

Способ обеспечения информационной безопасности робототехнического комплекса при идентификации текущего технического состояния на основе анализа принятых управляющих воздействий

Д. А. Лесняк, С. А. Матвеев

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
vka@mil.ru

Аннотация. В статье приведено описание способа идентификации текущего технического состояния робототехнического комплекса на основе анализа принятых управляющих воздействий. Использование предлагаемого способа позволяет обеспечить требуемый уровень информационной безопасности радиоканала управления робототехнического комплекса за счет обнаружения и блокирования выполнения имитируемых управляющих воздействий.

Ключевые слова: *информационная безопасность, идентификация, техническое состояние, многоуровневая система защиты, управляющие воздействия*

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В настоящее время во всех областях человеческой деятельности широкое применение находят робототехнические комплексы (РК) различного базирования, управление и передача данных в которых осуществляется по радиоканалам [1]. Необходимо отметить, что функциональные возможности РК космического базирования во всем мире оцениваются как один из важнейших факторов политической и экономической безопасности государства. В данных условиях решающее значение приобретает успешное применение РК космического базирования в рамках своего целевого предназначения.

В целях поддержания РК космического базирования в постоянной готовности к применению и решению целевых задач с требуемым качеством наземными радиотехническими системами передаются по радиоканалам управляющие воздействия (УВ). В тоже время пространственная электромагнитная доступность радиоканалов, свойственная всем радиоканалам связи, создает благоприятные условия для реализации нарушителями угроз информационной безопасности процесса радиопередачи [2]. Проведенный анализ трудов по тематике обеспечения информационной безопасности показал, что одной из основных информационных угроз, действующей в радиоканалах управления, является угроза перехвата нарушителем УВ для последующего анализа их содержания с целью реализации попыток деструктивных воздействий в виде

передачи имитируемых УВ [3–5]. Выполнение таких УВ приведет к существенному снижению качества целевых задач, выполняемых РК космического базирования.

Для обнаружения таких попыток в работах [2, 6] предлагается анализировать все принятые УВ на различных уровнях их прохождения в бортовой системе управления РК космического базирования при использовании многоуровневой системы защиты. Основной задачей функционирования бортовой системы управления является, прежде всего, управление бортовыми служебными и информационными системами для реализации целевых задач РК космического базирования. Для этого управляющие воздействия, принятые по радиоканалу управления в виде упорядоченной двоичной последовательности, преобразуются в программные команды управления, при выполнении которых формируется текущее техническое состояние (ТС) РК космического базирования. В общем случае под ТС будем понимать совокупность таких признаков, по которым можно установить допустимый режим функционирования бортовых служебных и информационных систем в данный момент времени при реализации РК космического базирования своего целевого предназначения [7].

В работе [6] обосновано использование многомерных векторов для обнаружения имитируемых УВ на основании сопоставления текущего ТС, формируемого при выполнении программных команд управления, относительно допустимых классов ТС, характеризующих штатные режимы функционирования бортовых служебных и информационных систем РК космического базирования. При этом показано, что неравенство многомерных векторов, используемых при таком сопоставлении, может быть обусловлено как дисперсией значений параметров функционирования бортовых служебных и информационных систем вследствие нештатного режима функционирования, так и попыткой противника навязать выполнение имитируемой УВ в бортовой системе управления РК космического базирования. Поэтому реализация предлагаемого в статье способа идентификации текущего ТС с учетом прогнозируемых отклонений от своих номинальных значений параметров бортовых

служебных и информационных систем, позволит обеспечить информационную безопасность РК космического базирования за счет своевременного обнаружения и последующей блокировки выполнения имитируемых УВ.

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исходя из выше изложенного для формализованного описания процесса идентификации ТС РК космического базирования при анализе принятых УВ введем следующие обозначения:

S_q^{mek} – текущее ТС, формируемое при выполнении программных команд управления в бортовых служебных и информационных системах на основе принятых УВ;

$S_q^{don} = \{S_q^{don} | q = \overline{1, Q}\}$ – множество допустимых классов ТС, где q – номер ТС, а Q – общее количество ТС для штатных режимов функционирования бортовых служебных и информационных систем РК космического базирования;

\overline{R}_q^{mek} – вектор значений параметров бортовых служебных и информационных систем, описывающий текущее ТС;

$\overline{R}^{don} = \{R_i^{don} | i = \overline{1, I(Q)}\}$ – множество векторов значений параметров бортовых служебных и информационных систем, описывающий допустимый класс ТС, где i – номер вектора, а $I(Q)$ – общее количество векторов значений параметров бортовых служебных и информационных систем, характеризующих Q -ые допустимые ТС для данного типа РК космического базирования.

В общем виде процесс идентификации текущего ТС относительно одного из допустимых классов ТС из заданного множества S_q^{don} может быть представлен с помощью выражения (1):

$$L(\overline{R}_q^{mek}, \overline{R}_i^{don}) \leq L^{don}, \quad (1)$$

где L^{don} – максимально возможные отклонения многомерного вектора \overline{R}_i^{don} , характеризующее дисперсию значений параметров бортовых служебных и информационных систем в режиме штатного функционирования РК космического базирования [6].

Отметим, что по своей сути параметр L^{don} является метрикой, определяющей конечномерное пространство допустимых дисперсий значений параметров бортовых служебных и информационных систем РК космического базирования. С помощью расстояния Махаланобиса оценим близость многомерных векторов \overline{R}_q^{mek} и \overline{R}_i^{don} в конечномерном пространстве L^{don} при использовании детерминированного метода анализа ТС [7–9]. Значения параметров бортовых служебных и информационных систем, являющиеся компонентами многомерных

векторов \overline{R}_q^{mek} и \overline{R}_i^{don} , представим в виде совокупности точек вида: $M \in \overline{R}_i^{don}$ и $M^n \in \overline{R}_q^{mek}$ с координатами X_j и X^n соответственно. Математическое ожидание для каждого допустимого значения параметров бортовых служебных и информационных системах РК космического базирования, принадлежащих классу из множества S_q^{don} , определяется выражением (2):

$$\overline{x}_j = 1/M \sum_{j=1}^M X_j. \quad (2)$$

Тогда с учетом выражения (2) центроид в конечномерном пространстве L^{don} для каждого допустимого класса $S_q^{don} \in S^{don}$ может быть рассчитан с помощью соотношения (3):

$$\overline{X} = (\overline{x}_1, \dots, \overline{x}_j) = \left(1/M \sum_{j=1}^M X_j | j = \overline{1, J} \right). \quad (3)$$

При штатных режимах функционирования бортовых служебных и информационных систем РК космического базирования дисперсия значений параметров характеризуется расстоянием Махаланобиса от номинального центроида, определяемым выражением (3), и может быть представлена в виде:

$$L^{don}(X_j, \overline{X}) = \sqrt{(X_j - \overline{X})^T cov_X^{-1}(X_j - \overline{X})}, \quad (4)$$

где cov_X – ковариационная матрица.

Матрица cov_X размерностью $j \times j$ для совокупности M точек, характеризующая все возможные ковариации значений параметров бортовых служебных и информационных систем, при штатном режиме функционирования РК космического базирования может быть рассчитана с помощью выражения (5):

$$cov_X = 1/M - 1 A^T A, \quad (5)$$

где параметр A определяется выражением вида:

$$A = \begin{pmatrix} X_1 - \overline{X} \\ X_j - \overline{X} \\ \dots \\ X_J - \overline{X} \end{pmatrix}.$$

Для каждого допустимого класса $S_q^{don} \in S^{don}$ преобразуем ковариационную матрицу (5) к следующему виду:

$$COV_q = \begin{pmatrix} cov_{1,1} & cov_{1,2} & \dots & cov_{1,j} \\ cov_{2,1} & cov_{2,2} & \dots & cov_{2,j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ cov_{j,1} & cov_{j,2} & \dots & cov_{j,j} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

Значения элементов ковариационной матрицы (6) могут быть определены, прежде всего, при проведении

наземных летно-конструкторских испытаний бортовых служебных и информационных систем РК, а также в ходе его орбитального полета по результатам функционирования бортовой системы информационно-телеметрического обеспечения с последующей записью в альманах блока анализа ТС многоуровневой системы защиты.

В свою очередь мера несходства между каждым компонентом, составляющим многомерные вектора \overline{R}_q^{mek} и \overline{R}_i^{don} , определяется с помощью соотношения следующего вида:

$$L(X^n, \overline{X}) = \sqrt{(X^n - \overline{X})^T cov_X^{-1} (X^n - \overline{X})} \quad (7)$$

С учётом выше изложенного графически разработанный способ по идентификации текущего ТС S_q^{mek} относительно одного из допустимого класса ТС $S_q^{don} \in S^{don}$ представлен на рис. 1.

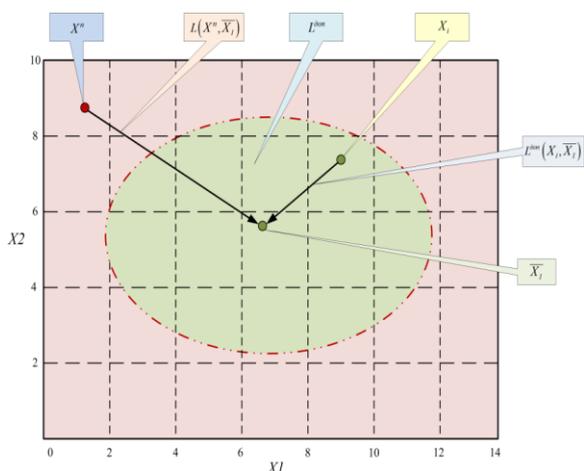


Рис. 1. Идентификация текущего технического состояния робототехнического комплекса в пространстве значений параметров на основе анализа принятых управляющих воздействий

На данном уровне анализа принятых УВ, принятие решения Re бортовой многоуровневой системой защиты об их легитимности заключается в реализации отображения следующего вида (8):

$$\eta : S^{mek} \rightarrow Re_\psi, \quad (8)$$

где $Re_\psi \in Re$, $\psi \in [0, 1]$.

Тогда с учетом выражения (7) функция выработки решения блоком анализа текущего ТС бортовой многоуровневой системой защиты РК космического базирования представим в следующем виде:

$$Re_\psi(S_q^{mek}, S_q^{don}) = \begin{cases} Re_1(S_q^{mek}) \notin S_q^{don} & | L(x^n, \overline{X}) > L^{don} \\ Re_0(S_q^{mek}) \in S_q^{don} & \end{cases} \quad (9)$$

Решение, представленное выражением (9), может быть получено в блоке анализа текущего ТС многоуровневой системы защиты по результатам процедуры эмуляции принятой УВ до её поступления на исполнение в бортовую систему управления РК космического базирования.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В силу характера решаемых задач с помощью РК космического базирования к наземным радиотехническим системам предъявляются жесткие требования по недопущению прохождения имитируемых УВ с требуемой вероятностью порядка 10^{-12} и ниже, что является по сути квазибезошибочной передачей [1, 4]. Поэтому предотвращение выполнения в бортовой системе управления имитируемых УВ, передаваемых по радиоканалу управления РК космического базирования, имеет исключительно важное значение для успешного целевого применения космических систем в целом.

Рассмотренный способ идентификации текущего ТС относительно одного из допустимого класса ТС, позволяет обнаружить и заблокировать имитируемые УВ до их исполнения в бортовых служебных и информационных системах РК космического базирования. Это соответствует обеспечению требуемого уровня информационной безопасности РК космического базирования.

Дальнейшие исследования целесообразны в следующем направлении: разработать и апробировать алгоритм интегральной оценки текущего ТС относительно одного из классов допустимых ТС РК космического базирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Управление космическими полетами: учеб. пособие: ч. 1 / В.А. Соловьёв, Л.Н. Лысенко, В.Е. Любинский; под общ. ред. Л.Н. Лысенко. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. 426 с.
- [2] Мальцев Г.Н., Матвеев С.А. Математические модели процесса преодоления нарушителем многоуровневой системы защиты информации // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского 2020. №673. С.126–136.
- [3] Радько Н.М., Скобелев И.О. Риск-модели информационно-телекоммуникационных систем при реализации угроз удаленного и непосредственного доступа. М.: РадиоСофт, 2010. 232 с.
- [4] Устинов Г.Н. Основы информационной безопасности систем и сетей передачи данных. М.: СИНТЕГ, 2000. 248 с.
- [5] Куприянов А.И., Макаров В.Ф. Защита информации в телекоммуникационных системах: учебное пособие. М: Вузовская книга, 2017. 158 с.
- [6] Лесняк Д.А., Матвеев С.А. Обнаружение вторжений в радиоканал управления робототехническим комплексом на логическом уровне функционирования бортовой многоуровневой системы защиты // Сборник трудов 77-ой научно-технической конференции научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова НР 1(77) 2022. С. 88–90.
- [7] Дмитриев А.К., Юсупов Р.М. Идентификация и техническая диагностика — МО РФ, 1987. 521 с.
- [8] Дмитриев А.К. Модели и методы анализа технического состояния бортовых систем. СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 1999. 171 с.
- [9] Амелькин С.А., Захаров А.В., Хачумов М.В. Обобщенное расстояние Евклида–Махаланобиса и его свойства. // Информационные технологии и вычислительные системы. Вып.4. 2006, с.40–44.