

Раздел III. Моделирование и проектирование

УДК 658.512.2.011.5

В.В. Лисяк, Н.К. Лисяк, Д.А. Малуколов

О ЗАДАЧЕ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА САПР НА БАЗЕ МАРКОВСКОГО ПРОЦЕССА

Рассмотрена одна из задач системного уровня проектирования, которая позволяет изучить систему, где клиенты, обращающиеся в случайные моменты времени за услугами и требующие различного времени обслуживания, могут выстраиваться в очереди. Рассмотренные модели дают вероятностные распределения длины очереди, моментов поступления обращений и времен ожидания обслуживания. Эти параметры важны в системах, где потери из-за перегрузки могут быть скомпенсированы лучшей организацией обслуживания. Многообразие ресурсов САПР и сложность их взаимодействия ставят задачу анализа моделей стохастической, сетевой структуры. Стохастические сети представляют достаточно общие случаи взаимодействия ресурсов с разными классами заявок, разными дисциплинами обслуживания и др. Однако в таких моделях сложно описать процессы, в которых задействовано одновременно несколько ресурсов системы. При этом оценка параметров таких систем на этапах их создания выполняется средствами имитационного или аналитического моделирования. Имитационное моделирование позволяет достаточно точно выполнить моделирование системы, но со значительными затратами времени. Аналитическое моделирование даёт приближенные оценки, но за существенно меньшее время. Статья посвящена аналитическому подходу, в котором система рассматривается как модель массового обслуживания. Наиболее важной характеристикой в задаче моделирования таких систем является оценка производительности системы и ее составных частей. Для этого система представляется как модель массового обслуживания, которая описывается с помощью марковского процесса. Аппаратом анализа такого процесса являются уравнения Колмогорова, решение которых и даёт возможность получить выходные параметры производительности системы. Особенностью предлагаемой работы является разработка программных средств, облегчающих инженеру процесс моделирования за счёт автоматизации перехода от графической схемы исследуемого процесса к системе уравнений Колмогорова.

Анализ САПР; уравнения Колмогорова; марковский процесс; имитационное моделирование; аналитическая модель; производительность системы; система массового обслуживания; плотность потока требований; относительная пропускная способность системы.

V.V. Lisyak, N.K. Lisyak, D.F. Malukolov

ON THE STRUCTURAL ANALYSIS OF CAD ON THE BASIS OF MARKOV PROCESS

There is considered a task of system level of design, which allows studying the system, where the clients request for services at random moments, and require different service time, and can line up in queue. Considered models provide the probability distribution of queue length, moments of requests' receiving, and times of waiting for service. These parameters are important in the systems, where losses caused by overloading can be compensated with better organization problem of stochastic net structure models analysis. Stochastic nets present sufficiently general cases of resources interaction with different classes of service. Variety of CAD resources and complexity of their interaction cause the of requests, different service procedures, etc. However those models are difficult to use for description of processes, which apply to several system resources simultaneously. Estimation

of system parameters during systems development is performed by means of simulation and analytical modeling. Simulation provides quite precise system modeling, but requires significant time costs. Analytical modeling provides approximate estimates, but requires essentially less time. This work is dedicated to analytical approach, where system is considered as a queuing model. The most valuable characteristic in such an approach is estimation of system performance and performance of its modules. Therefore system is represented as a queuing model, described by means of Markov process. Instrument of such process analysis is Kolmogorov equations solution, which allows getting output parameters of system performance. Distinction of the proposed work is development of software tools, simplifying modeling process for an engineer due to automation of transition from investigated process flowgraph to Kolmogorov equations system.

CAD analysis; Kolmogorov equations; Markov process; simulation modeling; analytical model; system performance; queuing system; requirements flux density; relative system channel capacity.

Введение. САПР состоит из многочисленных компонентов, взаимодействующих в процессе функционирования системы. Все компоненты (устройства ввода-вывода, процессоры, программные модули и т.п.) являются ресурсами. При параллельном решении задач появляются запросы на одновременное использование одного какого-либо ресурса, что порождает конфликтные ситуации. Такие ситуации приводят к задержкам в обработке запросов, появлению очередей и в результате снижают эффективность САПР. Поэтому такие ситуации надо предусматривать на системном уровне разработки САПР [1–6], когда принимаются основные решения по архитектуре будущей САПР.

Многообразие ресурсов и сложность их взаимодействия ставят задачу анализа моделей стохастической, сетевой структуры. При этом использование одной задачей нескольких разнородных ресурсов приводит к одноуровневому или многоуровневому представлению взаимодействия ресурсов [7–10]. В одноуровневом представлении такую задачу упрощают за счёт ввода в модель логических условий и блокировок, либо выделяют какой-либо один из совместно используемых ресурсов, а другие ресурсы либо не учитываются, либо учитываются введением некоторых ограничений. Эти упрощения можно обойти при многоуровневом представлении взаимодействия ресурсов, в котором одновременное занятие заявкой нескольких ресурсов отображается с помощью механизма вложенных процессов. В таком подходе в моделях отдельных уровней отсутствуют сложные логические условия и блокировки, что способствует применению аналитических методов исследования.

Высокая стоимость таких систем требует тщательной проработки структуры программно-технических комплексов и отдельных видов обеспечения. Можно с уверенностью сказать, что единственным способом оценки характеристик таких систем на этапах их создания и эксплуатации является математическое моделирование. Существуют два подхода к моделированию подобных структур: аналитическое моделирование и имитационное. Вряд ли можно отдать предпочтение одному из них. Если имитационное моделирование позволяет достаточно точно промоделировать систему, часто обладающую стохастическими свойствами, то аналитическое позволяет получить приближенные оценки. Однако для проведения многовариантного анализа первое требует значительных затрат времени, в то время как в случае использования аналитических методов требуемое время существенно меньше. Статья посвящена одному из аналитических подходов, при котором система рассматривается как модель в рамках теории массового обслуживания.

Постановка задачи. Оценка производительности САПР и ее составных частей необходима для целенаправленного повышения эффективности и качества процесса проектирования на этапах разработки системы и ее эксплуатации. При этом производительность оценивается с целью обоснования и определения наилучших вариантов ее построения, усовершенствования оперативного управления функционированием.

Показателями производительности являются параметры (индексы) производительности, характеризующие всю САПР или какие-то ее составные части. Параметры производительности САПР в значительной мере определяются составом и организацией совокупности технических средств и программного обеспечения, называемой программно-техническим комплексом. Программно-технический комплекс в числе прочих требований должен обеспечивать следующее: производительность ЭВМ, достаточную для решения всех проектных задач; возможность оперативного взаимодействия проектировщика с ЭВМ в процессе автоматизированного проектирования; приемлемое для проектировщика время реакции системы на его запросы; высокую надежность функционирования; открытость ПТК для реконфигураций и дальнейшего развития [4–6].

В связи с этим необходимы методы и средства, позволяющие оценивать параметры, на основании которых можно судить о соответствии ПТК САПР поставленным требованиям.

Наибольший интерес представляют такие параметры системы как производительность (пропускная способность) проектируемой системы, продолжительность обслуживания (задержки) заявок в системе, эффективность используемого в системе оборудования.

При проектировании САПР на системном уровне, анализ процессов функционирования системы связан с исследованием прохождения через систему потока заявок. Очевидно, что параметры заявок, поступающих в систему, являются случайными величинами и при проектировании могут быть известны лишь законы их распределений. Поэтому анализ функционирования на системном уровне, как правило, носит статистический характер. В качестве математического аппарата моделирования удобно применять теорию массового обслуживания, а в качестве моделей систем на этом уровне использовать системы массового обслуживания (СМО) [10, 13–16]. Так как интервалы между последовательными событиями каждого потока в системе представляют собой независимые случайные величины, имеющие экспоненциальное распределение, т.е. все потоки событий, изменяющих состояния системы являются пуассоновскими, то модель называется марковской и изменение ее состояния можно описать с помощью марковского процесса. Аппарат анализа марковских процессов – уравнения Колмогорова, решение которых является основой для расчета выходных параметров систем обслуживания [17–20, 22–24]. Получение уравнения Колмогорова основано на рассмотрении всех возможных путей перехода системы из начального состояния в другое фиксированное состояние через все возможные промежуточные состояния. Целью данной работы является создание программы выполняющей синтез уравнения Колмогорова.

Алгоритм синтеза уравнений. Время реакции системы на запрос включает в себя задержки в очередях, связанные со случайным характером поступления запросов в систему, случайными маршрутами прохождения запросов в систему, случайными временами их обработки отдельными ресурсами. Математический аппарат, позволяющий строить модели, связанные с процессами образования очередей разрабатывается в теории массового обслуживания. Модели, изучаемые в рамках этой теории, называются системами массового обслуживания. События в таких системах представляют собой моменты изменения состояний элементов системы. Если все потоки событий, изменяющих состояний системы пуассоновские, то модель называется марковской, так как ее состояния во времени можно описать с помощью марковского процесса [7, 8, 20]. Аппарат анализа марковских процессов – уравнения Колмогорова. Их решение является основой для расчета выходных параметров систем обслуживания. Получение уравнения Колмогорова основано на рассмотрении всех возможных путей перехода системы из начального состояния в другое фиксированное состояние через все возможные промежуточные состояния. Обозначим через S состояния системы. Возможны следующие состояния системы:

S_0 – состояние, когда все каналы свободны;
 S_i – состояние, когда занято i каналов ($1 \leq i \leq m$);
 S_{m+r} – состояние, когда заняты все m каналов, а r требований находятся в очереди ($r \geq 0$).

Если на длину очереди не накладывается ограничений, то r может быть сколь угодно большим и система имеет потенциально неограниченное число состояний. Пренебрегая возможностью «перескока» системы через состояние за сколь угодно малое время Δt (в силу ординарности простейшего потока вероятность такого события пренебрежимо мала), можно считать, что система через время Δt либо останется в прежнем состоянии, либо перейдет в соседнее.

Обозначим через $p_i(t)$ вероятность того, что в момент времени t система находится в состоянии S_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$). Очевидно, для любого момента времени t сумма вероятностей состояний равна 1 (нормировочное условие): $\sum p_i(t) = 1$, $i = 0, 1, 2, \dots, n$, так как события состоящие в том, что в момент времени t система находится в состояниях S_1, S_2, \dots, S_n , несовместны и образуют полную группу событий. Задача состоит в том, чтобы определить вероятность состояний $p_0(t), p_1(t), \dots, p_n(t)$ как функций времени.

Марковский процесс описывается относительно вероятностей $p_i(t)$ системой дифференциальных уравнений, называемых уравнениями Колмогорова. При составлении этих уравнений удобно воспользоваться графом состояний, вершины которого – состояния, а дуги – возможные переходы из одного состояния в состояние. Для рассматриваемой СМО граф состояний будет иметь следующий вид (рис. 1).

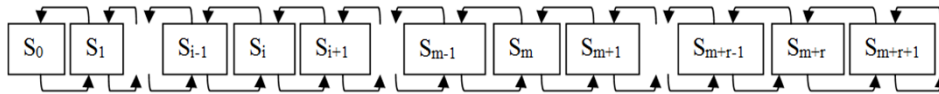


Рис. 1. Граф состояний СМО

На практике уравнения Колмогорова выписывают формально, исходя из структуры графа переходов марковской системы. Вершины этого графа соответствуют состояниям, стрелки показывают направления переходов, веса над стрелками соответствуют интенсивностям переходов (рис. 2).

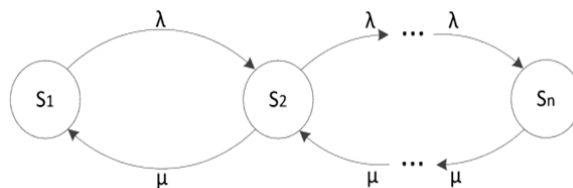


Рис. 2. Граф переходов

Для записи уравнений Колмогорова используют следующее формальное правило. В левой части уравнения стоит производная вероятности нахождения системы в одном из состояний, а правой части находится столько членов, сколько стрелок (переходов) связано с данным состоянием. Если стрелка направлена из состояния, то соответствующий член имеет знак минус, если в состояние – плюс. Каждый член равен интенсивности перехода, отвечающей данной стрелке, умноженной на вероятность того состояния, из которого исходит стрелка. Эти члены называют компонентами потока состояний.

Требования к алгоритму. К разрабатываемому алгоритму предъявляются следующие требования:

- ◆ получение уравнения в общем виде СМО;
- ◆ частный случай – чистая СМО с ожиданием;
- ◆ частный случай – СМО с отказами;
- ◆ частный случай – СМО с конечной длиной очереди.

Входными параметрами алгоритма являются:

- ◆ граф переходов состояний исследуемой системы;
- ◆ плотности перехода в старшее и в младшее состояния системы;
- ◆ интенсивность ухода из очереди;
- ◆ максимальная длина очереди.

Выходные данные алгоритма:

- ◆ параметры переходов между состояниями системы;
- ◆ синтезированная система уравнений Колмогорова;
- ◆ решение системы уравнений;
- ◆ вычисленные выходные параметры исследуемой системы.

Укрупнённая структурная схема алгоритма представлена на рис. 3.

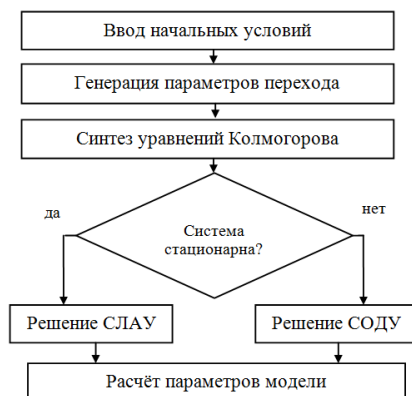


Рис. 3. Общая схема алгоритма

В начале работы алгоритма выполняется ввод необходимых для синтеза уравнений условий. Затем происходит генерация параметров переходов между состояниями системы. Для всех переходов системы в старшее состояние S_1 устанавливается плотность задаваемая пользователем без каких-либо изменений, т.к. поток событий - без последствий, т.е. вероятность появления новой заявки не зависит от момента времени появления предыдущей заявки, а значит, плотность перехода в старшее состояние постоянна для всей системы. Плотность переходов в младшее состояние S_2 зависит от количества занятых каналов обслуживания. Если все каналы свободны, то плотность перехода равна заданной пользователем, в случае, если n из m каналов заняты, интенсивность обслуживания увеличивается в n раз. Т.к. заявки могут покинуть очередь и вероятность этого события увеличивается с размером очереди, то можно считать, что интенсивность ухода увеличивается на $v(i - m)$, где v – интенсивность ухода из очереди, m – количество каналов.

Затем синтезируется система уравнений. В левой части каждого уравнения стоит производная вероятности соединения, а в правой части находится столько членов, сколько переходов (стрелок) связано с данным состоянием (рис. 3). Если стрелка направлена из состояния, то соответствующий член имеет знак минус,

если в состояние – знак плюс. Каждый член равен интенсивности перехода, отвечающей данной стрелке, умноженной на вероятность того состояния, из которого исходит данная стрелка.

Полученная система уравнений решается методом Рунге-Куты четвертого порядка, либо, в случае, если система стационарна – методом Зейделя.

Далее выполняется расчет следующих параметров анализируемой системы:

- ◆ приведённая плотность потока требований, т.е. среднее число требований, поступающих за среднее время обслуживания одного требования $a = \lambda/\mu$, где λ – плотность перехода в старшее состояние, μ – плотность перехода в младшее состояние;
- ◆ приведённая плотность потока уходов из очереди (без обслуживания) $b = v/\mu$, где v – интенсивность ухода заявок из очереди;
- ◆ средняя длина очереди определяется как математическое ожидание числа находящихся в очереди требований, т.е.

$$r_{cp} = \sum_{r=1}^{\infty} r P_{m+r} = \frac{a^m}{m!} \sum_{r=1}^{\infty} r \frac{a^r P_0}{\prod_{j=1}^r (m + jb)},$$

где $r \geq 1$ – длина очереди, $j = \overline{1, r}$;

- ◆ относительная пропускная способность $q = (\lambda - vr_{cp})/\lambda = 1 - (v - r_{cp})/\lambda$;
- ◆ среднее число занятых каналов $k_{cp} = (\lambda - vr_{cp})/\mu = a - br_{cp}$.

Программная реализация

На рис. 4 представлено основное окно программы.

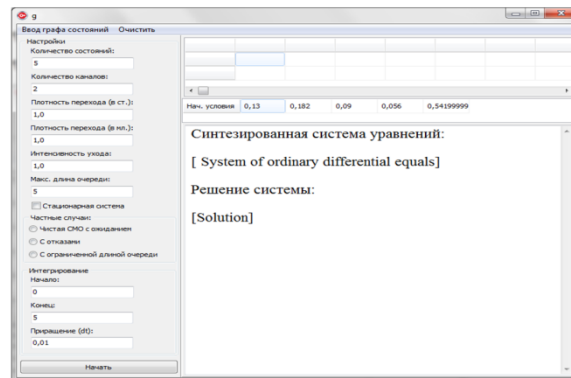


Рис. 4. Основное окно программы

В левой части главного окна расположены поля ввода следующих параметров системы:

- ◆ количество состояний системы;
- ◆ количество каналов;
- ◆ плотность перехода в старшее состояние;
- ◆ плотность перехода в младшее состояние;
- ◆ интенсивность ухода из очереди;
- ◆ максимальная длина очереди.

Также в левой нижней части окна расположены поля ввода параметров решения системы:

- ◆ начало интегрирования;
- ◆ конец интегрирования;
- ◆ шаг интегрирования.

В верхней части программы расположена таблица, в которой отображаются рассчитываемые параметры ребер графа перехода – плотности переходов между состояниями системы. Под ним расположено поле, в котором задаются начальные условия интегрирования для решения системы уравнений.

Состояния системы могут задаваться графически. Для вызова окна графического ввода требуется выбрать соответствующий пункт в главном меню программы. В данном окне также предусмотрены средства редактирования вводимого графа (удаление вершин, ребер).

После ввода всех необходимых данных, осуществляется расчет параметров связей, синтез уравнений. Результаты этих действий немедленно отображаются в текстовом поле в центре окна. Далее автоматически происходит решение синтезированных уравнений и расчет выходных параметров системы.

После ввода требуемых параметров, по нажатию соответствующей кнопки, осуществляется расчет параметров системы, синтез уравнений Колмогорова. Строится график с решением уравнений, результаты работы программы выводятся в специальное поле в центре окна программы (рис. 5, 6).

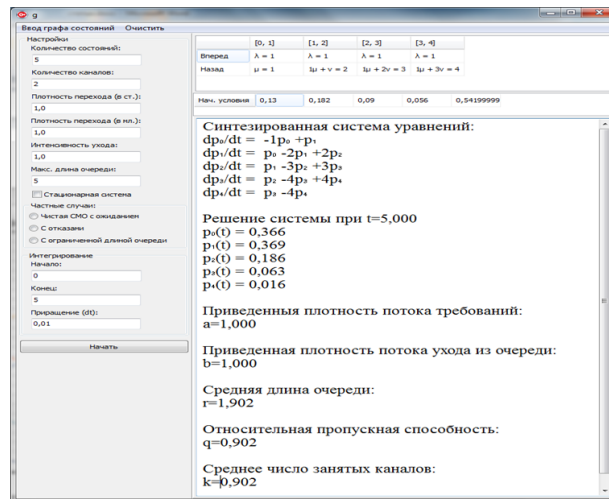


Рис. 5. Результат работы программы

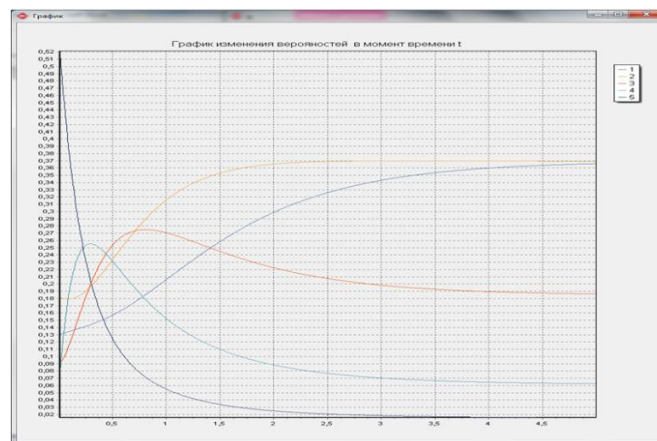


Рис. 6. График изменений вероятностей

Условия использования программы. При работе с программой на входные данные налагаются следующие ограничения:

- ◆ количество состояний системы не должно превышать 100;
- ◆ плотности вероятностей переходов системы, интенсивность ухода из очереди должны изменяться в интервале от 0.001 до 100;
- ◆ максимальная длина очереди до 9999;
- ◆ начало и конец интегрирования – вещественные числа от 0 до 9999;
- ◆ шаг интегрирования – вещественное число от 0.0001 до 1.

Для получения искомого результата при работе с программой требуется выполнить следующую последовательность действий:

1. Запустить программу в среде, удовлетворяющей системным требованиям.
2. В случае графического ввода графа вызвать соответствующее окно через главное меню программы. Ввод состояний осуществляется кликом левой кнопки мыши в поле ввода в центральной части окна. Для ввода ребер графа требуется навести указатель на граф, нажать и удерживать нажатой левую кнопку мыши, перевести указатель на другую вершину графа и отпустить кнопку. После ввода графа следует закрыть окно. Если графический ввод не требуется, нужно просто указать количество состояний графа в поле ввода на главном окне программы.
3. Ввести плотности вероятности перехода в старшее и младшее состояния системы и, если требуется, интенсивность потока из очереди и максимальную длину очереди.
4. Выбрать один из частных случаев СМО в соответствующем поле.
5. Если исследуемая система является стационарной, следует установить флаг в соответствующем пункте в левой части главного окна программы.
6. Ввести параметры интегрирования системы (начало, конец, приращение).
7. Нажать кнопку «Начать». При этом произойдет расчет параметров переходов, синтез уравнений, их решение, подсчет параметров исследуемой системы. Все результаты работы будут выведены в тестовое поле в центральной части главного окна программы.

Пример использования программы. Для примера рассмотрим вычислительную систему, имеющую 2 блока. Пусть пакеты, требующие обработки, приходят с частотой два пакета в секунду. В среднем система обрабатывает 6 пакетов в секунду.

Найдем выходные параметры системы.

Ограничим количество состояний системы семью. Тогда граф системы имеет вид, где $\lambda=2$ – интенсивность потока требований (2 пакета в секунду); $\mu=6$ – интенсивность обслуживания (6 пакетов в секунду).

Возможны следующие состояния системы обслуживания:

S_0 – пакетов на обработку нет;

S_1 – 1 вычислительный блок занят;

S_2 – 2 вычислительных блока заняты;

S_i – в системе i пакетов, два из них обрабатываются, а $(i-2)$ стоят в очереди ($i=3, 4, 5, 6$).

Введем исходные данные в соответствующие поля программы, настроим параметры интегрирования: в поле «начало» введем 0, в поле «конец» – 5, «приращение» – 0.01.

После нажатия «Начать» синтезирована следующая система уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dp_0}{dt} = -2p^0 + 6p^1; \\ \frac{dp_1}{dt} = 2p^0 - 8p^1 + 12p^2; \\ \frac{dp_2}{dt} = 2p^1 - 14p^2 + 12p^3; \\ \frac{dp_3}{dt} = 2p^2 - 14p^3 + 12p^4; \\ \frac{dp_4}{dt} = 2p^3 - 14p^4 + 12p^5; \\ \frac{dp_6}{dt} = 2p^5 - 12p^6. \end{cases}$$

Решение системы при $t=5,000$:

$$\begin{cases} p_0(t) = 0,714; \\ p_1(t) = 0,238; \\ p_2(t) = 0,040; \\ p_3(t) = 0,007; \\ p_4(t) = 0,001; \\ p_5(t) = 0,000; \\ p_6(t) = 0,000. \end{cases}$$

Вычисленные параметры системы представлены в следующей таблице.

Приведенная плотность потока требований	$a=0,333$
Средняя длина очереди	$r=0,190$
Относительная пропускная способность системы	$q=1,000$
Среднее число занятых вычислительных блоков	$k=0,333$

Программа выводит также график изменения вероятностей нахождения системы в одном из состояний (рис. 7).

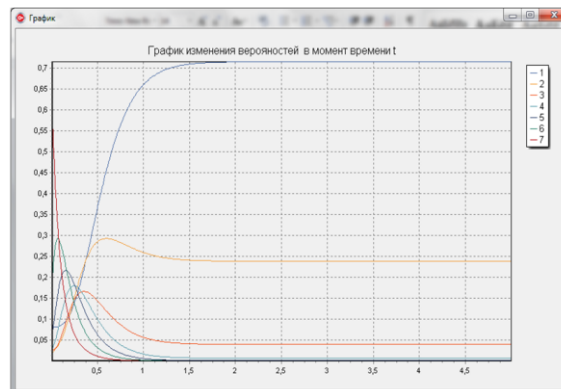


Рис. 7. График изменения вероятностей

Заключение. В целом по работе можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотрена задача системного уровня проектирования САПР, в частности, задача структурного моделирования САПР, в которой основным моментом является оценка производительности САПР. Такая оценка необходима для целенаправленного повышения эффективности и качества процесса проектирования на этапе разработки системы. Показывается, что параметры, по которым можно судить о производительности, могут быть получены аналитически на базе использования марковского процесса, а аппаратом анализа такого процесса являются уравнения Колмогорова, решение которых и дает возможность получить выходные параметры производительности системы.

2. Новизной предлагаемой работы является предложение автоматизировать переход от графа-схемы состояний и переходов марковского процесса к системе уравнений Колмогорова, решение которой позволяет получить такие параметры системы как приведенная плотность потока требований, средняя длина очереди, относительная пропускная способность системы, среднее число занятых вычислительных блоков и др.
3. Предлагаемые результаты работы в виде разработанной и протестированной программы позволяют сократить время и упростить для пользователя процесс структурного моделирования САПР, а также использовать предлагаемую программу для эффективного усвоения в учебном процессе материала по дисциплинам связанным с разработкой не только САПР, но и других сложных информационных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лисяк В.В., Лисяк Н.К.* Введение в разработку САПР электронной аппаратуры. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 78 с.
2. *Лисяк В.В., Лисяк Н.К.* Методики разработки и основы моделирования САПР. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 94 с.
3. *Lisyak V.V., Lisyak N.K.* Modelling of CAD productivity // Proceedings of the International Scientific Conferences «Intelligent Systems» (ATS'08) and «Intelligent CAD» (CAD – 2008). – Moscow: Physmathlit, 2008. – Vol. 4. – P. 16-24.
4. *Лисяк В.В., Лисяк Н.К.* О задаче анализа производительности САПР // Известия ТРТУ. – 2007. – № 1 (73). – С. 118-124.
5. *Кузовлев В.И., Шкатов П.Н.* Математические методы анализа производительности и надёжности САПР. – М.: Высшая школа, 1990. – 143 с.
6. *Лисяк В.В., Лисяк Н.К.* Анализ многоресурсных моделей САПР // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 12 (101). – С. 86-92.
7. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория вероятностей и её инженерные приложения. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1988. – 480 с.
8. *Сигорский В.П.* Математический аппарат инженера. – Киев: Техніка, 1975. – 765 с.
9. *Клейнрок Л.* Вычислительные сети с очередями. – М., 1979. – 221 с.
10. *Жожикашвили В.А., Вишневецкий В.М.* Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ. – М., 1988. – 193 с.
11. *Курейчик В.М., Курейчик В.В., Гладков Л.А.* Генетические алгоритмы. – Ростов-на-Дону: РостИздат, 2004. – 400 с.
12. *Малюх В.Н.* Введение в современные САПР. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 192 с.
13. *Советов Б.Я., Яковлев С.А.* Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 2005. – 343 с.
14. *Кельберт М.Я., Сухов Ю.М.* Марковские цепи как отправная точка теории случайных процессов и их приложения. – М.: МЦНМО, 2009. – 295 с.
15. *Taha Хемди А.* Введение в исследование операций. – 7-е изд.: пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2005. – 912 с.
16. *Sheldon M. Ross.* Introduction to Probability Models, Tenth Edition. – Academic Press, 2009.
17. *Hillier F.* Introduction to Operations Research. McGraw-Hill Science. – 9th edition, 2009.
18. *Olive Ibe.* Markov Processes for Stochastic Modeling. Academic Press 2008. Chapter 5.
19. *Шелухин О.И., Тенякиев А.М., Осин А.В.* Моделирование информационных систем: Учебное пособие. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
20. *Дворецкий С.И., Муромцев Ю.Л., Погонин В.А.* Моделирование систем: учебник для вузов. – М.: Изд. центр «Академия», 2009. – 320 с.
21. [Электронный ресурс]: http://ru.wikipedia.org/wiki/Система_массового_обслуживания (дата извлечения: 20.04.2013).
22. [Электронный ресурс]: http://ru.wikipedia.org/wiki/Теория_массового_обслуживания (дата извлечения: 25.04.2013).
23. [Электронный ресурс]: http://ru.wikipedia.org/wiki/Марковские_процессы (дата извлечения: 25.04.2013).
24. [Электронный ресурс]: http://ru.wikipedia.org/wiki/цепь_Маркова (дата извлечения: 22.04.2013).

REFERENCES

1. *Lisyak V.V., Lisyak N.K.* Vvedenie v razrabotku SAPR elektronnoy apparatury [Introduction to the design CAD electronic equipment]. Taganrog: Izd-vo TTI YuFU, 2010, 78 p.
2. *Lisyak V.V., Lisyak N.K.* Metodiki razrabotki i osnovy modelirovaniya SAPR [Techniques for the design and CAD modeling framework]. Taganrog: Izd-vo TTI YuFU, 2011, 94 p.
3. *Lisyak V.V., Lisyak N.K.* Modelling of CAD productivity, *Proceedings of the International Scientific Conferences «Intelligent Systems» (ATS'08) and «Intelligent CAD» (CAD – 2008)*. Moscow: Phymathlit, 2008, Vol. 4, pp. 16-24.
4. *Lisyak V.V., Lisyak N.K.* O zadache analiza proizvoditel'nosti SAPR [On the problem of the analysis of CAD productivity], *Izvestiya TRTU [Izvestiya TSURE]*, 2007, No. 1 (73), pp. 118-124.
5. *Kuzovlev V.I., Shkatov P.N.* Matematicheskie metody analiza proizvoditel'nosti i nadezhnosti SAPR [Mathematical methods for the analysis of the performance and reliability of the CAD]. Moscow: Vysshaya shkola, 1990, 143 p.
6. *Lisyak V.V., Lisyak N.K.* Analiz mnogoresursnykh modeley SAPR [Analysis of multiresource CAD models], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences]*, 2009, No. 12 (101), pp. 86-92.
7. *Ventsel' E.S., Ovcharov L.A.* Teoriya veroyatnostey i ee inzhenernye prilozheniya [Theory of Probability and its engineering applications]. Moscow: Nauka. Gl. red. Fiz.-mat. lit., 1988, 480 p.
8. *Sigorskiy V.P.* Matematicheskiy apparat inzhenera [Mathematical Engineer apparatus]. Kiev: Tekhnika, 1975, 765 p.
9. *Kleyurok L.* Vychislitel'nye seti s ocheredyami [Computer networks with queues]. Moscow, 1979, 221 p.
10. *Zhozhiashvili V.A., Vishnevskiy V.M.* Seti massovogo obsluzhivaniya. Teoriya i primeneniye k setyam EVM [Queueing Networks. The theory and application to computer networks]. Moscow, 1988, 193 p.
11. *Kureychik V.M., Kureychik V.V., Gladkov L.A.* Geneticheskie algoritmy [Genetic algorithms]. Rostov-on-Don: RostIzdat, 2004, 400 p.
12. *Malyukh V.N.* Vvedenie v sovremennyye SAPR [Introduction to modern CAD]. Moscow: DMK Press, 2010, 192 p.
13. *Sovetov B.Ya., Yakovlev S.A.* Modelirovaniye sistem [Modeling systems]. Moscow: Vysshaya shkola, 2005, 343 p.
14. *Kel'bert M.Ya., Sukhov Yu.M.* Markovskie tsepi kak otpravnyaya tochka teorii sluchaynykh protsessov i ikh prilozheniya [Markov chain as the starting point of the theory of random processes and their applications]. Moscow: MTsNMO, 2009, 295 p.
15. *Takha Khemdi A.* Vvedenie v issledovaniye operatsiy [Introduction to Operations Research]. 7th ed.: translation from English. Moscow: Izd. dom «Vil'yams», 2005, 912 p.
16. *Sheldon M. Ross.* Introduction to Probability Models, Tenth Edition. Academic Press, 2009.
17. *Hillier F.* Introduction to Operations Research. McGraw-Hill Science. 9th edition, 2009.
18. *Olive Ibe.* Markov Processes for Stochastic Modeling. Academic Press 2008. Chapter 5.
19. *Shelukhin O.I., Tenyakshev A.M., Osin A.V.* Modelirovaniye informatsionnykh sistem: Uchebnoye posobie [Modeling of information systems: tutorial]. Moscow: Radiotekhnika, 2005, 368 p.
20. *Dvoretzkiy S.I., Muromtsev Yu.L., Pogonin V.A.* Modelirovaniye sistem: uchebnik dlya vuzov [Modeling systems: A Textbook for high schools]. Moscow: Izd. tsentr «Akademiya», 2009, 320 p.
21. [Electronic resource]. Available at: [http://ru.wikipedia.org/wiki/ Queueing system](http://ru.wikipedia.org/wiki/Queueing_system) (accessed 20 April 2013).
22. [Electronic resource]. Available at: [http://ru.wikipedia.org/wiki/ Queueing theory](http://ru.wikipedia.org/wiki/Queueing_theory) (accessed 25 April 2013).
23. [Electronic resource]. Available at: [http://ru.wikipedia.org/wiki/ Markov Processes](http://ru.wikipedia.org/wiki/Markov_Processes) (accessed 25 April 2013).
24. [Electronic resource]. Available at: [http://ru.wikipedia.org/wiki/ Markov Chain](http://ru.wikipedia.org/wiki/Markov_Chain) (accessed 22 April 2013).

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Н.И. Витиска.

Лисяк Владимир Васильевич – Южный федеральный университет; e-mail: v-lisyak@yandex.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634360524; кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Лисяк Наталия Константиновна – e-mail: NKL2004@mail.ru; кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Малуколов Дмитрий Алексеевич – CBOSS; e-mail: Ya280158358@yandex.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Октябрьская, 19; системный архитектор.

Lisyak Vladimir Vasilievich – Southern Federal University; e-mail: v-lisyak@yandex.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634360524; the department of computer aided design; associate professor.

Lisyak Natalia Konstantinovna – e-mail: NKL2004@mail.ru; the department of computer aided design; associate professor.

Malukolov Dmitriy Alekseevich – CBOSS; e-mail: Ya280158358@yandex.ru; 19, Oktyabrskaya street, Taganrog, 347900, Russia; senior software engineer.

УДК 623.2.045.772.12

С.Н. Щеглов

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ, ИНСПИРИРОВАННЫХ ПРИРОДНЫМИ СИСТЕМАМИ, ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В ЗАДАЧАХ САПР*

Представлен процесс разработки алгоритмов, инспирированных природными системами, для эффективного принятия решения в задачах САПР. В последнее время началось исследование возможностей применения и разработка алгоритмов, инспирированных природными системами, для эффективного принятия решения в задачах САПР. При этом постоянно возникает конфликт между сложностью САПР и требованиями принятия эффективных решений в реальном масштабе времени. Данные проблемы не могут быть полностью решены распараллеливанием процесса принятия решений, увеличением числа операторов, пользователей и ЛПП. Одним из возможных подходов к решению этой проблемы является использование новых технологий на стыке информатики, бионики и автоматизации проектирования. В этой связи разработка новых принципов и подходов принятия эффективных решений в задачах проектирования и управления имеет важное экономическое значение и является, в настоящее время, актуальной и важной. Цель исследования – оценка возможности применения интегрированных методов, инспирированных природными системами, для решения задач конструкторского проектирования САПР на примере использования алгоритма поведения стаи серых волков в живой природе. Приведена постановка задачи размещения элементов схем ЭВА на множестве заданных позиций дискретного рабочего поля. Представлена модифицированная технология разработки инспирированных природой алгоритмов. Показана упрощенная схема интегрированного поиска для решения задачи размещения элементов схем электронно-вычислительной аппаратуры. Приведены требования, предъявляемые к построению алгоритмов проектирования, на основе инспирированных природой методов. Показаны основные шаги работы алгоритма поведения стаи серых волков применительно к задаче размещения. Приведены сравнительные результаты вычислительных экспериментов.

Управление; автоматизация проектирования; модель; алгоритм; оптимум; вычислительные эксперименты; графовые модели; принятие решений; поиск; система.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-07-06415).