6 Лейбниц, Г.-В. [Текст]:Сочинения в четырех томах: Т.1./ Ред. и сост., авт. вступит. статьи и примеч. В.В. Соколов; перевод Я.М. Боровского и др. - М.: Мысль, 1982. – 636 с.

7 Лосев, А.Ф. [Текст]: Вещь и имя. С*а*мое сам*о*. – СПб.: «Издательство Олега Абышко», 2008, 576 с.

8 Шпенглер, О. [Текст]: Закат Европы. Очерки морфологии мировой истории: Гештальт и действительность. М.: Эксмо, 2006.-800 с.

9 Виттих, В.А. [Текст]: Парадигма ограниченной рациональности принятия решений – 1.- Вестник Самарского государственного технического ун-та (Серия «Технические науки»), №3(25), 2009, с.22-31.

А.Ю. Козлов, Р.А. Стройков

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕРВАЛЬНО-ПЕРЕХОДНЫХ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ БОЕВОЙ СИСТЕМЫ

(Пензенский государственный университет, г. Пенза,
3 ЦНИИ МО РФ, г. Москва)

Решение задачи определения интервально-переходных вероятностей при функционировании элементов боевой системы (БС) основано на решении систем линейных интегральных уравнений на каждом временном шаге функционирования элемента боевой системы [1]:

$$P_{ij}(t) = (1 - F_i(t))\delta_{ij} + \sum_{n=1}^{K} p_{in} \int_0^t f_{in}(\tau) P_{nj}(t-\tau) d\tau, \tag{1}$$

где δ_{ij} - символ Кронекера;

$F_i(t)$ - безусловная функция распределения времени пребывания полумарковского процесса (ПМП) в состоянии i;

K - число состояний элемента БС;

p_{in} - установившееся значение переходной вероятности из состояния i в направлении n;

$f_{in}(\tau)$ - функция плотности вероятности времени пребывания элемента в состоянии i в направлении n.

Для отыскания приближенного решения предлагается применить итерационные методы, сформулировав задачу в виде оптимизационной.

В связи с этим сформулируем следующую оптимизационную задачу условной нелинейной минимизации, решаемую в каждый момент времени t функционирования элемента БС:

$$\min_{P(t)} f\left(P(t)\right) = \frac{\|d\|_e}{K^2}, \tag{2}$$

$$\begin{cases} c_1(P(t)) = \sum_{j=1}^{K} P_{1j}(t) - 1, \\ c_2(P(t)) = \sum_{j=1}^{K} P_{2j}(t) - 1, \\ \dots \\ c_K(P(t)) = \sum_{j=1}^{K} P_{Kj}(t) - 1. \end{cases}, \tag{3}$$

где $\|d\|_e = \sqrt{\sum_{i=1}^{K}\sum_{j=1}^{K}\left|P_{ij}(t) - V_i(t) - \sum_{n=1}^{K} p_{in}\int_0^t f_{in}(\tau)P_{nj}(t-\tau)d\tau\right|^2}$ - Евклидова норма матрицы.

Как видно из ограничений (3), они имеют тип строгих равенств.

В качестве начального приближения решения оптимизационной задачи при t=0 принимается единичная матрица порядка K:

$$P(0)^{(0)} = E. \tag{4}$$

В качестве начального приближения при t>0 принимается квадратная матрица интервально-переходных вероятностей, полученная на предыдущем временном шаге:

$$P(t)^{(0)} = P(t - \Delta t). \tag{5}$$

Задача считается решенной при выполнении следующих условий:

$$\begin{cases} \left\|P(t)^{(k)} - P(t)^{(k-1)}\right\| \le \varepsilon_1, \\ \left\|f(P(t))^{(k)} - f(P(t))^{(k-1)}\right\| \le \varepsilon_2, \\ \left\|c(P(t))^{(k)} - c(P(t))^{(k-1)}\right\| \le \varepsilon_3, \end{cases} \tag{6}$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ - наперед заданная точность вычислений.

Для решения задачи (2) с ограничениями в виде равенств (3) и начальными условиями (4), (5) предлагается использовать метод Последовательного квадратичного программирования (SQP). SQP метод является одним из самых современных методов в области нелинейного программирования [2].

Реализация метода SQP состоит из трех основных стадий:

1. Корректировка матрицы Гессе для Лагранжевой функции.
2. Решение задачи квадратичного программирования.
3. Вычисление линейного поиска и функции выгоды.

Для решения задачи оптимизационной задачи используем функцию Matlab fmincon, реализованную на основе метода SQP [3].

В таблице представлены принятые параметры функции fmincon для решения обозначенной задачи оптимизации.

В целях оперативного прогнозирования состояний элементов БС для включения их в сетевые структуры на основе ретроспективной информации об условных временах нахождения элементов в состояниях, разработан алгоритм определения интервально-переходных вероятностей за заданный период времени. Алгоритм основан на методе условной нелинейной минимизации функций SQP, который используется в процессе итерационного решения системы линейных интегральных уравнений, описывающих ПМП функционирования элемента боевой системы (рисунок).

Таблица

Параметры функции fmincon

Параметр	Описание параметра	Значение параметра
Algorithm	Алгоритм, используемый для решения оптимизационной задачи	'active-set'
Display	Уровень отображения. 'off' отображение не производится, 'iter' отображение проводится на каждой итерации, 'final' (принимается по умолчанию) отображение только конечной информации	'off'
MaxFunEvals	Максимально число допустимых расчетов функции	6000
MaxIter	Максимально число допустимых итераций	1500
TolFun	Конечное допустимое отклонение по значению функции (ε_2)	10^{-4}
TolCon	Конечное допустимое отклонение по нарушению условий ограничения (ε_3)	10^{-4}
TolX	Конечное допустимое отклонение по значению x (ε_1)	10^{-6}

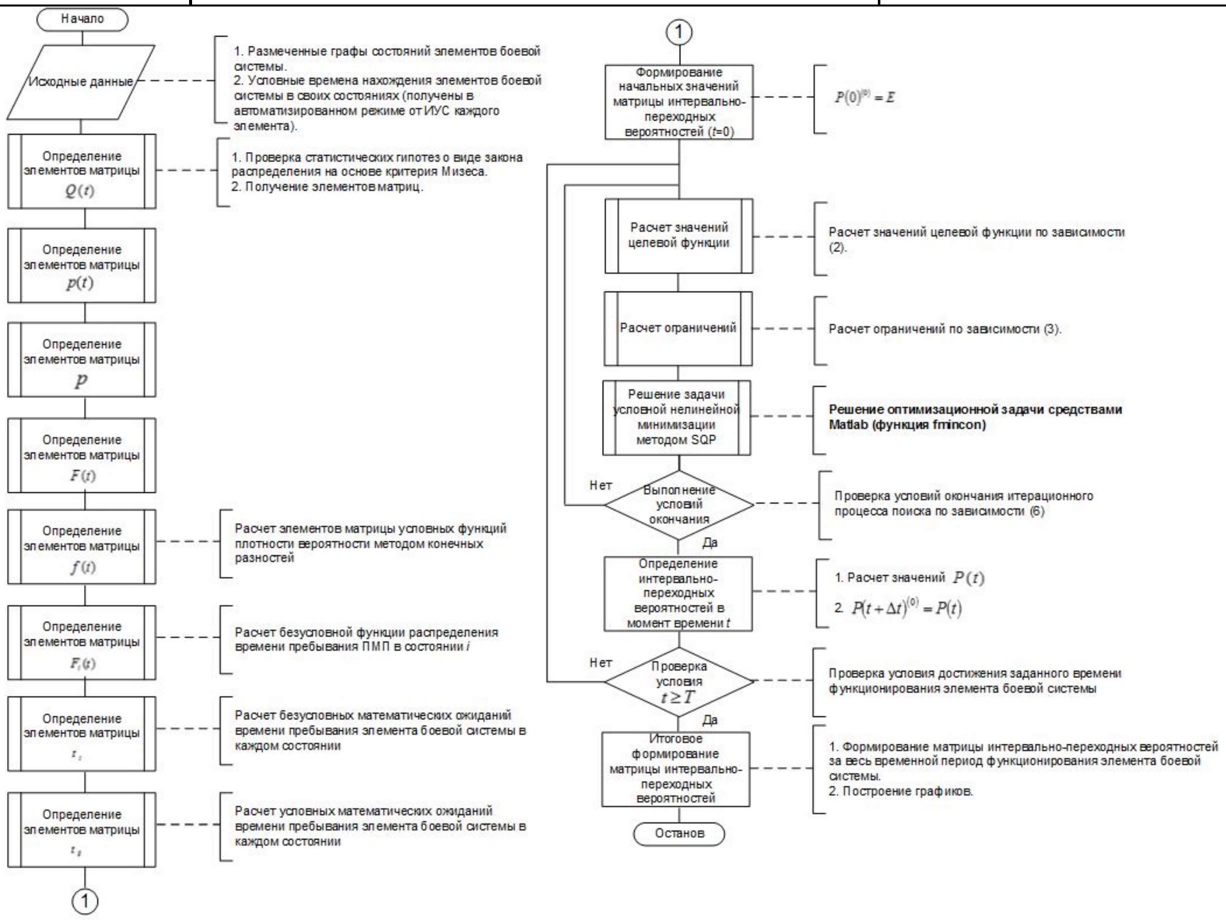

Рис. 1 Блок-схема алгоритма определения интервально-переходных вероятностей элемента БС

В алгоритме в качестве исходных данных используются условные времена нахождения элементов БС в своих состояниях, полученные в результате функционирования информационно-управляющей системы (ИУС) каждого элемента. В качестве численного метода используется метод SQP, позволяющий получить на каждом временном шаге матрицу интервально-переходных вероятностей.

Работа алгоритма представляет собой итерационную процедуру нахождения матриц интервально-переходных вероятностей в заданном диапазоне времени функционирования элемента.

Разработанный алгоритм позволяет получить значения интервально-переходных вероятностей как функций времени элементов БС для последующего прогнозирования поведения элементов. Алгоритм программно реализован в Matlab, что дает возможность применить его в специальном программном обеспечении комплексов средств автоматизации управления организационно-технических систем специального назначения.

Литература

1. Адерихин, И. В. Алгоритм оценивания и исследования готовности системы управления судном морского транспорта [Текст] / И. В. Адерихин, М. Г. Воротынцева / Вестник АГТУ. – 2005. – № 2(25). – С. 194–198. - ISSN 1812–9498.

2. Трифонов, А. Г. Оптимизация при наличии ограничений [Текст] / А. Г. Трифонов. - http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book_1/15.php.

3. Кетков, Ю. Л. MATLAB 7: программирование, численные методы [Текст] / Ю. Л. Кетков, А. Ю. Кетков, М. М. Шульц. - Спб.: БХВ-Петербург, 2005. - 752 с. - ISBN 5-94157-347-2.

А.Ю. Козлов, Р.А. Стройков

ПОЛУМАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТА ПОДСИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БОЕВОЙ СИСТЕМЫ

(Пензенский государственный университет, г. Пенза,
3 ЦНИИ МО РФ, г. Москва)

Для решения задачи моделирования функционирования элемента подсистемы обеспечения (ЭПО) боевой системы (БС), в роли которого может выступать грузовой автомобиль, предназначенный для обеспечения необходимыми ресурсами элементов подсистемы поражения, наиболее адекватным является такое представление полумарковского процесса (ПМП), когда фазовый портрет исследуемого процесса функционирования элемента задан графом состояний $G(P,Q)$ (рисунок), возможными переходами $\{i, j\}$, матрицей независимых функций распределения времени пребывания элемента в i-м состоянии перед пере-