

УДК 623.618.2

Ю.В. Стасєв, С.С. Серов, І.О. Ткаченко, О.О. Мелешенко

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ПРОТИДІЇ

В роботі розглянута можливість забезпечення необхідної завадостійкості, імітостійкості й скритності систем і засобів зв'язку, захисту їх від можливого подавлення засобами радіоелектронної розвідки й радіоелектронної боротьби. Встановлено, що для вирішення оптимізаційних завдань застосовується апарат теорії ігор. Проведено аналіз і розроблена методика оцінки середнього значення показника якості функціонування системи зв'язку при різних стратегіях конфліктуючих сторін.

Ключові слова: радіоелектронна протидія, сигнально-кодові конструкції, теорія ігор, система зв'язку, імовірно-часові показники.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді.

Вирішення проблеми забезпечення необхідної завадостійкості, імітостійкості й скритності систем і засобів зв'язку, захисту їх від можливого подавлення засобами радіоелектронної розвідки й радіоелектронної боротьби евентуального супротивника, електронного підслуховування, нав'язування хибної інформації, електронного шахрайства зводиться до оптимізації зміни параметрів використовуваних сигнально-кодових конструкцій та алгоритмів функціонування [1, 2].

Для вирішення оптимізаційних завдань, пов'язаних з вибором параметрів сигнально-кодових конструкцій та алгоритмів функціонування систем і засобів зв'язку, застосовується апарат теорії ігор [3, 4]. Ігровий підхід пропонує кожному гравцю дії, розраховані на найменш вигідну для нього реакцію евентуального супротивника. До завдань, що легко перекладаються мовою теорії ігор, відноситься й синтез алгоритмів функціонування в умовах конфлікту між системою зв'язку й управління і протидіючою стороною за умови забезпечення гарантованих імовірно-часових показників мережі.

У термінах теорії подібна ситуація адекватна вибору двома гравцями найкращих стратегій з множини всіх можливих на основі деякого середнього показника якості \bar{y} .

Мета статті – розробка моделі функціонування системи зв'язку в умовах радіоелектронної протидії.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. На основі результатів досліджень, отриманих в [5], аналіз концепції радіоелектронної протидії евентуального супротивника показує, що даний конфлікт є нерозв'язним у чистих концепціях.

Нехай система зв'язку й управління застосовує змішані стратегії, тобто змінює алгоритм функціонування або клас використовуваних сигнально-кодових конструкцій, що задані на множині $\{A\}$. Отже, показ-

ником якості в цьому випадку буде результат усереднення за всіма частковими показниками.

Евентуальний супротивник може здійснювати вибір перешкоди як без оцінки результатів впливу на систему зв'язку, так і з оцінкою впливу. Спочатку припустимо, що евентуальний супротивник здійснює вибір стратегії радіоелектронного подавлення й завади без урахування їх впливу на систему зв'язку. У цьому випадку система зв'язку може реалізувати такі стратегії поведінки в конфліктній ситуації:

- система зв'язку не змінює алгоритм функціонування, але змінює клас використовуваних сигнально-кодових конструкцій таким чином, щоб досягти максимального значення середнього показника якості вибором імовірності P_{ij} при заданому наборі стратегій радіоелектронної протидії й типів завад;

- система зв'язку змінює алгоритм функціонування, клас використовуваних сигнально-кодових конструкцій з метою максимізації середнього показника якості при фіксованих стратегіях радіоелектронної протидії й типів завад;

- система зв'язку змінює алгоритм функціонування й клас використовуваних сигнально-кодових конструкцій залежно від стратегії радіоелектронної протидії й типу завади з метою досягнення максимального значення часткового показника якості.

Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Нехай пропонується заданим, з одного боку, апріорний алфавіт можливих станів системи зв'язку $\{A\}$ й імовірність їхнього створення $\{P\}$ –

$$\{P\{P_{00}, P_{01}, \dots, P_{0m}, P_{12}, \dots, P_{N0}, P_{N1}, \dots, P_{NN}\}\},$$

з іншого – різні стратегії радіоелектронної протидії й типи використовуваних завад $\{S\}$ й імовірності їхнього створення $\{Q\}$ – $\{Q\{q_{00}, q_{01}, \dots, q_{02}, q_{10}, q_{11}, \dots, q_{10}, \dots, q_{m0}, q_{m1}, \dots, q_{mq}\}\}$...

Тоді матриця гри описується табл. 1, де u_{ij}^{kc} – частковий показник якості застосування алгоритму

функціонування системи зв'язку й використання j-го класу сигнально-кодових конструкцій при k-й стра-

тегії радіоелектронного подавлення евентуального супротивника й i-ї перешкоди.

Таблиця 1

Матриця гри

Алгоритм функціонування		Імовірності	Стратегії евентуального супротивника			
			S ₀	S ₁	...	S _m
			Q ₀	Q ₁	...	Q _m
			q ₀₀ , q ₀₁ , ..., q _{0L}	q ₁₀ , ..., q _{b0}	...	q ₀ , ..., q _m
		P ₀₀	y ₀₀ ⁰⁰ , y ₁₀ ⁰⁰ ... y _{i0} ⁰⁰	...	...	y ₀₀ ^{m0} ... y _{q0} ^{m0}
		P ₀₁	y ₀₁ ⁰⁰ , y ₁₁ ⁰⁰ ... y _{i1} ⁰⁰	...	...	y ₀₁ ^{m0} ... y _{q1} ^{m0}
A ₀	P ₀	...	...	...	...	...
		P _{0m}	y _{0m} ⁰⁰ , y _{1m} ⁰⁰ ... y _{im} ⁰⁰	y _{0m} ¹⁰ ... y _{bm} ¹⁰		y _{0m} ^{m0} ... y _{qm} ^{m0}
...
		P _{i0}	y ₀₀ ⁰ⁱ , y ₁₀ ⁰ⁱ ... y _{i0} ⁰ⁱ	y ₁₀ ^{li} ... y _{b0} ^{li}		y ₀₀ ^{mi} ... y _{q0} ^{mi}
A _i	P _i	...	...	...	...	...
		P _{N0}	y ₀₀ ^{0N} , y ₁₀ ^{0N} ... y _{i0} ^{0N}	y ₁₀ ^{1N} ... y _{b0} ^{1N}		y ₀₀ ^{mN} ... y _{q0} ^{mN}
A _N	P _N	...	...	...	...	...
		P _{Nz}	y _{0z} ^{0N} , y _{1z} ^{0N} ... y _{iz} ^{0N}	y _{1z} ^{1N} ... y _{bz} ^{1N}		y _{0z} ^{mN} ... y _{qz} ^{mN}

Твердження 1. Нехай у системі зв'язку реалізується A_i алгоритм функціонування з i-м класом сигнально-кодових конструкцій. Причому система зв'язку не змінює алгоритм функціонування й клас використовуваних сигнально-кодових конструкцій. Тоді середнє значення показника якості визначається виразом

$$\bar{y} = \sum_{j=0}^m \sum_{z=0}^{R_j} Q_j q_{jz} y_{iz}^i R^i, \quad (1)$$

де R_j залежно від j дорівнює l, b, ..., q...

Твердження 2. Нехай у системі зв'язку й управління реалізується A_i стратегія функціонування. У процесі функціонування, залежно від стратегії радіоелектронної протидії й типу завод, клас використовуваних сигнально-кодових конструкцій змінюється. Тоді середнє значення показника якості визначається виразом.

$$\bar{y} = \max_{P_{ic} \in P_i} \sum_{c=0}^{z_i} \left(\sum_{j=0}^m \sum_{r=0}^{R_j} Q_j q_{jz} y_{ic}^{ji} \right) P_{ic} P_i, \quad (2)$$

де z_i дорівнює m, ... Z залежно від i.

Твердження 3. Нехай система зв'язку змінює алгоритм функціонування та клас використовуваних сигнально-кодових конструкцій з метою максимізації середнього показника якості при фіксованих стратегіях радіоелектронної протидії й типів завод. Тоді середнє значення показника якості визначається виразом

$$\bar{y} = \sum_{i=v}^N \left\{ \max_{P_{ic} \in P_i} \sum_{c=0}^{z_i} \left(\sum_{j=0}^m \sum_{r=0}^{R_j} Q_j q_{jz} y_{ic}^{ji} \right) P_{ic} P_i \right\}. \quad (3)$$

Твердження 4. Нехай система зв'язку змінює алгоритм функціонування та клас використовуваних сигнально-кодових конструкцій залежно від стратегії радіоелектронної протидії й типу завод з метою

максимізації значення часткового показника якості.

Тоді середнє значення показника якості визначається виразом

$$\bar{y} = \sum_{j=0}^m \sum_{z=0}^{R_j} Q_j q_{jz} \left\{ \left[P_i^* P_i^* C^* \max_{i \in N} (y_{ic}^{ji}) \right] + \sum_{i=0}^N \sum_{c \neq i}^c P_i P_{i0} y_{zc}^{ji} \right\}, \quad (4)$$

де P_i^{*} й P_i*C^{*} – імовірності використання i-стратегії і C-класу сигнально-кодових конструкцій, що мають максимальне значення часткового показника y_{ic}^{ji} при впливі j-ї стратегії радіоелектронної протидії й i-ї завади. При виборі евентуальним супротивником завод з урахуванням оцінки їх впливу на систему зв'язку за умови максимального її подавлення можуть використовуватися ті ж стратегії поведінки системи зв'язку в конфліктній ситуації, що і в першому випадку. Варто врахувати, що евентуальний супротивник вибирає стратегію радіоелектронного подавлення й заводу, за якої показник якості функціонування має мінімальне значення.

З використанням апарата теорії ігор проведений аналіз і розроблена методика оцінки середнього значення показника якості функціонування системи зв'язку при різних стратегіях конфліктуючих сторін.

Визначимо межі зміни середнього показника якості функціонування системи зв'язку при впливі завод. Позначаючи через $\bar{y}_{зад}$ задане значення середнього показника якості функціонування системи зв'язку й управління в умовах радіоелектронної протидії, отримуємо межі зміни \bar{y} .

При радіоелектронній протидії без оцінки результатів впливу завод відповідно до тверджень 1 й 4:

$$\sum_{j=0}^m \sum_{z=0}^{R_j} Q_j q_{jr} \left\{ \begin{aligned} & \left[P_i^* c^* \max_{i \in \Gamma} (y_{rc}^{ij}) \right] + \\ & + \sum_{i=0}^N \sum_{c=0}^{Z_i} P_i P_{ic} \overline{y_{rc}^{-ij}} \geq \overline{y_{зад}} \sum_{j=0}^m \sum_{z=0}^{R_j} Q_j q_{jr} y_{rc}^{ij} \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

При виборі стратегії радіоелектронної протидії й завади

$$\begin{aligned} & Q_j^* q_{jr}^* P_i^* p_{ic}^* \min_{j \in M} (m_j) \max_{i \in N} (N_i y_{rc}^{ij}) + \\ & + \sum_{j=0}^m \sum_{r=0}^{R_j} Q_j q_{jr} \times \sum_{i=0}^N \sum_{c=0}^{Z_i} P_i P_{ic} y_{rc}^{ij} \geq \\ & \geq \overline{y_{зад}} Q_j \left\{ q_{jr}^* \min_{r \in R} (y_{rc}^*) \right\} + \sum_{j=0}^m \sum_{z=0}^{R_j} Q_j y_{rc}^{ij}. \quad (6) \end{aligned}$$

Аналіз виразів (5) і (6) показує, що розв'язання проблеми підвищення якості функціонування системи зв'язку можливе за рахунок:

– застосування змішаної стратегії поведінки системи зв'язку, що полягає у випадковому виборі алгоритму функціонування системи та використуванних сигнально-кодових конструкцій (зменшення ймовірності постановки оптимальної перешкоди);

– вибору структури і параметрів системи зв'язку, що збільшують часткові показники якості її функціонування;

– збільшення ймовірності розпізнавання діючої стратегії радіоелектронного подавлення і класу завад та зміни алгоритму функціонування системи зв'язку.

Забезпечувати виконання цих умов, як показано у [6 – 8], можливо при реалізації динамічного режиму функціонування цифрової системи зв'язку.

Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, в роботі розглянута можливість забезпечення необхідної завадостійкості, імітостій-

кості й скритності систем і засобів зв'язку, захисту їх від можливого подавлення засобами радіоелектронної розвідки й радіоелектронної боротьби. Встановлено, що для вирішення оптимізаційних завдань застосовується апарат теорії ігор. Проведено аналіз і розроблена методика оцінки середнього значення показника якості функціонування системи зв'язку при різних стратегіях конфліктуючих сторін. Напрямами подальших досліджень є умови реалізації динамічного режиму функціонування захисту систем зв'язку та управління.

Список літератури

1. Стасев Ю.В. Необходимые и достаточные условия построения динамических сетей радиоуправления / Ю.В. Стасев, Н.В. Пастухов // Обработка информации. – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1995. – С. 32-36.
2. Стасев Ю.В. Проблема построения динамических радиосетей с множественным доступом / Ю.В. Стасев, Н.В. Пастухов // Тез. докл. между. НТК “Представление, обработка и передача информации”. – Х., 1993. – С. 8-9.
3. Венцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Венцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
4. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М., 2002. – 480 с.
5. Теория сигнально-кодовых конструкций: монография / М.І. Науменко, Ю.В. Стасев, О.О. Кузнецов, С.П. Євсєєв. – Х.: ХУПС, 2008. – 541 с.
6. Горбенко И.Д. Сигнально-теоретические вопросы синтеза производных систем сигналов для радиоканалов, функционирующих в динамическом режиме “бегающий код” / И.Д. Горбенко, Е.Ф. Глазін, Ю.В. Стасев. – М.: 71 НТК ВА им. Ф.Э. Дзержинского, 1985. – С. 68.
7. Горбенко И.Д. Производные системы сигналов и их свойства / И.Д. Горбенко, Ю.В. Стасев. – К.: Радиотехника, 1989. – №9. – С. 26-27.
8. Ирвин Дж. Передача данных в сетях и инженерный подход / Дж. Ирвин, Д. Харль. – СПб.: Питер, 2002. – 405 с.

Надійшла до редколегії 29.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Бараннік, Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

Ю.В. Стасев, С.С. Серов, И.А. Ткаченко, О.О. Мелешенко

В работе рассмотрена возможность обеспечения необходимой помехоустойчивости, имитостойкости и скрытности систем и средств связи, защиты их от возможного подавления средствами радиоэлектронной разведки и радиоэлектронной борьбы. Установлено, что для решения оптимизационных задач применяется аппарат теории игр. Проведен анализ и разработана методика оценки среднего значения показателя качества функционирования системы связи при различных стратегиях конфликтующих сторон.

Ключевые слова: радиоэлектронное противодействие, сигнально-кодовые конструкции, теория игр, система связи, вероятностный-временные показатели.

MODEL OF FUNCTIONING OF COMMUNICATION NETWORK IN THE CONDITIONS OF RADIO ELECTRONIC COUNTERACTION

Yu. V. Stasev, S.S. Serov, I.A. Tkachenko, O.O. Meleshenko

Possibility of providing of necessary antijammingness is in-process considered, imitating constancy and secrecy of the systems and communication means, defence them from possible suppression of radio electronic secret service and radio electronic fight facilities. It is set that for the decision of optimization tasks the vehicle of game theory is used. An analysis is conducted and the method of estimation of mean value of index of quality of functioning of communication network is developed at different strategies of conflicting sides.

Keywords: radio electronic counteraction, alarm-code constructions, game theory, communication network, probabilistic temporal indexes.