

Механизм обнаружения соседей и управления соединениями, использующий гистерезис с экспоненциальным скользящим средним

П.О. Некрасов*, Д.Н. Фахриев**

*Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва, Россия

**Институт проблем передачи информации, Российская академия наук, Москва, Россия

Поступила в редколлегию 17.09.2013

Аннотация—Механизм обнаружения соседства и управления соединениями (МОСУС) является важной компонентой протоколов маршрутизации для беспроводных самоорганизующихся многошаговых сетей. Для достижения высокой производительности сети такой механизм должен быстро реагировать на изменения топологии сети и устанавливать стабильные соединения с приемлемым качеством. В данной работе рассматривается МОСУС протокола маршрутизации OLSR, использующий гистерезис с экспоненциальным скользящим средним. Производится аналитическая оценка эффективности данного механизма, и выполняется его настройка для различных сценариев работы сети.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сети MANET, обнаружение соседей, OLSR.

1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время интерес исследователей прикован к подвижным беспроводным самоорганизующимся многошаговым сетям MANET (англ. Mobile Ad-hoc NETWORKS). Такие сети формируются равноправными узлами и не требуют заранее созданной инфраструктуры. Свойство самоорганизации в сетях MANET подразумевает автоматическую подстройку узлов под текущее состояние сети. Одной из компонент самоорганизации является механизм обнаружения соседей и управления соединениями (МОСУС). Для достижения высокой пропускной способности сети и для выполнения требований на качество обслуживания пользовательского трафика МОСУС должен быстро реагировать на изменения топологии сети и устанавливать только надежные соединения с приемлемым качеством.

Для решения задачи обнаружения соседей и управления соединениями узлы периодически рассылают специальные сообщения-маячки и, основываясь на статистике полученных сообщений, принимают решение об открытии или закрытии соединений с теми или иными узлами. Важно отметить, что при этом неизбежно возникает компромисс между точностью определения качества соединения и временем оценки качества соединения. С одной стороны, чем больше объем собранной статистики, тем более точно может быть определено текущее качество соединения. С другой стороны, в подвижных сценариях учет большого объема собранной статистики приводит к увеличению времени реакции МОСУС на изменения качества соединения и топологии сети.

Одной из первых работ, в которой изучается влияние настройки МОСУС на производительность сети является [1]. Исследуется влияние периода рассылки сообщений-маячков на пропускную способность сети. С одной стороны, уменьшение периода приводит к быстрому обнаружению соседей, с другой, к увеличению накладных расходов и уменьшению пропускной способности сети.

В [2] изучается МОСУС, в котором узлы принимают решение об открытии/закрытии соединения только по одному полученному/пропущенному сообщению-маячку. Естественно, что в таком МОСУС узлы быстро реагируют на изменение топологии, но в то же время стабильность соединений становится очень низкой.

В [3] авторы оценивают эффективность МОСУС с помощью таких показателей как: средняя длительность соединения, задержка на открытие соединения (интервал времени между появлением узла в области уверенного приема и открытием соединения с этим узлом), задержка на закрытие соединения (интервал времени между исчезновением узла из области уверенного приема и закрытием соединения с этим узлом). Авторы сравнивают различные схемы рассылки сообщений-маячков: строго периодическую и с экспоненциально распределенным интервалом рассылки. Было показано, что строго периодическая схема является оптимальной с точки зрения рассмотренных показателей эффективности.

В [4] изучается протокол управления соединениями, определенный в стандарте IEEE 802.11s [5]. Предлагаются критерии эффективности рассматриваемого протокола (надежность соединения, стабильность соединения и задержка на открытие соединения), и представляется аналитическая модель, позволяющая произвести оценку критериев эффективности. В [6] авторы используют те же критерии эффективности для изучения МОСУС в протоколе OLSR, в котором соединение открывается после получения r сообщений-маячков подряд и закрывается после потери m сообщений-маячков подряд.

В данной работе также анализируется МОСУС протокола OLSR [7], но с использованием гистерезиса с экспоненциальным скользящим средним. Протокол OLSR использует только симметричные соединения для построения маршрутов, и установление симметричного соединения происходит следующим образом. Каждое соединение характеризуется безразмерной величиной q между 0 и 1, которая называется *качеством соединения*. Узлы широкоэвентально рассылают служебные сообщения HELLO раз в T , и после приема или пропуска такого сообщения от соседнего узла обновляется качество соединения с этим узлом. После получения первого HELLO-сообщения соединение открывается, переходит в состояние ожидания (pending), и его качество q выставляется равным i . После того, как качество q стало больше или равно h , соединение считается однонаправленным. Если оба узла считают соединение между ними однонаправленным, то это соединение считается симметричным. После того, как q становится ниже чем l , соединение переходит в состояние ожидания. Соединение закрывается после того, как n HELLO-сообщений подряд было потеряно.

В работе предлагается аналитическая модель, позволяющая произвести оценку показателей эффективности данного МОСУС, введенных в [4]. С помощью представленной аналитической модели производится эффективная настройка параметров исследуемого МОСУС в различных сценариях.

Работа имеет следующую структуру. В разделе 2 описана машина состояний исследуемого МОСУС. В разделе 3 описаны показатели эффективности МОСУС. В разделе 4 разрабатывается аналитическая модель МОСУС, позволяющая оценить рассматриваемые показатели эффективности. Валидация аналитической модели представлена в разделе 5. В разделе 6 приводится настройка параметров МОСУС для различных сценариев. Выводы даны в разделе 7.

2. МАШИНА СОСТОЯНИЙ МОСУС

В данном разделе описана упрощенная машина состояний исследуемого МОСУС. Соединение может находиться в одном из следующих состояний: C – соединение закрыто, P – соединение в состоянии ожидания, U – соединение однонаправленное, S – соединение симметричное. Далее рассматривается соединение между узлами **A** и **B**. Каждый узел имеет свое представление о состоянии данного соединения, поэтому используется следующее обозначение. Состояние

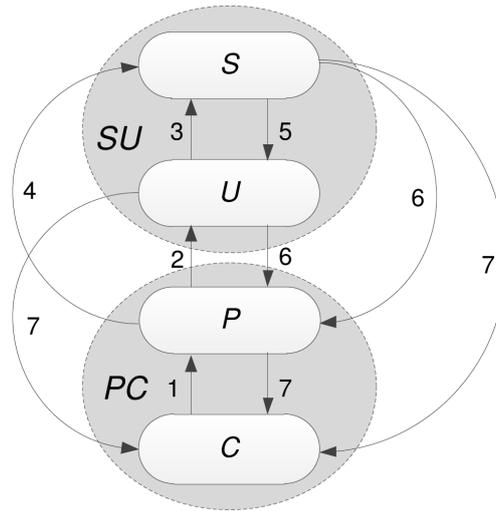


Рис. 1. Машина состояний МОСУС

соединения с точки зрения узла **A** обозначается как состояние узла **A**, с точки зрения узла **B** – состояние узла **B**.

Для определенности рассмотрим переходы узла **A** между его состояниями (см. рис. 1):

1. Если узел **A** находится в состоянии *C* и **A** получает HELLO-сообщение от **B**, то **A** переходит в состояние *P*.
2. Если узел **A** находится в состоянии *P* и качество q становится большим либо равным h , то **A** переходит в состояние *U*.
3. Если узел **A** находится в состоянии *U* и **A** получает HELLO-сообщение от **B**, согласно которому узел **B** находится в состоянии *S* или *U*, то **A** переходит в состояние *S*.
4. Если узел **A** находится в состоянии *P* и **A** получает HELLO-сообщение от **B**, согласно которому узел **B** находится в состоянии *S* или *U*, и при этом качество q становится большим либо равным h , то узел **A** переходит в состояние *S*.
5. Если узел **A** находится в состоянии *S* и **A** получает HELLO-сообщение от **B**, согласно которому узел **B** находится в состоянии *P*, то **A** переходит в состояние *U*.
6. Если узел **A** находится в состоянии *S* или *U*, и качество q становится меньше чем l , то **A** переходит в состояние *P*.
7. Если узел **A** находится в состоянии *S*, *U* или *P* и узел **A** пропускает n HELLO-сообщений подряд от узла **B**, то **A** переходит в состояние *C*.

Качество соединения q обновляется следующим образом.

- Если **A** получает HELLO-сообщение от **B** впервые (**A** переходит из *C* в *P*), то $q = i$;
- Если **A** получает HELLO-сообщение от **B**, то $q = q(1 - \lambda) + \lambda$;
- Если **A** пропускает HELLO-сообщение от **B**, то $q = q(1 - \lambda)$.

Далее для удобства объединение состояний *S* и *U* будет обозначаться как *SU*, объединение состояний *P* и *C* как *PC*, объединение состояний *P*, *C* и *U* как *N* (см. рис. 1).

В дальнейшем параметр n выбирается достаточно большим, чтобы соединения с ненулевой вероятностью доставки пакета практически всегда находились в состояниях *S*, *U* или *P*. Предполагается, что рассматриваемая сеть имеет умеренную мобильность, то есть узел **A** впервые получает HELLO-сообщение от **B** в то время, когда соединение еще ненадежно, поэтому в следующих разделах начальное качество i соединения выбирается равным 0.

Таким образом, настройка рассматриваемого МОСУС определяется тройкой параметров (λ, h, l) .

3. КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Как было отмечено в разделе 1, в работе используются критерии эффективности, введенные в [4]. Предполагается, что МОСУС должен своевременно реагировать на изменения топологии и открывать стабильные соединения с приемлемой вероятностью p доставки пакета. В данном разделе приведено краткое описание этих критериев эффективности.

Одной из самых важных характеристик МОСУС является надежность открытых соединений. Это значит, что в идеале МОСУС должен считать симметричными (в состоянии S) только те соединения, у которых вероятность p больше заранее заданного порога p_0 . Обозначим $P_S(p)$ вероятность того, что соединение с вероятностью успешной доставки p находится в состоянии S . $P_S(p)$ может быть рассчитана следующим образом:

$$P_S(p) = \frac{T_S(p)}{T_S(p) + T_N(p)}, \quad (1)$$

где $T_S(p)$ и $T_N(p)$ являются средними продолжительностями интервалов времени, в течение которых соединение находится в состояниях S и N соответственно.

Соединения с $p > p_0$ большую часть времени должны считаться симметричными ($P_S(p) > \frac{1}{2}$), соединения с $p < p_0$ большую часть времени должны считаться несимметричными ($P_S(p) < \frac{1}{2}$), таким образом, согласно [4]:

$$P_S(p_0) = \frac{1}{2}.$$

Второй важной характеристикой МОСУС является стабильность соединений. Средняя частота $g(p)$ флуктуации состояния соединения может быть определена как:

$$g(p) = \frac{1}{T_S(p) + T_N(p)}. \quad (2)$$

Для того, чтобы узлы сети своевременно узнавали об изменении топологии, интервал времени между последовательными изменениями состояния соединения должен быть значительно больше, чем время T_{update} обновления информации о топологии сети. Таким образом:

$$\forall p < 1 \Rightarrow \frac{1}{2g(p)} \gg T_{update}.$$

Наконец, МОСУС должен своевременно реагировать на изменения топологии сети. Это означает, что в мобильных сценариях соединение с узлом, появившимся в области уверенного приема, должно быть открыто намного раньше, чем этот узел покинет область уверенного приема. Таким образом, должно быть выполнено следующее требование:

$$T_{delay} \ll T_{link},$$

где T_{delay} – интервал времени между моментом, когда p достигает порога p_0 , и моментом, когда соединение начинает считаться симметричным, T_{link} – среднее время "жизни" соединения (то есть среднее время, в течение которого $p \geq p_0$). В сетях с умеренной мобильностью $T_{delay} \sim T_N(p_0)$ [4].

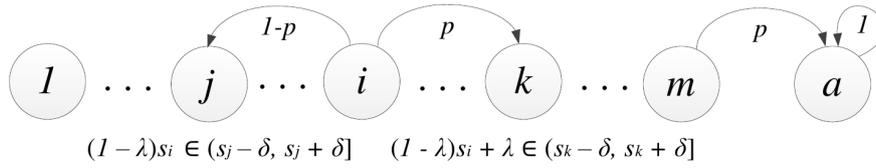


Рис. 2. Переходы между состояниями

4. АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

В данном разделе приведена аналитическая модель для оценки вероятности $P_S(p)$, частоты флуктуации $g(p)$ и среднего времени $T_N(p)$ нахождения соединения в состоянии N .

4.1. Вероятность P_S состояния S

Для расчета $P_S(p)$, используем лемму, доказанную в [6].

Лемма 1.

$$P_S(p) = P_{SU}^2(p),$$

где $P_{SU}(p)$ – вероятность состояния SU .

Доказательство. Рассмотрим узлы **A**, **B** и соединение между ними. Узел **A** находится в состоянии S тогда и только тогда, когда узлы **A** и **B** находятся в состоянии SU . Так как оба этих события независимы, то вероятность состояния S равна $P_{SU}(p)^2$.

Вероятность $P_{SU}(p)$ рассчитывается следующим образом:

$$P_{SU}(p) = \frac{T_{SU}(p)}{T_{SU}(p) + T_{PC}(p)}, \quad (3)$$

где $T_{SU}(p)$ и $T_{PC}(p)$ – средние продолжительности состояний SU и PC соответственно.

Будем оценивать $T_{PC}(p)$ следующим образом. Согласно допущениям, представленным в разделе 2, соединения с ненулевым значением p практически всегда находятся в состоянии S , P или U , поэтому время T_{PC} совпадает с временем T_P нахождения в состоянии P . Пусть соединение перешло в состояние P , то есть качество соединения q становится меньше либо равным l . Соединение находится в состоянии P до того, как качество q становится больше либо равным h , то есть выполняется переход в состояние SU . Среднее время перехода из P в SU является средней продолжительностью состояния P . Для оценки этого времени используется метод, представленный в [8].

Разделим интервал $[0, h)$ на m непересекающихся подинтервалов длиной 2δ , которые соответствуют переходным состояниям качества соединения. Качество соединения находится в переходном состоянии i , если $s_i - \delta < q \leq s_i + \delta$, $i = 1, 2, \dots, m$, где s_i является средней точкой i -ого интервала. Будем считать, что качество соединения находится в поглощающем состоянии, если $q \geq h$. Вектор вероятности данных состояний имеет следующую структуру:

$$\mathbf{p}^T = (p_1, p_2, \dots, p_m, p_a) = (\mathbf{p}_t^T, p_a),$$

где \mathbf{p}_t – вектор вероятности переходных состояний, p_a – вероятность поглощающего состояния.

Переход между состояниями осуществляется после того, как HELLO-сообщение было получено или потеряно, что происходит с вероятностями p и $1 - p$ соответственно. Интервал между переходами равен периоду T генерации HELLO-сообщений. На рис. 2 изображена цепь Маркова для состояний качества соединения. Качество соединения переходит из состояния i в состояние k и j с вероятностями p и $1 - p$ соответственно (при этом k и j могут быть равны i). Состояния k и j определяются согласно экспоненциальному скользящему среднему:

$$\begin{aligned} (1 - \lambda)s_i + \lambda &\in (s_k - \delta, s_k + \delta]; \\ (1 - \lambda)s_i &\in (s_j - \delta, s_j + \delta]. \end{aligned}$$

Средняя продолжительность перехода между состояниями SU и P соответствует средней продолжительности перехода в поглощающее состояние, для оценки которого необходимо определить вектор начального состояния и матрицу вероятностей перехода между состояниями.

Начальное состояние $init$ будет выбираться исходя из следующих предположений. Пусть q_P – среднее значение q сразу после перехода из состояния SU в состояние P . Можно считать, что после перехода из SU в P качество q равномерно распределено на интервале $[l, (1 - \lambda)l)$, поэтому $q_P = l - \frac{\lambda l}{2}$. Таким образом, состояние $init$ определяется по следующему правилу: $q_P \in (s_{init} - \delta, s_{init} + \delta]$, и вектор начального состояния задается следующим образом:

$$\mathbf{p}_{init}^T = (0, 0, \dots, 1, \dots, 0, 0) = (\mathbf{p}_t^T, 0),$$

где элемент $init$ выставлен равным 1.

Матрица вероятностей перехода между состояниями имеет следующую блочную структуру:

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} \mathbf{R} & (\mathbf{I} - \mathbf{R})\mathbf{1} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{pmatrix}.$$

Элементы матрицы \mathbf{R} являются вероятностями $r_{jk} = \mathbb{P}(q_i = s_k | q_{i-1} = s_j)$ ($j, k = 1, 2, \dots, m$) переходов между переходными состояниями и определяются следующим образом:

$$r_{jk} = \begin{cases} p & \text{если } s_j(1 - \lambda) + \lambda \in (s_k - \delta, s_k + \delta]; \\ 1 - p & \text{если } s_j(1 - \lambda) \in (s_k - \delta, s_k + \delta]; \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Элементы вектора $(\mathbf{I} - \mathbf{R})\mathbf{1}$ (\mathbf{I} – единичная матрица, $\mathbf{1}$ – вектор из единиц) являются вероятностями перехода из переходных состояний в поглощающее состояние. Если система переходит в поглощающее состояние, то она в нем и остается, поэтому нижняя строка матрицы \mathbf{P} представляет собой вектор, в котором последний элемент равен 1, а остальные элементы равны 0.

Матрица перехода за i шагов имеет следующий вид:

$$\mathbf{P}^i = \begin{pmatrix} \mathbf{R}^i & (\mathbf{I} - \mathbf{R}^i)\mathbf{1} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{pmatrix}$$

и определяет вектор вероятностей состояний за i шагов:

$$\mathbf{p}_i^T = \mathbf{p}_{init}^T \mathbf{P}^i.$$

Таким образом, имеем следующую функцию распределения случайной величины ξ , представляющей число шагов перехода в поглощающее состояние:

$$\mathbb{P}(\xi \leq i) = \mathbf{p}_t^T (\mathbf{I} - \mathbf{R}^i) \mathbf{1}.$$

Определив функцию распределения, распределение ξ может быть получено как разность $\mathbb{P}(\xi \leq i)$ и $\mathbb{P}(\xi \leq i - 1)$.

$$\mathbb{P}(\xi = i) = \mathbf{p}_t^T (\mathbf{R}^{i-1} - \mathbf{R}^i) \mathbf{1}.$$

Для расчета математического ожидания величины ξ докажем следующую лемму:

Лемма 2. *Математическое ожидание $E[\xi]$ числа шагов до перехода в поглощающее состояние составляет:*

$$E[\xi] = \mathbf{p}_t^T (\mathbf{I} - \mathbf{R})^{-1} \mathbf{1}.$$

Доказательство.

$$\begin{aligned} E[\xi] &= \sum_{i=1}^{\infty} i \mathbb{P}(\xi = i) = \sum_{i=1}^{\infty} i \mathbf{p}_t^T (\mathbf{R}^{i-1} - \mathbf{R}^i) \mathbf{1} \\ &= \sum_{i=1}^{\infty} \mathbf{p}_t^T \mathbf{R}^{i-1} \mathbf{1} = \mathbf{p}_t^T (\mathbf{I} - \mathbf{R})^{-1} \mathbf{1}. \end{aligned}$$

Продолжительность шага составляет T , поэтому:

$$T_{SU}(p) \approx E[\xi] \times T = \mathbf{p}_t^T (\mathbf{I} - \mathbf{R})^{-1} \mathbf{1} \times T.$$

Для оценки среднего времени нахождения в состоянии SU разделим интервал $(l, 1]$ на переходные состояния, в качестве поглощающего будем считать состояние с $q \leq l$ и используем метод, описанный выше.

Подставив $T_{SU}(p)$ и $T_{PC}(p)$ в (3), получаем $P_{SU}(p)$ и, следовательно, $P_S(p)$.

4.2. Частота $g(p)$ флуктуации

Для оценки частоты флуктуации будем использовать выражение, полученное из (1) и (2):

$$g(p) = \frac{1}{T_S(p) + T_N(p)} = \frac{P_S(p)}{T_S(p)}.$$

В работе [6] $T_S(p)$ оценивается следующим образом:

$$T_S(p) \approx \frac{T_{SU}(p)}{2}.$$

Хотя данная оценка относится к другому способу оценки качества соединения, ее обоснование никак к нему не привязано и может быть использовано для данного МОСУС. Определив $T_S(p)$, можно легко получить $g(p)$.

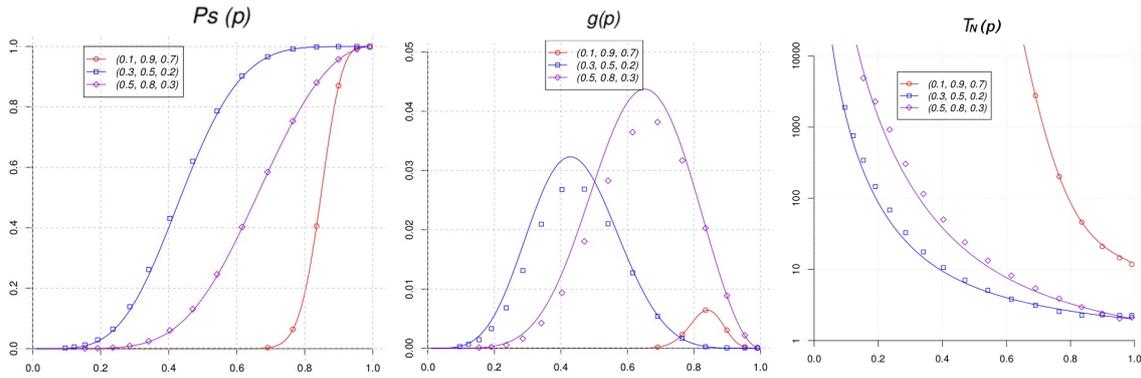


Рис. 3. Результаты имитационного (маркеры) и аналитического (линии, $\delta = 0.0001$) моделирования для $P_S(p)$, $g(p)$ и $T_N(p)$

4.3. Длительность $T_N(p)$ состояния N

Для оценки времени $T_N(p)$ выразим его из (1):

$$T_N(p) = \frac{T_S(p)}{P_S(p)} - T_S(p).$$

5. ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ

Для валидации приведенной в предыдущем разделе математической модели было проведено имитационное моделирование в среде ns-3 [9] по методике, аналогичной [6]. Рассматривались два узла, к которым подключены интерфейсы IEEE 802.11a [5]. На узлах функционирует протокол OLSR, в котором используется МОСУС, использующий гистерезис с экспоненциальным скользящим средним. При различных расстояниях между узлами проводилась оценка вероятности p успешной передачи HELLO, вероятности P_S состояния S , частоты g флуктуации и времени T_N . При расчете этих величин с помощью аналитической модели параметр δ выбирался равным 0,0001 (значение выбиралось исходя из предварительных экспериментов). Результаты имитационного и аналитического моделирования, изображенные на рис. 3, совпадают с высокой точностью, за исключением $g(p)$. Однако, точности оценки достаточно, чтобы проверить ограничение на $g(p)$, определенное в разделе 3.

6. НАСТРОЙКА МОСУС

В данном разделе приведена настройка исследуемого МОСУС на примере сети MANET, построенной на интерфейсах IEEE 802.11a, по которой ведется передача голосового VoIP-трафика. Согласно [10] качество передачи голоса определяется средним временем передачи пакета, вариацией этого времени и долей потерянных пакетов PLR (англ. Packet Loss Ratio). Будем рассматривать ненагруженную сеть, обеспечивая, таким образом, незначительные потери пакетов из-за коллизий. В таком случае качество соединений будет определяться только затуханием сигнала. Так как в ненагруженных сетях IEEE 802.11 пакеты всегда передаются за приемлемое время, то качество передачи голоса определяется только долей потерянных пакетов.

Будем рассматривать голосовой кодек G.729 с битовой скоростью 8 кБит/с. Согласно [11], голос, закодированный с помощью G.729, передается с хорошим качеством, если доля PLR потерянных пакетов от источника до получателя не превышает 4%. Для расчета этой доли вос-

пользуемся следующим выражением:

$$PLR = 1 - (1 - per^r)^D, \quad (4)$$

где per – вероятность ошибки при приеме пакета, r – максимальное число попыток передачи пакета на одном шаге, D – число шагов между источником и получателем голосового потока. Например, для сетей IEEE 802.11 ($r = 8$) с $D \leq 5$ можно рассчитать с помощью (4), что для достижения $PLR \leq 4\%$ МОСУС должен считать симметричными только те соединения, у которых $1 - per \gtrsim p_0 = 0,5$.

Пусть L – такое расстояние между двумя узлами, что для соединения между ними $p(L) = p_0 = 0,5$. Расположим 50 подвижных узлов с интерфейсами IEEE 802.11a на площадке размера $2,5L \times 2,5L$, что обеспечивает связность сети и маршруты длиной не более чем 5 шагов. Используется модель движения узлов, согласно которой каждый узел выбирает произвольное направление движения и движется со скоростью v ; достигнув границы площадки, узел выбирает новое направление движения; и так далее. Рассматривается три сценария с различными скоростями движения $v = \{0,01; 0,004; 0,002\} \frac{L}{T}$. Время T_{link} существования соединения определяется согласно выражению, представленному в [3]: $T_{link} = \frac{\pi^2 L}{8v}$.

Время T_{update} обновления информации о топологии сети определяется периодом T_{TC} ($=5$ с) рассылки сообщений TC , содержащих информацию о соседних станциях, диаметром D ($=5$) сети и максимальной задержкой J ($=0,5$ с) ретрансляции сообщения узлом сети. Будем оценивать T_{update} следующим образом:

$$T_{update} = T_{TC} + JD = 7,5с.$$

Напомним ограничения, определенные в разделе 3:

1. $P_S(p_0) = 0,5$;
2. $\frac{T_{update}}{1} \ll 1$, $g_{max} = \max_p g(p)$;
3. $\frac{T_N(p_0)}{T_{link}} \ll 1$;

Определив (p_0 , T_{link} и T_{update}), перейдем к настройке МОСУС. Для каждого сценария (т.е. для каждой скорости) проведем 5 экспериментов с различными настройками МОСУС:

- настройка по умолчанию (def);
- 2 настройки, удовлетворяющих всем условиям (+++);
- настройка, не удовлетворяющая 2-ому условию (+-+);
- настройка, не удовлетворяющая 3-ему условию (++-).

Эксперименты проводятся в среде моделирования ns-3. Каждый узел генерирует голосовой поток, адресованный случайно выбранному узлу. Будем оценивать долю потоков с PLR, не превышающим 4%. Результаты экспериментов приведены в таблице 1 и изображены на рис. 4.

Настройка параметров по умолчанию приводит к неудовлетворительным результатам во всех сценариях, что делает ее недопустимой при передаче по сети голосового трафика. Важным результатом является то, что различные настройки, удовлетворяющие всем критериям, имеют примерно одинаковую эффективность. Эти настройки показывают лучшие результаты, что подтверждает целесообразность выбора параметров МОСУС такими, чтобы все условия, приведенные в разделе 3, были выполнены.

Таблица 1. Доля потоков с PLR, не превышающим 4%, при различных настройках МОСУС и различных скоростях узлов.

$(\lambda; h; l)$	$P_S(p_0)$	$\frac{T_{update}}{29max}$	$\frac{T_N(p_0)}{T_{link}}$	Доля потоков
$v = 0,010 \frac{L}{T}; T_{link} = 123 T$				
(0,5; 0,8; 0,3)(def)	0,16	0,5	0,12	0,01
(0,3; 0,61; 0,22)	0,5(+)	0,38(-)	0,08(+)	0,26
(0,2; 0,67; 0,23)	0,5(+)	0,15(+)	0,2(+)	0,75
(0,2; 0,71; 0,2)	0,5(+)	0,14(+)	0,28(+)	0,75
(0,2; 0,82; 0,2)	0,5(+)	0,03(+)	0,97(-)	0,47
$v = 0,004 \frac{L}{T}; T_{link} = 308 T$				
(0,5; 0,8; 0,3)(def)	0,16	0,5	0,05	0,01
(0,2; 0,55; 0,3)	0,5(+)	0,31(-)	0,03(+)	0,46
(0,2; 0,74; 0,18)	0,5(+)	0,08(+)	0,15(+)	0,97
(0,1; 0,65; 0,28)	0,5(+)	0,05(+)	0,23(+)	0,98
(0,1; 0,75; 0,21)	0,5(+)	0,01(+)	1,02(-)	0,89
$v = 0,002 \frac{L}{T}; T_{link} = 615 T$				
(0,5; 0,8; 0,3)(def)	0,16	0,5	0,024	0,015
(0,2; 0,53; 0,32)	0,5(+)	0,38(-)	0,015(+)	0,38
(0,3; 0,87; 0,08)	0,5(+)	0,05(+)	0,12(+)	0,98
(0,2; 0,82; 0,13)	0,5(+)	0,03(+)	0,2(+)	0,98
(0,2; 0,92; 0,06)	0,5(+)	0,003(+)	2,0(-)	0,88

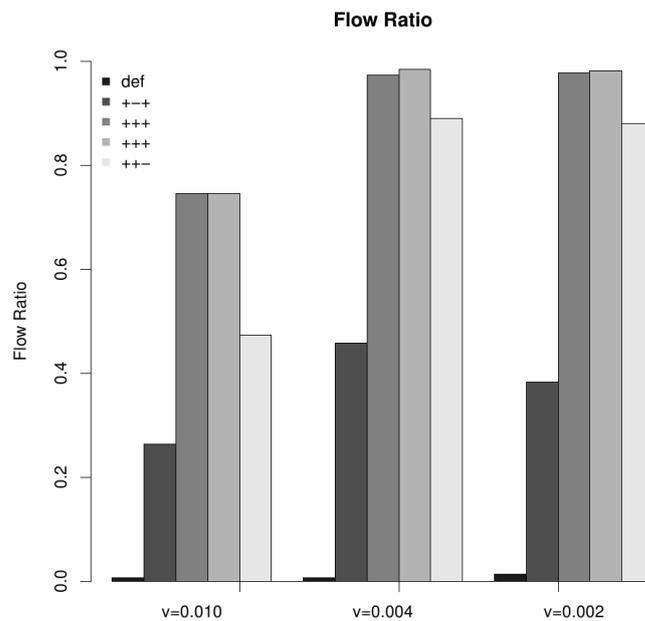


Рис. 4. Доля потоков (Flow Ratio) с PLR, не превышающим 4%, при различных настройках МОСУС и различных скоростях (v) узлов. def – настройка по умолчанию, (+++) – настройка, не удовлетворяющая второму критерию, (+--) – настройка, не удовлетворяющая третьему критерию, (+++) – настройка, удовлетворяющая всем критериям.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье разработана аналитическая модель механизма определения соседства и управления соединениями (МОСУС) протокола OLSR, использующего гистерезис с экспоненциальным скользящим средним. Эта модель использована для оценки показателей эффектив-

ности МОСУС, введенных в [4], и для настройки данного МОСУС согласно методике, описанной в [4]. Имитационное моделирование показало, что МОСУС, настроенный с помощью разработанной аналитической модели, обеспечивает высокое качество передачи голосового трафика, в отличие от стандартной настройки, заданной в [7], использование которой приводит к тому, что голосовые потоки передаются неудовлетворительно. В ближайшем будущем планируется сравнение данного МОСУС с другими механизмами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Y. Huang, S. N. Bhatti, D. Parker. Tuning olsr. *Proceedings of the IEEE 17th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC 2006*. Helsinki, Finland. IEEE, 2006, pp. 1–5.
2. M. Voorhaen, C. Blondia. Analyzing the impact of neighbor sensing on the performance of the olsr protocol. *WiOpt*. IEEE, 2006, pp. 260–265.
3. A. Nayebi, G. Karlsson, H. Sarbazi-Azad. Evaluation and design of beaconing in mobile wireless networks. *Ad Hoc Netw.*, 2011, vol. 9, no. 3, pp. 368–386.
4. А. Г. Кирьянов, А. И. Ляхов, А. А. Сафонов, Е. М. Хоров. Метод оценки эффективности механизмов управления соединениями в беспроводных самоорганизующихся сетях. *Автоматика и телемеханика*, 2012, № 5, стр. 39–56.
5. *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE Std. 802.11, 2012.
6. E. Khorov, A. Kiryanov, A. Lyakhov, D. Ostrovsky. Analytical study of neighborhood discovery and link management in olsr. *IFIP Wireless Days 2012*. Dublin, 2012, pp. 1–6.
7. T. Clausen, P. Jacquet. *Optimized link state routing protocol (olsr)*. Internet Engineering Task Force, RFC 3626, 2003.
8. D. Brook, D. A. Evans. An approach to the probability distribution of cusum run length. *Biometrika*, 1972, vol. 59, pp. 539–549.
9. T. R. Henderson, M. Lacage, G. F. Riley. Network simulations with the ns-3 simulator. *ACM SIGCOMM'08*. ACM, 2008, p. 527.
10. Recommendation G.107 The E-Model - A Computational Model In Use In Transmission Planning, ITU Std.
11. K. Perlicki. Simple analysis of the impact of packet loss and delay on voice transmission quality. *Journal of telecommunications and information technology*, 2002, no. 2, pp. 53–56.

Neighborhood discovery and link management mechanism, using hysteresis with exponentially weighted moving average

Nekrasov P.O., Fakhriev D.N.

Neighborhood discovery and link management (NDLM) mechanism is the important component of MANET routing protocols. To achieve high network performance this mechanism should respond quickly to topology changes and establish only stable links with acceptable packet delivery ratio. In this paper we consider NDLM of OLSR routing protocol, which uses hysteresis with the exponential weighted moving average. We estimate the efficiency of this mechanism analytically and perform its adjusting for various scenarios.

KEYWORDS: MANET, neighborhood discovery, OLSR.