Оценка имитостойкости каналов управления с частотной модуляцией

Evaluation of mimic resistance for frequency-shift keying control channels

Дворников / Dvornikov S.
Сергей Викторович
(practicdsv@yandex.ru)
доктор технических наук, профессор.
ФГКВОУ ВО «Военная академия связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного»
МО РФ (ВАС им. С. М. Буденного),
профессор кафедры радиосвязи.
г. Санкт-Петербург

Погорелов / Pogorelov A.
Андрей Анатольевич
(practicdsv@yandex.ru)
кандидат технических наук, доцент.
ВАС им. С. М. Буденного,
начальник кафедры радиосвязи.
г. Санкт-Петербург

Вознюк / Voznyuk M.
Михаил Алексеевич
(practicdsv@yandex.ru)
доктор технических наук, профессор.
ВАС им. С. М. Буденного,
профессор научно-исследовательского центра.
г. Санкт-Петербург

Иванов / Ivanov R.
Роман Вячеславович
(practicdsv@yandex.ru)
ВАС им. С. М. Буденного,
соискатель кафедры радиосвязи.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: частотная модуляция – frequency-shift keying; канал управления – control channel; структурные помехи – structural interference.

Рассматриваются вопросы оценки имитостойкости каналов управления с частотной модуляцией. Представляются результаты, характеризующие вероятность ошибки в зависимости от длительности интервалов совпадения структурной помехи с сигналом. Даются предложения по практическому использованию результатов.

Problems of evaluation of mimic resistance for frequency-shift keying control channels are considered. The results characterizing error probability versus sizes of intervals of structural interference coincidence with signal are represented. Suggestions on practical use of the results are given.

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) находят все более широкое применение для выполнения различных задач в интересах силовых ведомств. По своей сущности современный БПЛА является роботом, управляемым посредством радиоканала. При этом, согласно [1], управляющие воздействия, как правило, представляют собой бинарные команды, передаваемые в течение заданного временного интервала. Именно поэтому в качестве модуляционного формата чаще всего используют сложные сигнальные конструкции, в основе которых лежит частотная модуляция.

Поскольку БПЛА выполняют свои задачи, находясь на достаточно приличном удалении от своих пунктов управления, то наиболее эффективным способом борьбы с ними является деструктивное воздействие на их каналы управления посредством энергетического подавления, которое сводится к постановке прицельных или заградительных помех шумового характера. Однако такой вид воздействия легко идентифицируется, что позволяет современным БПЛА специального назначения своевременно переходить в автономный режим работы, при котором они выполняют свои задачи по заранее подготовленным программам.

Именно поэтому специалисты радиоэлектронной борьбы считают, что в большинстве случаев более эффективным является воздействие на каналы управления БПЛА посредством структурных помех, позволяющих в худшем случае нарушить процесс доведения команды, а в лучшем – обеспечить перехват управления с последующей экстренной посадкой аппарата или его самоуничтожением. Причем одним из достоинств такого рода имитовоздействий состоит в отсутствии явных признаков деструктивных воздействий,

что существенно затрудняет своевременное принятие мер помехозащиты.

Таким образом, постановку структурных помех каналу управления, приводящих к имитонавязыванию, можно отнести к одному из наиболее опасных видов деструктивного воздействия на БПЛА.

Проблема имитонавязывания неоднократно рассматривалась в различных работах [2–4]. Однако затрагиваемые в них вопросы в большей степени касались информационных радиоканалов. Между тем настоящая статья посвящена исследованию имитостойкости каналов управления, использующих сигнальные конструкции на основе частотной модуляции.

Исследование имитостойкости каналов управления, использующих сигнальные конструкции на основе частотной модуляции

При имитонавязывании, как правило, используют помехи, близкие по своей частотно-временной структуре подавляемым сигналам [4]. При этом сам процесс такого деструктивного воздействия будет заключаться в подмене истинного сигнала помехой [5]. Причем для бинарных каналов имитонавязывание будет заключаться в изменении значения демодулированного символа в соответствии со структурной помехой. Следовательно, при частотной модуляции структурная помеха должна обеспечить требуемый уровень излучения в канале демодулируемого символа, противоположного передаваемому в тот же момент времени управляющим сигналом.

С позиций системы радиоподавления на решающем элементе демодулятора в канале управления должна создаваться ситуация, при которой демодулируемые символы носят или случайный характер, или же, в идеальном случае, соответствуют комбинации, навязываемой структурной помехой.

Между тем, на практике для каналов с частотной модуляцией используется некогерентное детектирование, которое, согласно [6], обеспечивает вероятность битовой ошибки равную

$$P_B = \frac{1}{2}\exp\left(-\frac{E_B}{2N_0}\right) \qquad (1)$$

где E_B – энергия, приходящаяся на бит (для бинарных передач – на символ); N_0 – спектральная плотность мощности шума (в рассматриваемой ситуации – спектральная плотность мощности структурной помехи).

Очевидно, что главной проблемой эффективной постановки структурной помехи является обеспечение ее тактовой синхронизации с сигналом управления, обусловленной как разностью между дистанциями связи и подавления, так и априорными знаниями о битовой структуре самой команды, передаваемой в данный момент времени.

Для учета данной особенности введем понятие коэффициента временного несовпадения структурной помехи и сигнала на входе демодулятора ρ, который лежит в пределах $\rho \in [0; 1]$. Тогда $\rho = 1$ будет соответствовать условиям передачи помехой символа, противоположного передаваемого сигналом управления в пределах тактового интервала. Другими словами, создавать условия, при которых решающее устройство работает случайным образом. А при $\rho = 0$ – соответствовать условиям передачи помехой символа, полностью совпадающего с передаваемым управляющим сигналом, т.е. будет способствовать его достоверному приему.

Тогда для системы радиоэлектронного подавления наилучшая ситуация наступит в случае равенства энергии структурной помехи $E_П$ и энергии, приходящейся на бит E_B, передаваемой управляющим сигналом при выполнении условия $\rho = 1$.

$$E_П = E_B \qquad (2)$$

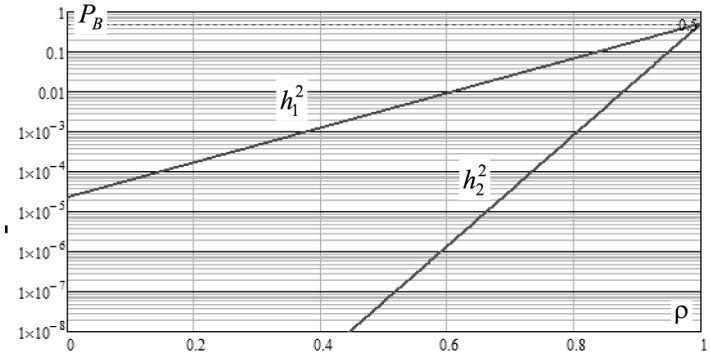

Рис. 1. Зависимость вероятности битовой ошибки от значения коэффициента временного несовпадения структурной помехи и сигнала при различных значениях ОСШ

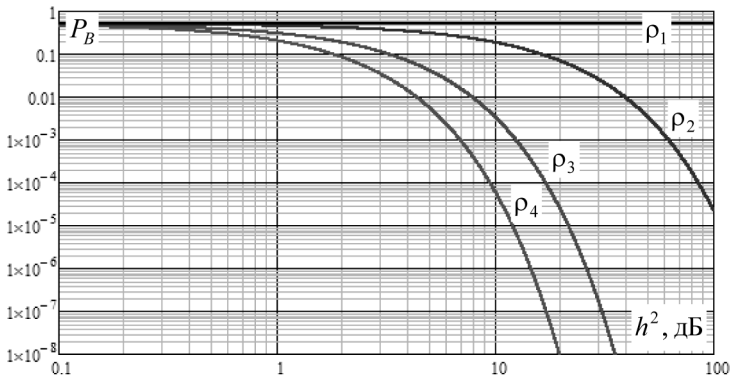

Рис. 2. Зависимость вероятности битовой ошибки от ОСШ при различных значениях коэффициента временного несовпадения

Действительно, равенство (2) должно приводить к полной неопределенности на входе решающего устройство демодулятора на борту БПЛА.

С учетом указанных замечаний, выражение (1) можно преобразовать к следующему виду:

$$P_B = \frac{1}{2}\exp\left(-\frac{E_B + (1-2\rho)E_{\Pi}}{2N_0}\right) \quad (3)$$

Таким образом, формула (3) представляет собой модель оценки вероятности ошибки в канале с частотной модуляцией в условиях воздействия оптимальной по структуре и энергии имитационной помехи.

Действительно, при постановке имитационных помех основные проблемы эффективности их применения обусловлены только вопросами тактовой синхронизации с управляющим сигналом, которые в модели (3) учитываются посредством параметра ρ. При $\rho = 1$ имеем $P_B = 0{,}5$, что характеризует полную неопределенность на решающем устройстве демодулятора. Напротив, при $\rho = 0$ происходит суммирование энергии сигнала и помехи, повышающее достоверность принятия правильного решения. Данные утверждения правомерны при выполнении условия (2).

Так, на рис. 1 представлена зависимость вероятности битовой ошибки P_B от значения параметра ρ при исходных значениях отношения энергии символа сигнала управления к спектральной плотности мощности шума (ОСШ) $h_1^2 = E_B/N_0 = 10$ дБ и $h_2^2 = E_B/N_0 = 15$ дБ.

Анализ результатов, представленных на рис. 1, показывает, что имитонавязывание во многом определяется текущим значением ОСШ. Так, чем ниже исходное значение ОСШ, тем хуже эффективность имитонавязывания при том же значении коэффициента временного несовпадения. В подтверждение данного заключения на рис. 2 представлены результаты зависимости вероятности битовой ошибки P_B от ОСШ при различных значениях ρ (ρ_1=0,1, ρ_2=0,5, ρ_3=0,9, ρ_4=1).

Заключение

Проведенные исследования показали, что реализация процедур эффективного имитонавязывания связана с определенными сложностями не только по формированию помех заданной частотно-временной структуры, но и обеспечению их согласованности по уровню и тактовой синхронизации с сигналами управления на входе бортовых демодуляторов БПЛА.

При этом эффективность имитонавязывания как процедуры, существенно зависящей от коэффициента временного несовпадения структурной помехи и сигнала, значительно снижается с уменьшением текущего значения ОСШ.

Другой продуктивной мерой, позволяющей избежать имитонавязывание, является установка на входе демодулятора индикатора уровня принимаемого сигнала. При его превышении значения, определяемого допустимым дисперсионным разбросом, целесообразно БПЛА автоматически переводить в автономный режим.

Кроме того, целесообразно использовать сигналы с различным тактовым интервалом на длительности команды, изменяемым случайным образом, или же использовать сигналы сложных конструкций [7].

Дальнейшие исследования авторы связывают с оперативным решением вопросов обнаружения [8] самого факта деструктивного воздействия структурных помех на каналы управления БПЛА.

Литература

1. Точилов, Л. Системы управления БЛА [Электронный ресурс] / Л. Точилов. – Режим доступа:

http://www.ispl.ru/Sistemy_upravleniya-BLA.html, свободный. – Загл. с экрана.

2. Орощук, И. М. Оценка имитостойкости радиоканала с замираниями при использовании сигналов с частотной манипуляцией / И.М. Орощук // Радиотехника. – 2004. – № 11. – С. 12–18.

3. Защищенные радиосистемы передачи информации / П.Н. Сердюков [и др.] – М.:АСТ, 2006. – 403 с.

4. Зюко, А. Г. Помехоустойчивость и эффективность систем связи / А.Г. Зюко. – М.: Связь, 1972. – 360 с.

5. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / Под ред. В.Г. Радзиевского – М: «Радиотехника», 2006. – 424 с.

6. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – Изд. 2-е испр.: Пер. с англ. – М.:ИД «Вильямс», 2004. –1104 с.

7. Агиевич, С. Н. Описание сигналов в базисах функций сплайн-Виленкина-Кристенсона. / С.Н. Агиевич, С.В. Дворников, А.С. Гусельников // Контроль. Диагностика. – 2009. – № 3. – С. 52–57.

8. Дворников, С. В. Метод обнаружения на основе посимвольного перемножения реализаций спектра наблюдаемого процесса с автоматическим расчетом порога принятия решения / С.В. Дворников // Научное приборостроение. – 2004. – Т. 14. – № 4. – С. 92–97.