

ПРОГРАММНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И АДАПТАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА К РАБОЧЕЙ НАГРУЗКЕ НА ЛОКАЛЬНУЮ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНУЮ СЕТЬ

О. В. Быченко, А. В. Воруев, О. М. Демиденко,
В. А. Никишаев, М. В. Потрашкова

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины
Республика Беларусь, г. Гомель, ул. Советская, 104

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании локальной вычислительной сети (ЛВС) разработчик изначально располагает информацией о местоположении пользователей, сетевых узлов, единиц оборудования, о структуре и связях между ними. Все это определяется как топологическая структура системы или топология ЛВС. Обычно при проектировании ЛВС заранее известен примерный состав решаемых пользователями задач на узлах ЛВС, который называется рабочей нагрузкой (РН), и необходимо так построить ЛВС, чтобы вычислительный процесс (ВП) в ней реализовывался с максимальной эффективностью. Иначе говоря, требуется решить прямую задачу проектирования ЛВС. С другой стороны, состав задач и их характеристики могут быть заранее определены, и требуется выбрать такую топологию и характеристики оборудования узлов, чтобы обеспечить максимальное эффективное выполнение работы пользовательских задач при наибольшей загрузке оборудования. Такая задача называется обратной или задачей адаптации ВП под заданную РН. Динамику организации ЛВС предлагается описывать семейством моделей, каждая из которых отображает поведение ЛВС на различных уровнях детализации. Первая модель представляет собой уровень топологии ЛВС, вторая – уровень узла ЛВС. Для каждого уровня детализации ВП и РН можно выделить характерные особенности модели системы, переменных, законов состава и принципы структурирования, с помощью которых описывается поведение реальной системы.

Изначально ВП в ВС рассматривался на четырех уровнях представления по их возможности декомпозиции на части и по связям между этими частями:

1. Сетевое взаимодействие. ВС представляется в виде отдельных составляющих – узлов ЛВС, взаимодействующих через общее устройство обслуживания – среду передачи. К функциям узла относятся обслуживание внутренних запросов (диалоговые и фоновые задачи, поступающие с интенсивностью λ_d и λ_f , соответственно) и запросов, полученных извне (транзитные задачи, поступающие с интенсивностью λ_t). Отличие внешних запросов от внутренних заключается только в маршруте продвижения. Они рождаются на одном узле (узле-родителе), проходят через сеть, обслуживаются на узле-сервере и вновь через сеть возвращаются на узел-родитель. Для обобщения все функции сборки-разборки пакетов вынесены за границы модели узла. Таким образом, модель узла передает в сеть целый запрос, затрачивая на это интервал системного времени t_{WN} и получает из сети ответ также целым, затрачивая на это интервал системного времени t_{RN} .

2. Укрупненные программные модули. Для представления динамики использования информационной базы данных (ИБД) используется граф (GRB), уз-

лами которого являются модули ИБД, а дуги между ними определяют связи между модулями ИБД. Структура этих связей задается булевой матрицей связей $M(S_{ij})$. Каждому программному модулю в конкретный момент времени выделяется совокупность ресурсов для выполнения, что находит свое выражение как времена жизни программных модулей $T_{ж.пм}$ в системе, с момента его зарождения ($t_{н.опер.}$) и до окончания его обслуживания ($t_{к.опер.}$). При взаимодействии программных модулей в имитационной модели (ИМ) имитируется операционная обстановка в ЛВС, соответствующая выбранной ситуации обслуживания модулей ИБД.

3. Выполняемые функции. Каждый программный модуль разбивается на набор единичных функциональных действий (транзактов) длительностью $\tau^0_{опер.устр.}$. При этом для реализации каждого транзакта на обслуживание в ИМ имитируется выполнение ряда элементарных операций на уровне запросов к основным составляющим системы, что в сумме представляется как единый интервал $t_{опер.устр.}$. Каждому классу транзактов присваивается соответствующая комбинация элементарных операций в соответствии с реальными данными, полученными средствами мониторинга.

4. Отображение процесса использования ресурсов системы. Этот уровень позволяет изучить в реальной системе и на ИМ процесс использования ресурсов системы с помощью коэффициентов загрузки ее устройств η_{CPU} , η_{HD} , η_{MEM} , η_{VIDEO} , η_{NET} программным продуктом как единым целым (например, база данных будет рассматриваться как единое целое, в котором неизвестна внутренняя структура – черный ящик). На этом уровне детализации ЛВС также рассматриваются вопросы одновременного взаимодействия нескольких пользовательских процессов и их влияния на динамику работы всей системы.

Однако при дальнейшем анализе связей и передаваемых параметров был сделан вывод о необходимости дальнейшей декомпозиции, в частности, дополнения концептуальной модели сетевого взаимодействия до уровня рассмотрения сетевой топологии и внутренней структуры узла ЛВС.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УРОВНЯ ТОПОЛОГИИ

Рассмотрим концептуальную модель уровня топологии ЛВС. Графическое представление параметров данной модели приведено на рис. 1 а, б.

Модель данного уровня представляется в виде детерминированного ориентированного графа GR_1 , который задается матрицей связей H_b . Вершины графа представляют собой некоторые топологии, дуги – каналы связи (КС) между ними. В свою очередь, каждая топология задается полумарковским графом узлов Gr_2 . Вершины графа задают различные типы узлов, ребра графа содержат значения вероятностей перехода от s-го узла к r-му, а также времена и объемы ресурса, требуемые для перехода.

Входной поток модели данного уровня представляет собой поток пользовательских запросов i-го типа, поступающих на узел топологии с интенсивностью λ_i и вероятностью q_i , при чем $\sum_i q_i = 1$. Различают 6 типов запросов:

- i=1 – фоновые сообщения;
- i=3 – посылка сообщений с интенсивностью λ (без возврата результатов);
- i=5 – заказ на удаленный счет;
- i=2 – локальный диалог;
- i=4 – короткий диалог (обмен по 1 сообщению);
- i=6 – постоянная длительная работа.

Таким образом, мы определили вектор варьируемых параметров модели $X_{11}(q_i, \lambda_i, |H_b|)$ или вектор РН.

Помимо количества узлов в топологии k_l , для определения маршрута запроса от узла отправителя к узлу получателя необходимо каждому узлу присвоить идентификатор l , соответствующий его номеру в топологии. Для канала, соединяющего узлы g и s , задается его пропускная способность q_{gs} , длина dl_{gs} и стоимость c_{gs} . В качестве управляемых параметров РН выступают: время обдумывания для ответа на k -й запрос ($\tau_{обл}$), время обработки k -го запроса ($\tau_{обр}$), время ожидания ответа на k -й запрос ($\tau_{ож}$), время прохождения транзитного запроса i -го типа ($\tau_{три}$). Они формируют вектор управляемых параметров РН X_{12} .

Каждый узел в топологии обладает следующим набором параметров, определенным как управляемые параметры ВП X_{13} и позволяющим впоследствии оценить его

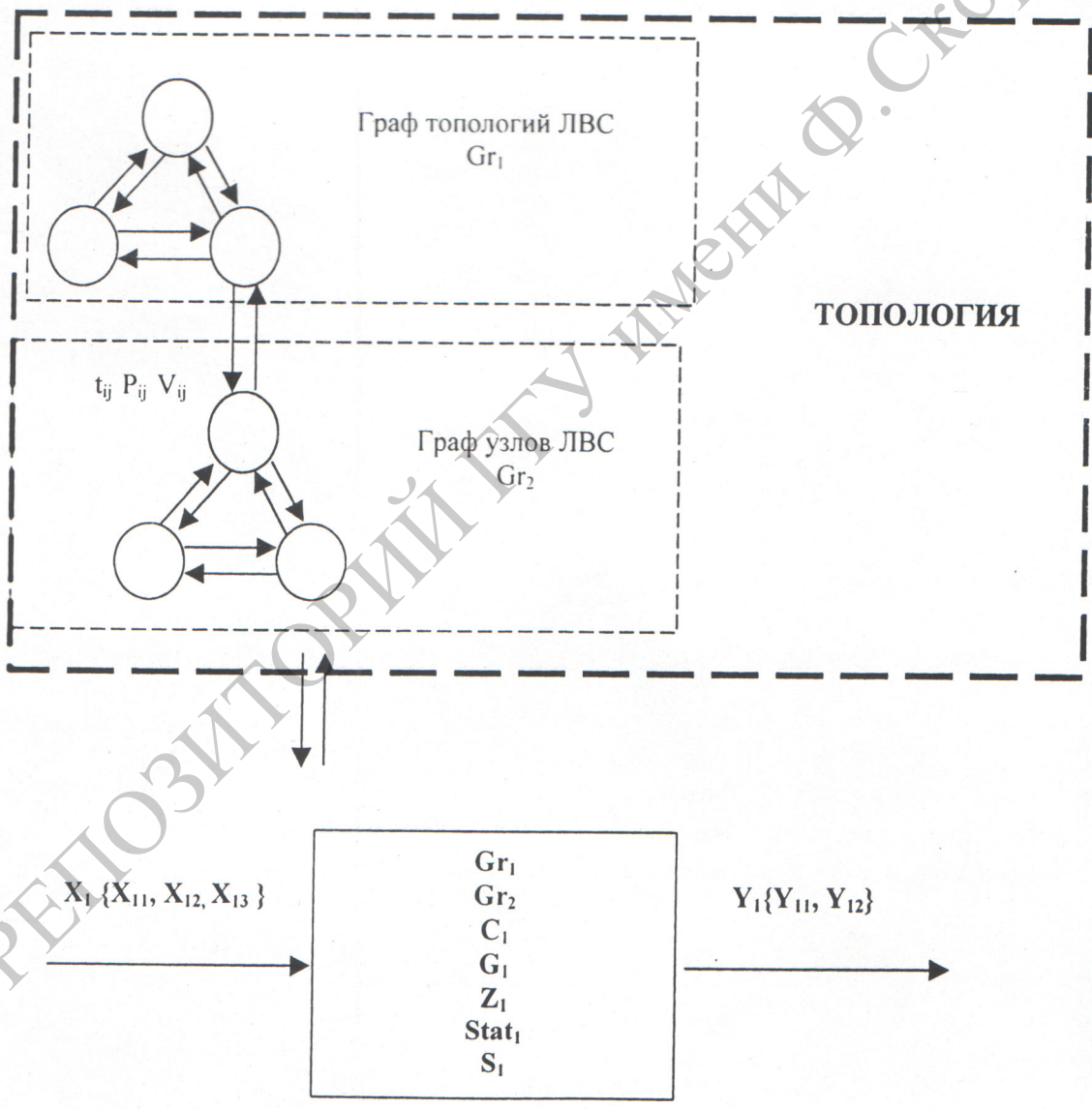


Рис. 1. Состав концептуальной модели топологии ЛВС:

a – уровни декомпозиции модели ЛВС; b – концептуальная модель топологии ЛВС

производительность: скорость работы ЦП ($v_{цп}$), скорость обмена с внешней памятью ($v_{внп}$), объем внешней памяти ($V_{внп}$). Также будем различать объем транзитного запроса ($V_{трз}$) и объем транзитного ответа ($V_{трот}$). Тем самым мы определили векторы управляемых параметров модели X_{12} и X_{13} .

Важнейшей характеристикой вычислительной сети является надежность – способность правильно функционировать в течение продолжительного периода времени. Поэтому необходимо определить надежностные характеристики модели: вероятность отказа узла ($P_{отку}$), вероятность отказа КС ($P_{отккс}$), вероятность восстановления узла ($P_{всту}$), вероятность восстановления КС ($P_{всткс}$), время восстановления узла ($\tau_{всту}$) и время восстановления КС ($\tau_{всткс}$).

В модели предлагается ввести следующие ограничения (G_1):

$C < C_{\max}$ – ограничение на стоимость;

$f_i < Q_i$ – ограничение на пропускную способность;

$T < T_{\max}$ – ограничение на задержку сообщений.

В ходе моделирования будут собираться статистики St_i : общее время работы заявки на ЦП узлов ($\Sigma \tau_{цп i}$), общее время прохождения i -й заявки по топологии ($\Sigma \tau_{т i}$), средняя длина очереди к узлам ($l_{оч y}$), среднее время ожидания заявки в очередях узлов ($t_{очу}$). В каждый конкретный момент времени модель топологии может находиться в одном из состояний s_m , совокупность которых образует множество состояний топологии. Состояния определяются в зависимости от того, находится ли запрос на своем узле, переходит на соседний узел или проходит через несколько узлов к месту назначения.

В качестве целевой функции моделирования уровня топологии можно выбрать следующие зависимости: зависимость среднего времени выполнения i -го запроса T_i от значений управляемых параметров при фиксированных значениях задаваемых параметров модели, зависимость коэффициента загрузки i -го узла топологии η_i от значений управляемых параметров при фиксированных значениях задаваемых параметров модели. Необходимо достичь максимальной загрузки оборудования при минимальном времени выполнения запросов.

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать прямую задачу для данного уровня моделирования: необходимо выбрать такой состав оборудования X_{12} и топологию H_b при неизменной рабочей нагрузке X_{11} и заданных ограничениях G_1 , чтобы время работы пользовательских задач, задержки в передаче информации и стоимость сети были минимальными, коэффициент загрузки оборудования топологии был максимальным.

Задача адаптации ВП под РН будет звучать следующим образом: пусть существует достаточно устойчивый состав выполняемых запросов (внешняя нагрузка X_{11}) и требуется выбрать такой состав оборудования X_{12} , чтобы время обслуживания запросов было минимальным, а коэффициент загрузки оборудования был максимальным.

ИНСТРУМЕНТАРИЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

Поскольку отсутствовали удобные к использованию стандартные средства автоматизации натурного эксперимента (ПЭ) и имитационного эксперимента (ИЭ), то в Гомельском государственном университете им. Ф. Скорины был разработан программно-технологический комплекс исследования (ПТКИ) параметров ВП и

РН на узлах ЛВС [3]. Поскольку состав, структура и технологические характеристики системы мониторинга (SYSMON) из ПТКИ подробно излагаются в [3], то остановимся только на некоторых дополнительных компонентах ПТКИ, имеющих важное значение для реализации методики исследования параметров ВП и РН на узлах ЛВС. Структурно ПТКИ включает в себя: систему моделирования MICIS [4], обеспечивающую автоматизацию построения ИМ; процедуры обработки данных в среде MS Excel; подсистемы параметризованных имитационных моделей для построения ИМ ВП и РН (COMPON); подсистемы исследования свойств ИМ ВП и РН (ISPIM); библиотеки готовых ИМ ЛВС (LIB.IMLVS); информационную базу данных (ИБД); подсистему мониторинга параметров ВП и РН на реальных узлах ЛВС (SYSMON); постановки и управления натурным экспериментом на ЛВС (MODLTEST); обработки, анализа и отображения журналов статистики о поведении компонентов узла ЛВС (LOGVIEW); библиотеки процедур принятия решения (RECHEN).

МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПТКИ

Исследование и адаптация ВП под РН на ЛВС реализуется следующей последовательностью этапов:

1. Получение экспертной оценки об операционной обстановке в ВП узла ЛВС и о необходимости длительного мониторинга ВП и РН.
2. Сбор и обработка статистики использования ресурсов ЛВС запросами пользователей.
3. Нахождение инвариантов РН и их классификация по потребляемым ресурсам.
4. Построение библиотеки моделей РН для возможного исследования ВП с помощью последовательности имитационных моделей ЛВС.
5. Анализ результатов очередного натурального эксперимента и формирование заданий для очередного варианта организации ВП.
6. По данным НЭ принятие решений в условиях неопределенности поведения пользователей ЛВС по адаптации ВП к требованиям РН.

РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ ПТКИ И МЕТОДИК ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Первым шагом апробации ПТКИ было исследование средств мониторинга ВП и РН серией неуправляемых натуральных экспериментов (ННЭ). В результате серии ННЭ были вычислены накладные расходы на мониторинг ЛВС, которые выражаются в потреблении вычислительных ресурсов системы. Исследования проводились сеансами трех типов:

- короткие (до 100 с), когда SYSMON разгоняется и сворачивается в течение одного сеанса работы пользователей ЛВС, поэтому процент потребления ресурсов в этом случае существенно выше среднего;
- средние (от 100 с до 10000 с), обеспечивающие основной объем статистики ВП и РН на ЛВС;
- длинные (свыше 10000 с).

Величина накладных расходов, вычисленная по средним значениям для серий ННЭ, составила $\Delta_{\text{SYSMON}}=0,0186$ при диапазоне ее изменения от 0,0022 до 0,3639.

Информативность мониторинга изменялась в диапазоне от 0,4859 до 0,9989 при среднем значении $I_{\text{SYSMON}}=0,9019$. Анализ статистики ННЭ показал, что SYSMON обладает следующими технологическими характеристиками:

- средний процент потребления всех ресурсов ЛВС SYSMON равен $\Delta_{\text{SYSMON}}=1,9\%$;
- средний коэффициент загрузки CPU на нужды мониторинга равен $\eta_{\text{CPU}}=1,8\%$;
- средний коэффициент загрузки HDD SYSMON равен $\eta_{\text{HDD}}=7\%$;
- размер потребляемой SYSMON оперативной памяти оказался равным $V_{\text{MEM_SYSMON}}=256\text{Кб}$;
- максимальная скорость потребления дисковой памяти для хранения журналов SYSMON составляет 10 Мб/час;
- информативность SYSMON оказалась равной $I_{\text{SYSMON}}=90\%$.

Вторым шагом апробации ПТКИ являлось проведение ННЭ. Основной целью ННЭ являлось определение характера графа передачи управления между процессами, рожденными РН на узел ЛВС. Были измерены частоты переходов от процесса к процессу. Затем определялись эмпирические функции распределения времени работы процессов. Было установлено, что ОС Windows95 распределяет ресурсы по механизму приоритета удовлетворения запросов вновь созданного процесса или процесса, который длительное время не обслуживался ОС.

Отметим, что все повторные старты процессов регистрируются SYSMON как отдельные альтернативные процессы. Поэтому с помощью подсистемы LOGVIEW ПТКИ были объединены все подсеансы работы одинаковых процессов в один тип. Чем больше длины сеанса мониторинга, тем больше количество элементов РН присутствовало в графе. Анализ графа позволяет установить, насколько верно SYSMON отображает динамику взаимодействия процессов в ОС. Имея матрицу вероятностей переходов, полученную в результате ННЭ, сформулировав табличные функции распределения времен нахождения в каждом состоянии, возможно дальнейшее исследование динамики развития ВП аппаратом полумарковских процессов либо аналитически, либо на имитационных моделях теории массового обслуживания.

Третьим шагом апробации ПТКИ являлась оценка влияния характеристик оборудования на качество ВП. В ходе управляемого натурного эксперимента (УНЭ) с погрешностью в 3% были установлены следующие особенности режима обслуживания ОС Windows запросов пользователей.

Характерен нелинейный характер зависимости времени выполнения программных модулей ПМ_j ($t_{\text{обсл}_j}$) от объема памяти ($V_{\text{ОЗУ}}$). Подтвердилась гипотеза о том, что менеджер ОС, отвечающий за распределение памяти, увеличивает потребление системного ресурса.

При увеличении скорости центрального процессора CPU (η_{CPU}) снижается время обслуживания ПМ_j $t_{\text{обсл}_j}$. При этом практически для всех ПМ_j ОС Win98 характеризуется минимальным временем обслуживания. Явно медленно выполняются задания пользователей в среде ОС WinME, что обусловлено недостаточностью ресурсов имевшейся в распоряжении исследователей ЛВС для работы системных процессов.

Коэффициент растяжения временной диаграммы ВП (γ), являясь показателем накладных расходов ОС на организацию ВП, находится в пределах 2%. Поэтому этим эффектом можно было пренебречь. Причем, увеличение скорости CPU серьезно не сказывается на значении γ .

Накладные расходы на организацию ВП в ОС Win98 почти вдвое превосходят расходы Win95 и WinME. Это означает, что структура ОС Win98 является наименее эффективной с точки зрения организации ВП и РН того типа, который использовался при апробации ПТКИ.

Литература

1. Зайченко Ю. П., Гонта Ю. В. Структурная оптимизация сетей ЭВМ. — Киев: Техника, 1986. — 168 с.
2. Зайченко Е. Ю. Анализ и синтез структуры глобальных вычислительных сетей. — Киев: ЗАО “Укрспецмонтажпроект”, 1998. — 108 с.
3. Демиденко О. М., Воруев А. В., Быченко О. В. и др. Система мониторинга параметров вычислительного процесса и рабочей нагрузки на узлах локальных вычислительных сетей // “Реєстрація, зберігання і обробка даних”, № 3, том 2, 2001. — С. 72–85.
4. Максимей И. В., Левчук В. Д., Жогаль С. П. и др. Задачи и модели исследования операций. Ч. 3. Технология имитации на ЭВМ и принятие решений: Учеб. пособие. — Гомель, БелГУТ, 1999. — 150 с.
5. Ресурсы Microsoft Windows NT Workstation 4.0. СПб.: БХВ. СПб., 1998. — 800 с.
6. Феррари Д. Оценка производительности вычислительных систем / Под ред. В.В. Мартынюка. — М.: Мир, 1981. — 576 с.
7. Максимей И. В. Имитационное моделирование на ЭВМ. — М.: Радио и связь, 1988. — 232 с.