

Так, например, если  $n = 3$ , имеем

$$a_i^{(3)} = a_i^{(2)} + (3-i)a_{i-1}^{(2)}; a_0^{(3)} = a_0^{(2)} + 3a_{-1}^{(2)} = 1 + 3 \cdot 0 = 1;$$

$$a_1^{(3)} = a_1^{(2)} + 2a_0^{(2)} = 1 + 2 = 3,$$

$$a_2^{(3)} = a_2^{(2)} + a_1^{(2)} = 0 + 1 = 1, \text{ и, следовательно, имеет место соотношение:}$$

$$k^3 = \sum_{m=1}^3 a_{3-m}^{(3)} k^{[m]} = a_0^{(3)} k^{[3]} + a_1^{(3)} k^{[2]} + a_2^{(3)} k^{[1]} = k(k-1)(k-2) + 3k(k-1) + k.$$

Некоторые значения  $a_i^{(n)}$  внесем в таблицу:

$n$	$a_0^{(n)}$	$a_1^{(n)}$	$a_2^{(n)}$	$a_3^{(n)}$	$a_4^{(n)}$	$a_5^{(n)}$	...
1	1						
2	1	1					
3	1	3	1				
4	1	6	7	1			
5	1	10	25	15	1		
6	1	15	65	90	31	1	
...	...	...	...	...	...	...	...

Начальные моменты  $n$ -ого порядка случайной величины  $X$  связаны с ее начальными факториальными моментами соотношением

$$\alpha_n = M(X^n) = M(a_0^{(n)} X^{[n]} + a_1^{(n)} X^{[n-1]} + \dots + a_{n-1}^{(n)} X^{[1]}) = \sum_{m=1}^n a_{n-m}^{(n)} \alpha_{[m]},$$

где коэффициенты  $a_i^{(n)}$  удовлетворяют соотношению  $a_i^{(n)} = a_i^{(n-1)} + (n-i)a_{i-1}^{(n-1)}$ .

Центральные моменты  $n$ -ого порядка случайной величины  $X$  связаны с ее центральными факториальными моментами соотношением

$$\mu_n = \sum_{m=1}^n a_{n-m}^{(n)} \mu_{[m]} = a_{n-1}^{(n)} \mu_{[1]} + \sum_{m=2}^n a_{n-m}^{(n)} \mu_{[m]} = \sum_{m=2}^n a_{n-m}^{(n)} \mu_{[m]},$$

где коэффициенты  $a_i^{(n)}$  удовлетворяют соотношению  $a_i^{(n)} = a_i^{(n-1)} + (n-i)a_{i-1}^{(n-1)}$ .

Это соотношение легко получить из соответствующего соотношения для начальных моментов, полагая  $X = X - M(X)$ , так как  $\mu_{[1]} = 0$ .

Так, например,

$$\mu_2 = \mu_{[2]}, \mu_3 = \mu_{[3]} + 3\mu_{[2]}, \mu_4 = \mu_{[4]} + 6\mu_{[3]} + 7\mu_{[2]}.$$

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Высшая школа, 1999. – 576 с.
2. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн – М.: Наука, 1977. – 831 с.

УДК 681.3

Климович А.Н.

Научный руководитель: проф. Муравьев Г.Л.

#### СПЕЦИФИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Стохастические сетевые модели (ССМ), относящиеся к категории типовых математических q-моделей (схем) [1] с непрерывным временем и дискретными состояниями, находят широкое применение в проведении анализа и синтеза систем произвольной природы. При этом используются готовые среды моделирования, позволяющие кодировать такие

модели. Кроме этого на базе сетей могут создаваться системы, среды автогенерации имитационных моделей, а также среды специализации типовых средств имитационного моделирования. Сети широко используются в обучении формализации объектов, процессов, построению концептуальных, математических моделей. Они могут служить основой для автогенерации: демонстрационных имитационных моделей в терминах изучаемых языков моделирования; моделей-эталонов, замещающих реальные системы и используемых обучаемыми для построения своих моделей; сетевых спецификаций, необходимых как для организации моделирования, так и тестирования разработанных моделей.

В работе выделены классы и подклассы  $q$ -моделей [2]: произвольные сети, стохастические сетевые модели, произвольные сети массового обслуживания (ПСМО), сети массового обслуживания, различающиеся составом узлов, процессов, механизмом управления обслуживанием заявок. Рассмотрены сети ПСМО, представляющие собой расширение широко используемых сетей массового обслуживания. Выделены виды ПСМО, включая линейные, нелинейные, замкнутые, разомкнутые, смешанные, однородные, неоднородные, стационарные и нестационарные. В том числе сети, нестационарные по входным процессам, обслуживанию (параметрам узлов), смешанные. В качестве базового варианта задания нестационарного функционирования сети использован вариант ее спецификации по "расписанию".

Выделен состав базовых узлов указанных сетей. Это источники-генераторы, моделирующие внешнюю среду, из которой в систему поступают заявки на обслуживание, включая одиночные и групповые, стационарные и нестационарные, управляемые по расписанию. Одно- и многоканальные обслуживающие узлы, в том числе с учетом относительных и абсолютных приоритетов, с фиксированным и переменным быстродействием каналов. Локальные накопители узлов ограниченной емкости, включая накопители с потерями заявок при переполнении и без потерь, с освобождением емкости при захвате канала узла и после полного завершения обслуживания в узле. Кроме этого используются вероятностные, маршрутные узлы, приемники обслуженных и потерянных заявок.

Дополнительно введены в рассмотрение "сервисные" узлы, позволяющие пользователю управлять сбором данных, обработкой результатов, обеспечивающие расчет характеристик сети в заданных пользователем временных интервалах, в указанных точках и фрагментах сети, с требуемой полнотой. Последнее подразумевает расчет средних значений характеристик, средних и дисперсий характеристик, доверительных интервалов, получение частотных таблиц, построение распределений. При необходимости пользователь может ограничиться стандартным набором узловых и системных характеристик в разрезе отдельных потоков запросов либо набором характеристик, усредненных по всем потокам запросов.

Применимость указанного класса моделей зависит от наличия средств реализации и адекватности получаемых моделей, их чувствительности к погрешностям задания параметров сети. В связи с практикой использования графических схем для визуальной спецификации моделей, а также с учетом перспективности автогенерации результативных имитационных моделей на основе указанных спецификаций рассмотрены средства визуализации (символы, связи, отображающие ресурсы сети, потоки обслуживаемых заявок, управление обработкой и сбором данных), а также аспекты отображения указанных сетей в терминах языка GPSS системы GPSS World [3]. Определены способы организации моделирования и сбора данных для случая нестационарного функционирования сети.

В работе рассмотрена степень чувствительности характеристик сетей к точности задания параметров. В частности, рассматривалось влияние погрешностей задания зна-

чений задержек обслуживания (одного или нескольких) узлов в сетях разной конфигурации (многофазных; параллельных, произвольных) с разными режимами функционирования и степенью сбалансированности. В качестве анализируемых факторов рассматривались средние значения задержек, коэффициенты вариации значений задержек, законы распределения задержек.

Полученные результаты, включая выделенный подтип сетей, правила его визуализации, правила отображения сети в терминах языка GPSS составляют основу для создания системы автогенерации результативных имитационных моделей по их сетевым спецификациям. А оценки чувствительности сетевых характеристик позволяют оценивать требования к точности задания параметров сетей, устанавливать допустимые диапазоны изменения погрешностей узловых характеристик по отношению к системным.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Советов, Б.Я. Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высш. шк., 2001. – 430 с.
2. Ивницкий, В.А. Теория сетей массового обслуживания / В.А. Ивницкий. – М.: Физико-математическая литература, 2004. – 772 с.
3. Рыжиков, Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. – СПб.: Корона, 2004. – 320 с.
4. Кудрявцев, Е.М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем: учебник для ВУЗов. – Москва, 2004. – 320 с.

УДК 004.514.62

*Коваленко В.Ю.*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Костюк Д.А.*

### **СРЕДСТВА ИЗОЛЯЦИИ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОРТАТИВНЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ LINUX**

Использование мобильных встраиваемых систем (ВС) имеет значительные отличия от эксплуатации традиционных и стационарных систем: в первую очередь, для них характерны работа в «походных» условиях, т. е. отсутствие поддержки, возможности оперативного диагностирования и отладки приложений, восстановления системы (переустановка, изменение системных настроек); повышенные требования к устойчивости из-за критичности получаемых данных и недопустимость их потери. В связи с этим при разработке таких ВС необходимо придумать и реализовать методологию сохранения работоспособности системы в случае сбоев, ошибок (как внутренних, так и внешних).

Базисом для проведения исследований, представленных в данной работе, является мобильная платформа мониторинга паводковой ситуации [1], обладающая низкой вычислительной мощностью; поэтому рассмотренные далее способы повышения надежности были выбраны с учётом доступных ресурсов.

#### **1. Использование виртуализации в ВС**

Виртуализация – запуск приложения в изолированной среде, т. н. «песочнице» (от англ. sandbox), когда его действия жестко контролируются виртуальной машиной (VM). Приложение изолировано от других программ и взаимодействует с ними через специальные интерфейсы, а доступ к ресурсам (памяти, портам и т. д.) инкапсулируется и также находится под контролем.

Полноценная аппаратная или паравиртуализация неприемлема в данной задаче из-за объема потребляемых ресурсов. Поэтому было решено использовать метод изоляции