

Chernyshev Jury Olegovich
Don State Technical University.
E-mail: pmivt@rgashm.ru.
1, Strana Sovetov Street, Rostov-on-Don, 344023, Russia.
Phone: +79185991645.
Professor.

УДК 658.512.2.011.5

В.В. Лисяк, Н.К. Лисяк

МНОГОУРОВНЕВЫЕ МОДЕЛИ В АНАЛИЗЕ САПР*

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.

Ресурс; заявка; многоуровневая система; стохастическая сеть; обслуживающий аппарат; дисциплина очереди; многоуровневые системы; вложенный процесс.

V.V. Lisyak, N.K. Lisyak

MULTILEVEL MODELS FOR CAD SYSTEM ANALYSIS

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 of service.

Resource; demand; multiresource system; stochastic network; service unit; queue discipline; multilevel systems; embedded process.

Введение. Многообразие ресурсов САПР и сложность их взаимодействия ставят задачу анализа моделей стохастической, сетевой структуры [1–4,8]. При этом использование одной задачей нескольких разнородных ресурсов приводит к одноуровневому или многоуровневому представлению взаимодействия ресурсов. 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 [4]. В таком подходе в моделях отдельных уровней отсутствуют сложные логические условия и блокировки, что способствует применению аналитических методов исследования. Построение и описание формализованной схемы осуществляется по уровням. Если параметры времени обработки заявки каким-то ресурсом не определены, то для этого ресурса строится более детальное описание процесса обработки на следующем уровне. Формализованная схема построена, если все временные параметры обработки заявок ресурсами определены.

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 11-01-00975).

Рассмотренные в работе [3] модели многоуровневых САПР представляют собой однородные стохастические сети, в которых все заявки имеют одинаковые вероятностные свойства: матрица перехода R одинакова для всех заявок, а распределение времени обслуживания в каждом узле зависит лишь от его номера и не зависит от поступающей заявки. В этих моделях используется также допущение об экспоненциальном распределении длительности обслуживания в ОА каждого из узлов. Рассмотрим многоуровневые модели на базе стохастических сетей.

Многоуровневые модели. Модели СС 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. Такая ситуация, как правило, реализуется блокировками и условиями, которые запрещают обслуживание новой заявки, пока не обслужится предыдущая заявка на совокупности ресурсов. Недостатками такого подхода являются усложнение процедуры расчета и потеря наглядности модели. В связи с этим можно применить блочно-иерархический подход, основным моментом которого является расчленении представлений об объекте на иерархические уровни по степени детализации описаний. Кроме того, должны быть обеспечены условия раздельного анализа каждого уровня и раздельного анализа внутри уровней. Многоуровневое представление модели приводит к сокращению времени разработки, отладки и расчета характеристик по сравнению с одноуровневым представлением.

Классификация многоуровневых моделей. При классификации многоуровневых моделей оценки производительности САПР необходимо учитывать такие свойства треков заявок как детерминированность или стохастичность, разомкнутость, замкнутость или смешанность, а также однородность или неоднородность заявок. Поэтому схема классификации может выглядеть следующим образом (рис. 1).

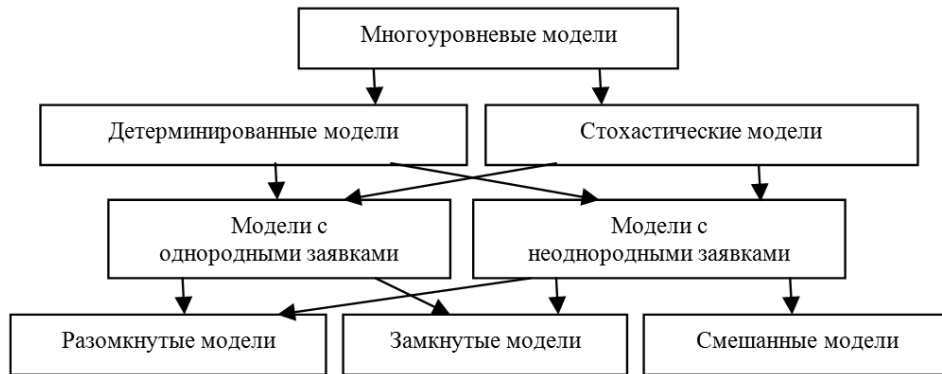


Рис. 1. Схема классификации многоуровневых моделей

Классы многоуровневых моделей формируются как путь в схеме классификации. Понятно, что частными случаями смешанных моделей являются разомкнутые и замкнутые модели, модели с однородными заявками – частный случай моделей с неоднородными заявками, а частным случаем стохастических моделей являются детерминированные модели. Отсюда приходим к универсальному (для рассмотренной схемы классификации) классу многоуровневых моделей – стохастические смешанные модели с неоднородными заявками.

Формализованное описание многоуровневых моделей. Формализованное описание таких моделей является сложным и представляет собой следующий процесс (рис. 2).

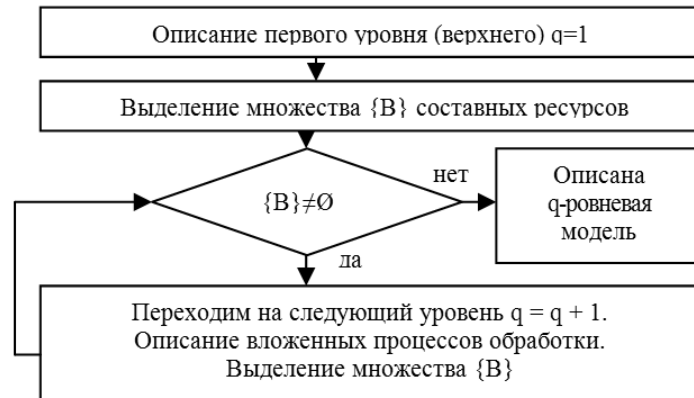


Рис. 2. Процесс описания многоуровневых моделей

Уровень q описывается так же, как первый и включает:

- ◆ задание множеств узлов, классов заявок и формирование из них подмножеств по признаку замкнутости или разомкнутости сети;
- ◆ задание интенсивностей внешних потоков заявок, для которых сеть разомкнута;
- ◆ задание структуры модели верхнего уровня (матриц переходов) и приоритетов заявок на входах узлов;
- ◆ задание характеристик ресурсов каждого уровня и выделение множества составных ресурсов.

На первом (верхнем) уровне задаются два множества:

- ◆ классов заявок $L^{(1)}: i^{(1)} \in L^{(1)}$;
- ◆ множество узлов (ресурсов), соответствующих отдельным этапам обслуживания заявок $R^{(1)}: i^{(1)} \in R^{(1)}$.

Верхний индекс означает номер уровня модели.

Если модель является смешанной, то множество $L^{(1)}$ разбивается на подмножества $L_1^{(1)}$ замкнутых и $L_2^{(1)}$ разомкнутых моделей: $L_1^{(1)} = L_1^{(1)} \cup L_2^{(1)}$, $L_1^{(1)} \cap L_2^{(1)} = \emptyset$. Для заявок из $L_1^{(1)}$ указывается их количество в модели для каждого класса. Для заявок некоторого класса замкнутость модели может означать, что источник заявок содержится внутри модели или заявки этого класса всегда имеются на входе системы. Это можно отразить «зацикливанием» маршрута заявки и постоянной ее циркуляцией в системе.

Для заявок подмножества $L_2^{(1)}$ необходимо задать интенсивности внешних потоков заявок каждого класса на входе каждого ресурса $\gamma_i(l)$, $i \in R^{(1)}$ или задать общую интенсивность источника заявок данного класса $\gamma(l)$, $l \in L_2^{(1)}$ и вектор $q(l)$ вероятностей поступления входных заявок класса l в каждый узел сети. При этом общая интенсивность $\lambda_i(l)$ каждого потока заявок класса l на входе ресурса i складывается из внешнего потока заявок $\gamma_i(l)$ и потоков таких же заявок от остальных узлов. Структуру модели верхнего уровня можно описать совокупностью матриц перехода:

$$R(l) = (r_{ij}(l)), l \in L^{(1)}, i, j \in R^{(1)},$$

где $r_{ij}(l)$ – вероятность того, что заявка класса l после обработки ресурсом i попадает на обработку ресурсом j .

Задание матриц $R(l)$ вместе с интенсивностями внешних потоков $\gamma_i(l)$ позволяет рассчитать потоки заявок каждого класса (для которых верхний уровень разомкнут) на входе любого ресурса верхнего уровня в соответствии с уравнением баланса интенсивностей:

$$\lambda_i(l) = \gamma_i(l) + \sum_j r_{ji}(l) \lambda_j(l), \quad i, j \in R^{(l)}, \quad (1)$$

Для заявок классов $l \in L^{(l)}$, для которых верхний уровень замкнут, уравнения (1), в которых $\gamma_i(l) = 0$, определяют $\lambda_i(l)$ не единственным образом. Зафиксировав некоторый узел i^* и, положив $\lambda_{i^*}(l) = 1$, можно решить систему (1) относительно $\lambda_i(l)$, $i \in R^{(l)}$, $i \neq i^*$ и определить среднее количество посещений каждой заявкой класса l каждого узла i между двумя последовательными посещениями ею узла i^* .

В детерминированных моделях маршруты заявок фиксированы, а матрицы вероятностей перехода являются булевыми. Поэтому вместо задания матриц перехода можно явно задавать маршруты и для каждого класса заявок задавать число посещений каждого узла до выхода из системы либо до момента возврата в узел-источник.

Каждый ресурс верхнего уровня характеризуется функцией распределения длительности обслуживания заявки ресурсом (без учета конкурирующих заявок), числом однотипных ресурсов в узле и дисциплиной обслуживания для узлов с очередями. Если время обслуживания в узле связано с ожиданиями на входах других ресурсов, используемых совместно с данным ресурсом, то этот ресурс относится к составным ресурсам и детальное описание порождаемых им процессов обработки заявки производится на следующем уровне.

Описание верхнего уровня заканчивается формированием подмножества составных ресурсов $RS^{(l)}$, для которого строятся вложенные процессы обработки (в общем случае, для каждого класса заявок l и каждого составного ресурса $i \in RS^{(l)}$).

Объединение треков вложенных процессов определяет структуру модели второго уровня. Эта структура описывается, как и модель первого уровня. При наличии среди ресурсов второго уровня составных ресурсов, для них по такой же схеме строятся вложенные процессы третьего уровня и т.д. Построение многоуровневой модели завершается при отсутствии составных ресурсов на некотором уровне. В этом случае для всех ресурсов параметры функций распределения времени обслуживания заявок каждого класса определены.

Последовательность анализа многоуровневой модели. При анализе многоуровневой модели для каждого уровня выполняется расчет характеристик. При этом используются, как аналитические, так и имитационные средства. Соседние уровни q и $q+1$ связываются посредством параметров интенсивностей потоков заявок вложенных процессов уровня $q+1$, которые порождаются в составных узлах уровня q (расчет сверху вниз), и через параметры времени обслуживания заявок (расчет снизу вверх).

Вычисление интенсивности потока заявок от составных ресурсов верхнего уровня в модель следующего уровня, выполняется с учетом переопределения классов заявок при переходе с уровня на уровень.

Обозначим через $L_i^{(q+1)}$ множество пар $(l^{(q)}, i)$, для которых $l^{(q)} \in L^{(q)}$, $i \in RS^{(q)}$ и соответствующих одному фиксированному классу заявок $l^{(q+1)} \in L^{(q+1)}$, где $l^{(q)}$ – класс заявки уровня q ; i – составной ресурс уровня q . Тогда для каждого класса заявок уровня $q+1$ интенсивность выходного потока заявок с уровня q определяется как

$$\gamma(l^{(q+1)}) = \sum \lambda_i(l^{(q)}), (l^{(q)}, i) \in P_{l^{(q+1)}}, \quad (2)$$

где $\lambda_i(l^{(q)})$ – интенсивность потока заявок класса $l^{(q)}$ на входе ресурса i уровня q .

Если указать узел (ресурс) в уровне $q+1$, в который попадает каждый внешний поток заявок с уровня q , то при известных интенсивностях потоков заявок для верхнего уровня по (2) определяется интенсивность каждого суммарного внешнего потока заявок на следующий уровень. Далее, на основании уравнений баланса интенсивностей аналогичных (1) можно определить интенсивности потоков заявок каждого класса на входе каждого ресурса этого уровня.

Основной принцип построения процедуры расчета параметров времени обслуживания заявок выражается соотношением:

$$B^{(q)}(t) = V^{(q+1)}(t), \quad (3)$$

где $B^{(q)}(t)$ – функции распределения длительности обслуживания заявок составным ресурсом уровня q ; $V^{(q+1)}(t)$ – функция распределения времени выполнения соответствующего вложенного процесса на уровне $q+1$.

Таким образом, для случая разомкнутой модели верхнего уровня расчет выполняется по следующей декомпозиционной схеме:

1. Для $q = \overline{1, Q}$ по (1) и (2) рассчитываются интенсивности потоков заявок каждого класса на входе каждого ресурса.
2. Определяются параметры функции распределения времени пребывания заявок каждого класса на уровне q , начиная с $q=Q$.
3. Рассчитанные параметры времени пребывания заявок на данном уровне подставляются вместо параметров времени обслуживания соответствующими ресурсами предыдущего уровня, в соответствии с соотношением (3).
4. Пункты 2 и 3 повторяются, пока не получат параметры времени пребывания заявок каждого класса на первом уровне.
5. Для определения параметров функции распределения времени пребывания заявок каждого класса на уровне q могут использоваться:
 - ◆ имитационная модель уровня q ;
 - ◆ один из методов расчета СС;
 - ◆ приближённые методы частичного укрупнения моделей;
 - ◆ декомпозиция одноуровневой модели на отдельные фазы и расчет времени пребывания заявки каждого класса на каждой фазе.

Моделирование производительности САПР. Наиболее важным показателем эффективности САПР является её производительность. Поэтому при разработке новой САПР или модернизации действующей на предприятии САПР необходимо оценивать такие показатели производительности, как количество унифицированных проектов в плановую единицу времени и среднее время реализации одного процесса проектирования (цикл проектирования). Эти показатели надо определить как функции параметров системы и процесса проектирования. Рассмотрим некоторые особенности САПР.

Количество унифицированных проектов, выполненных в единицу времени, может быть выражено через пропускную способность системы обслуживания.

Оценка цикла проектирования выполняется на базе теории стохастических сетей массового обслуживания. Время пребывания требования в сети $T = \sum \alpha_i T_i$, где α_i – среднее количество передач; T_i – среднее время пребывания требования в элементе i . При решении системы линейных уравнений $\lambda_j = \sum \theta_{ij} \lambda_i, i, j = 0, 1, \dots, n$ можно определить среднее количество передач

$$\alpha_i = \lambda_{i/} \lambda_0, i = 0, 1, \dots, n,$$

где θ_{ij} – вероятность передачи заявки в элемент j после ее обслуживания элементом i ; λ_0 – интенсивность входящего потока в сеть; λ_i – интенсивность входящего потока на элемент i .

Для определения цикла проектирования необходимо знать значения T_b и θ_{ij} .

Одна из важных особенностей САПР состоит в том, что требованиями являются задания на проектирование. При этом требование инициирует решение последовательности задач проектирования. Внутри сети требование выступает как фаза в реализации процесса (требование на решение одной проектной задачи из последовательности), а разные требования являются фазами разных процессов. Поэтому требования в САПР независимы. В стохастической сети взаимосвязь задач каждого отдельного процесса налагает условия на переход требования из одного узла в другой, что отображается весами дуг связей узлов сети. Оценки весов дуг – оценки вероятностей передач θ_{ij} от узла к узлу – должны быть получены как исходные данные для анализа системы. Последовательность проектных задач в САПР не детерминирована, поэтому в разных требованиях последовательность задач проектирования неодинакова. При этом разные задачи могут решаться одним элементом системы и, наоборот, одна задача – сразу несколькими элементами. В связи с этим прямая оценка вероятностей передач θ_{ij} практически невозможна.

В вычислительных системах пользователи выступают как источник требований, а их поведение отображается в характеристиках потоков требований. В САПР пользователи решают часть задач из общей последовательности, следовательно, принципиально не устранимы из системы и должны быть представлены в модели системы как её элементы, т.е. как СМО.

Заключение. Программно-технический комплекс САПР представляет собой сложную многоресурсную систему. Для получения оценок параметров производительности необходима формализация, осуществляемая построением треков процессов обработки заявок ресурсами. Построение и описание формализованной схемы осуществляется по уровням. Если параметры времени обработки заявки каким-то ресурсом не определены, то для этого ресурса строится более детальное описание процесса обработки на следующем уровне. Формализованная схема построена, если все временные параметры обработки заявок ресурсами определены.

Модель каждого уровня в общем случае представляет собой стохастическую сеть. Расчет многоуровневой модели ведется раздельно по уровням: сверху вниз пересчитывают интенсивности входных потоков заявок, снизу вверх передают временные характеристики обработки, используя принцип вложенности процессов. На каждом уровне расчет может производиться методами, различающимися по точности и вычислительной эффективности.

При моделировании производительности САПР в целом оценивается количество проектов, выполняемых в плановую единицу времени и среднее время реализации процесса проектирования. Моделью процесса проектирования является стохастическая сеть, в которой каждый узел служит моделью отдельной операции. Модель системы в целом – стохастическая сеть, в которой узлы соответствуют элементам системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *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. – P. 16-24.
2. *Лисяк В.В. Лисяк Н.К.* О задаче анализа производительности САПР // Известия ТРТУ. – 2007. – № 1 (73). – С. 118-124.
3. *Лисяк В.В. Лисяк Н.К.* Анализ многоресурсных моделей САПР // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 12 (101). – С. 86-92.

4. Кузовлев В.И., Шкатов П.Н. Математические методы анализа производительности и надёжности САПР. – М.: Высшая школа, 1990. – 143 с.
5. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. – Киев: Техніка, 1975. – 765 с.
6. Клейнрок Л. Вычислительные сети с очередями. – М., 1979. – 221 с.
7. Жожикашвили В.А., Вишневецкий В.М. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ. – М., 1988. – 193 с.
8. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И. Концепция эволюционных вычислений, инспирированных природными системами // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 16-25.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н., доцент Д.П. Калачев.

Лисяк Владимир Васильевич

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

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.

Lisyak Vladimir Vasilievich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “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.

УДК 681.325

О.Б. Лебедев

**ГЛОБАЛЬНАЯ ТРАССИРОВКА НА ОСНОВЕ МУРАВЬИНОГО
АЛГОРИТМА***

Излагается метод решения задачи глобальной трассировки на основе муравьиного алгоритма. С учетом особенностей задачи глобальной трассировки разработаны модифицированные механизмы поведения муравьев и структура пространства решений, в рамках которого организован поисковый процесс, базирующийся на моделировании адаптивного поведения муравьиной колонии. Отличительной особенностью представленного алгоритма глобальной трассировки, является то, муравьиная колония разбита на кластеры и поиск конкретного решения задачи покрытия осуществляется коллективом кластера муравьев. Основу поведения муравьиной колонии составляет самоорганизация, обеспечивающая достижение общих целей колонии на основе низкоуровневого взаимодействия внутри кластеров и между кластерами.

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты: № 09-01-00509, № 10-07-00055).