

# **Аналитическая модель расчета длительности установления соединения в беспроводной локальной сети стандарта IEEE 802.11**

**Лаврухин В.А. ([vladimir.lavrukhin@gmail.com](mailto:vladimir.lavrukhin@gmail.com))**

**ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»**

## **Введение**

В настоящее время наблюдается значительное расширение спектра применения оборудования Wi-Fi, построенного по спецификациям стандарта IEEE 802.11, в различных прикладных задачах. Если в начале своего развития устройства применялись, главным образом, по основному назначению – для организации беспроводных локальных сетей в офисах и других помещениях, то сегодня можно найти и множество других примеров использования Wi-Fi. Например, производятся попытки конвергенции сетей GSM/GPRS с зонами доступа Wi-Fi. При этом важно обеспечить возможность эстафетной передачи (хэндовера) мобильного абонента из сети GSM в сеть Wi-Fi и наоборот. Для решения указанной задачи, необходимо уметь оценивать время установления соединения между абонентской станцией и точкой доступа в беспроводной локальной сети IEEE 802.11. Сложность оценки данного параметра заключается в том, что он не нормирован в спецификациях стандарта и, следовательно, не имеет даже рекомендованного значения.

В данной работе представлена аналитическая модель, позволяющая оценить время установления соединения между абонентской станцией и точкой доступа в беспроводной локальной сети IEEE 802.11.

## **Процесс установления соединения в беспроводной локальной сети стандарта IEEE 802.11**

Процесс установления соединения между любыми станциями в сети Wi-Fi описан в спецификации стандарта IEEE 802.11 [1] и состоит из трех последовательных этапов: сканирование и синхронизация, аутентификация, ассоциация.

На первом этапе станция находит радиоканал, на котором работает точка доступа, определяет параметры ее настройки и производит синхронизацию. Сканирование может производиться в пассивном или активном режиме. В первом случае станция прослушивает каждый радиоканал и ожидает передачи маячкового кадра (beacon) для получения настроек точки доступа. При активном сканировании в каждом из радиоканалов абонентская станция передает кадр запроса на зондирование (probe request) и ожидает получения кадра ответа на зондирование (probe response), в котором также передаются настройки точки доступа.

Используя полученные в ходе сканирования настройки, абонентская станция производит синхронизацию с точкой доступа. В процессе синхронизации станция устанавливает значения полей временной отметки (timestamp) и идентификатора базовой зоны обслуживания (BSSID), полученные в одном из принятых от точки доступа кадров [1].

Окончив сканирование и синхронизацию, станция переходит ко второму этапу установления соединения – аутентификации. В спецификациях базового стандарта IEEE 802.11 [1] описано два типа аутентификации: открытая (open system) и аутентификация с помощью совместно используемых ключей (shared key). Еще один тип аутентификации описан в спецификации IEEE 802.11i [2], однако его работа начинается уже после выполнения стандартной процедуры установления соединения между станцией и точкой доступа, поэтому в данной статье он не рассматривается.

Первый тип аутентификации является самым простым и позволяет любой станции получить статус аутентифицированной, если точка доступа также применяет открытую аутентификацию. При использовании открытой аутентификации между станцией и точкой доступа происходит обмен двумя кадрами аутентификации. Первый является запросом, а второй – ответом на запрос аутентификации.

Аутентификация с помощью совместно используемых ключей предполагает поддержку станцией и точкой доступа протокола WEP. При использовании данного типа аутентификации станция и точка доступа обмениваются четырьмя кадрами аутентификации.

На заключительном этапе установления соединения происходит ассоциация, в ходе которой станции присваивают идентификатор ассоциации (AID), использующийся для поддержания ее работы в спящем режиме. В ходе ассоциации станция отправляет на точку доступа кадр запроса ассоциации, а точка доступа передает обратно кадр ответа на запрос ассоциации. В результате этого обмена станции присваивается AID, и процесс установления соединения завершается.

Все кадры, которыми обмениваются станция и точка доступа при установке соединения, передаются с использованием базового механизма доступа к среде, причем скорость передачи этих кадров на физическом уровне составляет 1 или 2 Мбит/с [1].

### **Модель расчета длительности установления соединения**

Для оценки общего времени установления соединения воспользуемся методом декомпозиции процесса установления соединения с последующим учетом времени, требующегося на выполнение каждого из отдельных этапов рассматриваемого процесса.

Итак, общее время установления соединения станции с точкой доступа  $t_{общ}$  складывается из длительностей трех описанных выше этапов: сканирования и синхронизации, аутентификации и ассоциации (1).

$$t_{общ} = t_{скан} + t_{аут} + t_{ассоц} \quad (1)$$

Длительность этапа сканирования  $t_{скан}$  главным образом зависит от выбранного режима сканирования – пассивного либо активного. Максимальная длительность режима пассивного сканирования  $t_{скан.пас}$  зависит от параметра *ChannelTime*, который ограничивает время прослушивания одного канала. Параметр *ChannelTime* не нормирован в спецификациях стандарта IEEE 802.11, поэтому каждый производитель вправе использовать для него любое значение. На практике этот параметр устанавливают равным или большим периода следования маячковых кадров  $T_{маячк}$ . Длительность сканирования в активном режиме  $t_{скан.акт}$  зависит от количества каналов в диапазоне  $N$ , времени, затрачиваемого на доступ к среде посредством базового механизма и на передачу кадра  $T_{дост}$ , а также параметров *MinChannelTime* и *MaxChannelTime*, ограничивающих время прослушивания одного канала. В режиме активного сканирования абонентская станция ожидает ответа на зондирующий кадр в течение времени, указанного в *MinChannelTime*. Причем, если за время *MinChannelTime* станцией получен хотя бы один кадр, то она продолжает прослушивать данный канал до истечения времени, указанного в *MaxChannelTime*. Оба указанных параметра также не нормированы в спецификациях стандарта, и поэтому каждый производитель оборудования Wi-Fi может задавать для них любые значения на свое усмотрение.

Пренебрегая временем передачи кадра в среде, длительности пассивного и активного режимов сканирования можно рассчитать по формулам (2), (3).

$$t_{скан.пас} = N \cdot T_{маячк} \quad (2)$$

$$t_{скан.акт} = N_{исп} \cdot (T_{дост} + MaxChannelTime) + N_{неисп} \cdot (T_{дост} + MinChannelTime) \quad (3)$$

Здесь  $N_{исп}$  – это число используемых каналов в диапазоне, т.е. каналов, на которых работают точки доступа;  $N_{неисп}$  – это число неиспользуемых каналов в диапазоне;  $N_{исп} + N_{неисп} = N$ .

Длительность этапа аутентификации  $t_{аут}$  меняется в зависимости от выбранного типа аутентификации – открытая аутентификация  $t_{аут.откр}$ , либо аутентификация с совместно используемым ключом  $t_{аут.совм}$ . В обоих случаях длительность этапа зависит от времени, затрачиваемого на доступ к среде посредством базового механизма и на передачу кадра. При открытой аутентификации между станцией и точкой доступа происходит обмен двумя кадрами, а при аутентификации с помощью совместно используемых ключей – четырьмя кадрами. Поэтому, пренебрегая временем передачи кадров в радиоканале, можно записать:

$$t_{аут.откр} = 2 \cdot T_{доств}, \quad t_{аут.совм} = 4 \cdot T_{доств} \quad (4)$$

Этап ассоциации не имеет каких-либо режимов, существенно меняющих его длительность, поэтому на его продолжительность  $t_{ассоц}$  влияет лишь время, затрачиваемое на доступ к среде посредством механизма DCF и на передачу кадра. На этапе ассоциации станция и точка доступа обмениваются двумя кадрами, следовательно, можно записать:

$$t_{ассоц} = 2 \cdot T_{доств} \quad (5)$$

Параметры *MinChannelTime* и *MaxChannelTime* в (3) можно оценить с помощью методики, предложенной в [3], однако следует иметь в виду, что производитель конкретного устройства может устанавливать свои собственные значения для данных параметров. Поэтому для получения более точной оценки этих параметров следует провести экспериментальные исследования, используя оборудование конкретного производителя.

Особое место в процессе установления соединения между станциями в беспроводной локальной сети IEEE 802.11 занимает доступ к общей среде передачи. Для получения доступа к среде станция случайным образом выбирает значение таймера отката (backoff timer) в пределах от 0 до текущего значения

окна состязаний (contention window) и начинает его обратный отсчет с тактовым периодом, равным длительности слота (slot time), который нормирован в спецификациях физического уровня стандарта IEEE 802.11. Указанный фактор случайности будет придавать времени доступа станции к среде и, следовательно, общему времени установления соединения вероятностный характер. Для оценки последнего можно воспользоваться одной из разработанных аналитических моделей [4], [5], [6] или результатами имитационного моделирования. В работах [4], [5], [6] показано, что получаемые с помощью аналитических моделей результаты с высокой степенью точности совпадают с результатами имитационного моделирования, поэтому для исследования можно выбрать любой из методов.

Подставив (2), (3), (4), (5) в уравнение (1), можно получить общее время установления соединения абонентской станции с точкой доступа Wi-Fi. Пример расчета длительности процесса установления соединения в беспроводной локальной сети IEEE 802.11 приведен на рис. 1. Для построения графика выбран механизм открытой аутентификации, т.к. он наиболее простой и быстрый. Значения *MinChannelTime* и *MaxChannelTime* взяты из [3]. Маячковый период принят равным 100 мс, т.к. именно это значение по умолчанию используют все производители оборудования Wi-Fi. Число используемых каналов принято равным 3, т.к. в диапазоне 2,4 ГГц для физических уровней 802.11 b и g при использовании в Европе определено три непересекающихся радиоканала из 13 доступных.

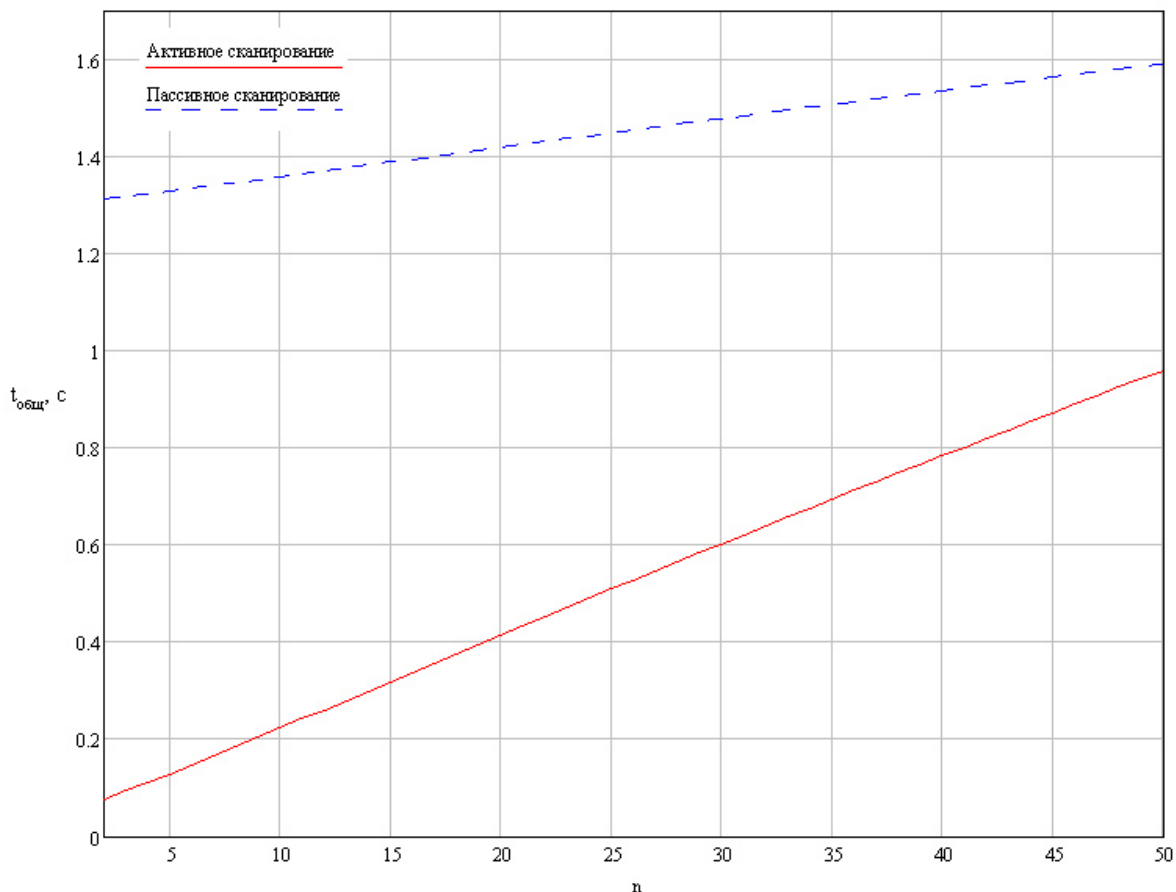


Рис.1. Зависимость времени установления соединения от количества станций в зоне обслуживания

На графике показано время установления соединения между точкой доступа и абонентской станцией в беспроводной локальной сети IEEE 802.11 в зависимости от числа станций, находящихся в зоне обслуживания. Расчет произведен для случая, когда у любой станции в сети в любой момент времени есть пакет, предназначенный для передачи, т.е. в условиях большой нагрузки в сети. График построен для двух режимов сканирования: активного и пассивного.

Из представленных на графике зависимостей четко видно, что большое влияние на общее время установления соединения абонентской станции с точкой доступа оказывает выбранный режим сканирования. При использовании пассивного сканирования длительность процесса установления соединения превышает 1 секунду для любого количества работающих в зоне обслуживания станций. Однако при использовании активного сканирования это показатель

значительно ниже. Поэтому для уменьшения времени установления соединения следует использовать режим активного сканирования и по возможности уменьшать количество станций, находящихся в зоне обслуживания.

### **Заключение**

Итак, на основе анализа процесса установления соединения между абонентской станцией и точкой доступа в беспроводной локальной сети Wi-Fi, в статье предложена модель, позволяющая аналитическим путем определить длительность рассматриваемого процесса. Определены ключевые параметры, влияющие на время установления соединения, и даны рекомендации по его уменьшению.

### **Литература**

1. IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Std. 802.11-1999, IEEE, New York, 1999.
2. IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Amendment 6: Medium Access Control (MAC) Security Enhancements, IEEE Std. 802.11i-2004, IEEE, New York, 2004.
3. H. Velayos and G. Karlsson. “Techniques to reduce IEEE 802.11b MAC layer handover time”, KunglTekniska Hogskolen, Stockholm, Sweden, Tech. Rep. TRITA-IMIT-LCN R 03:02, ISSN 1651-7717, ISRN KTH/IMIT/LCN/R-03/02 SE, April 2003.

4. P. Chatzimisios, V. Vitsas, A. C. Boucouvalas. Throughput and delay analysis of IEEE 802.11 protocol. Proceedings of IEEE 5th International Workshop on Networked Appliances, October 2002.
5. I. N. Vukovic, N. Smavatkul. Delay analysis of different backoff algorithms in IEEE 802.11. IEEE VTC 2004.
6. M. Ergen, P. Varaiya. Delay Analysis of Distributed Coordination Function in IEEE 802.11. IEEE GLOBECOM 2006.