

УДК 621.391.63

**Система автоматического управления поездами с
использованием оптоволоконных беспроводных локальных сетей**

Отто Штробель

Университет прикладных наук, Фландернштрассе 101,

Эсслинген, D-73732, Германия

e-mail: otto.strobel@hs-esslingen.de

e-mail: weweme00@hs-esslingen.de

Аннотация

Настоящая статья демонстрирует, как можно повысить надёжность и эффективность затрат в оптоволоконных беспроводных локальных сетях (БЛС) с использованием протокола управления доступом к каналу передачи данных IEEE 803.11. Хотя доказано, что задержка прохождения сигнала по оптоволокну может сдвинуть временные границы протокола IEEE 803.11, при тщательном выборе временного сегмента, такие сети могут иметь преимущество даже без изменения существующего протокола. Рассчитана топология сети, которая основана на условиях эксплуатации БЛС, используемой в метро города Наньцзин (Китай) в рамках Системы прямой передачи сообщений в системе подвижной связи Trainguard. Проведено моделирование различной конфигурации системы.

Ключевые слова: беспроводные локальные сети, надёжность, эффективность затрат, топология сети, моделирование.

1. Введение

Технология передачи радиосигналов по оптоволокну позволяет транслировать сигналы на большие расстояния и при этом снижает затраты на создание антенных полигонов, поскольку обработка сигнала может осуществляться на Центральном Пункте (ЦП) [1]. Спецификации стандарта 802.11 для беспроводных радио локальных вычислительных сетей (ЛВС) были разработаны для беспроводных локальных сетей (БЛС), где нет никакой существенной задержки сигнала. Обычно задержка при распространении ЭМВ в открытом пространстве намного меньше, чем $1 \mu\text{s}$. В оптоволоконных БЛС происходит дополнительная временная задержка в оптоволокне. Поэтому суммарная задержка при прохождении радиоволн в таких сетях – это сумма задержки при распространении радиоволн в открытом пространстве и задержки, вызванной прохождением через оптоволокно.

2. Описание системы

В случаях обеспечения непрерывной связи или связи между точками эта система гарантирует безопасность движения поезда и его непрерывный контроль. Обеспечение безопасности в случае разрыва поезда основывается на принципе движения блока 1 [2]. Система АУП устанавливает и контролирует два момента в потоке данных. Пропускная способность для системы АУП должна составлять 10 кбит/сек для нисходящей линии связи и 1 кбит/сек для восходящей, и каждый переданный фрейм не должен быть дольше 10 миллисекунд. Имеется два типичных

размера фреймов, используемых в системе АУП. 30 % всех фреймов состоят из 170 байтов, а 70 % состоят из 220 байтов. Используемый стандарт БЛС - 802.11b, поэтому максимальная пропускная способность - 11 Мбит/с.

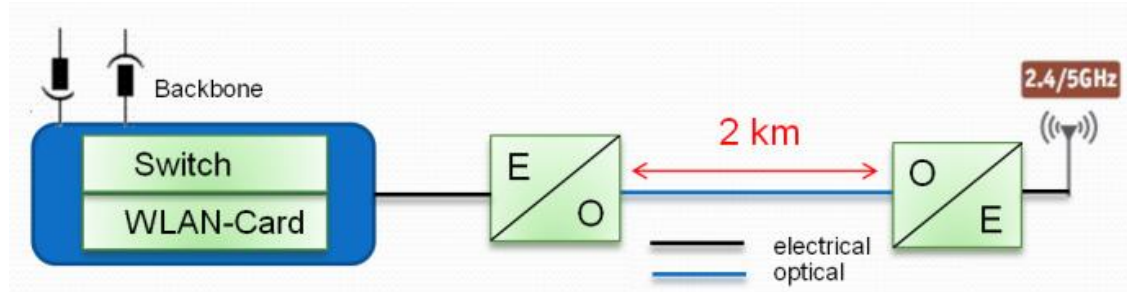


Рисунок 1. Компоненты системы передачи радиосигналов по оптоволокну

Система передачи радиосигналов по оптоволокну использует понятие Мобильной антенной станции (МАС). Эта станция состоит из интерфейса между оптическими и электронными системами связи (на рисунке 1 обозначены соответственно буквами “О - optical” и “Е - electrical”; “Backbone - Магистраль”), преобразователя дополнительной частоты с повышением или с понижением, маломощного усилителя (МШУ) и антенно-фидерного устройства (АФУ). Это означает, что управление ресурсом и схема формирования сигнала Центрального Участка (ЦУ) могут быть перемещены в централизованное место и разделены между несколькими мобильными станциями, упрощая, таким образом, общую архитектуру.

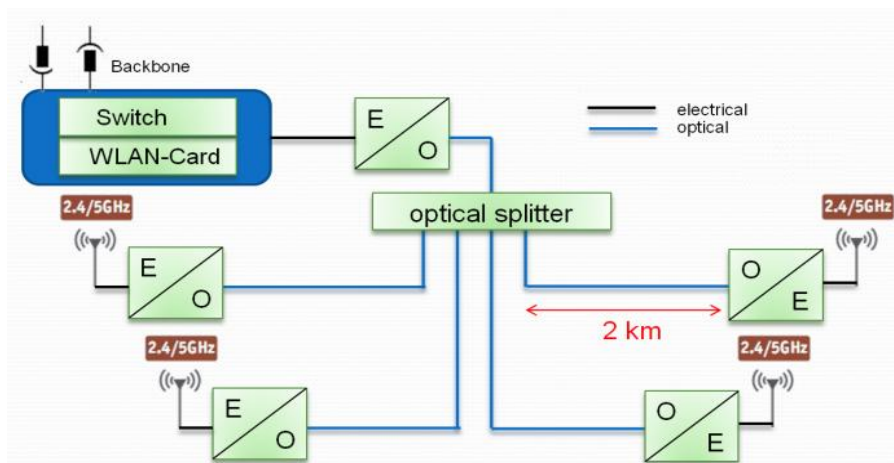


Рисунок 2. Топология передачи радиосигналов по оптоволокну с использованием оптического разветвителя

В случае использования оптического разветвителя (optical splitter) к одному ЦУ может быть подсоединены несколько МАС. Все подсоединенные МАС образуют более широкую сеть, которая имеет одну Точку беспроводного доступа (AP). При существующей топологии рекомендуемая длина оптоволокну составляет 2 км.

3. Протокол IEEE 802.11

Стандартный протокол IEEE 802.11 разработан для БЛС и представляет собой протокол многостанционного сетевого доступа с контролем несущей (МДКН), в котором станции в сети должны «конкурировать» за доступ к разделенной среде передачи данных [3]. Протокол обладает некоторыми общими особенностями, характерными для более известных сетей коллективного доступа, таких как Ethernet (IEEE 802.3) но, в то же время, имеет ряд существенных различий. Протокол IEEE 802.11 использует, как и Ethernet, коллективный доступ с контролем несущей для определения факта использования канала передачи информации в данное время. Если две или более станции в сети осуществляют передачу данных в одно и то же время

(то есть, два узла сети одновременно пытаются занять канал и происходит столкновение), то все рабочие станции выжидают случайное время, прежде чем предпринять новую попытку передачи данных. При этом сетевые адаптеры запрограммированы на разные временные промежутки, как и в сети Ethernet. IEEE 802.11 отличается от многих протоколов коллективного доступа тремя особенностями, а именно: (1) канал передачи, (2) обнаружение столкновения, и (3) алгоритм возврата к предыдущему состоянию или режиму передачи данных для повторения в случае обнаружения ошибки.

В большинстве сетей данные передаются по проводам или оптоволокну. В беспроводных сетях информация передается по радиоканалу. Второе отличие протокола IEEE 802.11 от многих многократных протоколов коллективного доступа заключается в обнаружении столкновения (collision). В проводных сетях станции могут прослушивать свои собственные передачи, поэтому если в это же время другая станция работает на передачу, то станции обнаружат, что произошло столкновение. При этом станции не могут слушать свои передачи, если в это же время осуществляется передача по радиоканалу. Поэтому они должны полагаться на подтверждение приёмной станции, чтобы определить, была ли передача успешной. Если не получено никакого подтверждения, то передача осуществляется повторно.

Третья особенность, по которой протокол IEEE 802.11 отличается от других, заключается в алгоритме возврата к предыдущему состоянию при передаче данных для повторения в случае обнаружения ошибки. Во многих алгоритмах возврата к предыдущему состоянию устанавливается таймер и осуществляет отрицательный

отсчет времени, пока не достигнет нуля, после чего станция вновь передает данные (при отсутствии работы других станций). В протоколе IEEE 802.11 таймер считывает свободные временные интервалы и осуществляет отрицательный отсчет только тогда, когда канал свободен.

Алгоритм возврата работает следующим образом: таймер возврата устанавливается путем выбора случайного целого числа в рамках равномерного распределения на интервале $[0, \text{временной интервал (CW)}]$, где временной интервал - это ширина (во временных интервалах) окна [периода] проверки на столкновение. Окно проверки на столкновение - это диапазон целых чисел, из которых станции в сети выбирают свои значения для таймера возврата. Для каждого обнаруженного свободного временного интервала таймер осуществляет отрицательный отсчет на одну единицу времени. Если канал становится занятым до окончания работы таймера, то таймер перезагружается, пока не обнаружит другой свободный временной интервал, после чего алгоритм возврата запускается сначала. Когда таймер достигает нуля, станция передает свой пакет. Если возникает столкновение, то временной интервал удваивается, пока не достигает максимального значения (CW_{max}). Временной интервал перезагружается до минимального значения по умолчанию (CW_{min}) после успешной передачи.

4. Обсуждение

Столкновения могут произойти вследствие того, что алгоритм возврата не сработает из-за чрезмерной длины оптоволоконной линии. Если окна с двумя узловыми точками будут меньше времени прохождения сигнала, то многостанционный сетевой доступ с

контролем несущей (МДКН) может не сработать. Поэтому к данному времени ожидания повторной передачи после устранения конфликта в сети необходимо добавить время, требуемое пакету для перемещения от источника к приёмнику, в зависимости от выбранного стандарта. Увеличение временного интервала приведет к значительному сокращению пропускной способности. Из-за сложности сценария, представленного на рисунке 3, имитационное моделирование представляется неизбежным.

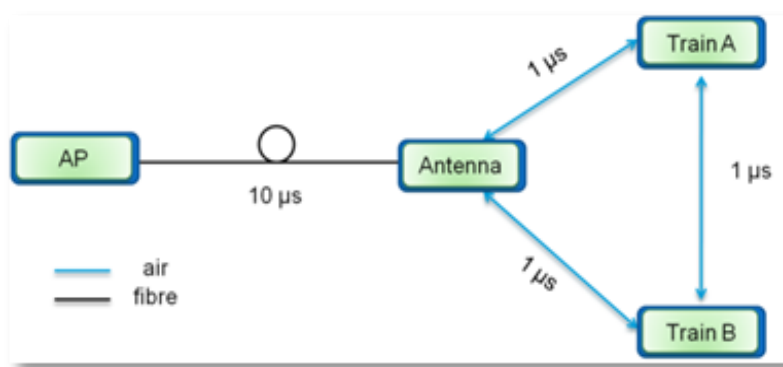


Рисунок 3. Схема передачи информации в САУ поезда

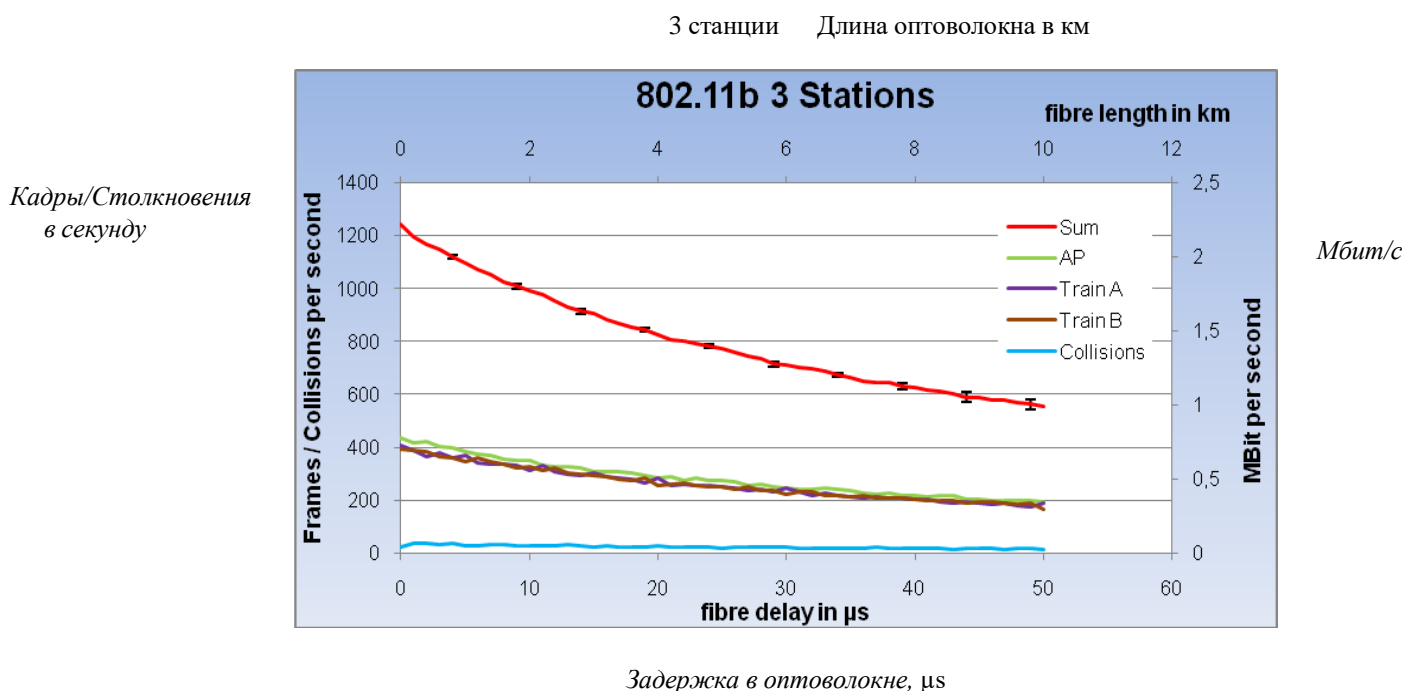


Рисунок 4. Пропускная способность в зависимости от длины оптоволоконна

Параметры настройки для проведения имитационных экспериментов приведены в таблице 1:

Таблица 1. Параметры настройки для имитационного моделирования без оптического разветвителя

МДКН / WLAN Стандарт	802.11b
Количество узлов	3 (Концентратор, Поезд / Train A, Поезд / Train B)
Время ожидания повторной передачи после устранения конфликта (в сети) / slot time	Адаптивное
Минимальный временной интервал CWmin	31
Задержка в оптоволокне / fibre delay	0..50µs
Размер фрейма / frame size	30% 170 байт / 70 % 220 байт*
Максимальная задержка на время повтора передачи retry max	6

*Данные размеры кадров были сформированы и использованы в процесс моделирования для системы автоматического управления поездом.

Результаты имитационного моделирования приведены на рисунке 4. Необходимая полоса пропускания на 10 кбит/сек не превышает даже при длине оптоволокна 10 км. Обычно Система автоматического управления (САУ) поездом передаёт только 25 фреймов в секунду, в то время как моделирование свидетельствует о возможности передачи более 300 фреймов при длине оптоволокна 2 км, с незначительным числом столкновений. Такой уровень передачи фреймов подразумевает, что ни один фрейм не будет дольше 100 миллисекунд, что и является одним из упомянутых условий. Во время имитационного моделирования счётчик

повторной попытки никогда не превышал своё максимальное значение, что показывает, что каждый кадр был передан.

Положительный результат моделирования показывает, что может быть смоделировано использование оптического разветвителя. На рисунке 5 приведен еще более сложный сценарий передачи сигналов в САУ поезда.

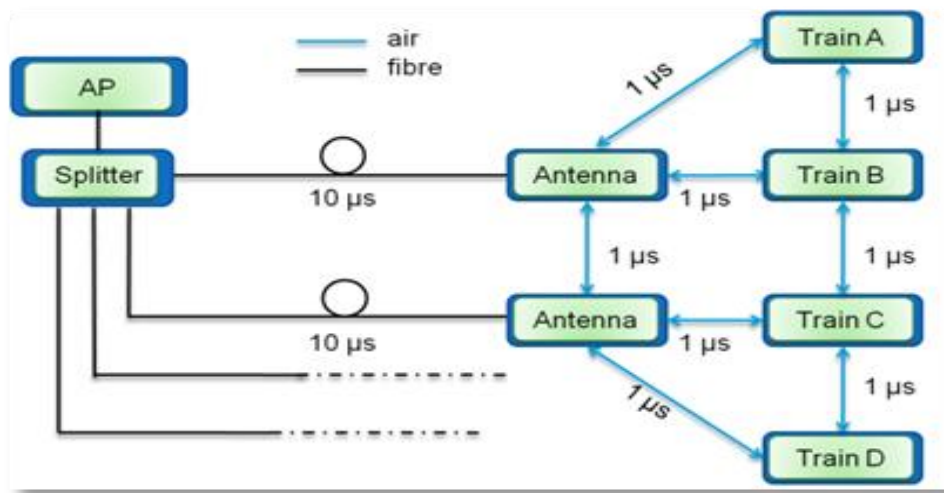


Рисунок 5. Схема передачи информации в САУ поезда с использованием оптического разветвителя

В то время как задержка сигнала при прохождении через оптоволокно подобна первой схеме и результатам соответствующего моделирования, прохождение радиосигнала становится более сложным. Из-за ограниченной зоны покрытия, поезда находятся вне зоны досягаемости между собой. Рисунок 5 показывает, например, что поезд А невидим для поезда С. Из-за ограничения по полосе частот используется оптический разветвитель 1:2, поэтому единственная точка беспроводного доступа, представляющая собой концентратор, поддерживающий стандарты 802.11a и 802.11b, присоединяется к двум антеннам. Новые параметры настройки для очередного имитационного моделирования приведены в таблице 2:

Таблица 2. Параметры настройки для имитационного моделирования с оптическим разветвителем

МДКН / WLAN Стандарт	802.11b
Количество узлов	5 (Концентратор, Поезд А, Поезд В, Поезд С и поезд D)
Время ожидания повторной передачи после устранения конфликта (в сети) / slot time	Адаптивное
Минимальный временной интервал CWmin	31
Задержка в оптоволокне / fibre delay	0..50µs
Размер фрейма / frame size	30% 170 байт / 70 % 220 байт*
Максимальная задержка на время повтора передачи retry max	6

Результаты имитационного моделирования приведены на графиках рисунка 6.

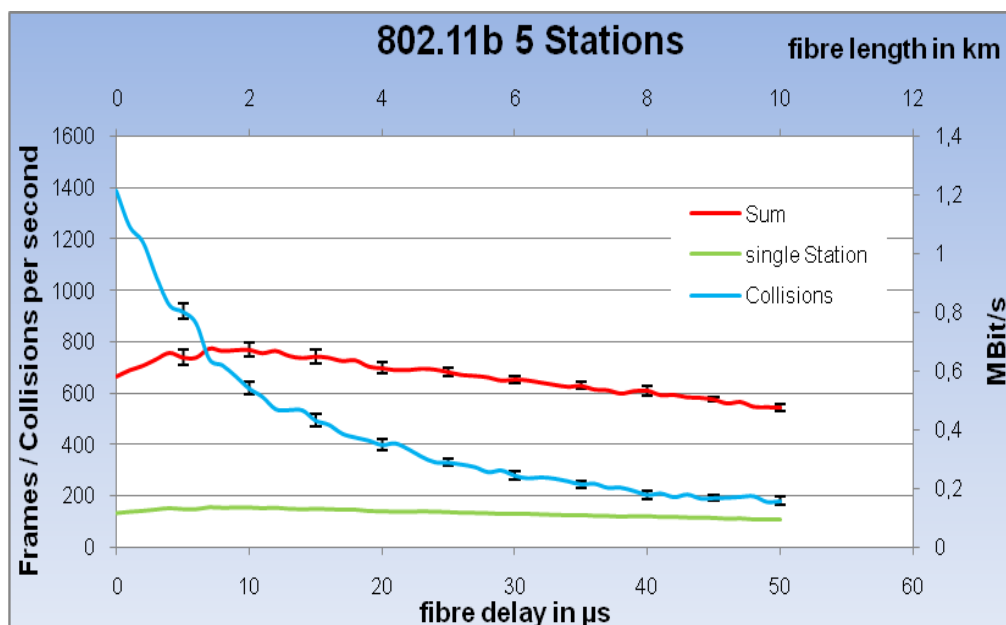


Рисунок 6. Пропускная способность по длине оптоволокна с использованием оптического разветвителя

Снова два условия, заданные САУ поезда, были выполнены. Хотя число столкновений очень высоко, счётчик повторной попытки ни разу не превышал максимальное значение. При скорости передачи 180 фреймов в секунду при длине оптоволокна 2 км полоса пропускания достаточна для обеспечения работы САУ поезда с передачей радиосигналов по оптоволокну и использованием оптического разветвителя. Для демонстрации того, что возникает слишком много столкновений без изменения времени ожидания повторной передачи после устранения конфликта, было выполнено ещё одно имитационное моделирование.

На рисунке 7 показан результат моделирования, где время ожидания не было изменено.

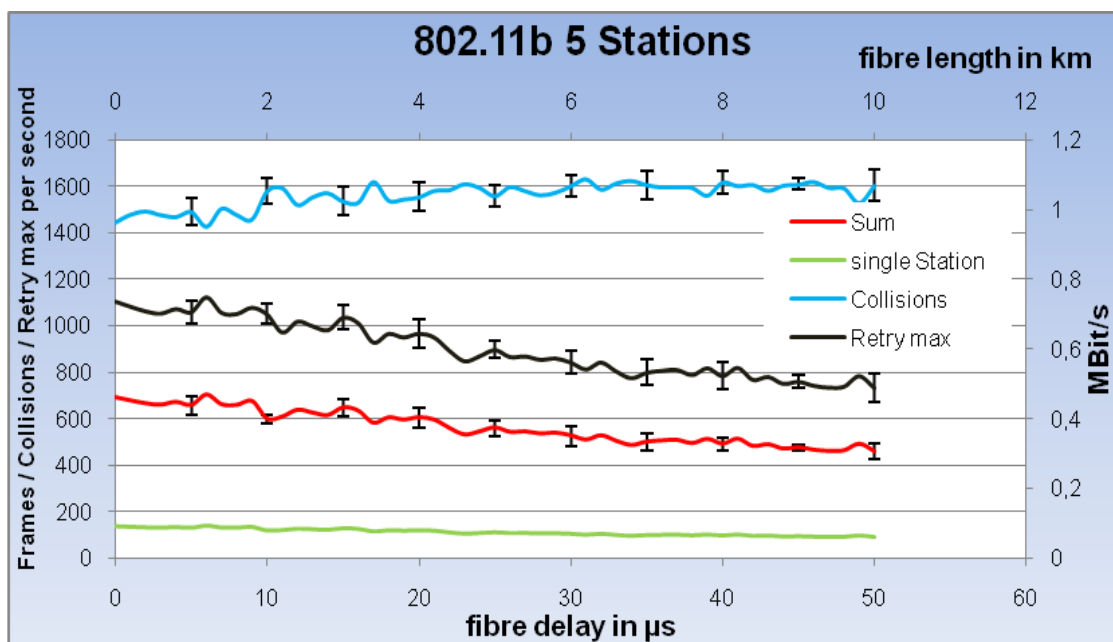


Рисунок 7. Пропускная способность по длине оптоволокна с использованием оптического разветвителя (статическое время ожидания повторной передачи после устранения столкновения в сети $10\mu\text{s}$)

При этом счётчик повторов особенно часто показывал максимальное значение, а это приводило к тому, что фреймы отвергались. В результате САУ поезда не

работала, потому что слишком много фреймов не могли быть переданы в течение 100 миллисекунд. В качестве резюме можно отметить, что без изменения времени ожидания повторной передачи после устранения столкновения появлялось слишком много столкновений, что приводило к отказу системы.

5. Заключение

Имитационное моделирование показало, что оптоволоконные БЛС могут быть реализованы только при условии изменения времени ожидания повторной передачи после устранения столкновения в сети в зависимости от длины оптоволоконна.

Наконец было подтверждено, что общие уровни управления доступом к среде могут использоваться в БЛС по сценарию решения задач и использованием оптоволоконна, если время ожидания повторной передачи после устранения конфликта будет увеличено на время запаздывания.

Автор выражает свою благодарность Компании Siemens AG Munich, Германия за предоставленные возможности проведения исследований. В особенности выражает свою благодарность Себастьяну Ранделу за поддержку в практической работе и многих полезных дискуссиях.

Sto Nobel

Библиографический список

1. D. Wake. "Trends and prospects for radio over fiber picocells", in Proc. Int. Topical Meeting in Microwave Photonics, Awaji, Japan, Nov. 2002, pp. 21-24.
2. Siemens AG: "Siemens Transportation Systems". http://www.nwe.siemens.com/denmark/internet/dk/mobility/signal_sikringsteknik/togkontrol/Documents/Trainguard_MT_CBTC_eng.pdf (last accessed date 01. August 2010).
3. Pablo Brenner. "A Technical Tutorial on the IEEE 802.11 Protocol". Stand 18. July 1996. http://www.sss-mag.com/pdf/802_11tut.pdf (last accessed date 1. August 2010).