – IRRP. IRRP – это семейство реактивных протоколов маршрутизации, которые поддерживают расширенный поиск маршрутов и услуги технического обслуживания маршрута на основе локальных подключений к региону в режиме adhoc.

RegionGatewayProtocol используется, когда требуется маршрут между двумя adhoc-узлами или регионами. Он получает информацию о маршрутах от RIRP и IRRP и создает полный маршрут от источника к получателю и предоставляет его в исходный узел. Это показано на рисунке 2. Когда узел требует маршрут, RGP получает информацию от RIRP и IRRP обоих adhoc-регионов и строит маршрут и отправляет его IRRP и RIRP.

Всякий раз, когда новый mesh-маршрутизатор включается в сеть или в случае сбоя соединения RIRP должен знать о событии. Для этого RIRP использует либо NeighborDiscoveryProtocol (NDP [18], для доступа к MAC-

уровню или обеспечивать эти функциональные возможности самостоятельно. Каждый узел посылает hello-пакеты другим узлам в этом районе, через постоянные интервалы времени. Если время ожидания истекает и hello-пакет не получен, то можно сказать, что есть проблема с соединением. Аналогичным образом, когда новый узел приходит в сеть, он может заявить о себе, передавая hello-пакет.

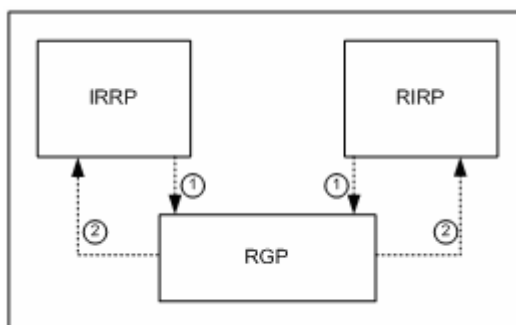


рисунок 2. Концептуальная архитектура предлагаемого протокола показывает потоки пакетов маршрутизации между компонентами.

3.3. Маршрутизация

Всякий раз, когда узел должен послать некоторые данные другим узлам, он проверяет, имеет ли он маршрут к месту назначения, если нет—он начинает фазу обнаружения маршрута. Механизм обнаружения маршрута имеет три этапа: запрос маршрута, формирование маршрута и маршрут-ответ. На этапе запросе маршрута, запроса посылается в соседние узлы, используя IRRP, если соседние узлы не имеют маршрута до места назначения, они пересылают запрос другим узлам. Если ни один узел не имеет маршрут до пункта назначения, запрос отправляется на RGP работающий на маршрутизаторе, подключенный к adhoc компоненту. Здесь RGP пытается найти маршрутизатор, подключенный к необходимому adhoc компоненту с помощью RIRP. Когда маршрут к маршрутизируемому узлу найден, RGP использует IRRP в adhoc регионе, в котором находится целевой узел, чтобы найти путь к узлу назначения.

После того, как маршрут до пункта назначения находится, весь маршрут от источника до пункта назначения формируется посредством RGP. Эта фаза называется фазой формирования пути. Когда полный маршрут сформирован,

маршрут-ответ с полной информацией отправляется к исходному узлу, который является последней фазой поиска маршрута.

Если узел назначения существует в не том же регионе, что узел отправитель или в качестве передающего узла выступает адхоскомпонент, используется только реактивная маршрутизация. IRRP обнаруживает возможные маршруты и отправляет данные по обнаруженным маршрутам.

Если принимающий узел и передающий узлы не из того же региона или адхос компонента, то для поиска маршрута используются и реактивные, и активные протоколы маршрутизации. Этап запроса маршрута дополнительно разделяется на две фазы: активную и реактивную. Маршрутизатор, подключенный к адхос региону узла отправителя, несет ответственность за активную фазу и маршрутизатор, подключенный к адхос области узла назначения, ответственен за реактивную фазу.

Сначала маршрутизатор узла-отправителя обнаруживает маршрут к адхос области узла назначения при помощи RIRP. После этого маршрутизатор узла в адхос области приемника выполняет реактивное определение маршрута с использованием IRRP, чтобы найти маршрут к узлу назначения. RGP отвечает за создание полного маршрута из двух маршрутов найденных RIRP и IRRP и отправляет его узлу-отправителю.

3.4. Обслуживание маршрута

Протокол обслуживания маршрута определяет, когда топология сети изменилась, и принимает решение, если альтернативного маршрута может быть использован (при наличии) или если Route Discovery Protocol должен быть запущен, чтобы найти новый путь. Обслуживание маршрута вызывается при обнаружении разрыва соединения во время того, как отправитель активно использует маршрут. Промежуточный узел, который определяет, что следующим узлом в маршруте недоступен, посылает пакет ошибки обратно отправителю. Отправитель после получения уведомления об ошибке может использовать другой маршрут или может выполнить поиск маршрута.

Знание топологии сети региона может быть использовано для обеспечения лучшего обслуживания маршрута. В маршрутизаторе инфраструктуры много путей для маршрутизации обеспечит надежность, балансировку нагрузки и лучшее обслуживание маршрута с небольшой задержкой и меньшим контролем трафика.

В IRRP, в связи с динамически меняющейся топологией мобильных клиентских узлов, обслуживание маршрутов имеет очень важное значение. До тех пор, пока нового маршрута не обнаружено, пакеты отбрасываются и, как обсуждалось ранее, реактивный протокол занимает больше времени при определении маршрута. Поэтому многолучевой протокол маршрутизации был бы лучшим, вариантом для построения соединения вместо того чтобы найти новый путь.

Кэш может также служить для уменьшения задержки, а также контролировать трафик при поиске путей [19]. Каждый узел может активно кэшировать маршруты и, таким образом, уменьшая частоту запуска процедуры обнаружения маршрута. Недоступный путь может быть заменен на другой локально может не охватить целый адхосрегиоу. Этот новый путь будет использоваться для замены старых поврежденных и сообщения обновлений путей могут быть отправлены другим узлам. Если эти восстановления путей снижают эффективность маршрутов, новая фаза поиска маршрута может начаться после определенного количества таких локальных восстановлений.

3.5. Пример

Предположим, что есть сеть, как показано на рисунке 3, в которой у нас есть две области адхос и одна инфраструктура маршрутизатора. Узел 'A' должен послать пакет узлу 'L'. «A» будет использовать IRRP для поиска пути к "L". Так как маршрут не найден в регионе, создается запрос с использованием RGP на маршрутизатор 'G'. Теперь 'G' ищет в своей таблице маршрутизации маршрут к месту назначения – адхос области, который он построил через RIRP. «G» имеет маршрут к месту назначения через маршрутизатор «I». Таким образом, запрос

маршрута отправляется на «I». «I» выполняет маршрутизацию по требованию, используя IRRP и находит путь к 'L'. Сейчас на «I» работает RGP для отправки этого маршрута к маршрутизатору 'G'. 'G' создает полный маршрут от источника «A» до пункта назначения "I" и отправляет маршрут-ответ на 'A'. Если были доступны несколько путей к месту назначения, то все пути будут направлены в узел «A».

4. Анализ и моделирование

Наша реализация предлагаемого протокола не является окончательной, но уже достаточно зрелой, чтобы иметь некоторое моделирование. Мы использовали уже предложенные и использованные протоколы в качестве модулей нашего протокола. Для активного компонента нами предложено использование Destination Sequenced Distance Vector (DSDV) [9]. Этот протокол маршрутизации имеет процедуру поиска маршрута в области инфраструктуры mesh-маршрутизатора. Кроме того, для выполнения этой задачи в adhoc-регионах, мы использовали Adhoc On Demand Distance Vector (AODV) [4] в качестве реактивного протокола маршрутизации. Мы имеем простую реализацию Region Gateway Protocol, который вычисляет весь маршрут и предоставляет его запрашивающему узлу.

4.1. Моделирование

Мы выполняем моделирование предлагаемого протокола в сравнении с одним протоколом реактивным и одним активным протоколом. В качестве активного протокола мы используем DSDV [7, 9] и реактивного – AODV [4]. Итак, теперь мы можем в сравнении показать, какие улучшения дает наше предложение.

Мы выполнили наше моделирование в NS-2.30 [20]. Для моделирования, мы использовали NS-2 симулятор сети включая такие факторы как мобильность в adhoc областях и 802.11 MAC-уровень.

Мы изучили AODV и DSDV протоколы маршрутизации в сравнении с нашим предложением. Реализация этих протоколов была выполнена с помощью модулей, предоставленных в ns2.30 (Все-в-одном).

Мы выполнили наше моделирование с использованием мобильного узла со скоростью 5 м/с и 15 м/с. Мы сначала сравнивали три протокола для доставки пакетов маршрутизацию с 10 источниками трафика CBR. Мы выполняли эти тесты на всех трех протоколах отправляя 4 пакета/с.

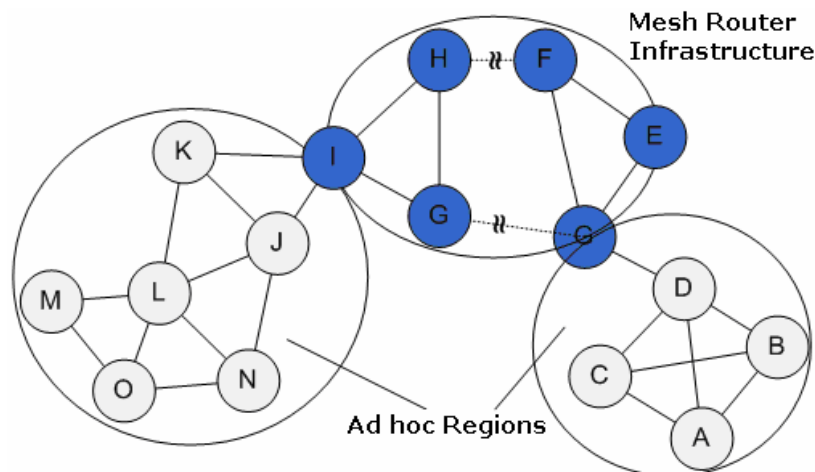


Рисунок 4. Пример маршрутизации

Рисунок 4 показывает относительную производительность трех протоколов маршрутизации трафика от 10 источников. Для узлов маленькой мобильностью время доставки пакета очень мало, а с уменьшением времени паузы соотношение доставки уменьшилось. Для AODV, соотношение доставки лучше, чем в других протоколах, но наш протокол работает лучше, чем DSDV. Что касается количества служебного трафика, мы заметили, что наш протокол работает лучше, чем AODV, но DSDV лучше, чем наш протокол. Как в реальной сети мобильность mesh-узла сетки не очень велика, поэтому мы думаем, что наш протокол обеспечивает хороший компромисс между количеством лишней служебной информации и скоростью доставки пакетов.

5. Заключение и будущая работа

Мы сравнили AODV и DSDV протоколы маршрутизации с нашим предлагаемым протоколом.

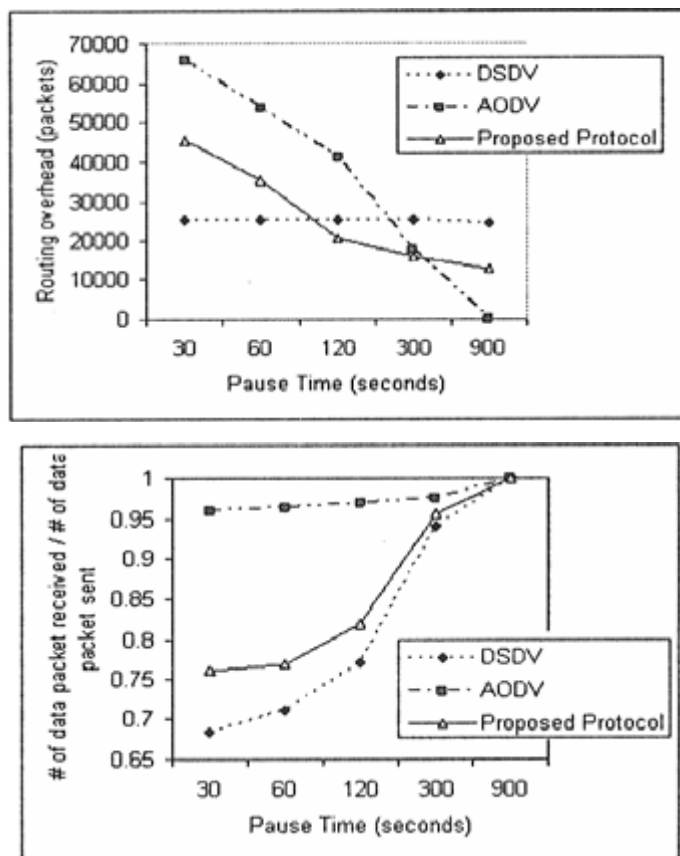


Рисунок 4. (а) Сравнение между 3-мя протоколами # маршрута пакета, переданного в зависимости от времени паузы.

(б) сравнение между 3-мя протоколами соотношения задержки доставки пакета как функцию времени паузы.

Результат моделирования показывает, что производительность нашего предлагаемого протокола находится между двумя – реактивным и проактивным типами протоколов. Он использует лучшие свойства обоих протоколов маршрутизации и обеспечивает лучший результат для ячеистой сети.

В настоящее время мы работаем, чтобы подготовить нашу реализацию протокола, а в будущем мы сможем экспериментировать с ним в реальной среде беспроводной mesh-сети.

6. ССЫЛКИ

- [1]. K. Rayner, "Mesh wireless networking", *Communications Engineer*, vol. 1(5), Oct.-Nov. 2003, pg. 44-47,.
- [2]. J. Jangeun and M.L. Sichitiu, "The Nominal Capacity of Wireless Mesh Networks", In *IEEE Wireless Communications*, vol. 10(5), , Oct. 2003, pg. 8-14
- [3]. DB. Johnson, D.A. Maltz and Y,C. Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad hoc Networks (DSR), IETF Internet-Draft, July 2004.
- [4]. C. Perkins, E. Belding-Royer and S. Das, "Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) Routing", IETF RFC 3561, July 2003.
- [5]. Ian F. Akyildiz, Xudong Wang and Weilin Wang, 'Wireless Mesh Network: A Survey' in *Computer Networks and ISDN Systems*, Volume 47, Issue 4, March 2005.
- [6]. M. Abolhasan, T. Wysocki and J. Lipman, "Performance Investigation on three-classes of MANET Routing Protocols" in the proceedings of Asia-Pacific Conference on Communications, 03-05 Oct. 2005 Page(s):774 —778
- [7]. P. Papadimitratos and Z.J. Haas, "Secure Routing for Mobile Ad Hoc Networks" *Mobile Computing and Communications Review*, Vol.6, No.4, October 2002
- [8]. R. Ogler, F. Templin and M. Lewis, "Topology Dissemination based on Reverse-path Forwarding (TBRPF)", IETF RFC 3684, February 2004.
- [9]. Charles E. Perkins and Pravin Bhagwat. "Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector routing (DSDV) for Mobile Computers". In *Proceedings of the SIGCOMM '94 Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications*, pages 234— 244, August 1994.
- [10]. G. Pei, M. Gerla, and X. Hong, "LANMAR: Landmark Routing for Large Scale Wireless Ad Hoc Networks with Group Mobility", *Proceeding of IEEE/ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHOC) 2000*, Boston, MA, August 2000.

[11]. A.A. Pirzada, C. McDonald and A. Datta, "Performance Comparison of Trust-based Reactive Routing Protocols" in IEEE Transactions on Mobile Computing, June 2006, Volume: 5, Issue; 6, On page(s): 695- 710

[12]. E. Weiss, G.R. Hiertz, and Xu Bangnan, Performance Analysis of Temporally Ordered Routing Algorithm based on IEEE 802.11 a" in the proceeding of IEEE 61st Vehicular Technology Conference, VTC 2005-Spring. 30 May-I June 2005 Page(s):2565–2569 Volume 4.

[13]. Z.J. Haas, MR. Pearlman, P. Samar, "The Zone Routing Protocol for Ad Hoc Networks", IETF Internet Draft, draft-ietf-manet-zone-zrp-04.txt, July 2002.

[14]. S.J. Lee and M.Gerla, "Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad Hoc Networks" in the proceedings of the IEEE ICC, pages 3201-3205, 2001.

[15]. J. J. Garcia-Luna-Aceves and M. Mosko, "Multipath Routing in Wireless Mesh Networks", in first IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks (WiMesh 2005); 2005 September 26; Santa Clara; CA.

[16]. Y. Ganjali and A. Keshavarzian, "Load Balancing in Ad hoc Networks: Single-path Routing vs. Multi-path Routing", in the proceedings of IEEE Annual Conference on Computer Communications (INFOCOM), March 2004, pp. 1120—1125.

[17]. Salima Hama, Eddy Cizeron, Hafiz Issaka, and Jean-Pierre Guedon, "Performance Evaluation of Reactive and Proactive Routing Protocol in IEEE 802.11 Ad hoc Network" in the proceedings of SPIE, Next-Generation Communication and Sensor Networks 2006, Volume 6387, October 2006

[18]. Guangyu Pei, MA. Albuquerque, J.H. Kim, D.P. Nast, P.R. Norris, "A Neighbor Discovery Protocol for Directional Antenna Networks' in the proceeding of Military Communications Conference, 17-20 Oct. 2005, on page(s): 487- 492 Vol. 1

[19]. R. Beraldi and R. Baldoni,, "A Caching Scheme for Routing in Mobile Ad hoc Networks and its Application to ZRP' in IEEE Transactions on Computers, Volume 52, Issue 8, Aug. 2003 Page(s):1051 1062

[20]. "UCB/LBNL/VINT Network Simulator–ns 2" URL: <http://www.isi.edu/nsnamjns>