Таким образом, в статье предложен новый метод динамической обработки и защиты конфиденциальной информации, базирующийся на применении в качестве несущего сигнала широкополосных колебаний генератора хаоса и методе глобальной реконструкции динамки системы с использованием синергетического наблюдателя. Синтезированное уравнение синергетического наблюдателя обеспечивает достаточно точную реконструкцию информационного сигнала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Николис Дж.* Динамика иерархических систем / Дж. Николис. – М.: Мир, 1989.
2. *Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е., Нейман А.Б.* Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003.
3. *Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е., Астахов В.В.* Нелинейная динамика хаотических и стахостических систем. – Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1999.
4. *Anishchenko V.S., Pavlov A.N., Yanson N.B.* Reconstruction of dynamic systems as applied to secure communications // Technical Physics, 1998. –Vol. 43(12). – Pp. 1401-1407.
5. *Колесников А.А.* Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза. – М.: УРСС/Комкнига, 2006.
6. *Колесников А.А. и др*. Современная прикладная теория управления. Ч. II: Синергетический подход в теории управления. – Москва-Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000.

УДК 621.306

А.А. Строцев, С.В. Синицын, А.А. Жадько

МЕТОДИКА ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ АЛГОРИТМА КОНТРОЛЯ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ СМЕШАННОГО РАСШИРЕНИЯ МАТРИЧНОЙ ИГРЫ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ

Эффективность функционирования сложной системы (СС) зависит от качества алгоритмов ее контроля. Методы оптимизации алгоритмов контроля можно классифицировать относительно информационных условий выработки решения, принятых в теории принятия решений: определённости, риска и неопределённости.

Периоды приработки и старения СС характеризуются повышенными значениями интенсивности отказов $\Lambda(t)$, которые носят неопределенный характер. В [1] рассмотрена теоретико-игровая оптимизация алгоритмов контроля на основе моделей матричных игр, позволяющая учесть неопределенность возникновения неисправностей СС. Однако в предложенных моделях отсутствуют ограничения на процесс контроля технического состояния, которые могут быть обусловлены как спецификой самого объекта контроля, так и применением средств и методов контроля. Такие ограничения, например, могут быть связаны известными вероятностями возникновения ряда неисправных состояний, а также с требованиями эксплуатационной документации на применение отдельных алгоритмов контроля. Таким образом, рассмотрение вопросов построения теоретико-игровых моделей с ограничениями для оптимизации алгоритмов контроля в условиях сочетания случайных и неопределённых факторов является актуальной задачей.

Рассмотрим процесс контроля функционирования СС с условной остановкой алгоритма контроля. Будем полагать заданными:

– множество всех состояний системы $E=\{e_j\}$, $j=\overline{1,m}$, где $\{e_1\}=E^1$ – исправное состояние СС и соответствующее ему множество; $\{e_2,e_3,...,e_m\}=E^н$ –

неисправные состояния (далее неисправности), определяемые требуемой глубиной поиска, и соответствующие им множества; $E=E^1 \cup E^н$;

– множество допустимых элементарных проверок $\Pi = \{\pi_i\},\ i=\overline{1,n}$.

Различные последовательности элементарных проверок составляют алгоритмы контроля $Q^i, i=\overline{1,n}$. Контроль функционирования СС состоит в последовательном проведении элементарных проверок $\left\langle \pi^i_{i_1}, \pi^i_{i_2}, ..., \pi^i_{i_k}, ..., \pi^i_{i_z} \right\rangle$, определенных алгоритмом Q^i, и анализе их результатов. Если элементарная проверка $\pi^i_{i_k}$ алгоритма контроля имеет положительный исход, то проводят следующую элементарную проверку $\pi^i_{i_{k+1}}$. Если некоторая текущая элементарная проверка $\pi^i_{i_k}$ имеет отрицательный исход, то процесс контроля заканчивается и выделяется подмножество возможных неисправностей $E^i_{i_k} \subset E^н$. Считается, что система находится в состоянии e_1, если исход всех элементарных проверок алгоритма Q^i положительный.

Пусть A – матрица обобщённых затрат на процесс поиска неисправности с элементами a_{ij}, $i=\overline{1,n}$, $j=\overline{1,m}$, задающая модель матричной игры. В отличие от моделей, рассмотренных в [1] , пусть заданы вероятности нахождения СС в ряде состояний (т.е. задано вероятностное описание случайных факторов) и требуемые значения вероятностей применения ряда алгоритмов контроля. Без ограничения общности будем полагать

$$\eta_j = \eta_j^{гр},\ j=\overline{m'+1,m}, \tag{1}$$

$$\xi_i = \xi_i^{гр},\ i=\overline{n'+1,n}. \tag{2}$$

Задача заключается в определении для неопределённых факторов модели таких элементов смешанных стратегий $\eta_j = \eta_j^*$, $j=\overline{1,m'}$, $m' \le m$, $\xi_i = \xi_i^*$, $i=\overline{1,n'}$, $n' \le n$, которые обеспечивали выполнение условия

$$\min_{\overline{X}} \max_{\overline{Y}} X^T A Y = \max_{\overline{Y}} \min_{\overline{X}} X^T A Y, \tag{3}$$

где $X=(\xi_1\ \ \xi_2\ \ ...\ \ \xi_i\ \ ...\ \xi_n)$, $\overline{X}=(\xi_1\ \ ...\ \xi_i\ \ ...\ \xi_{n'})$,

$Y=(\eta_1\ \ \eta_2\ \ ...\ \ \eta_j\ \ ...\ \eta_m)$, $\overline{Y}=(\eta_1\ \ ...\ \ \eta_j\ \ ...\ \eta_{m'})$;

при ограничениях (1), (2) и

$$\sum_{i=1}^{n} \xi_i = 1,\ \xi_i \ge 0,\ i=\overline{1,n'}, \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^{m} \eta_j = 1,\ \eta_j \ge 0,\ j=\overline{1,m'}. \tag{5}$$

Построим двойственные задачи линейного программирования для решения (1)-(5). В соответствии, например, с подходом, рассмотренным в [2], сформируем двойственные задачи, имеющие одно и то же значение оптимизируемых функций. Для этого представим матрицу A, векторы X и Y в следующем виде

$$A = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix},\ X = \begin{pmatrix} \overline{X}^T & \overline{\overline{X}}^T \end{pmatrix}^T,\ Y = \begin{pmatrix} \overline{Y}^T & \overline{\overline{Y}}^T \end{pmatrix}^T,$$

где $\overline{\overline{X}}^T = (\xi_{n'+1} \dots \xi_n)^T$, $\overline{\overline{Y}}^T = (\eta_{m'+1} \dots \eta_m)^T$, $\dim A_{11} = n' \times m'$,

$\dim A_{12} = n' \times (m - m')$, $\dim A_{21} = (n - n') \times n'$,

$\dim A_{22} = (n - n') \times (m - m')$,

при этом, учитывая (1), (2), будем полагать $\overline{\overline{Y}} = \overline{\overline{Y}}^{гр}$, $\overline{\overline{X}} = \overline{\overline{X}}^{гр}$.

Тогда задачи линейного программирования для поиска смешанных стратегий могут быть представлены в виде:

– для первого игрока: найти

$$\min_{s,\overline{X}} \left\{ \left(1 - E^T_{m-m'} \overline{\overline{Y}}^{гр} \right) s + \overline{X}^T \left(A_{12} \overline{\overline{Y}}^{гр} \right) + \overline{\overline{X}}^{гр^T} A_{22} \overline{\overline{Y}}^{гр} \right\}, \tag{6}$$

при ограничениях

$$E_{m'} s - A^T_{11} \overline{X} \ge A^T_{21} \overline{\overline{X}}^{гр}, \tag{7}$$

$$E^T_{n'} \overline{X} = 1 - E^T_{n-n'} \overline{\overline{X}}^{гр}, \quad \overline{X} \ge \overline{0}_{n'}, \tag{8}$$

где E_g – вектор с единичными элементами, $\dim E_g = g$, $\overline{0}_p$ – вектор с нулевыми элементами, $\dim \overline{0}_p = p$;

– для второго игрока: найти

$$\max_{q,\overline{Y}} \left\{ \left(1 - E^T_{n-n'} \overline{\overline{X}}^{гр} \right) q + \overline{\overline{X}}^{гр^T} A_{21} \overline{Y} + \overline{\overline{X}}^{гр^T} A_{22} \overline{\overline{Y}}^{гр} \right\}, \tag{9}$$

при ограничениях

$$E_{n'} q - A_{11} \overline{Y} \le A_{12} \overline{\overline{Y}}^{гр}, \tag{10}$$

$$E^T_{m'} \overline{Y} = 1 - E^T_{m-m'} \overline{\overline{Y}}^{гр}, \quad \overline{Y} \ge \overline{0}_{m'}. \tag{11}$$

Рассмотрим пример. Пусть задана матрица обобщённых затрат

$$A = \begin{pmatrix} 109 & 44 & 48 & 90 \\ 61 & 115 & 79 & 64 \\ 87 & 81 & 118 & 87 \\ 98 & 88 & 58 & 94 \end{pmatrix} \tag{12}$$

и $A_{11} = \begin{pmatrix} 109 & 44 \\ 61 & 115 \end{pmatrix}$, $A_{12} = \begin{pmatrix} 48 & 90 \\ 79 & 64 \end{pmatrix}$, $A_{21} = \begin{pmatrix} 87 & 81 \\ 98 & 88 \end{pmatrix}$, $A_{22} = \begin{pmatrix} 118 & 87 \\ 58 & 94 \end{pmatrix}$,

$\overline{X}^T = (\xi_1 \quad \xi_2)^T$, $\overline{\overline{X}}^T = (0{,}2 \quad 0{,}3)^T$, $\overline{Y}^T = (\eta_1 \quad \eta_2)^T$, $\overline{\overline{Y}}^T = (0{,}1 \quad 0{,}2)^T$.

Тогда задачи (6)-(8) и (9)-(11) будут представлены в виде:

$$f_1^*(s,\xi_1,\xi_2)=\min_{s,\xi_1,\xi_2} f_1(s,\xi_1,\xi_2)=\min_{s,\xi_1,\xi_2}\{0{,}7s+22{,}8\xi_1+30{,}9\xi_2+13{,}2\},\quad(13)$$

$$\text{при } s-109\xi_1-61\xi_2\ge 87\xi_3^{гр}+98\xi_4^{гр},$$

$$s-44\xi_1-115\xi_2\ge 90\xi_3^{гр}+64\xi_4^{гр},$$

$$\xi_1+\xi_2=0{,}5,$$

$$\xi_1,\xi_2\ge 0$$

и найти

$$f_2^*(q,\eta_1,\eta_2)=\max_{q,\eta_1,\eta_2} f_2(q,\eta_1,\eta_2)=\max_{q,\eta_1,\eta_2}\{0{,}5q+46{,}8\eta_1+42{,}6\eta_2+13{,}2\},\quad(14)$$

$$\text{при } q-109\eta_1-44\eta_2\le 48\eta_3^{гр}+90\eta_4^{гр},\ q-61\eta_1-115\eta_2\le 79\eta_3^{гр}+64\eta_4^{гр},$$

$$\eta_1+\eta_2=1-\eta_3^{гр}-\eta_4^{гр},\quad \eta_1,\eta_2\ge 0.$$

В результате решения задач получим:

$f_1^*(s,\xi_1,\xi_2)=f_2^*(q,\eta_1,\eta_2)=\omega^*$=84,52, s=86,49, $\overline{X}^{*T}=(0{,}19\quad 0{,}31)^T$, q=79,6, $\overline{Y}^{*T}=(0{,}4\quad 0{,}3)^T$.

Полученные результаты соответствуют основным положениям теории матричных игр. Равенство целевых функций задач линейного программирования (12) и (13) являются признаком наличия седловой точки, а смешанные стратегии $\overline{X}^*$, $\overline{Y}^*$ определяют ситуацию равновесия.

Значение игры ω^*=84,52, определяемое по выражению

$$\omega^*=\overline{X}^{*T}A_{11}\overline{Y}^*+\overline{\overline{X}}^{гр^T}A_{21}\overline{Y}^*+\overline{X}^{*T}A_{12}\overline{\overline{Y}}^{гр}+\overline{\overline{X}}^{гр^T}A_{22}\overline{\overline{Y}}^{гр},$$

представляет собой математическое ожидание затрат на процесс контроля СС при ограничениях (1), (2). Это значение удовлетворяет условиям [2]

$$\omega_н\le\omega^*\le\omega_в,\quad(14)$$

где $\omega_н$ – нижнее значение игры, $\omega_н=\max\limits_j\left\{\min\limits_{i\in I'}(a_{ij})+\sum\limits_{i=n'+1}^{n}a_{ij}\xi_i^{гр}\right\}$, $I'=\{1,\ldots,n'\}$; $\omega_в$ – верхнее значение игры, представляющее собой минимальные гарантированные затраты на процесс контроля СС, $\omega_в=\min\limits_i\left\{\max\limits_{j\in J'}(a_{ij})+\sum\limits_{j=m'+1}^{m}a_{ij}\eta_j^{гр}\right\}$, $J'=\{1,\ldots,m'\}$.

Применительно к матрице обобщённых затрат (12) рассчитанные значения $\omega_н$=77,74, $\omega_в$=99,58 обеспечивают выполнение неравенств (14).

Таким образом, полученное решение матричной игры с ограничениями полностью соответствует всем необходимым и достаточным условиям ситуации равновесия, и предложенная модель может быть применена для оптимизации алгоритма контроля СС в условиях сочетания случайных и неопределённых факторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Строцев А.А., Синицын С В., Шухардин О.Н., Оганесян А Л.* Применение смешанного расширения матричных игр "неклассического" типа в задачах определения технического состояния сложных систем. Радиоэлектроника. Известия ВУЗов. –Т. 50.– 2007. –№10. – С 42–50.
2. *Оуэн Г.* Теория игр: изд. 3-е. – М.: Изд-во ЛКИ, 2000. – 216 с.

УДК 621.396.93

А.В. Алексеенко, И.С. Жуков

МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ, ПЕРЕДАВАЕМЫХ В РАДИОКАНАЛАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ

В настоящее время вопрос качественного управления и своевременного получения достоверной информации по радиоканалам спутниковой связи получил очень широкое распространение, как в военном деле, так и в гражданских отраслях, причем четко прослеживается тенденция развития космических технологий и освоения глубин космического пространства. Одними из важнейших характеристик радиосистем спутниковой связи являются качество связи и достоверный прием переданной информации. Дальнейшее совершенствование существующих и вновь разрабатываемых систем радиосвязи с целью улучшения этих характеристик является актуальной научно-практической задачей [1].

Проведенный анализ существующих подходов к повышению качества радиосвязи показал недостаточно эффективную работу аппаратуры по идентификации дискретных сигналов в сложных условиях [1,4]. Например, при ведении боевых действий, высокой помеховой обстановке или при передаче информации, когда спутник-ретранслятор выходит на границу невидимости и повторная передача данного сообщения невозможна. Одним из способов решения данной проблемы является применение интеллектуализированных систем, в качестве которых предлагается использовать нейронные сети, широко применяемые сегодня в области распознавания образов. В предлагаемой методике для идентификации дискретных сигналов, передаваемых по радиоканалам спутниковой связи, совместно используются нейронные сети, построенные на алгоритме обратного распространения ошибки, и сети, построенные на алгоритмах прямого распространения ошибки - сети Хэмминга. Для упрощения дальнейших рассуждений далее по тексту нейронная сеть, построенная на алгоритме обратного распространения ошибки – сеть №1, а нейронная сеть, построенная на алгоритме встречного распространения ошибки (сеть Хэмминга) – сеть №2.

Структурная схема радиосистемы передачи дискретной информации с использованием нейросетевых алгоритмов идентификации представлена на рис.1.

На представленной схеме устройство идентификации дискретных сигналов работает параллельно с существующей радиосистемой передачи дискретной информации.

Реализация устройства идентификации может быть выполнена двумя способами:

- программно, когда выполняется эмуляция нейронных сетей на ПЭВМ с использованием объектно-ориентированного программирования;
- аппаратно на основе нейропроцессоров.