

P11-2003-79

А. А. Карев, В. М. Добрянский

**ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ (АСУ ТП)
ТРЕХУРОВНЕВОЙ АРХИТЕКТУРЫ**

1. Введение

В настоящее время многие промышленные предприятия в нашей стране находятся в стадии модернизации существующих автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП). Большинство этих систем были созданы в 70–80-е гг. Как правило, они базировались на мини-ЭВМ типа СМ-2, СМ-3, СМ-4, СМ-1420, СМ-1800, СМ-1820, М-6000 и к сегодняшнему дню физически и морально устарели. Встает проблема построения АСУ ТП на базе новых программно-аппаратных средств, новых архитектурных решений, использующих современные информационные технологии создания распределенных сред [1,2]. Понимание этого факта заставляет как потребителей, так и производителей средств для АСУ ТП ориентироваться на архитектуру, использующую стандартные, как программные, так и аппаратные компоненты, и обладающую такими свойствами, как модульность и масштабируемость, т.е. открытость.

Важной задачей в период проектирования АСУ ТП, особенно при реализации новых технологий, является задача оценки производительности будущей системы. Для АСУ ТП, создаваемой как распределенная информационная система архитектуры клиент-сервер, такими показателями могут быть следующие параметры: пропускная способность по запросам от клиентов системы в целом, отдельно серверов, баз данных; коэффициент использования процессоров серверов, магнитных дисков, других устройств и т.д. Оценка этих параметров требуется знать на ранних стадиях определения структуры системы, поскольку цена ошибки очень высока и чревата она потерей не только денег, но и времени, что в рыночных условиях совершенно недопустимо.

В данной работе предложены методы оценки производительности трехуровневой архитектуры АСУ ТП, как распределенной информационно-вычислительной системы архитектуры “клиент-сервер”. Приведена обобщенная структура АСУ ТП. Рассмотрена возможность использования замкнутой сетевой экспоненциальной модели для анализа производительности системы. Представлены простые аналитические выражения для приближенной (до 90%) оценки производительности мелких и средних автоматизированных информационных систем.

2. Обобщенная структура трехуровневой АСУ ТП

Современные АСУ ТП предприятия представляет собой, как правило, трехуровневую систему управления, организованную в виде сетей архитектуры “клиент – сервер”. Нижний уровень – это система управления устройствами и сбором информации. На этом уровне расположены контроллеры, обеспечивающие сбор и первичную обработку информации, поступающей непосредственно с объектов управления. Обычно контроллеры не имеют средств визуализации, кроме локальных средств индикации малой информационной емкости, и средств взаимодействия с оператором. До последнего времени роль

контроллеров в АСУ ТП в основном выполняли PLC (Programmable Logic Controller) – программируемые логические контроллеры. В связи с ростом производства миниатюрных PC-совместимых компьютеров последние все чаще стали использовать в качестве контроллеров. Главное преимущество PC-контроллеров связано с их открытостью, т. е. с возможностью применять в АСУ ТП самое современное оборудование, только-только появившееся на мировом рынке, причем оборудование для PC-контроллеров сейчас выпускают уже не десятки, а сотни производителей, что делает выбор уникально широким. Основу программного обеспечения контроллеров составляют программные средства реального времени.

На втором уровне АСУ ТП размещаются мощные компьютеры, выполняющие функции серверов баз данных и рабочих станций и обеспечивающие хранение и анализ всей поступившей информации.

Третий уровень состоит из рабочих мест пользователей (клиентские приложения), осуществляющих визуализацию информации и взаимодействие с оператором.

На рис. 1. приведена обобщенная структура трехуровневой АСУ ТП.

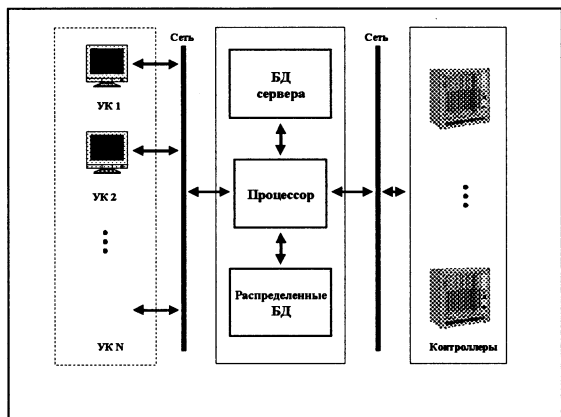


Рис. 1. Структура трехуровневой АСУ ТП

Данная распределенная информационно-вычислительная система (РИВС) включает в себя множество узлов-клиентов (УК), узел сервера и систему сбора информации. Каждый УК представляет собой отдельный компьютер, подключенный к сети. Локальная сеть обеспечивает удаленный доступ к файлам и базе данных сервера, передачу управляющих сообщений и запросов к серверу и системе сбора информации. Запросы УК к системе сбора информации выполняются через приложения сервера

Наиболее важные и критичные узлы системы – это узлы среднего уровня – сервера базы данных, сервера приложений. Работа контроллеров, как правило, не

связана с количеством работающих клиентов. Поэтому логично оценку производительности осуществлять только для среднего уровня.

3. Планирование производительности системы

Планирование и оценка производительности включает в себя расчет и анализ ресурсов, необходимых для системы, выявление критических узлов в системе и принятие решений о том, как максимально повысить их производительность. Оценка производительности системы должна выполняться и на этапе разработки системы (предварительная оценка) и при ее внедрении и дальнейшей эксплуатации (последующая оценка). В работе рассмотрены два подхода, метода, к предварительной оценке производительности информационной распределенной системы. Первый – это построение и анализ вычислительной модели системы. Второй метод – это приближенная аналитическая оценка состава и структуры системы.

3.1. Сетевая модель АСУ ТП

Для анализа производительности, рассматриваемой здесь обобщенной структуры АСУ ТП, наиболее подходящей является замкнутая сетевая экспоненциальная модель очередей клиент-серверных систем [3-4]. Эта модель включает в себя файл-сервер (базу данных) и ряд клиентов, взаимодействующих с сервером через локальную вычислительную сеть (ЛВС). Доступ ко всем ресурсам (узлам) системы представляется как некоторая работа с вероятностью p , выполняющаяся за время T , а все остальные работы ждут доступа к заданному ресурсу в очереди. Когда работа выполнена, она освобождает ресурс и покидает очередь. Новые, возникшие работы присоединяются в очередь. [7].

3.1.1. Описание модели

В модели первый и третий уровни АСУ ТП представлены как два класса клиентов. Первый – это запись данных с РС-контроллера в базу данных (на диски) сервера. Второй класс запросов – это чтение данных, файлов с сервера.

Первый и третий уровни АСУ ТП, контроллеры (РС-контроллеры) и автоматизированные рабочие места операторов составляют компьютеры, в которых выполняется только один процесс, а аппаратные средства каждого ПК состоят из процессора и устройства локальной памяти (ЛП). Выполнение процесса представим как некоторое число чередующихся фаз вычисления на процессоре и доступа к памяти (как локальной, так и распределенной), после чего процесс переходит в фазу обдумывания, а затем снова возвращается в фазу вычисления. Пусть количество УК в системе N , их номера $i = 1, N$. Вероятность перехода процессов после фазы вычисления в фазу доступа к распределенной памяти, в фазу доступа к локальной памяти и фазу обдумывания равна, соответственно, - q_i , p_i , p_{di} . Доступ процесса к распределенным ресурсам сети осуществляется через сетевую карту (СК).

Предполагая экспоненциальность распределения времен выполнения фаз вычисления, доступа к ЛП и обдумывания, а также обслуживание в СК со средними соответственно $\mu_a^{-1}, \mu_i^{-1}, \lambda_i^{-1}, \nu_i^{-1}$, будем моделировать процессор, ЛП и СК одноканальными устройствами с дисциплиной обслуживания, для процессора Пр, для ЛП и СК – FIFO, а фазу обдумывания IS-станцией с параметром λ_i . Модель i -го УК приведена на рис.2.

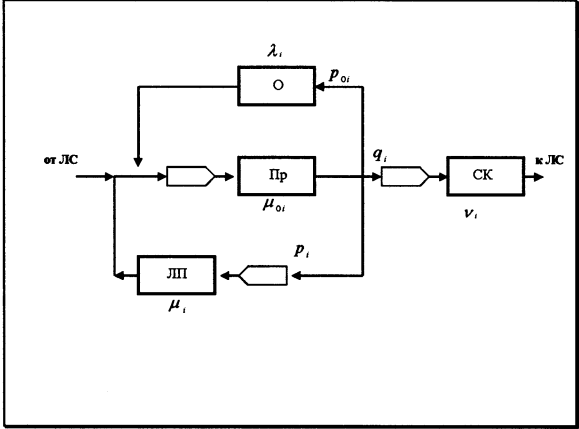


Рис.2. Сетевая модель клиента

Модель сервера включает в себя сетевое устройство СКС, управляющий процессор и систему из S дисков. Запрос к серверу сначала обрабатывается в СКС, среднее время обработки ν_0^{-1} . Затем последующие операции можно представить как случайное число чередующихся фаз работы УП, доступа к дискам и локальной сети. Обозначая через $\gamma_i^{-1}, (\mu_j^*)^{-1}, h_{ji}$ для $j = 1, S$, соответственно, средние времена фазы работы УП над запросом от УК i , доступа к диску j и вероятность доступа к этому диску для запросов от УК i и предполагая экспоненциальность распределения времени обслуживания, будем моделировать узлы сервера одноканальными устройствами с дисциплиной обслуживания PS для УП и FIFO для других узлов. Модель сервера представлена на рис.3.

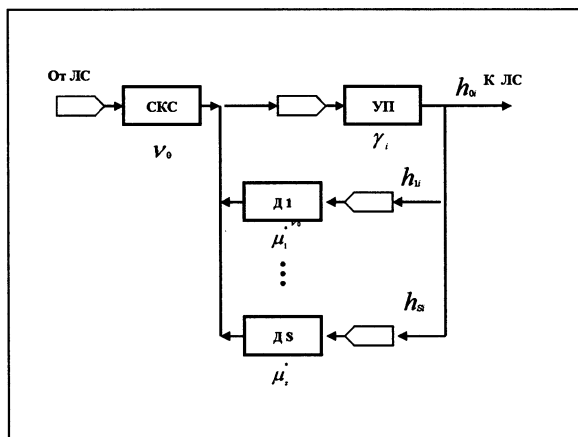


Рис.3. Сетевая модель сервера

Для представления выполнения процессов в системе, прохождения запросов от этих процессов по сетям, их обслуживания в сервере и обмена информацией используется аппарат цепей транзактов [3]. В данной модели представление процессов/запросов/файлов от УК выполняется только для транзактов неизменного класса i .

3.1.2. Показатели производительности системы

Основными показателями производительности рассматриваемой информационной системы являются:

- коэффициент использования в сервере (запросами УК i) управляющего процессора U_i^u , СКС U_{oi}^f и дисков U_{μ}^d ;
- пропускные способности по запросам от УК i – системы в целом Λ_i , сервера в целом Λ_i^s , а также локальной сети Λ_i^r .

Все эти показатели связаны формулами баланса [4], поэтому достаточно ограничиться вычислением одного из этих показателей – пропускной способности системы Λ_i для каждого класса запросов, рассчитывая остальные по формулам баланса.

3.1.3. Методы оценки производительности

В соответствии с [4], для более эффективного метода анализа сети, разделим все УК на R групп так, что для любого УК, входящего в группу r , выполняются равенства

$$\lambda_i = \lambda_{r+n}^*, \quad q_i / (p_{0i} v_0) = \rho_{0,r}^i, \quad q_i / (p_{0i} h_{0i} \gamma_i) = \rho_{0,i}^u,$$

$$q_i h_{ji} / (p_{0i} h_{0i} \mu_j^*) = \rho_{j,r}^d, \quad j = 1, S.$$

Кроме того, разобьем все S дисков сервера на s_0 групп: в группе j - m_j равномерно нагруженных дисков, т.е. для любого диска k , входящего в группу j , выполняется равенство $q_i h_{ki} / (p_{0i} h_{0i} \mu_k^*) = \rho_{j,r}^d$.

В результате можно описать состояние исследуемой сети на рис. 2-3 вектором

$$l = (l_i, i = 1, N), \text{ где } l_i = \{l_i^0, l_i^u, l_{0i}^d, (l_{j,i}^d, j = 1, s_0), l_i^M, l_{0i}^k\}.$$

Компоненты вектора l_j – это число заявок класса i в УП (l_i^u), СКС (l_{0i}^d), группе дисков j ($l_{j,i}^d$) и СК (l_i^k). Тогда аналогично [3,4] получаем следующее выражение для стационарной вероятности:

$$\pi(l) = G^{-1} l^u! l_0^d! \prod_{j=1}^{s_0} (m_{j0} - 1 + l_j^d)! \prod_{i=1}^n K_i(l_i^0) \prod_{i=1}^{n+R} K_i^*(l_i) = G^{-1} \hat{\pi}(l),$$

где l^u, l_0^d и l_j^d – суммы по всем i соответствующих компонентов вектора l ;

G – функция разбиения, равная сумме $\pi(l)$ по всем l_i^t и векторам l , таким, что для любого $i \in 1, N$ l_i^t и все компоненты вектора l_i – целые неотрицательные числа, сумма которых равна J_i , где $J_i = N_i$. Кроме того,

$$K_i^*(l_i) = \left((\lambda_i^*)^{l_i} / l_i! \right) \left((\rho_{0i}^d)^{l_{0i}^d} / l_{0i}^d! \right) \left((\rho_{0i}^u)^{l_i^u} / l_i^u! \right) \prod_{j=1}^{s_0} \left\{ (\rho_{j,i}^d)^{l_{j,i}^d} / l_{j,i}^d! \right\} \left((\rho_{0i}^k)^{l_i^k} / l_i^k! \right),$$

$$K_i(l_i^0) = (\rho_i^p)^{l_i^0} \left(\prod_{j=1}^{s_j} \rho_{j,i}^d (m_{j0} - 1 + l_{j,i}^d) / l_{j,i}^d! \right) (\rho_i^l)^{l_i^0},$$

$$\rho_i^p = (p_{0i} \mu_{0i})^{-1}, \quad \rho_i^l = q_i / (p_{0i} v_i).$$

Аналогично [5, с. 87] назовем величины ρ с разными индексами факторами нагрузки на соответствующие устройства.

Таким образом, искомый показатель Λ_i и средняя длина очереди \hat{L}_i^x к некоторому узлу (или группе) x для заявок класса $i = 1, N$ определяются выражениями

$$\Lambda_i = \tau(k) \Lambda_k^* = \tau(k) G_k / G,$$

$$L_i^x = \tau(k) L_k^x = \tau(k) G_k^x / G,$$

где k – номер группы, в которую входит ПК i , и $\tau(k) = 1 / N_{k-n}$; G_k и G_k^x определяются так же, как G , но с заменой J_k на $J_k - 1$ (для G_k) и умножением слагаемых $\pi(l)$ на соответствующий компонент l_k^x вектора l (для G_k^x).

3.2. Приближенная оценка производительности системы

На практике предварительное моделирование работы АСУ ТП, как правило, проводится только для крупных проектов или при исследовании производительности некоторого нового класса систем, использующего новые программные и технические решения. Для мелких и средних систем выполняются аналитические расчеты, позволяющие с достаточной точностью спланировать мощность систем, используется опыт и знания коллектива разработчиков. Приведем основные принципы оценки производительности информационной системы архитектуры клиент-сервер, ее критического узла – сервера базы данных, серверов приложений.

Предварительная оценка производительности системы основывается на оценке активности запросов к системе для пикового режима работы. Однако, так как мы оцениваем производительность системы с некоторой погрешностью, требуется оставлять дополнительный резерв мощности. Еще одна причина, по которой надо создавать и поддерживать резерв мощности компьютеров, связана с теорией «загиба кривой» (knee of the curve theory) [6]. Загибом кривой называется точка, начиная от которой такие показатели, как время отклика или длительность очередей, переходят от линейного роста к экспоненциальному или асимптотическому (с уходом в бесконечность при приближении нагрузки к некоторому конечному значению) росту. Согласно [6,7], рост очередей остается линейным, пока процессор используется не более чем на 75%. Недопущение выхода за точку загиба кривой является одним из наиболее важных принципов предварительного планирования производительности системы, и он используется при определении мощности центральных процессоров. Этот же принцип применяется и к накопителям на магнитных дисках. У графиков для дисков точка загиба расположена не так, как для процессоров, она находится при 85% загруженности их мощности. Эта пороговая величина (85%) относится и к вместимости, и к производительности ввода-вывода дисковых накопителей. Ограничение на объем хранимых данных может послужить как резерв для роста, но оно более важно для сокращения времени отклика.

3.2.1. Оценка требуемой оперативной памяти сервера

Минимальный объем памяти, необходимый для сервера системы, определяется по формуле

$$Q_{op} = Q_s + Q_{ap} + Q_{user}$$

где Q_s - объем системной памяти, необходимой для операционной системы и системы управления базой данных (СУБД);

Q_{ap} - память серверов приложений;

Q_{user} - пользовательская память – это по 500 Кб памяти, выделяемых каждому из одновременно работающих пользователей (клиентов).

3.2.2. Оценка мощности процессора

При оценке мощности процессора примем следующие предположения:

- при целевом установленном режиме работы мощность центрального процессора используется не более чем на 75%;
- дисковые накопители используются не более чем на 85%;
- операции ввода-вывода распределены по всем дисковым накопителям равномерно;
- сервер обслуживает только базу данных. Вычислительные затраты на обработку данных учитываются отдельно для каждого конкретного случая.

Для определения загруженности центрального процессора применяется следующая формула

$$P = U_{io} * T * 100 (\%);$$

здесь U_{io} – темп ввода-вывода, обозначающий количество операций ввода-вывода за 1 секунду;

T – длительность времени, необходимого для обработки типичной транзакции ввода-вывода.

3.2.3. Расчет объема дисковой памяти и производительности ввода-вывода дисков

Для определения количества дисковых накопителей применяется следующая формула

$$N_d = Q_d / Q_1,$$

где Q_d – объем данных;

Q_1 – размер диска.

Размер диска в данной формуле должен составлять 85% от его паспортной максимальной емкости.

Количество дисков, необходимых, чтобы система могла выдержать необходимый темп ввода-вывода, рассчитывается по формуле

$$N_{dio} = U_{io} / U_1;$$

U_{io} – количество операций ввода-вывода в секунду;

U_1 – производительность ввода-вывода одного диска.

Производительность ввода-вывода одного диска тоже требуется брать с учетом правила 85%.

3.2.4. Оценка мощности сети

Мощность сети, которую должна иметь линия передачи данных, вычисляется по формуле

$$P_{net} = N_s * L_s * 8,$$

где N_s – количество сообщений в секунду;

L_s – длина сообщений;

8 – количество битов в одном байте.

4. Заключение

В работе представлены два подхода к прогнозированию производительности узлов трехуровневой АСУ ТП. Первый подход – рассмотрена абстрактная модель работы системы как замкнутой сетевой экспоненциальной модели. Анализ подобных моделей детально проводился в [3,4]. И второй – приведены упрощенные аналитические формулы для оценки производительности критического узла рассматриваемой системы, это для сервера базы данных (серверов приложений). Прогнозирование мощности систем управления устройствами и сбора информации (нижний уровень) определяется входными потоками данных и алгоритмами обработки, решается отдельно для каждой подсистемы (контроллера) и обычно трудней не вызывает. Требования пользовательских приложений (АРМ пользователей) по производительности также легко обеспечиваются современными вычислительными средствами.

Литература

1. Карев А.А., Галактионов В.В., Добрянский В.М. Методы и средства программирования интероперабельных объектов для задач АСУ ТП. Сообщение ОИЯИ Р10-2003-37, Дубна, 2003.
2. Карев А.А., Галактионов В.В., Добрянский В.М. Специфика взаимодействия компонентов в задачах АСУ ТП и методика расширенного применения технологий middleware. Сообщение ОИЯИ Р10-2003-38, Дубна, 2003.
3. Drakopoulos E., Merges M.J. Performance analysis of client-server storage system. IEEE Trans. Comput. 1992. V. 41. № 11. P. 1442-1452.
4. Богуславский Л.Б., Ляхов А.И. Оценка производительности распределенных информационно-вычислительных систем архитектуры “клиент-сервер”. АИТ. 1995. №9. С. 160-186.
5. Богуславский Л.Б., Ляхов А.И. Методы оценки производительности многопроцессорных систем. М.:Наука, 1992.
6. Gunther, N. The Practical Performance Analyst. McGraw-Hill, New York, 1998.
7. Menasce, D., Almeida, V., Dowdy, L. Capacity Planning and Performance Modeling. PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New York, 1994.
8. Tanner, M. Practical Queueing Analysis. McGraw- Hill, London, 1994.

Карев А. А., Добрянский В. М.

P11-2003-79

Оценка производительности автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) трехуровневой архитектуры

Предложены методы оценки производительности трехуровневой архитектуры АСУ ТП как распределенной информационно-вычислительной системы архитектуры «клиент–сервер». Приведена обобщенная структура АСУ ТП. Рассмотрена возможность использования замкнутой сетевой экспоненциальной модели для анализа производительности системы. Представлены простые аналитические выражения для приближенной (до 90 %) оценки производительности мелких и средних автоматизированных информационных систем.

Работа выполнена в Научном центре прикладных исследований ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2003

Перевод авторов

Karev A. A., Dobrianski V. M.

P11-2003-79

Performance Estimation of the Three-Level Control Engineering Architecture

Performance estimation methods of the control engineering three-level architecture as a distributed «client–server» information computing system are proposed. A generalized control engineering structure is defined. A possibility of using the closed network exponential model for analysis of the system's performance is considered. Simple analytic expressions for approximated (up to 90%) performance estimation of small and medium-size automated information systems are presented.

The investigation has been performed at the Scientific Center for Applied Researches, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2003

Редактор *М. И. Зарубина*
Макет *Н. А. Киселевой*

Подписано в печать 15.05.2003.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,62. Уч.-изд. л. 0,85. Тираж 310 экз. Заказ № 53893.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@pds.jinr.ru

www.jinr.ru/publish/