

ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА
И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.391

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОБСЛУЖИВАНИЯ МУЛЬТИСЕРВИСНОГО
ТРАФИКА В СЕТИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО КОНФЛИКТА

© 2022 г. А. С. Севостьянов¹, Е. А. Новиков¹

¹ Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: vka@mil.ru

Поступила в редакцию 15.03.2022 г.

После доработки 20.03.2022 г.

Принята к публикации 20.03.2022 г.

Рассмотрены вопросы моделирования процесса обслуживания мультисервисного трафика в сети спутниковой связи специального назначения в условиях радиоэлектронного конфликта. Представлена имитационная модель сложной радиотехнической системы, разработанная в MATLAB/Stateflow/Simulink. Использование полученной модели позволяет подобрать параметры системы массового обслуживания в соответствии с заданными требованиями по качеству обслуживания.

DOI: 10.56304/S2782375X2203010X

ВВЕДЕНИЕ

Постоянное развитие средств радиоэлектронного противодействия и совершенствование методов их использования поставили проблему повышения эффективности систем и средств связи, в том числе сетей спутниковой связи специального назначения.

Однако при исследовании сложных систем и протекающих в них процессах зачастую возникает необходимость проведения натуральных экспериментов ввиду невозможности получения исчерпывающих знаний на базе аналитических методов. Уникальность, дороговизна реальных систем, ответственность решаемых задач не позволяют осуществлять проведение натуральных экспериментов. Выходом из сложившейся ситуации является применение имитационного моделирования, которое позволяет построить модель изучаемого объекта или процесса с достаточным для исследований приближением к оригиналу.

Исследование функционирования сложных радиотехнических систем (СРТС), таких как сети спутниковой связи специального назначения, в условиях радиоэлектронного конфликта связано с трудностью их аналитического описания. Известно большое количество работ, посвященных СРТС, функционирующих в условиях динамического конфликтного взаимодействия при слабо предсказуемом поведении противоположной стороны [1, 2]. В [3] представлен подход к описанию конфликтного взаимодействия СРТС на ос-

нове параллельных развивающихся стохастических процессов.

В настоящей работе представлен вариант построения имитационной модели СРТС в условиях радиоэлектронного конфликта в среде MATLAB/Stateflow/Simulink.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве взаимодействующих СРТС рассмотрены сеть спутниковой связи специального назначения и комплекс радиоподавления. Концептуальная модель конфликтного взаимодействия СРТС представлена на рис. 1.

Для построения имитационной модели был выбран продукт MATLAB ввиду его универсальности, большого количества библиотек и пакетов, позволяющий реализовать имитационную модель практически любой сложности [4]. Инструмент Stateflow позволяет проектировать логико-событийные системы с параллельно протекающими процессами.

Состояния подсистем проектируемых СРТС выбираются исходя из наиболее полного описания функционирования СРТС. Состояния подсистем связываются переходами в соответствии с логикой функционирования моделируемых объектов.

Вариант построения модели комплекса радиосвязи представлен на рис. 2, а модели комплекса радиоподавления – на рис. 3. Помимо очевидных

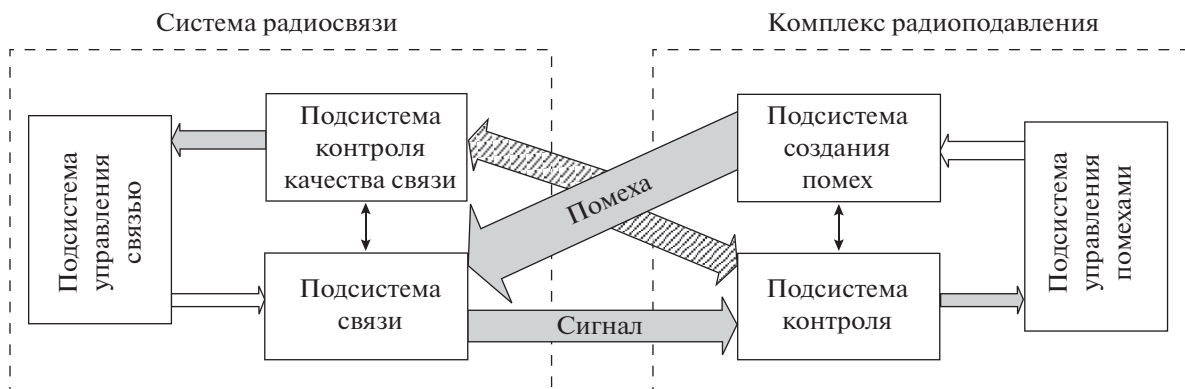


Рис. 1. Концептуальная модель процесса конфликтного взаимодействия СРТС.

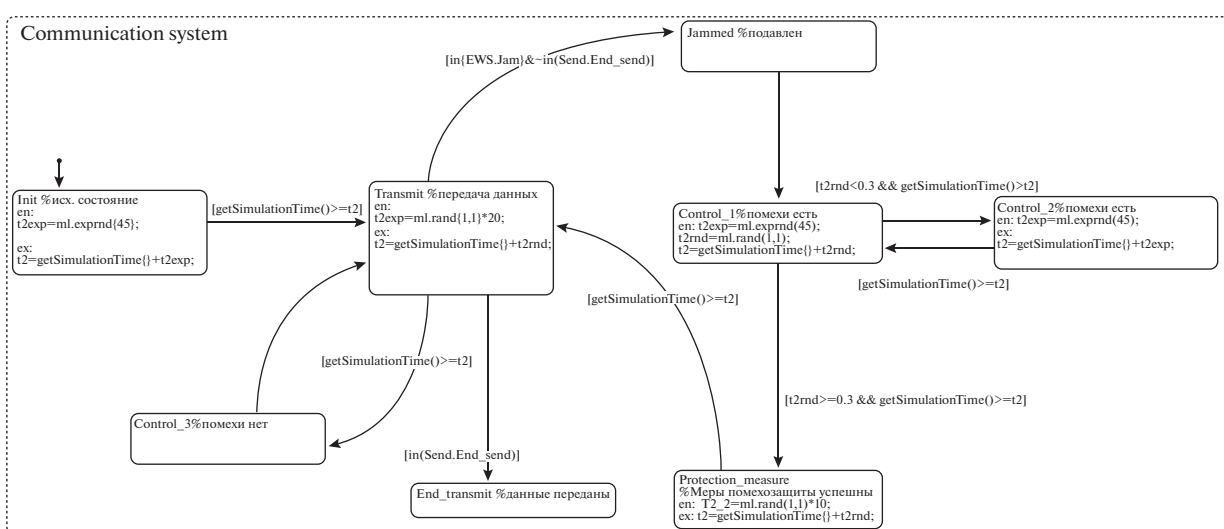


Рис. 2. Модель комплекса радиосвязи.

связей между состояниями в виде переходов, изображенных на рис. 2, 3 в виде стрелочек, условия некоторых переходов зависят от состояния взаимодействующей подсистемы.

В результате имитационного моделирования были получены результаты в виде массива значений интервалов задержки передачи пакета трафика в условиях конфликтного взаимодействия. Гистограмма полученных значений представлена на рис. 4.

Можно получить аппроксимирующую функцию плотности вероятности по имеющемуся набору статистических данных.

Расчет начальных моментов определяется по формуле

$$v_k = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^k}{N}, \tag{1}$$

где k – степень момента, X_i – отдельные значения из набора статистических данных, N – общее количество значений набора статистических данных.

По первым двум начальным моментам можно получить параметры γ -распределения и попробовать аппроксимировать полученные результаты:

$$f_y(t) = \frac{\mu \cdot (\mu \cdot e)^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} e^{-\mu t}, \tag{2}$$

где $\Gamma(\alpha)$ – γ -функция; α, μ – параметры γ -распределения.

Параметры γ -распределения находятся в соответствии с выражениями

$$\alpha = \frac{v_1^2}{v_2 - v_1^2}, \quad \mu = \frac{\alpha}{v_1}. \tag{3}$$

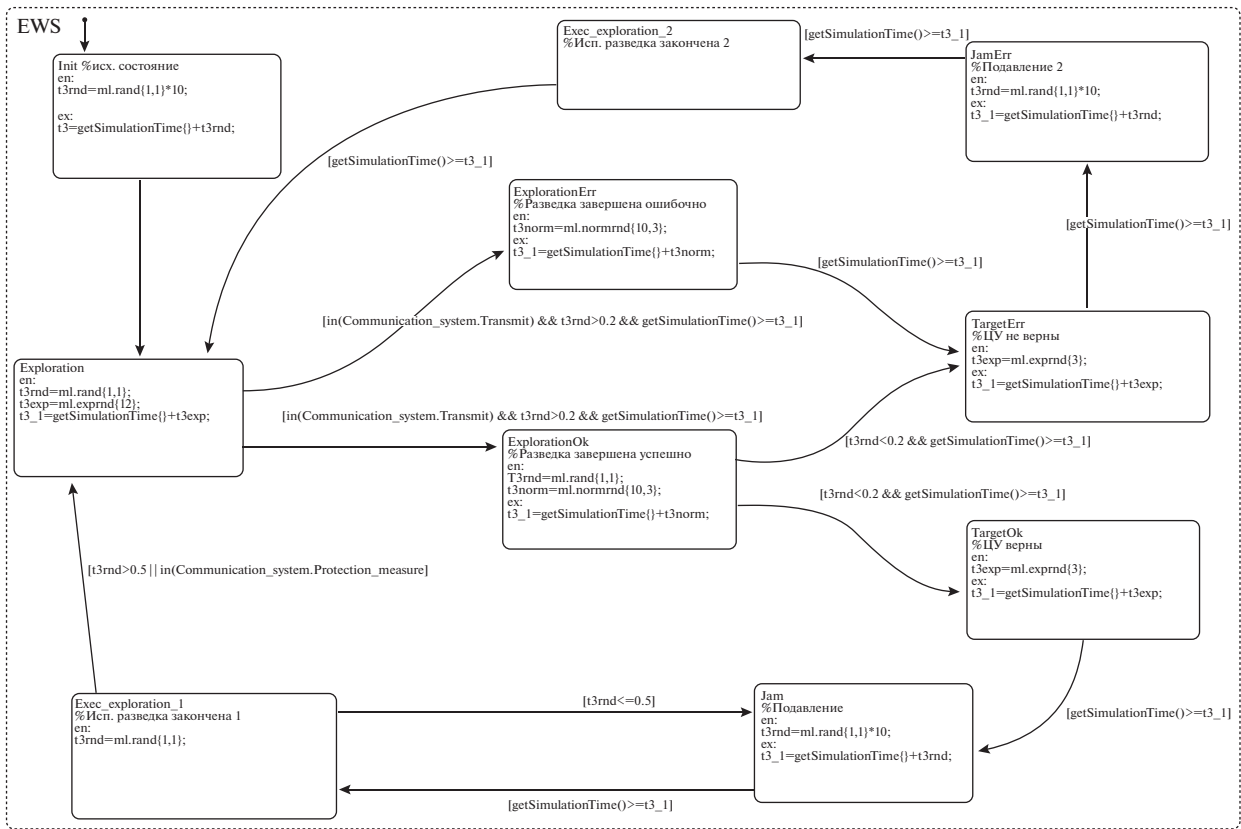


Рис. 3. Модель комплекса радиоподавления.

Применив формулы (1) и (3) к массиву статистических значений, полученных в результате имитационного моделирования, находим параметры γ -распределения. В данном случае параметры принимают вид: $\alpha = 3.22$, $\mu = 0.02$. График

функции плотности γ -распределения представлен на рис. 5.

Как видно из рис. 4, 5, полученные результаты имитационного моделирования в виде набора статистических данных можно с высокой точностью аппроксимировать γ -распределением.

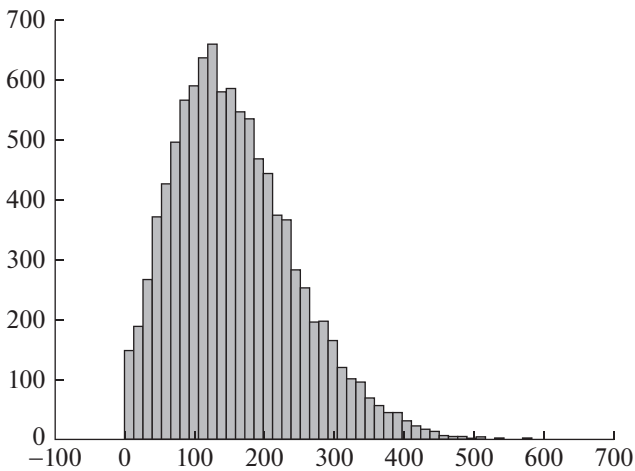


Рис. 4. Результаты имитационного моделирования конфликтного взаимодействия СРТС.

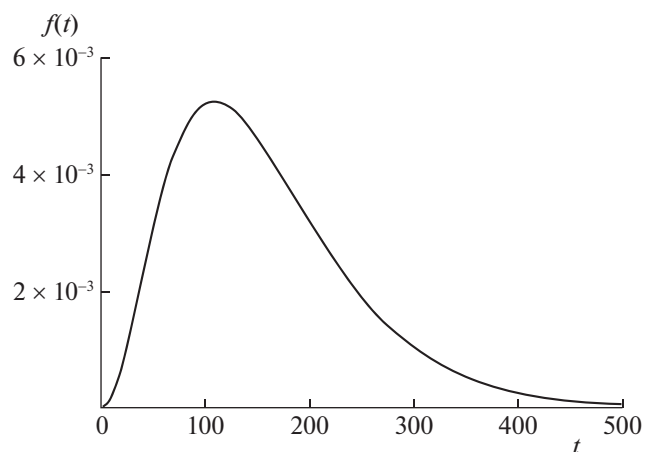


Рис. 5. График плотности γ -распределения с параметрами $\alpha = 3.22$, $\mu = 0.02$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный вариант имитационной модели СРТС в условиях радиоэлектронного конфликта на основе параллельных стохастических развивающихся процессов, построенный в среде MATLAB/Simulink/Stateflow, открывает широкие возможности к дальнейшему изучению процессов и выявлению зависимостей конечного результата от изменения состояний подсистем СРТС и условий перехода между подсистемами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дружинин В.В., Конторов Д.С., Конторов М.Д.* Введение в теорию конфликта. М.: Радио и связь, 1989. 288 с.
2. *Куприянов А.И., Сахаров А.В.* Радиоэлектронные системы в информационном конфликте. М.: Вузовская книга, 2003. 528 с.
3. *Мальцев Г.Н., Вознюк В.В., Туктамышев М.Р.* // Информационно-управляющие системы. 2013. № 5 (66) С. 26.
4. *Сирота А.А.* Компьютерное моделирование и оценка эффективности сложных систем. М.: Техносфера, 2006. 280 с.