

тическое восстановление режима работы двигателя после устранения помпажа, а не предотвращение возникновения газодинамической неустойчивости в турбомашинах. Предложенная модель модуля предотвращения помпажа основана на методе вейвлет-анализа и картах Кохонена SOM. Приводится сравнительный анализ результатов обнаружения срывных процессов с помощью данного подхода и упрощенных моделей.

The aim of existing stall prevention systems in a gas-turbine engine is an automatic restoration of the engine operating conditions after a surge ceasing rather than prevention of a gas-dynamic instability in turbo machines. The model of a surge prevention modulus based on the method of wavelet-analysis and Kohonen's SOM maps is suggested. A comparative analysis for stall detection results is carried out with the help of such an approach and simplified models.

УДК 004.056:378 (147)

М. Г. Коляда

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛОВ СЕТЕЙ С ОЧЕРЕДЯМИ ПАКЕТОВ ЗАЩИЩЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

В статье представлен механизм оптимизации каналов сетей с последовательными очередями пакетов защищенной информации на основе имитационного моделирования. Решение задачи представлено на основе вероятности и функция распределения прибывающих защищенных пакетов на один канал.

заявки. Образовывается очередь. Задача прогноза и состоит в том, чтобы установить с возможной точностью взаимную зависимость между числом обслуживающих единиц и качеством обслуживания. Под *качеством обслуживания* понимают количество заявок получающих отказ, либо среднее время ожидания, либо среднюю длину очереди.

ВВЕДЕНИЕ

Теория массового обслуживания предлагает несколько способов эффективного своего применения, и в первую очередь, избежание длинных очередей. Один из таких способов состоит в том, чтобы иметь только одну очередь, из которой клиенты поступают на обслуживание по принципу «первым пришел – первым обслужен». Эта система сейчас принята не только в теоретических расчетах радиотехнических и коммуникационных устройств, но и во многих ситуациях окружающей жизни: учреждениях и организациях, например, в банковских отделениях.

Имитационное моделирование (ИМ) предоставляет универсальные возможности для исследования информационных систем с учетом разнообразных свойств и взаимосвязей их элементов. Вопросам оптимизации, с использованием имитационного моделирования в системах обработки информации уделяли внимание многие авторы, например [1, 2]. Разработку проблемы оценки эффективности защиты информации, в линиях радиосвязи разрабатывали исследователи [3, 4].

В практической деятельности часто происходят ситуации, когда возникает массовый спрос на обслуживание какого-либо специального вида, причем, обслуживаемый объект, располагая лишь ограниченным числом обслуживающих единиц, не всегда способен немедленно удовлетворить все поступающие

Исследователи В. Н. Задорожный, Е. С. Ершов, О. Н. Канева, А. А. Донец разрабатывали оптимизацию сетей передачи информации с учетом образующихся очередей [5, 6]. Но научных работ, связанных с проблемой оптимизации передачи защищенной информации по каналам связи сети с учетом образующихся очередей в настоящее время практически нет. Многие авторы, в том числе и перечисленные, используют либо свои алгоритмы оптимизации сетей с очередями, либо готовые алгоритмы, заложенные в профессиональных системах имитационного моделирования (типа GPSS World). Поэтому, специалисты, которые занимаются практическим внедрением и эксплуатацией систем с многоканальной связью, сталкиваются с проблемами несоответствия результатов моделирования известным аналитическим зависимостям.

Появляются новые алгоритмы, совершенствуются средства взаимодействия пользователя с моделью, автоматизируются те этапы исследований, которые ранее были ручными, но все же имитационное исследование больше остается наукой и искусством, нежели инженерным средством для огромной армии системных аналитиков и инженеров. Имитация до сих пор остается уделом профессионалов «симуляционистов», и это сдерживает ее огромные потенциальные возможности использования в реальной практической жизни. Поэтому в работе была поставлена *цель* –

© Коляда М. Г., 2009

сделать имитационное моделирование интуитивно понятным и легким в освоении для инженерных работников и проектировщиков сложных систем, для широкого круга специалистов (в том числе, и студентов).

В качестве инструмента выбран всем доступный табличный процессор *Excel*. Именно это приложение может быть использовано под конкретную проблему, которая должна решаться на «понятийном» уровне. Проблема должна «говорить» на языке пользователя, а инженер должен решать значимые и конкретные, а не гипотетически важные задачи. Это не значит, что в дальнейшем он не будет применять специальные интегрированные программные среды, с использованием хорошо отработанных и известных программных средств симуляторов, пакетов обработки статистики, программ мониторинга данных, и, конечно же, – системы имитационного моделирования GPSS World [7–10]. Наоборот, именно они и должны стать основной инструментальной базой, но лишь после того, как будет осмыслен механизм «ручной» прогонки построенной сложной модели.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Предположим, используется ведомственная линия радиосвязи, в которой для обеспечения эффективной защиты передаваемой информации от прослушивания и подмены информации используются методы криптозащиты. Для обработки поступающих заявок в такой системе необходимо некоторое время, причем оно зависит, прежде всего, от быстродействия работы технических устройств и алгоритмов, лежащих в основе криптографических методов шифрования и дешифрования информации. Кроме объективных факторов, влияющих на качество обслуживания заявок в системе, существуют и чисто «организационные» факторы, которые напрямую связаны со средней длиной очереди приходящих и обслуженных заявок.

Пусть такая сеть с очередями пакетов защищенной информации, узлами которой являются *системы массового обслуживания* (СМО) усиливается, путем ввода в ее состав m дополнительных каналов. Все каналы в сети технически идентичны, т. е. любой из вводимых каналов может быть добавлен в состав любой СМО. Различие вероятностных распределений времени обслуживания заявок в разных узлах сети связано с разной трудоемкостью соответствующих этапов обслуживания заявок. Каналы в составе одной СМО характеризуются одинаковым вероятностным распределением времени обслуживания, но разными вероятностями прибывающих защищенных пакетов к одному каналу узла сети. *Целью усиления сети является сокращение средней длины очереди прибывающих заявок.* Задача состоит в нахождении оп-

тимального распределения m дополнительных каналов по узлам сети, обеспечивающих минимум длины очереди по обслуживанию защищенных пакетов.

Были проведены предварительные тестовые замеры по отношению к прибывающим запросам в виде пакетов защищенной информации на каналы узлов сети. Известно, что потенциальные защищенные пакеты запросов приходят малыми группами на каналы узлов сети. Вероятности прибытия таких защищенных пакетов к каналам в течение суток с шестиминутным интервалом времени известны, и представлены в табл. 1. Также в таблице вычислены функции распределения (интегральные вероятности) прибытия одного, двух, трех и четырех таких пакетов.

Наша задача состоит в том, чтобы смоделировать круглосуточный прием защищенных пакетов на каналы узлов сети в течение недели с шестиминутным интервалом времени (это время, отводимое на обслуживание одного защищенного пакета).

Таблица 1 – Вероятности и функция распределения прибывающих защищенных пакетов

Количество прибывающих защищенных пакетов	Вероятность прибывающих защищенных пакетов к одному каналу, %	Функция распределения, %
0	60	0
1	6	76
2	12	82
3	4	94
4	2	98

На основе построенной модели необходимо определить интенсивность работы одного такого канала. Необходимо спрогнозировать необходимое количество таких каналов, чтобы число защищенных пакетов, стоящих в очереди у каждого из них не превышало 5 штук.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

Смоделируем круглосуточный прием защищенных информационных пакетов в течение недели (7 дней по 24 часа) с 6-минутным интервалом на обслуживание одного защищенного пакета. Обозначим 1680 временных интервалов [(7 дней в неделе) × (24 часа в сутках) × (60 мин. в часе) / 6 (мин.)] с помощью диалогового окна *Прогрессия* табличного процессора *Excel* (рис. 1). Обнулیم ячейку A4, выделим ее курсором, а затем выполним команду *Правка – Заполнить – Прогрессия*.

В диапазоне J4:K8 создадим таблицу распределения вероятностей, как показано на рис. 2.

В ячейке K9 введем формулу

$$=СУММПРОИЗВ(J4:J8;K4:K8),$$

которая вычислит ожидаемое количество прибывающих защищенных пакетов к каналам узлов сети с 6-минутным интервалом на обслуживание одного такого пакета. Цифра, вычисляемая с помощью этой формулы равна в среднем половине предполагаемого защищенного пакета, то есть она на половину ниже нормы (с двойным запасом).

Для управления имитационной моделью, для каждого из 1680 временного интервала с помощью функции =СЛЧИС() сгенерируем случайные числа в столбце В (интервал В4:В1684) в пределах меняющегося интервала от 0 до 1. Введем эту формулу в ячейку В5 и скопируем ее в нижние ячейки до В1684, чтобы создать 1680 случайных величин. Для того, чтобы избежать изменяющихся значений рабочего листа при каких-либо изменениях в нем, а не только при целенаправленном пересчете рабочего листа (по клавише F9), установим переключатель *Вручную* во вкладке *Вычисления* в диалоговом окне *Параметры*, которое можно открыть с помощью команды *Сервис – Параметры* (рис. 3).

Режим ручного пересчета рабочего листа при нажатии на клавишу F9 заставляет заново вычислять все значения в формулах, которые этого требуют, о чем в строке состояния указывает слово «Готово», а затем на небольшое время появляется индикатор «Расчет ячеек» с меняющимися цифрами процентного выполнения.

Теперь создадим в диапазоне М4:Н8 таблицу функций распределения количества пришедших к каналам узлов сети защищенных пакетов, а в ячейку С5 в соответствии со значением случайного числа в столбце В впишем формулу =ВПР(В5;\$М\$4:\$Н\$8;2) (см. рис. 4), которая ищет в крайнем слева столбце массива (у нас это таблица абсолютных ячеек \$М\$4:\$Н\$8)

значение, совпадающее с заданным (у нас это элемент ячейки В5), и возвращает значение из указанного столбца массива и той строки, где найдено совпадение, в исходную ячейку (т. е. ту, где и записана эта формула). Иными словами, эта формула преобразует случайное сгенерированное десятичное число из интервала от 0 до 1 ячейки В5 в количественное целое число прибывших к серверу защищенных пакетов в ячейке С5. Затем распространим эту формулу на весь диапазон столбца С (интервал ячеек С5:С1684) (см. рис. 5).

Для одновременного просмотра верхней и нижней части рабочего листа разделим окно рабочей книги на две части, как показано на рис. 6.

Для завершения формирования таблицы значений листа введем формулы в ячейки D5:F1684, как показано на рис. 7.

Формулы в столбце D для каждого временного интервала вычисляют количество защищенных пакетов в очереди. Суммируя число вновь прибывших в текущем 6-минутном интервале и еще не обслуженных пакетов из предыдущего 6-минутного интервала, (если, конечно, таковые имеются) (=C5+F4).

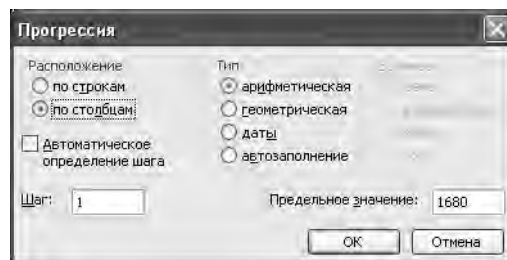


Рисунок 1 – Диалоговое окно «Прогрессия»

	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	Ж	К	Л	М
1	Прибытие защищенные пакетов к каналам узлов сети												
2	Количество каналов сети:												
3	Шести минутные интервалы	Сгенерированное случайное число	Количество прибывающих пакетов	Количество пакетов в очереди	Количество обслуживаемых пакетов	Количество ожидающих пакетов				Данные предварительного тестирования	Вероятность	Частоты прибытия	Функция распределения
4										0	70%	0%	
5										1	6%	77%	
6										2	12%	83%	
7										3	4%	94%	
8										4	2%	98%	
9										Ожидаемое количество прибывающих пакетов			
10													
11													
12													
13													
14													
15													

Рисунок 2 – Создание таблицы распределения вероятностей

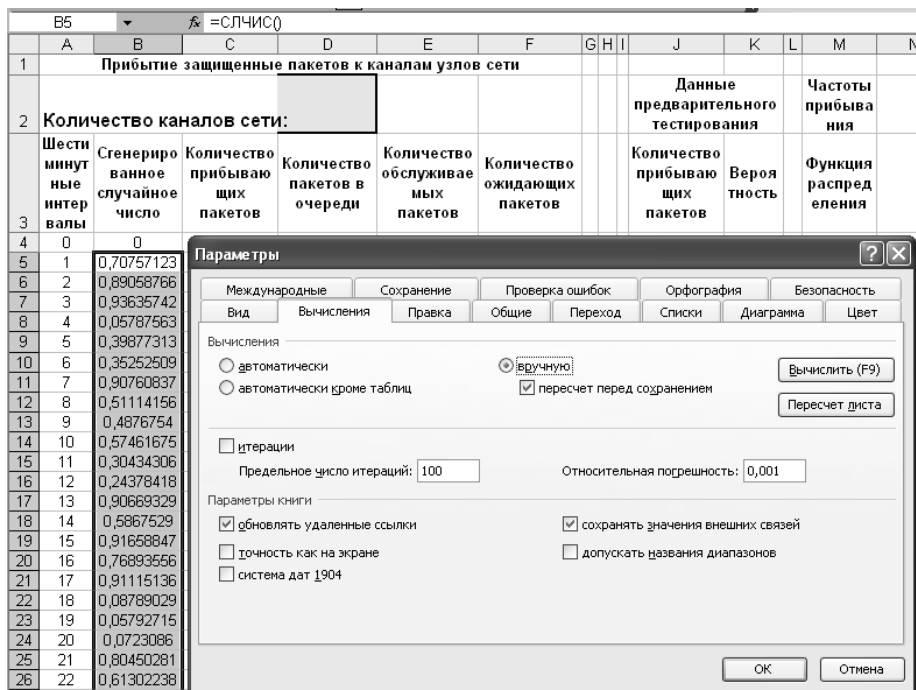


Рисунок 3 – Диалоговое окно «Параметры»

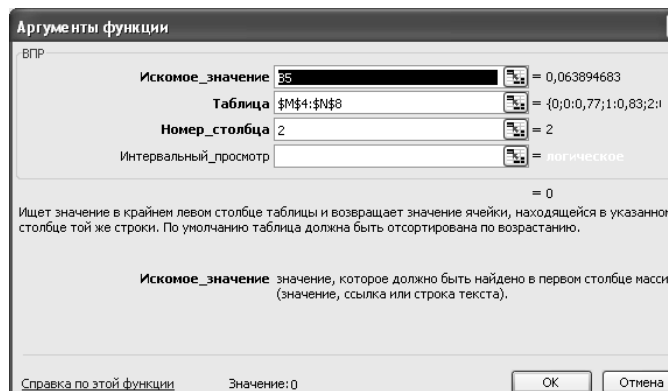


Рисунок 4 – Ввод аргументов функции ВПР

Прибытие защищенных пакетов к каналам узлов сети		Данные предварительного тестирования		Частоты прибытия пакетов		
Шести минутные интервалы	Сгенерированное случайное число	Количество прибывающих пакетов	Количество прибывающих пакетов	Вероятность	Функция распределения	Количество прибывающих пакетов
0	0	0	0	70%	0%	0
1	0,06389468	0	1	6%	77%	1
2	0,53446898	0	2	12%	83%	2
3	0,12252425	0	3	4%	94%	3
4	0,22317656	0	4	2%	98%	4
5	0,06051433	0	Ожидаемое количество прибывающих пакетов	0,5		
6	0,12744251	0				
7	0,14873327	0				
8	0,84002069	2				
9	0,18355419	0				

Рисунок 5 – Результат выполненной функции ВПР

D1685		=МАКС(D4:D1684)											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Прибытие защищенных пакетов к каналам узлов сети												
2	Количество каналов сети:		1						Данные предварительного тестирования		Частоты прибытия пакетов		
3	Шести минутные интервалы	Сгенерированное случайное число	Количество прибывающих пакетов	Количество пакетов в очереди	Количество обслуживаемых пакетов	Количество ожидающих пакетов			Количество прибывающих пакетов	Вероятность	Функция распределения	Количество прибывающих пакетов	
4	0	0	0	0	0	0			0	70%	0%	0	
5	1	0,038770246	0	0	0	0			1	6%	77%	1	
6	2	0,754037044	0	0	0	0			2	12%	83%	2	
7	3	0,220456294	0	0	0	0			3	4%	94%	3	
8	4	0,993302298	4	4	1	3			4	2%	98%	4	
9	5	0,104435203	0	3	1	2			Ожидаемое количество прибываю	0,5			
10	6	0,391259057	0	2	1	1							
11	7	0,96690744	3	4	1	3							
1682	1678	0,700298735	0	1	1	0							
1683	1679	0,452094641	0	0	0	0							
1684	1680	0,172782426	0	0	0	0							
1685		Максимальные:	4	10	1	9							
1686		Всего:	773	1753	773	980							
1687		Среднее:	0,45984533	1,042631648	0,45984533	0,582986318							

Рисунок 6 – Одновременный просмотр верхней и нижней части таблицы

C1685		=МАКС(\$C\$4:\$C\$1684)				
A	B	C	D	E	F	
1	Прибытие защищенные пакетов к каналам узлов сети					
2	Кол		1			
3	Шести минутные инт	Сгенерированное случайное число	Количество прибывающих пакетов	Количество пакетов в очереди	Количество обслуживаемых пакетов	Количество ожидающих пакетов
4	0	0	0	0	0	
5	1	=СЛЧИС()	=ВПР(B5;\$M\$4:\$N\$8;2)	=C5+F4	=МИН(D5;\$D\$2)	=D5-E5
6	2	=СЛЧИС()	=ВПР(B6;\$M\$4:\$N\$8;2)	=C6+F5	=МИН(D6;\$D\$2)	=D6-E6
7	3	=СЛЧИС()	=ВПР(B7;\$M\$4:\$N\$8;2)	=C7+F6	=МИН(D7;\$D\$2)	=D7-E7
8	4	=СЛЧИС()	=ВПР(B8;\$M\$4:\$N\$8;2)	=C8+F7	=МИН(D8;\$D\$2)	=D8-E8
9	5	=СЛЧИС()	=ВПР(B9;\$M\$4:\$N\$8;2)	=C9+F8	=МИН(D9;\$D\$2)	=D9-E9
10	6	=СЛЧИС()	=ВПР(B10;\$M\$4:\$N\$8;2)	=C10+F9	=МИН(D10;\$D\$2)	=D10-E10
11	7	=СЛЧИС()	=ВПР(B11;\$M\$4:\$N\$8;2)	=C11+F10	=МИН(D11;\$D\$2)	=D11-E11
1683	1679	=СЛЧИС()	=ВПР(B1683;\$M\$4:\$N\$8;2)	=C1683+F1682	=МИН(D1683;\$D\$2)	=D1683-E1683
1684	1680	=СЛЧИС()	=ВПР(B1684;\$M\$4:\$N\$8;2)	=C1684+F1683	=МИН(D1684;\$D\$2)	=D1684-E1684
1685		Максимальные:	=МАКС(\$C\$4:\$C\$1684)	=МАКС(\$D\$4:\$D\$1684)	=МАКС(\$E\$4:\$E\$1684)	=МАКС(\$F\$4:\$F\$1684)
1686		Всего:	=СУММ(\$C\$4:\$C\$1684)	=СУММ(\$D\$4:\$D\$1684)	=СУММ(\$E\$4:\$E\$1684)	=СУММ(\$F\$4:\$F\$1684)
1687		Среднее:	=СРЗНАЧ(\$C\$4:\$C\$1684)	=СРЗНАЧ(\$D\$4:\$D\$1684)	=СРЗНАЧ(\$E\$4:\$E\$1684)	=СРЗНАЧ(\$F\$4:\$F\$1684)

Рисунок 7 – Просмотр таблицы в режиме формул

Формулы в столбце E вычисляют количество защищенных пакетов, обслуживаемых каналом узла сети, как минимум от длины очереди, которая может быть равна нулю, и числа таких каналов (задается в абсолютной ячейке \$D\$2 – у нас она равна 1): =МИН(D5;\$D\$2)).

Число пакетов, остающихся необслуженными в конце 6-минутного временного интервала, вычисляется в столбце F как разность между содержимым столбцов D и E (=D5-E5).

Формулы в диапазоне C1685:F1687 вычисляют статистические данные, необходимые для оценки эффективности работы одного канала узла сети. Эти формулы вычисляют: максимум, общее количество и среднее значение для каждого столбца.

Все представленные значения на рис. 6 являются случайными из-за вероятностной природы имитационного моделирования. Числа, которые получите вы,

будут отличаться от приведенных здесь, поскольку нажатие на кнопку F9 заполнит таблицу другими 1680 случайными числами. Повторное нажатие на клавишу F9 даст возможность проверить непостоянство этих величин.

Напомним, что в среднем только половина защищенного пакета (см. ячейку K9 на рис. 6) в каждый 6-минутный интервал прибывает к каналу сети, или в среднем каждые 12 минут прибывает один защищенный пакет на обслуживание. А чтобы обслужить этот пакет, напомним, требуется всего 6 минут. Таким образом, канал по обслуживанию будущих пакетов занят только наполовину времени, что, казалось бы, в нашей модели приводит к значительным простоям обслуживающей компьютерной техники. Но если поэкспериментировать, нажимая клавишу F9, то в течение недели возникают случаи, когда предельная загрузка канала узла сети составляет 12 и более защищен-

D1685		fx =МАКС(\$D\$4:\$D\$1684)													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	Прибытие защищенные пакеты к каналам узлов сети														
2	Количество каналов сети:			3	Данные предварительного тестирования										
3	Шести минутные интервалы	Сгенерированное случайное число	Количество прибывающих пакетов	Количество пакетов в очереди	Количество обслуживаемых пакетов	Количество ожидающих пакетов	Количество прибывающих пакетов		Вероятность	Функция распределения	Частоты прибывания пакетов		Количество прибывающих пакетов		
4	0	0	0	0	0	0	0	0	70%	0%	0		0		
5	1	0,8948554	2	2	2	0	1	6%	77%	1		1			
6	2	0,5861994	0	0	0	0	2	12%	83%	2		2			
7	3	0,27561925	0	0	0	0	3	4%	94%	3		3			
8	4	0,06796913	0	0	0	0	4	2%	98%	4		4			
9	5	0,73612567	0	0	0	0	Ожидаемое количество прибывающих	0,5							
10	6	0,70156461	0	0	0	0									
11	7	0,27736009	0	0	0	0									
1683	1679	0,44194997	0	0	0	0									
1684	1680	0,60198867	0	0	0	0									
1685	Максималь		4	5	3	2									
1686	Всего:		866	905	866	39									
1687	Среднее:		0,515169542	0,53837	0,51517	0,0232									

Рисунок 8 – Для очередей не более 5 пакетов, необходимо 3 канала связи

ных пакетов в ожидании своей очереди. Поскольку обслуживание пакета занимает 6 минут, то последний пакет на обслуживании, должен ждать $6 \times 12 = 72$ мин., что составляет 1 час и 12 мин.!

Выход из создавшейся ситуации очевиден – необходимо добавить один канал узла сети, что позволит обслуживать одновременно два защищенных пакета. Это должно привести приблизительно к двойному сокращению предполагаемых задержек, разумеется, за счет удвоения текущих расходов на обслуживание каналов.

Замените значение ячейки D2 с единицы на двойку и снова проведите эксперимент. Полученные статистические данные для модели с двумя каналами показывают, что максимальное количество защищенных пакетов, идущих на обслуживание с задержкой падает в 2–3 раза, а среднее количество таких пакетов, получающих обслуживание с задержкой, уменьшается почти в десять раз.

Напомним, что нам по условию задачи нужно было выполнить еще более жесткие требования: число защищенных пакетов, стоящих в очереди на каждом канале сети связи не должно превышать 5 штук. Эксперимент показывает, что для выполнения этого требования, количество каналов должно быть увеличено до трех (рис. 8).

В заключение необходимо отметить, что при реализации этой же задачи с помощью системы имитационного моделирования GPSS World выполнить ее было бы намного сложнее. Язык GPSS является высокоуровневым, поэтому при создании «обходного пути» надо учитывать, что любое нестандартное решение будет иметь следующие недостатки:

- усложнится логика работы модели;
- могут возникнуть проблемы с масштабируемостью модели;
- замедлится работа модели (ввиду появления дополнительных шагов).

ВЫВОДЫ

Предлагаемый в статье метод оптимизации количества каналов связи по узлам сети с очередями защищенных пакетов можно применять для структурной оптимизации сети, содержащей сотни узлов и характеризуемой произвольными вероятностными распределениями интервалов поступления и обслуживания заявок. Он не гарантирует нахождения глобального оптимума, но, как показывают тестовые испытания, позволяет при усилении сети дополнительными каналами существенно снижать не только очереди на обработку защищенных пакетов, а и снижать время ответа и производить это быстро, без привлечения сложных программных сред. Основным достоинством метода является его скорость: он позволяет аналитически оптимизировать распределение каналов сети на доступном инструментальном уровне.

Необходимо отметить следующее:

- 1) данный подход с использованием имитационного моделирования строится на псевдодатчике случайных чисел;
- 2) чтобы получить более точные результат прогнозирования, необходимо задействовать механизмы точного генерирования случайных величин;
- 3) значения временных характеристик должны быть приближены (уменьшены) к реальным условиям (особенно время, отводимое на криптографическую обработку одного защищенного пакета).

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Габалин А. В. Оптимизационно-имитационный подход в задачах анализа и синтеза структуры распределенных систем обработки информации // Труды Института проблем управления РАН. Т. 2. – М.: 2005. – С. 78–85.
2. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование в обосновании методик расчета многоканальных приоритетных систем // Материалы I Всероссийской конференции (ИММОД-2003), 23–24 окт. 2003 г. – С.-Пе-

- тербург: ФГУП ЦНИИТС. – Режим доступа: <http://www.gpss.ru/immod%2703/index.html>. – Название с экрана.
3. Зайцев И. В., Обухов А. Н., Демиденко В. Т., Мешкова А. Ф. Оценка эффективности защиты информации в линиях радиосвязи в условиях преднамеренных помех // Информация и безопасность. Вып. 3. – Воронеж: ВГТУ, 2002. – С. 115–118.
 4. Зайцев И. В., Молев А. А. Оценка эффективности систем радиосвязи в условиях преднамеренных помех на основе агрегативного имитационного моделирования их функционирования // Материалы II Всероссийской конференции (ИММОД-2007), 23–24 окт. 2007 г. ФГУП ЦНИИТС. – Режим доступа: <http://www.gpss.ru/immod07/doklad/20.html>. – Название с экрана.
 5. Задорожный В. Н., Донец А. А. Алгоритм структурной оптимизации сетей с очередями // Материалы II Всероссийской конференции (ИММОД-2007), 23–24 окт. 2007. – С.-Петербург: ФГУП ЦНИИТС. – Режим доступа: <http://www.gpss.ru/immod07/doklad/18.html>. – Название с экрана.
 6. Задорожный В. Н., Ершов Е. С., Канева О. Н. Использование адаптивных приближений в алгоритмах параметрической оптимизации сетей с очередями // Третья российская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. – СПб.: ЦНИИТС, 2007. – Режим доступа: <http://www.gpss.ru/immod07/doklad/19.html>. – Название с экрана.
 7. Воробейчиков Л. А., Сосновиков Г. К. Методические указания для слушателей ФПКП по моделированию систем и сетей связи на GPSS/PC. – М.: МТУСИ, 1993. – 59 с.
 8. Бражник А. И. Имитационное моделирование: возможности GPSS WORLD. – СПб.: Реноме, 2006. – 439 с.
 9. Томашевский В., Жданова Е. Имитационное моделирование в среде GPSS. – М.: Бестселер, 2003. – 416 с.
 10. Руководство пользователя по GPSS World / Перевод с английского. – Казань: Мастер Лайн, 2002. – 384 с.

Надійшла 5.06.2008
Після доробки 22.10.2008

У статті представлено механізм оптимізації каналів мереж з послідовними чергами пакетів захищеної інформації на основі імітаційного моделювання. Рішення задачі представлено на основі вірогідності і функції розподілу захищених пакетів, які прибувають на один канал.

In the paper the gear of optimization of network's channels with sequential queues of packets of the protected information on the basis of simulation modeling is represented. The solution of a specific target is adduced in view of probability and cumulative distribution function arriving, protected packets to one channel.

УДК 681.5.001.63: 519.711

А. А. Лисняк, С. И. Гоменюк

ПРИМЕНЕНИЕ R-ФУНКЦИЙ ДЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

В статье рассматривается задача построения геометрических моделей инженерных конструкций нестандартной формы. Выполнен обзор основных методов представления геометрических моделей в современных САПР. Описано применение аппарата функций В. Л. Рвачева для формального описания и последующей дискретизации плоских геометрических объектов сложной формы.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Построение и дискретизация адекватных геометрических моделей инженерных конструкций и сооружений является актуальной задачей, возникающей в различных приложениях численного анализа и САПР. На практике, как правило, приходится иметь дело с объектами сложной формы, что существенно затрудняет построение таких моделей и их последующую дискретизацию на конечные элементы. В то же время, от точности построенной геометрической модели будет напрямую зависеть качество полученного численного результата.

Данную проблему можно разбить на две самостоятельных задачи:

© Лисняк А. А., Гоменюк С. И., 2009

1) автоматизация построения геометрических (топологических) моделей инженерных конструкций сложной формы;

2) автоматизация разбиения топологической модели на конечные элементы заданного вида.

К настоящему времени предложены различные способы геометрического моделирования разнообразных тел двух- и трехмерной формы. Условно их можно классифицировать следующим образом:

– *параметрическое описание границы* (или поверхности), когда на специальном входном языке (например, GRUMMP [1]) или в специальном формате (например, STL [2]) описываются граничные сегменты, образующие замкнутую геометрическую фигуру;

– *твердотельное геометрическое моделирование*, когда трехмерная геометрическая модель реконструируется по чертежам трех ее проекций [3];

– *композиция топологической модели* необходимой конструкции, как некоторой совокупности базовых геометрических примитивов (например, линий, сплайнов, сфер и т. п.) и Эйлеровых операций (логическое объединение, пересечение и вычитание) над ними [4].