

**ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНФЛИКТНЫХ ПРОЦЕССОВ
В СЕТЯХ ПЕТРИ-МАРКОВА С ПРОИЗВОЛЬНЫМИ ЗАКОНАМИ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПЕРЕХОДОВ**

© 2014 г. А.А. ДОНЦОВ, Ю.Л. КОЗИРАЦКИЙ

Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж

Теоретическую основу исследования подходов к построению конфликтно-устойчивых, функционирующих в условиях преднамеренных помех и ложных целей, оптико-электронных и радиоэлектронных средств разведки составляют разработанные в [1, 2] модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения. Получаемые с помощью этих моделей вероятностно-временные зависимости могут использоваться как исходные данные для моделей не только информационного, но и боевого конфликта в условиях активных двухсторонних действий по РЭБ. Предпочтительным математическим аппаратом для анализа боевых и информационно-боевых показателей такого конфликта является аппарат сетей Петри-Маркова [3-5], позволяющий адекватно описать многообразие параллельных и последовательных процессов функционирования групп информационно-боевых систем, а также их взаимного влияния. Однако наибольшие трудности возникают при моделировании временных моментов срабатывания переходов, вероятностно-временные характеристики которых могут описываться полученными в [1, 2] достаточно сложными законами распределения вероятностей, строго учитывающими характеристики многообразных помеховых воздействий.

Цель работы – разработка и апробация алгоритма моделирования моментов срабатывания переходов сети Петри-Маркова с произвольными законами плотности распределения вероятностей времени перехода.

Для корректного моделирования заданного вида закона распределения времени перехода с помощью сети Петри-Маркова разработан следующий алгоритм (Рис. 1):

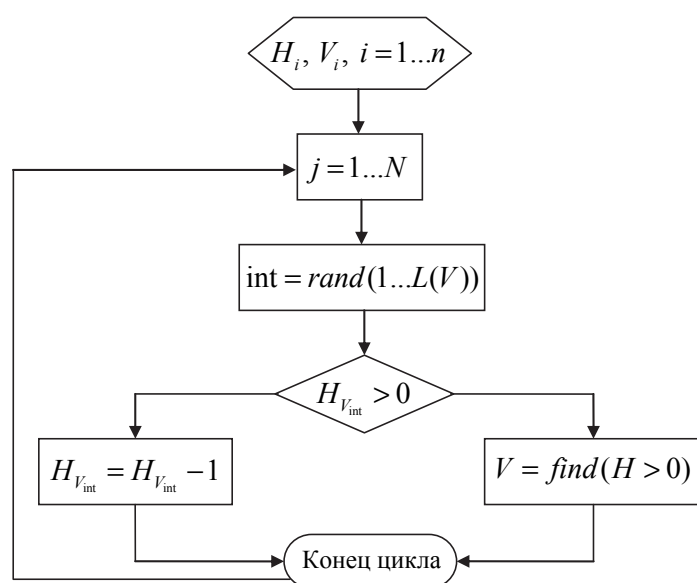


Рис. 1. Блок-схема алгоритма.

1. Перед началом моделирования определяется временной шаг моделирования Δt и для заданного закона плотности распределения вероятности времени перехода $f(t)$ рассчитывается гистограмма частот срабатывания перехода в заданные временные интервалы:

$$H_i = [f((i+1)\Delta t) + \frac{1}{2} |f((i+1)\Delta t) - f(i\Delta t)|] \Delta t N,$$

где $i = 1 \dots n$; $n = T / \Delta t$; N – количество реализаций.

Сформированная гистограмма содержит информацию о том, сколько раз должен сработать переход на i -ом временном интервале.

2. Одновременно формируется вектор номеров временных интервалов: $V_i = i$, $i = 1 \dots n$.

3. В каждой реализации случайным образом выбирается номер индекса вектора номеров временных интервалов, при котором происходит срабатывание перехода: $\text{int} = \text{rand}(1 \dots L(V))$, где $L(V)$ – размерность вектора V .

4. Если значение гистограммы $H_{V_{\text{int}}}$ положительное, то моделируется факт срабатывания перехода в момент времени $V_{\text{int}} \Delta t$.

5. В противном случае корректируется вектор номеров временных интервалов: $V = \text{find}(H > 0)$, где $\text{find}(H > 0)$ – операция формирования вектора V , элементы которого соответствуют индексам положительных элементов вектора H .

На Рис. 2 приведены результаты работы такого алгоритма при моделировании переходов с экспоненциальным законом распределения с параметром $\lambda = 0,2$ (левый столбец) и законом распределения времени поиска истинной цели среди одной ложной (правый столбец), полученным в [2]: $f(t) = P_{12}P_{24}\lambda^2 t e^{-\lambda t} + 0,5P_{13}P_{24}P_{32}\lambda^3 t^2 e^{-\lambda t}$, при $P_{12}=0,8$; $P_{13}=1-P_{12}$; $P_{24}=P_{32}=1$; $\lambda=1/3$, $T=20$ с; $\Delta t=0,5$ с.

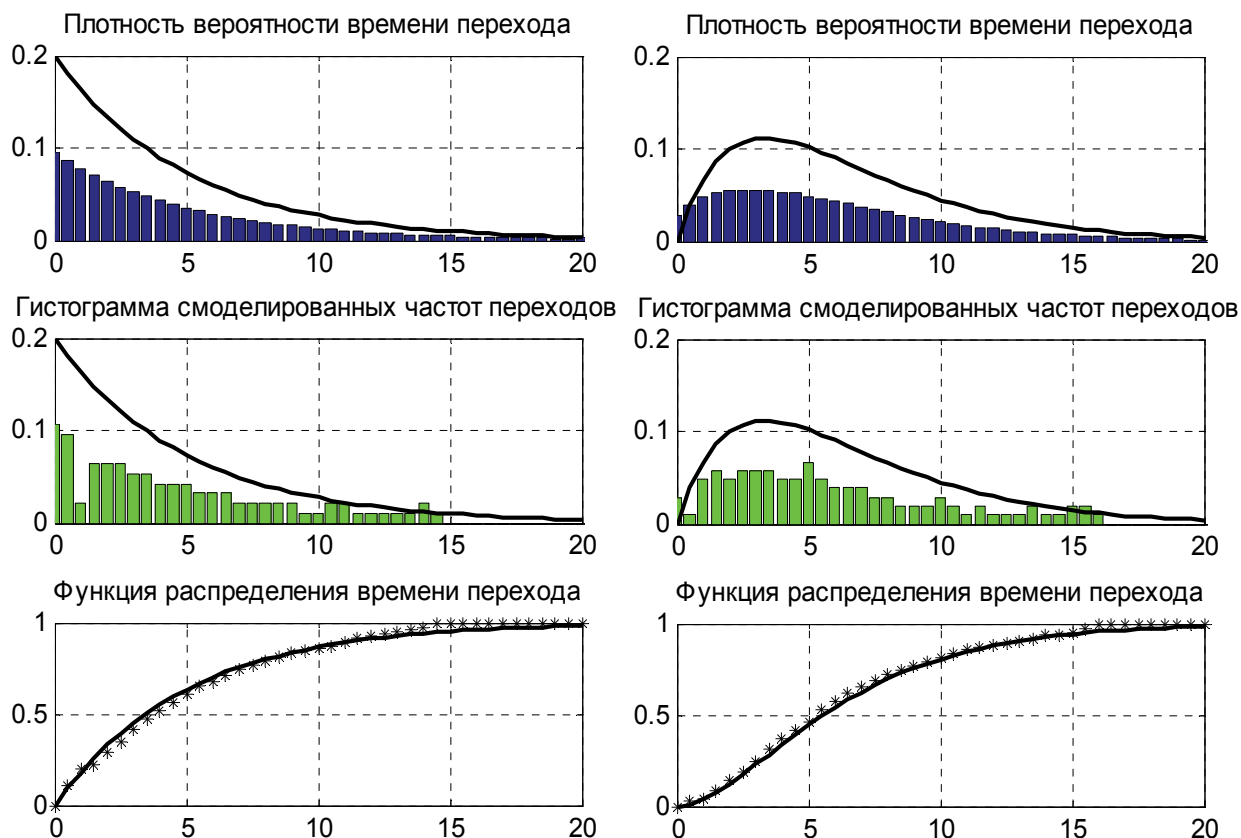


Рис. 2. Результаты моделирования алгоритма.

На Рис. 3 представлены графики зависимости доверительной вероятности $P(|F - \tilde{F}| \leq \varepsilon)$ совпадения смоделированных зависимостей функции распределения времени перехода с теоретическими от числа испытаний N , полученные для различных значений доверительного интервала ε .

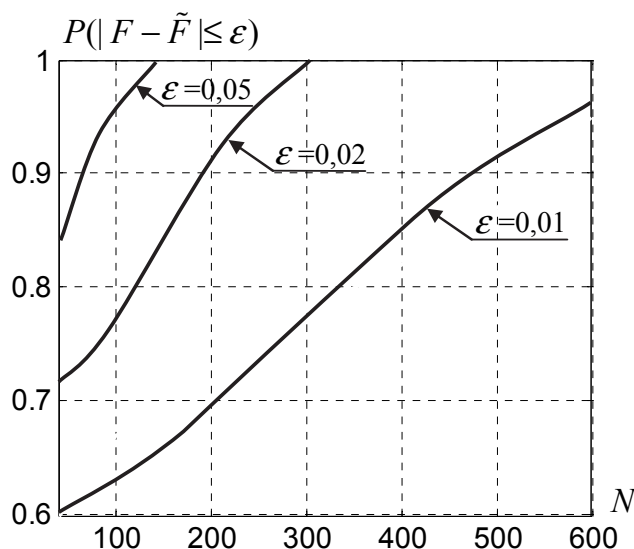


Рис. 3. Графики зависимости доверительной вероятности от числа испытаний.

Из графиков видно, что высокое значение доверительной вероятности при 5-ти процентном доверительном интервале может быть достигнуто уже при 100 реализациях разработанного алгоритма.

Таким образом, разработан алгоритм моделирования моментов срабатывания переходов сети Петри-Маркова, описывающей процессы конфликтного взаимодействия оптико-электронных и радиоэлектронных средств разведки в условиях преднамеренных помех. Алгоритм основан на представлении произвольной аналитической зависимости плотности распределения вероятности времени перехода в виде гистограммы распределения с заданным временным интервалом и последующим равновероятным выбором номера интервала с положительными значениями гистограммы. Показано, что предложенный алгоритм обеспечивает высокое значение доверительной вероятности при 5-ти процентном доверительном интервале уже при 100 реализациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения / под ред. Ю.Л. Козирацкого. – М.: Радиотехника, 2013. – 232 с.
2. Модели пространственного и частотного поиска / под ред. Ю.Л. Козирацкого. – М.: Радиотехника, 2014. – 344 с.
3. Котов В.Е. Сети Петри. – М.: Наука, 1984. – 160 с.
4. Ларкин Е.В., Сабо Ю.И. Сети Петри Маркова и отказоустойчивость авионики. – Тула: ТулГУ, 2004. – 208 с.
5. Ларкин Е.В. Математический аппарат сетей Петри-Маркова. URL: <http://klax.tula.ru/~spm/index.html>.