Помехозащищенность каналов управления с время-частотной модуляцией

Time-frequency modulation control channels interference immunity

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.
г. Санкт-Петербург

Крячко / Kryachko A.
Александр Федорович
(practicdsv@yandex.ru)
доктор технических наук, профессор, почетный работник ВПО РФ.
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», профессор кафедры.
г. Санкт-Петербург

Иванов / Ivanov R.
Роман Вячеславович
(practicdsv@yandex.ru)
ВАС им. С. М. Буденного, инженер учебной лаборатории.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: блокирование каналов – channel blocking; вероятностный показатель эффективности блокирования – probabilistic efficiency of blocking; имитационные помехи – deception jamming.

Рассматриваются вопросы оценки помехозащищенности каналов управления с время-частотной модуляцией в условиях постановки имитационных помех. Представляются результаты, характеризующие вероятностный показатель эффективности блокирования каналов управления вне сеанса связи. Даются предложения по практическому использованию полученных результатов.

This work covers the issues related to the evaluation of time-frequency modulation control channels interference immunity in deception jamming environment and represents the results defining the probabilistic efficiency of blocking radio communication channels in out-of-communication session conditions. The work offers solutions to enable practical use of the achieved results.

Стремительное развитие кибернетических технологий способствовало активному использованию автономных робототехнических устройств (АРТУ) в различных сферах деятельности человека. Очевидно, что применение АРТУ оправдано в условиях, связанных с риском для жизни, в первую очередь в интересах силовых структур и ведомств. Все чаще на АРТУ возлагают задачи первостепенного значения, решение которых обеспечивает достижение успеха в поставленных целях [1, 2].

В настоящее время функционирование большинства АРТУ предполагает их связь с оператором посредством каналов управления, которые, по мнению военных специалистов [3], являются их «ахиллесовой пятой».

Действительно, использование для этих целей волоконных кабелей существенно ограничивает функционал АРТУ, а наличие радиоканала открывает возможность для деструктивных воздействий на их систему управления [4].

Таким образом, обеспечение помехозащищенности радиоканалов управления является доминирующим фактором, определяющим эффективность функционирования АРТУ в целом.

Интересными видятся результаты исследования данного вопроса, представленные в [5]. Кроме того, данная проблема рассматривались в [6, 7, 8]. Однако продолжающееся совершенствование форм и методов применения АРТУ требует уточнение полученных результатов и проведения дальнейшего исследования в данном направлении.

В частности, анализ подходов к организации управления АРТУ, представленный в [9], показал, что используемый в них алфавит команд достаточно ограничен. Это позволяет применить для их кодировки сигналы

3 2018.indd 12 26.09.2018 10:02:52

частотной модуляция (манипуляция) [10], в том числе и сигналы время-частотной модуляции (ВЧМ).

Однако само наличие радиоканала делает АРТУ уязвимыми к любому роду деструктивным воздействиям преднамеренного или случайного характера. При этом специалисты радиоэлектронной борьбы считают, что наиболее продуктивным видится воздействие на канал посредством имитационных помех (ИП) [11], приводящее не только к нарушению процесса доведения команд, но, при определенных условиях, обеспечивающее перехват управления АРТУ [2].

В этом случае достаточно сложно выявить явные признаки внешнего негативного воздействия на канал, что существенно затрудняет своевременное принятие мер противодействия. Именно поэтому постановку ИП относят к наиболее эффективному виду деструктивного воздействия на АРТУ [12].

Детальный анализ характера различных подходов к нарушению работы каналов управления АРТУ показал [2, 4–8, 12], что постановка ИП будет осуществляться как непосредственно в ходе сеанса связи, так и вне его. Результатом воздействия ИП может явиться или полная блокировка канала управления или же имитонавязывание АРТУ ложной информации. При этом сам подход к реализации указанных форм деструктивных воздействий в этих случаях будет различным. Настоящая статья посвящена вопросам оценки помехозащищенности каналов управления с ВЧМ в условиях воздействия ИП вне сеанса связи.

Согласно [11], блокирование канала с ВЧМ определяется таким состоянием, при котором в нем невозможно прохождение информации в связи с временным совпадением помехи и сигнала в пределах одной из разрешенных позиций на длительности интервала приема команд.

Следовательно, сущность постановки ИП при блокировании радиоканала вне сеанса связи сводится к излучению последовательности импульсов, аналогичных по структуре информационным сигналом, с целью обеспечения указанного совпадения. Именно поэтому помехозащищенность каналов управления с ВЧМ в условиях воздействия ИП, приводящих к их блокированию, целесообразно оценить по показателю вероятности непрохождения (прохождения) полезного сигнала.

При периодической блокировке радиоканала с ВЧМ данный показатель будет определяться аддитивной сверткой ($\otimes$ – оператор аддитивной свертки) $P_K(M)$ – вектора вероятностей выбора разрешенных состояний и $P(I_{\text{блк}}/M)$ – вектора вероятностей непрохождения сигнала при условии M ложных запусков:

$$P_{\text{ЭП}} = P_K(M) \otimes P(I_{\text{блк}}/M), \qquad (1)$$

где K – количество попыток воздействия ИП; а $M \in [1, K]$.

В рассматриваемой ситуации помехозащищенность радиоканала с ВЧМ определяется вероятностью прохождения сигнала управления в период воздействия ИП. Поскольку качество постановки ИП каналам с ВЧМ определяется числом возможных состояний выбора [11], то количественно эффективность процесса деструктивного воздействия, представленного формулой (1), можно выразить посредством временных интервалов, распределенных по равномерному закону, в пределах которых периодически обеспечивается полное блокирование:

$$r(\Delta t) = 1/(T_\Sigma - T_{\text{ИП}} Z), \qquad (2)$$

где $T_{\text{ИП}}$ – длительность ИП (в общем случае может не совпадать с длительностью информационного сигнала); Z – число разрешенных комбинаций; T_Σ – временной интервал приема команд.

Полагая, что интенсивность потока сигналов управления ниже интенсивности ИП, направленных на блокирование радиоканала, то можно полагать следующее. Полезный сигнал передается равновероятно для любой из разрешенных позиций в пределах T_Σ, поэтому плотность распределения моментов его передачи будет равна:

$$r(t) = 1/T_\Sigma. \qquad (3)$$

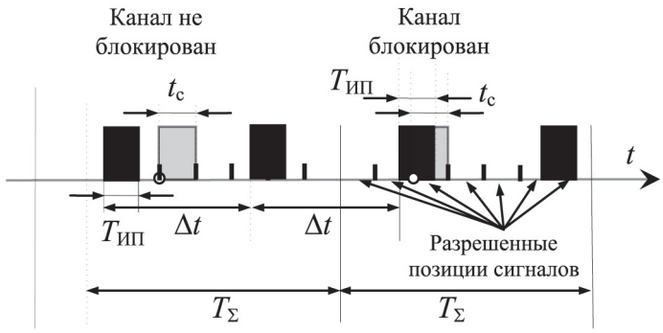

Рис. 1. Сущность процесса блокировки радиоканала

3 2018.indd 13 26.09.2018 10:02:53

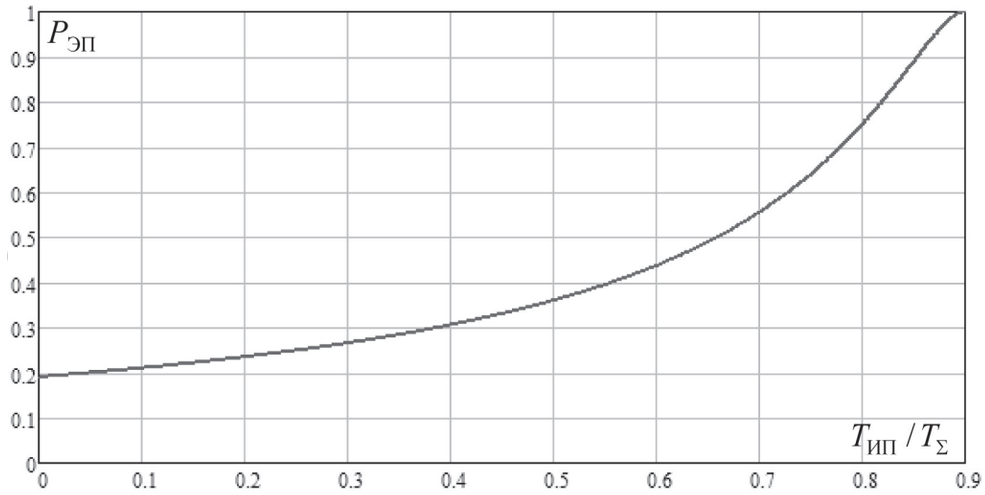

Рис. 2. Зависимость эффективности постановки имитационных помех от длительности интервала блокирования

Тогда для рассмотренных условий в качестве критерия блокировки канала целесообразно определить событие, при котором длительность сигнала t_c будет превышать свободный промежуток между интервалами полного блокирования канала Δt [12, 13]. На рис. 1 представлено графическое пояснение физической сущности блокирования канала.

Очевидно, что полное блокирование наступает при условии $t_c > \Delta t$,т.к. в этом случае независимо от начального положения сигнала он попадает под ИП.

Определим плотность распределения интервала Δt в соответствии с [13]:

$$w(\Delta t) = \frac{1}{\mathrm{M}[\Delta t]} \int_{\Delta t}^{T_{\Sigma} - T_{ИП} Z} r(\Delta t)\, \mathrm{d}\Delta t\,, \tag{4}$$

где $\mathrm{M}[\Delta t] = \int_{0}^{T_{\Sigma} - T_{ИП} Z} \Delta t\, r(\Delta t)\, \mathrm{d}\Delta t = \frac{T_{\Sigma} - T_{ИП} Z}{2}$ – математическое ожидание интервала непораженной передачи сигнала между блокировками радиоканала.

С учетом (2) плотность распределения интервала времени Δt запишем как

$$w(\Delta t) = \frac{2}{(T_{\Sigma} - T_{ИП} Z)^2} \int_{\Delta t}^{T_{\Sigma} - T_{ИП} Z} r(\Delta t)\, \mathrm{d}\Delta t = 2\frac{(T_{\Sigma} - T_{ИП} Z - \Delta t)}{(T_{\Sigma} - T_{ИП} Z)^2}. \tag{5}$$

Тогда эффективность постановки ИП будет определяться вероятностью их совпадения с сигналом, т.е. с моментами блокирования канала:

$$P_{ЭП} = \int_{0}^{t_c} w(\Delta t) \left[\int_{0}^{T_{\Sigma}} r(t)\, \mathrm{d}t \right] \mathrm{d}\Delta t = \frac{2t_c}{T_{\Sigma} - T_{ИП} Z} \left[1 - \frac{t_c}{2(T_{\Sigma} - T_{ИП} Z)} \right]. \tag{6}$$

На рис. 2 представлена зависимость $P_{ЭП}$ от соотношения $T_{ИП} / T_{\Sigma}$, полученная в соответствии с формулой (6) при исходном значении $(T_{\Sigma} / t_c) = 10$.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующее заключение.

Каналы с ВЧМ обладают достаточно высокой помехозащищенностью по отношению к ИП, направленным только на их блокирование вне сеанса связи.

В частности, вероятность блокирования равная 0,3 обеспечивается при перекрытии помехой не менее 40% временного интервала, выделяемого для приема команд. В то же время вероятность на уровне 0,5 возможно достичь только при перекрытии не менее 67% указанного интервала. Такой режим предполагает высокую интенсивность излучения помех, снижающую скрытность самого факта их постановки. В результате для систем мониторинга открывается возможность выявления не только особенностей характера деструктивного воздействия [14], но и структуры помеховых сигналов, что позволяет дополнительно принять организационные меры помехозащиты каналов управления. При наличии гауссовых помех в канале целесообразно использовать корреляционные методы обработки [15, 16], для выделения полезных сигналов на фоне шумов.

По мнению авторов интересным видится применение управляющих сигналов, сформированных в негармонических базисах [17], но это направление является предметом последующих исследований.

Литература

1. Половинкин, В. Н. Состояние и перспективы развития боевых роботизированных систем [Электронный ресурс] / В.Н. Половинкин // Экспертный союз. – 2012. – № 5. – Режим доступа: http://www.unionexpert.ru/index.php/news/item/379-statusprospectsmartialrobotics, свободный. – Загл. с экрана.

3 2018.indd 14 26.09.2018 10:02:53

2. Дворников, С. В. Методика оценки имитоустойчивости каналов управления роботизированных устройств / С.В. Дворников // Радиопромышленность. – 2016. – № 2. – С. 64–69

3. Санников, В. Разработка в США наземных дистанционно управляемых машин / В. Санников, С. Дмитриев // Зарубежное военное обозрение. – 2011. – № 9. – С. 43.

4. Иванов, Р. В. Обнаружение структурных помех в радиоканалах управления летательными аппаратами / Р.В. Иванов // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. – 2016. – Вып. 2. – С. 59–65.

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

6. Оценка имитостойкости каналов управления с частотной модуляцией / С.В. Дворников [и др.] // Информация и Космос. – 2016. – № 1. – С. 32–35.

7. Оценка помехозащищенности линий радиосвязи с медленной псевдослучайной перестройкой рабочей частоты / С.В. Дворников [и др.] // Информация и Космос. – 2016. – № 4. – С. 11–14.

8. Защита от структурных помех радиоканалов с частотной манипуляцией / С.В. Дворников [и др.] // Информационные технологии. – 2017. – Т. 23, № 3. – С. 193–198.

9. Точилов, Л. Системы управления БЛА [Электронный ресурс] / Л. Точилов. – Режим доступа; http://www.ispl.ru/Sistemy_upravleniya-BLA.html, свободный. – Загл. с экрана.

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

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

12. Пат. № 2613336 Российская Федерация, МПК: H04 K 3/00. Способ радиоподавления каналов связи, использующих сигналы с частотной манипуляцией / А.В. Белов [и др.]; патентообладатели: ФГВОУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного» МО РФ, ООО «Специальный Технологический Центр»; № 2015152689, заявл. 08.12.2015; опубл. 16.03.2017, Бюл. № 8.

13. Вознюк, В. В. Принципы радиоэлектронного противодействия в системах передачи информации / В.В. Вознюк, А.Ф. Крячко, Е.А. Попов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008 – 246 с.

14. Дворников, С. В. Проблема поиска сигналов источников информации при радиомониторинге / С.В. Дворников // Мобильные системы. – 2007. – № 4. – С. 33–35.

15. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр; пер. с англ. под ред. А.В. Назаренко. – Изд. 2-е, испр. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 1104 с.

16. 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.

17. Синтез фазоманипулированных вейвлет-сигналов / С.В. Дворников [и др.] // Информационные технологии. – 2015. – № 2. – С. 140–143.

3 2018.indd 15 26.09.2018 10:02:54