

УДК 338.984

Морковин Евгений Александрович

аспирант, преподаватель

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНОГО ПАКЕТА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИИ

***Аннотация.** Проанализированы характеристики различных пакетов имитационного моделирования для систем массового обслуживания с учетом совокупности показателей качества. Рассмотрены математические особенности одного из методов многокритериального выбора предпочтительного варианта – метода анализа иерархий. На основе проанализированных данных получено вектор глобальных приоритетов, по максимальному значению компонент которого выбран лучший вариант пакета имитационного моделирования для систем массового обслуживания.*

***Ключевые слова:** системы массового обслуживания, метод анализа иерархии, пакеты имитационного моделирования.*

Введение. Решение задач компьютерного моделирования осуществляется на одном из трех уровней: в среде выбранного языка программирования; на основе существующих библиотек программ; с помощью специальных пакетов программ моделирования (ППМ).

Расширение круга специалистов, занимающихся моделированием в различных сферах деятельности и не являющихся специалистами в области математики и программирования, и необходимость уменьшения расходов

на моделирование привели к созданию ППМ. ППМ автоматизируют процессы: создание математических моделей; разработки программ моделирования; планирование машинных экспериментов; управления процессом моделирования; обработки и анализа результатов моделирования.

Среди ППМ выделяются пакеты для аналитического моделирования объектов (решение вычислительных задач) и пакеты для имитационного моделирования объектов (ПИМ).

Примерами пакетов первой группы являются: Mathematica, Maple, MathCAD, MatLab. С их помощью можно определять траектории движения объектов, описываемых аналитическими моделями (алгебраическими, дифференциальными, интегро-дифференциальными уравнениями).

Примерами пакетов имитационного моделирования динамики являются: Omnet++, SIMPLE ++, Simulink, Stella, Think, Powersim, VenSim. Следует отметить, что каждый пакет имитационного моделирования систем массового обслуживания (СМО) характеризуется совокупностью показателей качества.

При имитационном моделировании СМО возникает необходимость выбора предпочтительного пакета имитационного моделирования с учетом совокупности противоречивых показателей качества. В этих случаях для сравнительного анализа и выбора предпочтительного пакета имитационном моделировании следует применять методы многокритериальной оптимизации [6]. В данной статье рассматриваются особенности применения метода анализа иерархий для многокритериального выбора единственного предпочтительного варианта пакета имитационного моделирования в системах массового обслуживания.

Сравнительный анализ пакетов имитационного моделирования систем массового обслуживания

Для имитационного моделирования СМО наиболее часто применяются пакеты OMNET++, Simpas, GPSS W, SIMULINK, LiteSMO.

OMNeT++ – это расширяемый, модульный комплекс библиотек с фреймворком, основанный на компонентах C++, предназначенный для построения, в первую очередь, моделей сетей. Включает в себя проводные (wired) и беспроводные (wireless) сети связи, сеть на кристалле (on-chip), сетей обслуживания (queueing networks) и т.д.

Simpas написана на языке Pascal и может быть реализована в среде различных операционных систем: MSDOS, Windows95/98, WindowsNT, Linux. Система Simpas предназначена для имитационного моделирования, по реализации представляет собой методологию построения дискретных и непрерывных событийных моделей и набор поддерживающих данную методологию процедур. Эту систему отличает простота и компактность записи моделей.

GPSS World (GPSS W, General Purpose System Simulation World) фирмы Minuteman Software - универсальная среда моделирования дискретных и непрерывных процессов, предназначенное для профессионального имитационного моделирования разнородных объектов. Он содержит графические оболочки для создания моделей и интерпретации результатов моделирования, мультимедийные средства и видео, объектно-ориентированное программирование и др. В основу системы положена речь имитационного моделирования GPSS.

Simulink позволяет осуществлять исследование (моделирование) сложных динамических систем. Ввод параметров систем производится в интерактивном режиме, путем графической сборки схемы соединений элементарных блоков, в результате чего получается модель исследуемой системы. Блоки, включаемые в создаваемую модель, могут быть связаны

друг с другом как по информации, так и по управлению. Тип связи зависит от типа блока и логики работы модели.

LiteSMO — это простая и удобная в использовании среда для моделирования систем массового обслуживания. Программа позволяет легко и быстро создавать наглядные графические модели несложных СМО и определять их характеристики. Для использования LiteSMO достаточно иметь самое общее представление об имитационном моделировании и СМО - программа не содержит сложных специальных терминов и понятий.

Математические особенности метода анализа иерархий

Метод анализа иерархий (МАИ) состоит в декомпозиции проблемы выбора лучшего варианта алгоритма обработки очередей на простые составляющие части получения суждений экспертов по четным сравнений элементов проблемы выбора, которые представляются в виде матрицы

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & a_{ij} & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $a_{ij} = w_i / w_j$ - оценки парных сравнений элементов.

Диагональ этой матрицы заполняется значениями "1", а элементы матрицы, лежащие ниже диагонали, заполняются соответствующими обратными значениями.

Оценки парных сравнений элементов находятся с использованием субъективных суждений экспертов, численно определенных по шкале относительной важности элементов, которая представлена в табл. 1.

Таблица 1

Шкала относительной важности элементов сравнения

Относительная важность	Определение
1	Равная важность элементов сравнения
3	Умеренное превосходство одного элемента над другим
5	Существенное превосходство одного элемента над другим

7	Значительное превосходство одного элемента над другим
9	Очень сильное превосходство одного элемента над другим
2, 4, 6, 8	Промежуточные решения между двумя суждениями

Далее выполняется обработка сформированных матриц парных сравнений элементов иерархий. С математической точки зрения эта задача обработки сводится к вычислению главного собственного вектора, соответствующего максимальному собственному значению матрицы. В результате обработки полученной матрицы получают компоненты собственного вектора V_j глобального вектора приоритетов P_j

$$P_j = \frac{V_j}{S}, \quad V_j = n \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_{ij}}, \quad S = \sum_{j=1}^n V_j. \quad (2)$$

где n - число вариантов алгоритмов самоорганизации, сравнивается.

С использованием полученных данных вычисляются значения компонент вектора глобальных приоритетов C согласно

$$C_i = \sum_{j=1}^n P_j Q_{ij}, \quad i = \overline{1, N}, \quad (3)$$

По максимальному значению компонент вектора глобальных приоритетов (3) выбирается соответствующий лучший вариант системы. В качестве меры согласованности суждений экспертов рассматривают два показателя: - индекс согласованности; - отношение согласованности (ОС).

Чтобы оценить, является ли полученное согласования суждений экспертов приемлемым или нет, его сравнивают со случайным индексом S_i . Случайным индексом называют индекс согласованности, рассчитанный для квадратной n -мерной положительной обратно симметричной матрицы, элементы которой сгенерированные случайным образом с помощью генератора случайных чисел, распределенных по равномерному закону для

интервала значений от 1 до 15. В табл. 2 представлены срединные согласованности для случайных матриц порядка от 1 до 15.

Таблица 2

Размер случайного индекса

Размер матрицы n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Случайный индекс C_n	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

Получив в результате расчета индекс согласованности и выбрав из табл. 3 случайный индекс для размерности матрицы 5 ($C_n = 1,12$) рассчитывают отношение согласованности

$$OC = I_c / C_n$$

Если величина $OC < 0,15$, то степень согласованности суждений экспертов следует считать приемлемой. В противном случае экспертам рекомендуется пересмотреть свои суждения.

Выбор предпочтительного варианта пакета имитационного моделирования для систем массового обслуживания методом анализа иерархии

Рассмотрим особенности применения метода анализа иерархий для выбора единственного предпочтительного варианта пакета имитационного моделирования для СМО с учетом совокупности показателей качества. В качестве показателей качества выбраны основные характеристики пакетов имитационного моделирования, в частности, модульность, графический конструктор СМО, построение гистограмм.

На рис. 1 показано иерархическое представление проблемы выбора предпочтительного пакета имитационного моделирования СМО. На уровне

1 находится цель выбора предпочтительного варианта, на уровне 2 – показатели качества, на третьем – альтернативные варианты.

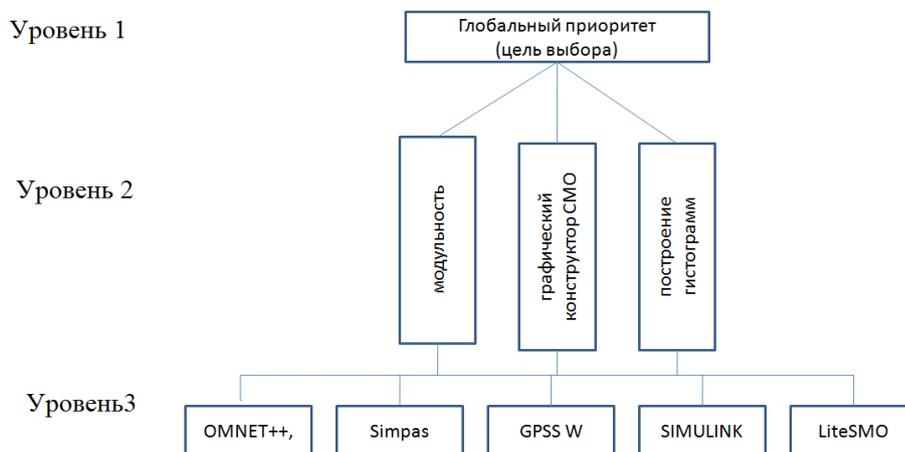


Рис. 1. Декомпозиция проблемы выбора

Согласно МАИ построена матрица парных сравнений для совокупности показателей качества (т.е. уровне 2). Для заполнения этой таблицы с помощью опытного эксперта выполнены парные сравнение важности выбранных показателей качества, в частности, модульность, графический конструктор СМО, построение гистограмм. Диагональ этой матрицы заполнена значениями "1", а элементы матрицы, лежащие ниже диагонали, заполнены обратными значениями.

Таблица 3

Матрица парных сравнений показателей качества пакетов имитационного моделирования СМО и вычисленные оценки компонент вектора

	Модуль ность	Графический конструктор СМО	Построение гистограмм	Компоненты собственного вектора V_j	Компонент ы вектора приоритето в P_j
Модульность	1	3	5	2,44	0,62

Графический конструктор СМО	1/3	1	4	1,09	0,28
Построение гистограмм	1/5	1/4	1	0,37	0,09

Далее выполнены парные сравнения на уровне 3 в виде относительной сложности альтернативных вариантов по отношению к каждому показателю качества. В результате обработки полученных матриц вычислены согласно (1) и (2) собственные векторы и векторы приоритетов, которые приведены в табл. 4, 5, 6.

Таблица 4

Матрица парных сравнений пакетов имитационного моделирования по отношению модульности

	OMNET++	Simpas	GPSSW	SIMULINK	LiteSMO	V _{i1}	Q _{i1}
OMNET++	1	7	8	6	5	4,41	0,57
Simpas	1/7	1	6	5	3	1,66	0,21
GPSSW	1/8	1/6	1	4	2	0,69	0,09
SIMULINK	1/6	1/5	1/4	1	2	0,44	0,05
LiteSMO	1/5	1/3	1/2	1/2	1	0,44	0,05

Таблица 5

Матрица парных сравнений пакетов имитационного моделирования по отношению графический конструктор СМО

	OMNET++	Simpas	GPSSW	SIMULINK	LiteSMO	V _{i2}	Q _{i2}
OMNET++	1	2	3	2	2	1,88	0,32
Simpas	1/2	1	1/3	1/2	1/3	0,45	0,07
GPSSW	1/3	3	1	2	2	1,31	0,22
SIMULINK	1/2	2	1/2	1	1/2	0,75	0,12
LiteSMO	1/2	3	2	2	1	1,43	0,24

Таблица 6

**Матрица парных сравнений пакетов имитационного моделирования
по отношению построения гистограмм**

	OMNET++	Simpas	GPSSW	SIMULINK	LiteSMO	V_{i3}	Q_{i3}
OMNET++	1	2	3	2	1/2	1,43	0,24
Simpas	1/2	1	1/3	1/2	1/4	0,46	0,08
GPSSW	1/3	3	1	1/2	1/2	0,75	0,13
SIMULINK	1/2	2	2	1	1/3	0,92	0,16
LiteSMO	2	4	2	3	1	2,1	0,37

В табл. 7 сведены полученные оценки компонент вектора приоритетов показателей качества, а также векторов приоритетов пакетов имитационного моделирования, по отношению к модульности, графический конструктор СМО, построения гистограмм. С использованием этих векторов приоритетов вычислены значения компонент глобального вектора приоритетов согласно (6), которые приведены в последнем столбце табл. 7. По максимальному значению компонент вектора глобальных приоритетов $N_i \sim$ выбирается предпочтительный вариант пакета имитационного моделирования с учетом введенных показателей качества. Таким является пакет имитационного моделирования OMNET++.

Таблица 7

**Результаты вычисления значений компонент глобального вектора
приоритетов**

№	Пакет	Q_{i1}	Q_{i2}	Q_{i3}	C_i
1	OMNET++	0,57	0,32	0,24	0,4646
2	Simpas	0,21	0,07	0,08	0,157
3	GPSS W	0,09	0,22	0,13	0,12
4	SIMULINK	0,05	0,12	0,16	0,079
5	LiteSMO	0,05	0,24	0,37	0,1315
	P_j	0,62	0,28	0,09	

Выводы

1. Проведен анализ наиболее часто применяемых для имитационного моделирования пакеты OMNET++, Simpas, GPSS W, SIMULINK, LiteSMO. В качестве показателей качества выбраны основные характеристики пакетов СМО, в частности модульность, графический конструктор СМО, построения гистограмм.

2. Рассмотрены практические особенности применения одного из методов многокритериального выбора предпочтительного варианта – метода анализа иерархий. Получены матрицы парных сравнений показателей качества и вариантов пакетов СМО, для которых вычислены их главные собственные векторы и векторы приоритетов.

3. На основе полученных данных вычислен вектор глобальных приоритетов. По максимальному значению его компонент выбран предпочтительный пакет, которым является OMNET++.

Литература

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978.
2. Емельянов А.А. Системы имитационного моделирования дискретных и дискретно-непрерывных процессов (ПИЛИГРИМ). 10785338.00027-01 92 01-ЛУ. Тверь: Мобильность, 1992.
3. Новиков, О. А. Прикладные вопросы теории массового обслуживания [Текст] / О. А. Новиков, С. И. Петухов. – М. : Советское радио, 1969. – 400 с.
4. Хемди А. Таха Глава 18. Имитационное моделирование // Введение в исследование операций = Operations Research: An Introduction. - 7-е изд. - М.: «Вильямс», 2007.
5. Строгалев В. П., Толкачева И. О. Имитационное моделирование. - МГТУ им. Баумана, 2008.

6. Лоу А., Кельтон В. Имитационное моделирование [Simulation Modeling and Analysis]. СПб.: Издательство:Питер, 2004. – 848 с.
7. Безрук В.М., Чеботарёва Д.В., Скорик Ю.В. Многокритериальный анализ и выбор средств телекоммуникаций. – Харьков: Компания СМИТ, 2017. – 268 с.