

УДК: ББК 32.84 Г61

И. З. Климов, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет
О. В. Меркушев, аспирант, Ижевский государственный технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ КОНТРОЛЯ ТОПОЛОГИИ МЕЖДУ СОСЕДНИМИ СТАНЦИЯМИ ЗОНОВОЙ ДКМ-РАДИОСЕТИ

Приведены методы взаимодействия сетевых станций при выполнении функций установления соединения и передачи данных. Выполнен расчет среднего времени передачи сообщений контроля топологии сети между соседними станциями, действующими в условиях конкуренции за среду. Полученные данные будут использованы для определения метода маршрутизации сообщений зоновой ДКМ-радиосети без вынесенного ретранслятора.

Ключевые слова: радиосеть, топология, протокол, сообщение, задержка.

Построение радиосети ДКМ-диапазона, действующей на расстояниях до 500 км между абонентами, сопряжено с трудностями обусловленными особенностями распространения радиоволн указанного диапазона. Низкие уровни надежности и помехоустойчивости линий связи определены свойствами распространения коротких волн на расстояниях от 100 до 1000 (1500) км [1]. При построении зоновой радиосвязи применяют метод вынесенного ретранслятора, расположенного на удалении 1500 (2000) км от предполагаемой зоны обслуживания абонентов, или метод «каждый с каждым». Применение MESH-топологии сети, основанной на принципе MANET (Multiple Adhoc Networks) [2], позволит организовать обслуживание абонентов (на дистанциях, превышающих расстояния прямой видимости и меньших расстояния первого скачка (от 100 до 1000 км)) при отсутствии подготовленной сетевой инфраструктуры. Также позволит работать в условиях изменяемой топологии, поддерживать альтернативные пути передачи сообщений, обеспечивать доставку сообщений при отказе части узлов и линий связи.

Передача сообщения между узлами, находящимися вне зоны действия друг друга выполняется средствами маршрутизации. При использовании табличных методов вычисления маршрутов узлы должны определить топологию сети. Для этого узлы устанавливают отношения соседства, поддерживают их, обмениваются сообщениями об изменениях топологии сети и состоянии линий связи при широковещательной рассылке кадров HELLO (объявление адресов и поддержка отношений соседства) и TC (контроль топологии).

Процесс передачи HELLO-сообщения начинается с попытки широковещательного вызова на одном из каналов установления. Данный вызов должен быть принят соседними станциями. Процесс отправки кадра занимает один временной слот канала. Для анализа среднего времени задержки вызова при выполнении HELLO применим метод, описанный в [3]. На каналах установления соединения доступ к среде выполняется по правилам синхронной ALOHA. По-

ведение синхронной ALOHA описывается дискретной цепью Маркова (рис. 1).

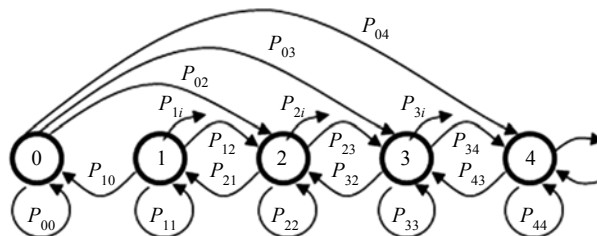


Рис. 1. Цепь Маркова для синхронной ALOHA

Пусть m – общее количество станций, действующих в зоне друг друга; n – количество станций с задолженностью на начало данного слота. Каждый узел, не имеющий задолженности, передает кадр с вероятностью $q_a = 1 - e^{-\lambda/m}$. Задолженные станции выполняют попытки повторной передачи с q_r . Q_a есть вероятность того, что i узлов (не имеющих задолженности) из $(m - n)$ выполнят попытку передать кадр в текущем слоте; Q_r есть вероятность того, что i узлов (имеющих задолженности) из n выполнят попытку передать кадр в текущем слоте.

$$Q_a(i, (m - n)) = \binom{m - n}{i} (1 - q_a)^{m - m - i} q_a^i, \tag{1}$$

$$Q_r(i, n) = \binom{n}{i} (1 - q_r)^{n - i} q_r^i.$$

Взаимодействие станций на канале установления соединения описывается следующими уравнениями переходных вероятностей:

$$P_{n, n+i} = \begin{cases} Q_a(i, (m - n)), & 2 \leq i \leq (m - n), \\ Q_a(1, (m - n)) [1 - Q_r(0, n)], & i = 1, \\ Q_a(1, (m - n)) Q_r(0, n) + \\ + Q_a(0, (m - n)) [1 - Q_r(1, n)], & i = 0, \\ Q_a(0, (m - n)) Q_r(1, n), & i = -1. \end{cases} \tag{2}$$

Для определения средней задержки при выполнении вызова необходимо определить стационарные вероятности состояния системы станций, используя выражения, приведенные в [3]:

$$p_n = \sum_{i=0}^{n+1} p_i P_{i,n}; \sum_{n=0}^m p_n = 1. \quad (3)$$

Выразим все p_i через p_0 . В этом случае формула вычисления p_i будет иметь следующий вид:

$$p_i = \frac{p_{i-1} - \sum_{j=0}^{i-1} p_j P_{j,i-1}}{P_{i,i-1}}. \quad (4)$$

Используя (3), (4), определим p_0 и затем остальные стационарные вероятности. Далее как математическое ожидание определим среднее количество станций, находящихся в задолженном состоянии:

$$N = \sum_{i=0}^m p_i n_i, \quad (5)$$

и определим среднее время задержки при выполнении вызова, используя теорему Литтла:

$$S_{ALE} = N / \lambda. \quad (6)$$

Выполним расчет S_{ALE} для следующих параметров: $m = 8, \lambda = 0,01 \dots 1, q_r = 0,25$ кадр/слот. $S_{ALE} = 0,4785$ слота, где слот канала установления соединения $T_{S_{ALE}} = 0,8$ с [4].

На рис. 2 показана зависимость средней задержки отправки кадра широковещательного вызова от интенсивности поступления новых запросов, количества соседних станций. Задержка вычисляется в слотах и показывает количество слотов (попыток) от момента возникновения конфликта до момента повторной передачи. Каждый вызов сопровождается временем опроса соседних станций и отправки HELLO на канале трафика данных.

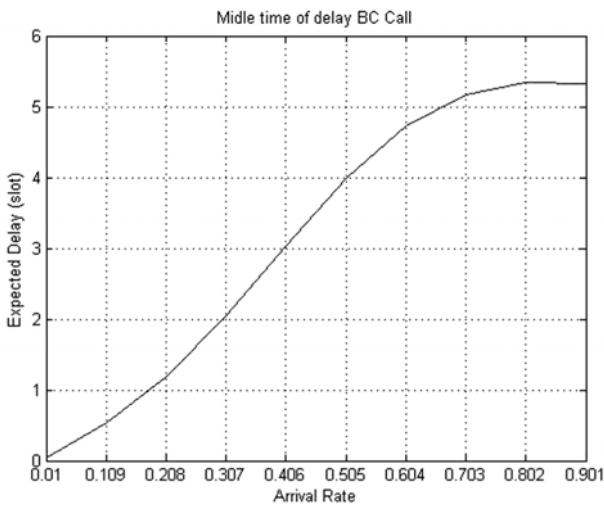


Рис. 2. Средняя задержка отправки кадра широковещательного вызова

Для нахождения времени задержки при отправке HELLO следует вычислить время определения соседних станций. Выполнив широковещательный вызов, вызывающая станция переключается на канал трафика данных, указанный в кадре вызова. Доступ к среде на канале трафика данных выполняется по правилам CSMA/CA [5].

На рис. 3 показан механизм опроса соседних станций.

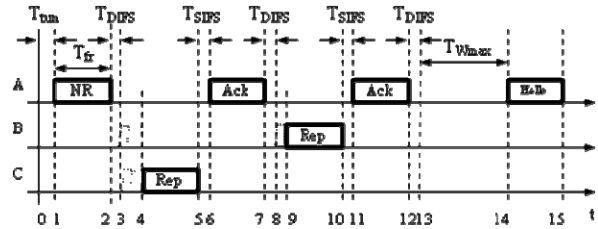


Рис. 3. Процесс определения соседних станций и обмена информацией о топологии

В период с 0 до 1 (T_{tun}) станции выполняют настройку на частотный канал. В момент времени 1 станция A отправляет кадр вызова соседних станций NeighborRequest (длительность кадра T_{fr}). Получив NeighborRequest, соседние станции B, C определяют станцию A как асимметричного соседа, формируют кадр NeighborReply, уведомляющий станцию A о присутствии соседа и содержащий записи базы данных топологии соседней станции. Выждав дистрибутивный межкадровый интервал (T_{DIFS}) 2, станции выполняют попытки отправки кадра подтверждения с учетом случайной отсрочки 4, 9. Попытки выполняются с началом очередного слота (T_{slot}), если среда в предыдущем слоте была свободна и значение счетчика отсрочки достигло 0. Кадр NeighborReply принимается станцией A 4, 9, после чего A определяет наличие двусторонней связи со станцией, отправившей NeighborReply, и устанавливает ее статус – симметричного соседа. Далее станция A, выждав короткий межкадровый интервал (T_{SIFS}), подтверждает получение NeighborReply ответным ACK-кадром 6, 11. При отсутствии ACK станция определяет неудачу попытки, увеличивает значение счетчика попыток и размер конкурентного окна для выбора отсрочки повторной попытки передачи кадра. При получении ACK 6, 11 соседняя станция меняет статус станции A на симметричного соседа. Таким образом, станция A в течение некоторого времени 3–12 получит ответы от всех соседних станций, устанавливая с ними отношения соседства. Завершение опроса определяется станцией A по отсутствию кадров NeighborReply в течение T_{Wmax} 13–14. Далее станция A модифицирует записи базы данных топологии и в 14 широковещательно отправляет сообщение HELLO/ТС, содержащее записи обновленной базы данных топологии сети, а также флаг завершения соединения (FIN). Получив данный кадр, соседние станции выполняют обновление собственных баз данных топологии и состояния линий связи и завершают соединение.

Для определения среднего времени опроса соседних станции используем метод расчета виртуального времени передачи t_v [5]. Каждая вызванная станция начнет попытку передачи с вероятностью τ . $\tau = 1 / W_i$, где W_i есть размер окна отсрочки при i -й попытке передачи кадра.

$$W_i = W_0 2^i \text{ при } 0 \leq i \leq m; W_0 = W_{\min}; W_0 2^m = W_{\max}. \quad (7)$$

Период времени t_v от момента получения станции кадра NeighborRequest до успешной передачи кадра NeighborReply будет состоять из l слотов, где l – номер успешного слота; k слотов коллизионные и $l - k - 1$ пустых слотов. Величина среднего t_v в [5] определяется по формуле

$$t_v = T_s + \frac{P_c}{p_s} T_c + \frac{P_e}{p_s} T_e, \quad (8)$$

где временные интервалы T_s , T_c , T_e успешной передачи, коллизии и пустого слота соответственно.

Для дальнейших расчетов потребуется определить вероятности успеха p_s , коллизии p_c и пустого слота p_e :

$$p_e = (1 - \bar{\tau})^n; p_s = n \bar{\tau} (1 - \bar{\tau})^{n-1}; p_c = 1 - p_e - p_s, \quad (9)$$

где $\bar{\tau}$ есть среднее значение τ при различных значениях W_i .

Величина $\bar{\tau}$ определяется следующим выражением:

$$\bar{\tau} = 2 / (E_w + 1), \quad (10)$$

где E_w – средняя величина конкурентного окна;

$$E_w = \frac{\sum_{i=0}^{R-1} p_i^{coll} \bar{W}_i + p_R^{coll} \bar{W}_{R-1}}{\sum (i+1) p_i^{coll} + R p_R^{coll}}, \quad (11)$$

\bar{W}_i – сумма конкурентных окон в течение всего процесса случая i ;

$$\bar{W}_i = \sum_{j=0}^i W_j; \quad (12)$$

p_i^{coll} – вероятность случая i , когда произошло i коллизий;

$$p_i^{coll} = (1 - p) p^i, \text{ при } i = 0, 1, \dots, R-1; p_R^{coll} = p^R; \quad (13)$$

p – вероятность неудачной передачи;

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1}. \quad (14)$$

Используя (12)–(15) вычислим значение среднего размера конкурентного окна, далее получим значение среднего $\bar{\tau}$ и, подставив полученное значение средней вероятности в формулы (10), определим значения вероятностей успеха, коллизии (потери сообщения) и пустого слота. Далее, используя (9), вычислим значение виртуального времени передачи t_v .

Выполним расчет t_v для следующих исходных данных:

$$T_{\text{tun}} = 0,667 \text{ с}; T_{\text{fr}} = 1,307 \text{ с} [4];$$

$$T_{\text{slot}} = 0,01 \text{ с}; T_{\text{SIFS}} = 0,2 \text{ с}; T_{\text{DIFS}} = 0,41 \text{ с};$$

$$n = (1 \dots 16); W_0 = 8; R = 8.$$

Время опроса соседних станций и обмена информацией топологии составит:

$$T_{\text{HTC}}(n) = T_{\text{tun}} + T_{\text{DIFS}} + n(t_v(n)) + 2T_{W_{\max}} + T_{\text{HELLO}}; \quad (15)$$

$$T_{\text{HTC}}(8) = 55,937 \text{ с}.$$

На рис. 4 приведен график зависимости ожидаемого времени T_{HTC} для $n = 1, 2, \dots, 16$.

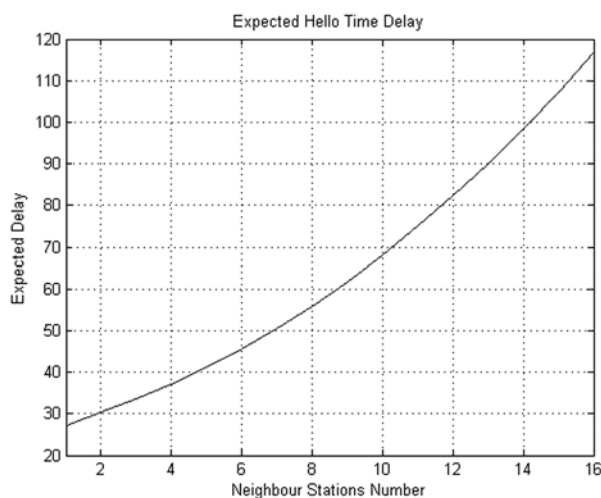


Рис. 4. Время определения соседних станций и обмена топологической информацией

В случае неудачного вызова время ожидания ответа соседних станций будет равно $T_{W_{\max}}$, так как ни одна из соседних станций не ответит на запрос NeighborRequest. Общее время задержки на канале трафика данных при поиске соседних станций составит:

$$T_{T_Err} = T_{\text{tun}} + T_{\text{fr}} + T_{\text{DIFS}} + 2T_{W_{\max}} + T_{\text{fr}} = 24,171 \text{ с}. \quad (16)$$

Таким образом, среднее время, необходимое для широковещательного вызова, определения соседних станций и обмена топологической информацией, будет

$$T(n) = S_{\text{ALE}}(n) * (T_{\text{SALE}} + T_{T_Err}) + T_{\text{HTC}}(n), \quad (17)$$

где n – количество соседних станций.

$$T(8) = 0,4785 \cdot (0,8 + 24,171) + 55,9370 = 683028 \text{ с}.$$

Полученные значения и зависимости позволят определить частоту выполнения операции обновления отношений соседства, контроля топологии сети, определить время распространения информации об изменении топологии сети и определить время вычисления маршрутов передачи сообщений.

Библиографические ссылки

1. Головин О. В. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи. – М. : Горячая линия-Телеком, 2006.

2. Mobile Ad hoc Networking (MANET) Neighborhood Discovery Protocol (NHDP) draft-ietf-manet-nhdp-07 Internet-Draft : T. Clausen Ecole Polytechnique, C. Dearlove BAE Systems Advanced Technology, J. Dean Centre Naval Re-

search Laboratory: The OLSRv2 Design Team, MANET Working Group: July 10, 2008.

3. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. – М. : Мир, 1989.

4. MIL-STD-188-141B Interoperability and Performance Standards for Medium and High Frequency Radio Systems. – 1999.

5. Вишневецкий В. М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М. : Техносфера, 2005.

I. Z. Klimov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

O. V. Merkushev, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

An Expected Time Delay Determination of Transmission Topology Control Messages Among HF-Network Neighbor Stations

The expected time delay on HELLO-message transmission among HF neighbor stations is considered. The research results may be used in regional area networks without a remote retransmitter to determine the routing method.

Key words: radio network, topology, protocol, message, delay.