

А.А. Мусалитин

К ВОПРОСУ ОБ АТМОСФЕРНЫХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ

Мусалитин Артем Анатольевич, студент радиотехнического факультета Ульяновского государственного технического университета. Техник ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». [e-mail: musalitin.a.a@gmail.com].

Аннотация

В статье рассмотрена технология атмосферных оптических линий связи, ее преимущества и недостатки, а также выполнено сравнение с другими линиями связи.

Ключевые слова: атмосферные оптические линии связи, беспроводная оптическая связь, линии связи, FSO.

Введение

Современный этап развития автоматизированных систем военного назначения характеризуется все большим распространением беспроводных систем связи и передачи данных. Существующие системы радиосвязи, как правило, имеют низкую скорость передачи данных и слабую помехозащищенность. Факт передачи по каналам радиосвязи легко обнаружить. Для решения указанных проблем могут использоваться атмосферные оптические линии связи (АОЛС), известные в литературе как системы FSO (Free Space Optics).

Для передачи информации в данных системах вместо радиоволн применяются лучи, находящиеся в ближнем инфракрасном диапазоне волн 780–850 нм и 1520–1600 нм.

Диапазон волн 780–850 нм

На длине волны 780 нм работают лазеры, использующиеся в CD-приводах, однако при проектировании систем необходимо учитывать срок службы данных лазеров (к примеру, работа лазеров на мощности, значительно меньшей максимально допустимой, позволяет существенно увеличить срок их службы). В районе длины волны около 850 нм широко распространены высокоскоростные приемные и передающие компоненты, обычно используемые в сетях и передающем оборудовании. В этом диапазоне могут применяться высокочувствительные кремниевые лавинные фотодиоды и лазеры с вертикальной излучающей поверхностью. Недостатком является возможность перехвата излучения с помощью приборов ночного видения, однако демодуляция сигнала путем использования этой техники невозможна.

Диапазон волн 1520–1600 нм

Эти длины волн хорошо подходят для FSO-применений, и к настоящему времени доступны высококачественные компоненты для приема и передачи излуче-

ния. Сочетание малого затухания и высокого качества электронных компонентов для данного диапазона позволяет создавать FSO-системы с волновым мультиплексированием. Однако указанные компоненты стоят дороже, приемники обладают меньшей чувствительностью, малыми размерами приемной площадки по сравнению с приемниками на кремниевых лавинных фотодиодах, работающими на 850 нм. Этот диапазон длин волн применяется в волоконно-оптических системах при работе на большое расстояние, и много компаний работает над снижением стоимости и увеличением скорости компонентов в области 1200–1600 нм. Кроме того, на этих длинах волн работают эрбиевые усилители, что очень важно для создания мощных (> 500 мВт) и высокоскоростных ($> 2,5$ Гбит/с) систем. В диапазоне 1520–1600 нм, по сравнению с диапазоном 780–850 нм, может быть передано в 50–65 раз больше мощности для того же класса лазерной безопасности ввиду меньшего поглощения человеческим глазом излучения для этих длин волн [1]. Отметим, что излучение данной длины волны нельзя перехватить с помощью приборов ночного видения, что является преимуществом использования данных длин волн по сравнению с диапазоном 780–850 нм.

Вследствие того что атмосферные оптические системы и волоконно-оптические системы используют волны инфракрасного диапазона и имеют одинаковые возможности по полосе передачи, АОЛС часто называют безволоконной оптикой или беспроводной оптической связью.

Анализ эффективности АОЛС

Выполним оценку эффективности АОЛС по сравнению с медным и оптоволоконным кабелем, а также радиосвязью.

Для начала рассмотрим медный кабель. Некоторые его характеристики позволяют практически точно рассчитать параметры создаваемого канала связи. Для такого канала не важно, каково направление передачи и находятся ли объекты в прямой видимости, не требуется информация о влиянии осадков и многих других факторов. Частота появления ошибочных битов (BER) составляет величину порядка 10 и выше, что значительно больше величины этого показателя у оптоволоконного или беспроводного канала связи. Медные кабели относятся к низкоскоростным каналам связи.

Оптоволоконные кабели имеют значительные преимущества перед медными. Высокие показатели пропускной способности, качества передачи ($BER < 10^{-10}$) и помехозащищенности, меньшие потери энергии при передаче – вот далеко не полный список преимуществ оптоволоконного канала. Однако его прокладка является довольно затратной. К этому надо добавить значительную трудоемкость работ по прокладке и высокую стоимость сварочного и измерительного оборудования.

В настоящее время широкое применение находит радиосвязь, особенно радиорелейные линии и радиомодемы. Они также имеют свой набор преимуществ и недостатков. Существующие технологии радиосвязи при создании канала для передачи данных обеспечивают более высокое качество ($BER < 10^{-10}$) и увеличение пропускной способности по сравнению с медным кабелем. Возможны искажения или потери данных из-за сложной помеховой обстановки [2].

Преимуществами АОЛС являются:

- «прозрачность» для большинства сетевых протоколов (Ethernet, Token Ring, Sonet/OC, ATM, FDDI и др.);
- высокая скорость передачи данных до 1 Гбит/с;
- высокое качество связи с BER = 10^{-10} ... 10^{-9} ;
- подключение приемопередатчика к сети передачи данных при помощи кабельных и / или оптоволоконных устройств сопряжения;
- отсутствие необходимости получения разрешений на использование;
- быстрое развертывание;
- относительно низкая стоимость оборудования по сравнению с радиосистемами.

Недостатками являются:

- зависимость от погодных условий;
- необходимость точного прицеливания приемника и передатчика;
- низкая дальность связи.

Сравнение некоторых характеристик линий связи представлено в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительная таблица различных линий связи [2]

| Линия связи | Медный кабель | Оптоволокно | Радиоканал | FSO |
|---|--|--|--|--|
| Ориентировочная стоимость | 3 ÷ 7 тыс. \$ США за 1 км | до 10 тыс. \$ США за 1 км | 7 ÷ 100 тыс. \$ США за комплект | 12 ÷ 22 тыс. \$ США за комплект |
| Время на подготовку и выполнение монтажа | подготовка работ и прокладка – до 1 месяца | подготовка работ и прокладка ВОЛС – 1–2 месяца | подготовка работ – 2–3 месяца, установка – несколько часов | подготовка работ – 1–2 недели, установка – несколько часов |
| Максимальная дальность связи без повторителей | до 20 км при использовании HDSL | не менее 50–70 км | до 80 км (зависит от мощности сигнала) | до 5 км |
| Вероятность ошибки на бит (BER) | $>10^{-7}$ | $<10^{-10}$ | 10^{-10} | 10^{-10} ... 10^{-9} |

Рассмотрим преимущества и недостатки FSO-систем более подробно.

FSO-системы используются для организации беспроводных соединений по схеме «точка – точка» при условии прямой видимости между приемным и передающим устройствами [3]. Данная схема соединения имеет как достоинства, так и недостатки.

Достоинством соединения «точка – точка» является то, что оно позволяет минимизировать шансы обнаружения факта передачи информации с помощью различных детекторов, так как FSO-системы, в отличие от радиолиний, передают излучение, формируя узконаправленный луч. Для перехвата информации требуется поместить перехватывающие устройства в сам луч, что довольно проблематично, так как линия связи находится на определенной высоте над землей, диаметр излучаемого луча невелик, а любой предмет, внесенный в луч, легко обнаруживается. Все это обеспечивает скрытность связи и повышенную защищенность от перехвата и / или ввода ложной информации в канал связи [2, 4].

Недостатком будет являться невозможность передачи информации сразу на несколько приемных устройств, а следовательно, для каждого приемника необходим свой передатчик.

АОЛС не создают электромагнитных помех, а также имеют высокую надежность связи.

Время развертывания (свертывания) атмосферных оптических линий связи составляет несколько часов, что удобно при необходимости быстрого подключения какого-либо оборудования в случае отсутствия канала связи или его повреждения, а также при переезде [5]. Это является важным фактором для создания каналов связи в случае необходимости их оперативного развертывания.

FSO-системы работают со скоростью до 1 Гбит/с. Пропускная способность не определена частотой передачи сигнала, а зависит от способности принимать оптический сигнал с максимально возможной скоростью. Если передается и принимается достаточная мощность пучка света в системе FSO, то скорость передачи данных остается высокой [6]. В данных системах отсутствуют задержки при передаче информации (ping < 1ms), благодаря чему средства FSO хорошо подходят для пересылки трафика VoIP.

Одно из главных воздействий на качество связи при передаче оптического сигнала в атмосфере оказывают погодные условия. При использовании во время густого тумана, сильного снегопада и подобных погодных условий, во время которых значительно снижается дальность видимости, связь заметно ухудшается. Также во время непогоды канал на FSO-оборудовании будет передавать данные со скоростью меньшей, чем в ясную погоду. Это происходит из-за того, что беспроводная FSO-система, в отличие от волоконно-оптических линий связи, в которых передача данных становится невозможной при слишком высоком уровне вносимых потерь (затухания), реагирует на ослабление мощности принимаемого сигнала уменьшением скорости передачи данных. Пролетающие птицы, попадая в луч, не вызовут обрыва связи, а лишь уменьшат мощность принятого сигнала. Однако ее будет достаточно для передачи данных [3, 6].

При наступлении неблагоприятных погодных условий FSO-системы могут оборудоваться резервным каналом.

Существуют системы, в которых используется резервный радиоканал, работающий по стандарту IEEE 802.11g. Однако не всегда радиоканал может удовлетворять требованиям к пропускной способности.

Одной из основных проблем FSO-систем является поддержание заданного направления оси приемопередатчика.

Приемопередатчики передают узконаправленные пучки излучения, которые должны попадать в приемную апертуру приемопередатчика на противоположном конце линии связи. Типичный приемопередатчик передает один или несколько световых пучков, каждый из которых составляет 5–8 см в диаметре непосредственно на передатчике и обычно расширяется примерно до 1–5 м в диаметре на расстоянии 1 км [1].

В добавление к этому FSO-приемники имеют ограниченный угол зрения, который может быть представлен как «конус приема» приемника и подобен конусу света, проецируемому передатчиком.

Для работы FSO-системы очень важно согласование передаваемого пучка и угла зрения приемника с теми же параметрами приемопередатчика на противоположной стороне линии связи.

Несмотря на общепринятые представления, опоры, где может быть установлена описанная аппаратура (в том числе здания), фактически находятся в постоянном движении, которое происходит благодаря тепловому расширению, влиянию ветра и вибрации. Из-за узкой направленности излучения и ограниченного угла зрения приемника движение опоры может влиять на юстировку приемопередатчика и нарушать связь. В большинстве обстоятельств угловые движения (по азимуту и склонению) в противоположность прямолинейному движению представляют значительные сложности для юстировки приемопередатчика.

Таблица 2

Соотношение ошибок наведения и слежения для FSO-терминалов [1]

| Источник ошибок | Ошибки наведения | | Ошибки слежения | |
|-------------------------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | без автотрекинга | с автотрекингом | без автотрекинга | с автотрекингом |
| Исходная расстройка | 0,2 | отсутствует | 0,2 | отсутствует |
| Несоосность приемника и передатчика | 0,2 | 0,05 | отсутствует | отсутствует |
| Температурный дрейф | 0,1 | 0,02 | 0,1 | 0,02 |
| Низкочастотные колебания | 1,5 | 0,01 | 1,5 | 0,01 |
| Колебания средней частоты | 0,5 | 0,02 | 0,5 | 0,02 |
| Высокочастотные колебания | 0,5 | 0,05 | 0,5 | 0,05 |
| Всего | 3,0 | 0,15 | 2,8 | 0,10 |

Движение опоры обычно классифицируется как низко-, средне- и высокочастотное:

- низкочастотное – это движение с периодом колебаний от минут до месяцев, которое определяется суточными и сезонными колебаниями температуры;
- среднечастотное движение имеет период масштаба секунд и связано с движением опоры под воздействием ветра;
- высокочастотные колебания с периодом меньше чем 1 с, обычно называемые вибрацией, вызываются работой крупного оборудования (например, больших вентиляторов), деятельностью человека (ходьба, закрытие дверей) [1].

Для улучшения качества связи используются системы автоматического наведения, которые компенсируют «движения опоры».

В таблице 2 приведены соотношения ошибок наведения и слежения для FSO-терминалов без автонаведения и с ним. Из нее видно, что ошибок при использовании систем с автоматическим наведением значительно меньше.

Необходимо отметить, что системы FSO предоставляют низкую дальность связи, составляющую обычно несколько километров.

Заключение

Необходимо отметить, что скрытность сеансов связи, повышенная защищенность от перехвата информации, а также невосприимчивость к электромагнитным помехам являются плюсом для использования данных систем различными силовыми ведомствами, в том числе вооруженными силами.

Возможно множество вариаций использования данных систем для связи между различными объектами, например: берег – берег, берег – корабль, берег – вертолет (зависший в воздухе), корабль – корабль, корабль – вертолет и т. д.

Условие прямой видимости на морской поверхности выполняется практически всегда (за исключением плохих погодных условий) и является главным условием возможности использования АОЛС. Необходимость точного прицеливания передатчика и приемника делает довольно сложным использование данной технологии на вертолетах и кораблях, в условиях постоянной качки. Возможным решением этой проблемы является применение гиросtabilизированной платформы, системы автоматического наведения и увеличение размеров приемника.

Таким образом, технология FSO более эффективна при использовании на берегу для организации связи между объектами береговой инфраструктуры. Быстрое время развертывания FSO-систем позволяет установить связь между недалеко расположенными объектами или создать аварийный канал связи в короткие сроки. Однако при проектировании FSO-систем следует учитывать климатические условия в районе их использования. Так если метеорологические условия местности характеризуются частыми туманами, то применение в таких районах АОЛС будет нецелесообразным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Принципы работы FSO-систем (перевод ООО «МОСТКОМ») // ООО «Мостком». – 2003. – URL: <http://www.mostkom.ru/articles/fso-osa/fso-osa.htm> (дата обращения: 08.12.2013).

2. Чепусов Е.Н., Шаронин С.Г. Лазерная связь – еще один способ беспроводной связи // СвязьКомплект. – 1997–2013. – URL: http://www.skomplekt.com/articles/laser_con.htm (дата обращения: 10.12.2013).
3. Зайоброн Б. Системы FSO: пропускная способность растет, цены снижаются. // Сети и системы связи. – 2007. – № 9. – URL: http://www.ccc.ru/magazine/depot/07_09/read.html?0103.htm (дата обращения: 09.12.2013).
4. Милютин Е.Р. Информационная безопасность атмосферных оптических линий связи // Connect! Мир Связи. – 2007. – № 11. – URL: <http://www.connect.ru/article.asp?id=8304> (дата обращения: 09.12.2013).
5. Чепусов Е.Н., Шаронин С.Г. Лазерная связь – новый экономичный способ беспроводной связи // Сети и системы связи. – 1997. – № 2. – URL: http://ccc.ru/magazine/depot/97_02/read.html?0301.htm (дата обращения: 09.12.2013).
6. Использование атмосферной оптической линии связи FSO в сетях передачи данных // Системы безопасности и связи. – 2010. – URL: <http://www.videorus.ru/articles/220/> (дата обращения 13.12.2013).