

уровне. В дальнейшем планируется увеличить расстояние между источником и приемником сигналов до 50 метров и использовать при передаче речи мегафон в качестве устройства воспроизведения.

Список используемых источников

1. Коржик В.И., Алексеев В.Г., Федянин И.А. Выделение цифровых “водяных” знаков из аудиосигналов с использованием методов кепстрального анализа // 63 научно-техническая конференция профессорского-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: материалы / СПбГУТ. СПб., 2011. С. 225.
2. Bender W., Gruhl D., and Lu A. “Echo Hiding” Lecture Notes in Computer Science, 1996.
3. Donald G. Childers, fellow, IEEE, David P. Skinner, member, IEEE, and Robert C. Kemerait, member, IEEE „The Cepstrum: A Guide to Processing”, Proceedings of IEEE, VOL. 65, NO 10. OCTOBER 1977.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОКАНАЛА С БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

Д.А. Кузнецов, П.О. Митрошина, А.К. Сагдеев, А.А. Сёмин

В данной статье описаны особенности построения радиолинии с беспилотным летательным аппаратом. Проведен анализ, выявлены требования и рассмотрены потери при распространении сигнала. Проведен анализ бюджета канала связи, рассмотрены различные виды модуляции сигнала. И предложена борьба с частотно-спектральными искажениями.

Ключевые слова: радиоканал, беспилотные летательные аппараты, канал связи.

CONSTRUCTIONS FEATURE OF RADIO CHANNEL WITH UNMANNED AERIAL VEHICLE

Kuznetsov D., Mitroshina P., Sagdeev A., Semin A.

This article describes the features of the construction of the radio link with the unmanned aerial vehicle. The analysis revealed the requirements and consider the propagation loss of the signal. Spend channel budget analysis of the relationship, consider different types of signal modulation. And it offered the fight with a frequency-spectral distortions.

Keywords: radio, unmanned aerial vehicles, the communication channel.

В последнее время уделяется особое внимание использованию беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) как в гражданской, так и в военной среде. Эффективность использования во многом определяет «чистота» канала связи между наземным пунктом управления (НПУ) и БПЛА. Значит, всплывает вопрос об оптимизации радиоканала передачи данных.

Радиолиния НПУ-ЛА представляет собой узкополосный канал связи, т. к. объём передаваемой информации мал. Необходимая скорость передачи информации в этом канале порядка десятка Кбит/сек.

Радиолиния ЛА-НПУ должна иметь большую пропускную способность. Конкретное значение требуемой скорости передачи определяется полезной нагрузкой конкретного аппарата.

Требования к системам связи с БПЛА

Тип канала связи	Передача командно-телеметрических данных	Передача данных полезной нагрузки
Вероятность битовой ошибки	Не более 10^{-6}	Не более 10^{-3}
Скорость передачи данных	Не более 56 Кбит/с	1–20 Мбит/с (зависит от назначения аппарата и типа полезной нагрузки)

Анализ канала связи с БПЛА

Канал радиосвязи между БПЛА и наземным пунктом управления относится к авиационному каналу, который описывается многолучевой моделью с явлениями переотражения, рассеивания и дифракции.

Отражение имеет место, когда электромагнитная волна сталкивается с препятствием, размеры которого значительно превышают длину волны.

Дифракция происходит, когда трасса распространения между передатчиком и приемником перекрыта плотным препятствием с размерами большими по отношению к длине волны сигнала, что приводит к формированию позади препятствия вторичных волн.

Рассеивание происходит, когда распространяющийся сигнал наталкивается на объект, размеры которого порядка длины волны сигнала или менее, это приводит к переизлучению энергии сигнала по всем направлениям.

Эти три эффекта образуют общую картину замираний в канале, достаточно полно представляемую как замираниями крупного масштаба и мелкомасштабными замираниями.

В большинстве случаев БПЛА гражданского назначения работают в пределах прямой видимости НПУ. При наличии преобладающего по амплитуде прямого луча распределение мгновенных значений огибающей сигнала описывается законом Райса:

$$p(x) = \frac{x}{\sigma_x^2} \cdot e^{-\frac{x^2}{\sigma_x^2}} \cdot e^{-K} \cdot I_0\left(\frac{x}{\sigma_x} \sqrt{2K}\right),$$

где $I_0(z)$ – модифицированная функция Бесселя первого рода нулевого порядка; K – параметр, определяемый как отношение мощности зеркального компонента

к мощности многолучевого сигнала; x – компонент мелкомасштабного замирания; σ_x^2 – средняя мощность многолучевого сигнала до детектирования.

Потери при распространении сигнала

Крупномасштабные замирания представляют собой среднее ослабление мощности сигнала или потери на трассе при прохождении трасс большой протяженности. Два основных механизма, приводящие к эффектам замираний крупного масштаба – потери на трассе и затенение.

Средние потери радиосигнала на трассе определяются по формуле:

$$L(d)[\text{дБ}] = L(d_0)[\text{дБ}] + 10\gamma \cdot \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma, \quad (1)$$

где $L(d_0)$ – средние потери на трассе прямой видимости при эталонном расстоянии d_0 в свободном пространстве; d – это расстояние между передатчиком и приемником; γ – экспонента потери на трассе, которая зависит от окружающей среды; X_σ – логарифмически нормальное замирание вследствие затенения.

В БПЛА системах эталонное расстояние d_0 выбирается равным рабочей высоте.

Средние потери $L(d_0)$ при распространении в свободном пространстве рассчитываются по формуле:

$$L(d_0)[\text{дБ}] = 10\lg\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right)^2, \quad (2)$$

где λ – длина волны сигнала.

Если расстояние d_0 и частота f ($f = \frac{c}{\lambda}$, c – скорость света) измеряются в километрах и МГц соответственно, то из формул (1) и (2), получаем следующее (при $X_\sigma = 0$):

$$L(d)[\text{дБ}] = 10\gamma \cdot \lg(d) + (20 - 10\gamma)\lg(d_0) + 20\lg(f) + 32,45. \quad (3)$$

Рассчитаем потери на трассе в зависимости от расстояния между БПЛА и НКУ для разных частот (0,9; 2,4; 5,8 ГГц).

Из рисунка 1 видно, что при расстоянии 30 км между НКУ и БПЛА затухания сигнала в свободном пространстве в диапазонах 0,9; 2,4 и 5,8 ГГц равны 121, 130 и 136 дБ соответственно. В худших условиях распространения ($\gamma = 3$) затухание сигнала сильно увеличивается. Для компенсации такого ослабления сигнала можно использовать такие способы как повышение коэффициента усиления антенн, использование энергетически выгодных видов модуляции, повышение выходной мощности передатчиков.

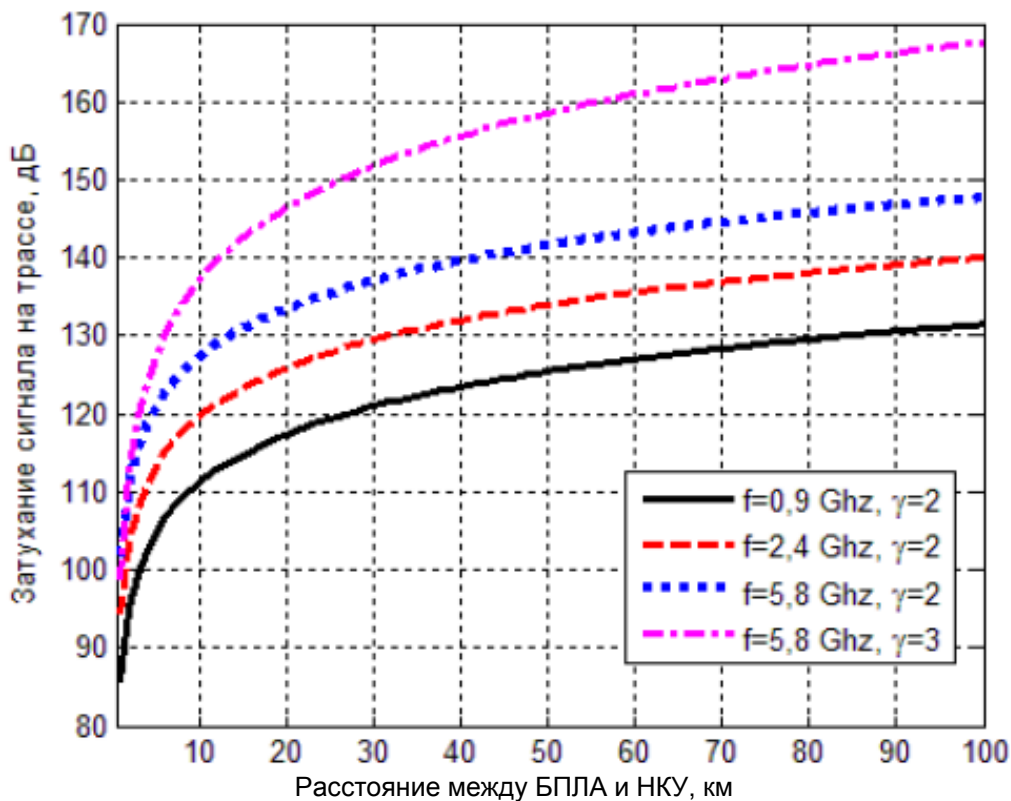


Рис. 1. Затухание сигнала на трассе в зависимости от расстояния между БПЛА и НКУ

Анализ бюджета канала связи с БПЛА

Для цифровой связи вероятность ошибки зависит от отношения энергии бита (E_b) к спектральной плотности мощности шума (N_0) в приемнике, определяемого выражением (4):

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_R}{N} \left(\frac{W}{R} \right),$$

где P_R – мощность принятого сигнала, N_0 – мощность шума, W – ширина полосы пропускания, R – скорость передачи бита.

Важнейшим показателем качества канала является зависимость вероятности появления ошибочного бита P_b от E_b/N_0 . Разность между реальным (принятым) и требуемым отношениями E_b/N_0 дает энергетический резерв линии связи (это и называют бюджетом связи канала):

$$M(\text{дБ}) = E_b/N_{0 \text{ прин}}(\text{дБ}) - E_b/N_{0 \text{ треб}}(\text{дБ}). \quad (5)$$

Принятая антенной мощность определяется по формуле:

$$P_R(d)(\text{дБ}) = P_T(\text{дБ}) + G_R(\text{дБ}) + G_T(\text{дБ}) - L_S(\text{дБ}) - L_0(\text{дБ}), \quad (6)$$

где G_R и G_T – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн; P_T – переданная мощность; L_0 – коэффициент потерь системы, не связанных с распространением (потери в фидере и разъемах НКУ и БПЛА, поляризационное несогласование антенн).

Из уравнений (4), (5) и (6), получаем:

$$M(\text{дБ}) = P_T(\text{дБм}) + G_R(\text{дБ}) + G_T(\text{дБ}) - L_S(\text{дБ}) - L_0(\text{дБ}) - P_S(\text{дБм}),$$

где P_S – чувствительность приемника, дБм.

Выбор вида модуляции

Основным требованием при создании системы связи с БПЛА является обеспечение возможности передачи данных с заданной скоростью и вероятностью ошибки при больших расстояниях между ЛА и НКУ. Для сравнения энергетической эффективности, на рисунке 2 показано некоторых видов модуляции по каналу с гауссовским шумом.

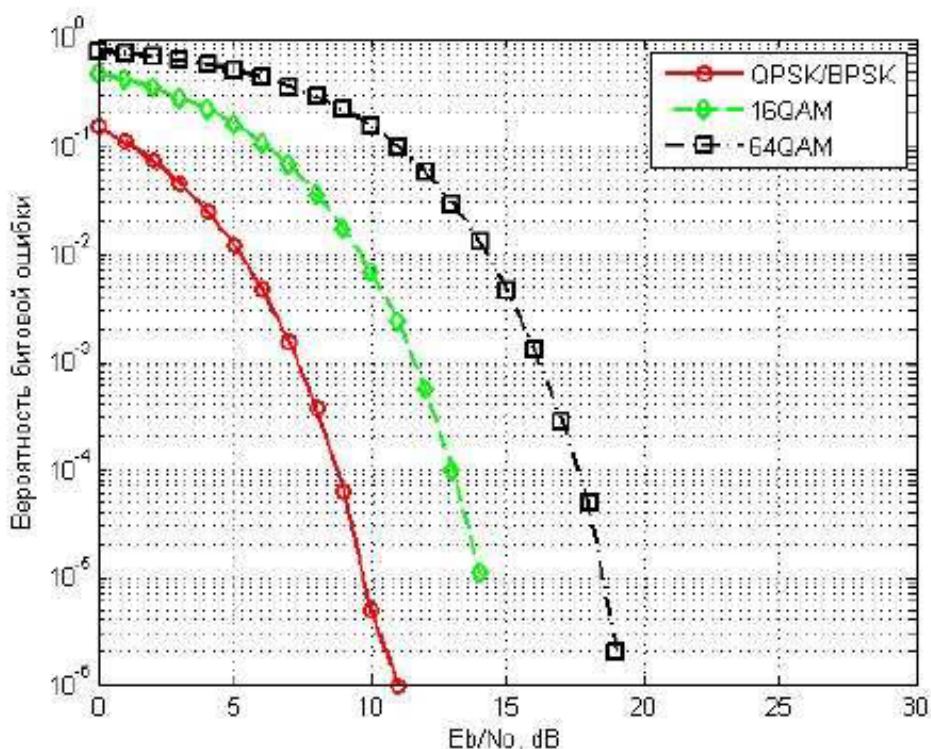


Рис. 2. Вероятность битовой ошибки для различных видов модуляции

Из рисунка 2 следует, что с увеличением позиционности модуляции вероятность битовой ошибки увеличивается, т. е. для поддержания заданного уровня битовой ошибки необходимо увеличивать отношение сигнал/шум (ОСШ) на входе приемника. Поэтому целесообразным является использование много-

позиционной модуляции только при малых расстояниях между БПЛА и НКУ для передачи большего объема информации без изменения ширины полосы частот. Для обеспечения максимальной дальности связи необходимо использовать энергетически наиболее выгодные виды модуляции – такие как двоичная фазовая манипуляция (BPSK) и квадратурная фазовая манипуляция (QPSK).

Как видно из рисунка 1, при изменении расстояния между ЛА и НКУ в широких пределах (500 м – 30 км) мощность сигнала с несущей 2,4 ГГц на входе приемника будет изменяться на порядке 35 дБ. Такой большой энергетический запас позволяет использовать различные виды модуляции для повышения скорости передачи данных с БПЛА на НКУ при поддержании вероятности битовой ошибки на заданном уровне. Реализация данного подхода требует создания алгоритмов адаптивного изменения схемы модуляции и кодирования цифровой системы связи.

Борьба с частотно-селективными искажениями сигнала

Канал связи с БПЛА является частотно-селективным из-за многолучевости распространения сигналов. Для борьбы с многолучевостью сигналов была разработана технология мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM), которая эффективно применяется в беспроводных сетях Wifi и WiMax.

Основная идея OFDM заключается в том, что полоса пропускания канала разделяется на группу узких полос (субканалов), каждая со своей поднесущей. На всех поднесущих сигнал передается одновременно, что позволяет обеспечить практически сколь угодно большую общую скорость передачи информации при небольшой скорости передачи в каждом отдельном субканале. Данная технология трансформирует широкополосный частотно-избирательный канал во множество параллельных неизбирательных по частоте узкополосных каналов. Такая схема успешно компенсирует влияние многолучевости.

Высокая спектральная эффективность OFDM модуляции обеспечивается достаточно близким расположением частот соседних поднесущих колебаний, которые генерируются совместно так, чтобы сигналы всех под несущих были ортогональны.

Как правило, чем больше число поднесущих, тем меньше влияние замираний сигнала, обусловленных многолучевым распространением. Однако это приводит к усложнению аппаратуры и к увеличению искажений сигнала за счет доплеровского эффекта. В некоторых случаях при большом доплеровском сдвиге OFDM теряет свои преимущества. Следовательно, необходимо выбрать оптимальное количество поднесущих при применении OFDM для передачи данных с БПЛА.

Выводы

Изменение параметров работы систем связи с БПЛА, вызванное изменением взаимного расположения ЛА и НПУ и влиянием среды распространения

сигнала, приводит к необходимости адаптивного изменения основных параметров системы (вид модуляции, кодирование, скорость передачи данных и др.) в зависимости от условий прохождения сигнала, которое позволяет более эффективно использовать энергетический ресурс канала связи и многократно повышать эффективность работы системы.

Дальность связи БПЛА зависит от многих факторов, в том числе высоты ЛА, мощности передатчика ЛА, чувствительности приемника НПУ, типов антенн на борту ЛА и на НПУ, вида модуляции и др. Для увеличения дальности действия малоразмерных БПЛА необходимо использование энергетически выгодных видов модуляции и наземной антенны с высоким коэффициентом усиления. Для передачи данных (фотоснимков, видеоизображений) с БПЛА на НПУ в реальном времени требуется большая скорость передачи. Одним из наиболее эффективных подходов к повышению скорости передачи данных с применением модуляции OFDM.

Список используемых источников

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. Изд. 2-е, испр. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104 с
2. Richard V.N., Prasad R. OFDM wireless multimedia communication. Artech House Boston London. 2000. 260 p.
3. Дмитриков В.Ф., Сергеев В.В., Самыгин И.Н. Повышение эффективности преобразовательных. М.: Радио и связь, 2005. 423 с.

РАЗРАБОТКА ПРОТОКОЛА МАРШРУТИЗАЦИИ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ AD НОС СЕТИ ДЛЯ СИСТЕМ АЗН-В

М.С. Кулаков, С.С. Шаврин

Интенсивный рост числа транспортных средств, как наземных, так и авиационных создал в некоторых регионах большую нагрузку на системы контроля и управления движением. На сегодняшний день, комбинирование различных инфокоммуникационных технологий и внедрение их в транспортную среду является одной из задач, решение которой может быть использовано для множества практических применений. Являясь неотъемлемой частью инфокоммуникационных технологий телекоммуникационные сети передачи данных предоставляют уникальную возможность обмена информацией между пользователями, где бы они не находились в рамках этой сети. Использование мобильных Ad Нос сетей является одним из перспективных методов повышения ситуационной осведомленности транспортных систем, т.к. данный вид сетей обладает несколькими важными свойствами: автоконфигурацией, самооптимизацией и самовосстановлением.

Ключевые слова: АЗН-В, самоорганизующиеся сети, маршрутизация, Ad Нос.