

## Имитационное моделирование технологических процессов распределенной обработки информации в ЛВС

В. И. СЕЛИЦКИЙ

### 1 Введение

Моделированием технологических процессов (ТП) занимались многие исследователи [1, 2]. Анализом вариантов организации вычислительного процесса (ВП) в ЛВС также занимались ряд исследователей [3]. Распределенная обработка информации (РОИ) возникла как естественное развитие использования ЛВС. При этом разработано множество технологий реализации РОИ в ЛВС. Однако в каждом приоритетном случае использования РОИ в ЛВС исследователи вынуждены были полагаться на собственные силы, опыт и особенности использования ЛВС в информационных предприятиях. Поэтому актуальной является разработка методики и средств ее реализации для имитационного моделирования ТП РОИ в ЛВС. В статье исследуется случай, когда к имеющейся на узлах ЛВС рабочей нагрузке (РН) добавляется множество задач РН, решаемых на ЛВС в режиме РОИ. В составе имеющейся РН на узлах ЛВС существуют три режима обслуживания запросов РН на ресурсы узла ЛВС: диалоговые запросы ( $TRD_k$ ), поступающие с интенсивностью  $\lambda_{Dk}$ ; транзитные запросы ( $TRT_k$ ), приходящие на узел ЛВС с интенсивностью  $\lambda_{Tk}$ ; фоновые низкоприоритетные запросы ресурсов ( $TRF_k$ ), с интенсивностью  $\lambda_{Fk}$ , возникающие на  $k$ -ом узле ЛВС в режиме пакетной обработки для тех случаев, когда узел является сервером.

### 2 Формализация РН и ВП на узлах ЛВС

Диалоговые запросы с интенсивностью  $\lambda_{Dk}$  требуют для своего выполнения  $m_{11k}$  квантов  $CPU_k$  длительностью  $\Delta t_{OСk}$  и с вероятностью обмена  $P_{01k}$  используют  $m_{21k}$  квантов  $HDD_k$  той же длительности. Значения параметров РН находятся в «теле» транзакта, имитирующего запросы диалогового пользователя ( $TRD_k$ ), которые описываются с помощью соответствующих функций распределения  $F_{11k}(m_1)$  и  $F_{21k}(m_2)$ . Транзитные запросы узла  $k$  с интенсивностью  $\lambda_{Tk}$  требуют для своего выполнения ресурсов узла ЛВС:  $m_{13k}$  квантов  $CPU_k$  и с вероятностью  $P_{03k}$   $m_{23k}$  квантов  $HDD_k$ . Значения этих параметров также описываются с помощью соответствующих функций распределения  $F_{13k}(m_1)$  и  $F_{23k}(m_2)$ . Фоновые запросы узла  $k$  формируются с вероятностью  $\lambda_{Fk}$  и требуют для своего выполнения:  $m_{14k}$  квантов  $CPU_k$  и с вероятностью  $P_{04k}$   $m_{24k}$  квантов  $HDD_k$ . Значения этих параметров аналогичным образом описываются с помощью функций распределения  $F_{14k}(m_1)$  и  $F_{24k}(m_2)$ .

В режиме РОИ задача  $г$  решается на нескольких узлах ЛВС, поскольку на этих узлах размещены составляющие распределенной базы данных (РБД). При этом запросы  $k$ -го узла ЛВС формируются модулями РОИ, представляющими собой микротехнологические операции ( $MTXO_{ij}$ ). Каждая из этих  $MTXO_{ij}$  использует ресурсы  $CPU_k$  и  $HDD_k$  разных узлов ЛВС. Связи между  $MTXO_{ij}$  представляются с помощью сетевого графика решения  $г$ -ой задачи ( $GRRO_r$ ). При этом  $GRRO_r$  представляет собой вероятностный сетевой график (ВСГР), который исследуется путем комбинации процедуры Монте-Карло и аппарата сетевого планирования [3]. В общем случае параметры  $MTXO_{ij}$  описываются функциями распределения  $CPU_k$  и  $HDD_k$  ( $F_{12k}(m_1)$  и  $F_{22k}(m_2)$ ), а также вероятностью использования  $HDD_k$  ( $P_{02k}$ ). Поэтому в  $l$ -ой реализации процедуры Монте-Карло ( $l \leq N$ ) запрос  $MTXO_{ij}$   $г$ -ой задачи характеризуется тройкой параметров ( $m_{12kl}$ ;  $P_{02k}$ ;  $m_{22kl}$ ). Обычно проектировщикам известны функциональные зависимости запросов  $MTXO_{ijk}$ , которые могут выполняться параллельно-последовательно.

Само решение  $g$ -ой задачи РОИ описывается с помощью ВСГР, состоящим из множества событий  $\{SOB_{ik}\}$ , которые соединены друг с другом с помощью  $MTXO_{ijk}$ , выполняемых в  $k$ -ом узле ЛВС. Каждое  $SOB_{ik}$  характеризуется тройкой статистик их реализации: раннего и позднего сроков свершения событий  $(tp_{ik}; tp_{ik})$ , а также резервом их свершения  $(R_{ik})$ . Поскольку все характеристики статистики  $SOB_{ik}$  являются случайными, то для решения  $g$ -ой задачи РОИ используется процедура Монте-Карло. Согласно этой процедуре, по известной технологии [1] для  $l$ -ой реализации ВСГР определяется критический путь (КПП $_l$ ), представляющий собой последовательность троек  $(SOB_{ir}, MTXO_{ij}, SOB_j)$ , обладающих нулевым резервом. В ходе  $N$  реализаций формируются выборка критического пути  $\{T_{кр/l}\}$  и граф критических путей (GRKPP). Анализ этого графа позволяет найти наиболее вероятностный критический путь решения  $g$ -ой задачи в режиме РОИ и таким образом определить «узкие» места в выполнении этой задачи.

### 3 Имитационная модель РОИ в узлах ЛВС

В качестве инструмента реализации используется программно-технологический комплекс исследования (ПТКИ) ЛВС [5]. ВСГР задачи  $g$  в среде ПТКИ ЛВС представляется состоящим из двух типов процессов: имитатор события  $(PR.SOB_i)$ , имитатор  $MTXO_{ij}$   $(PR.MTXO_{ij})$ . На входе ИМ РОИ имеется генератор информационных транзактов  $(GENRO_k)$ , который с интенсивностью  $\lambda_{ROk}$  активизирует процесс-имитатор исходного события  $(PR.SOB_1)$ , начиная таким образом процедуру Монте-Карло ( $l=1$ ). Далее  $PR.SOB_1$  в  $l$ -ой реализации активизирует столько процессов  $PR.MTXO_{ij}$ , сколько их имеется у  $PR.SOB_1$ . За каждым  $PR.MTXO_{ij}$  закреплен номер  $k$ -го узла, на котором должна быть реализована  $MTXO_{ij}$  и вероятность обмена с  $HDD_k$  ( $P_{02k}$ ). Запоминается момент активизации процесса  $(t_{Aij/k})$ . По функциям распределения  $F_{1jk}(m_1)$  и  $F_{2jk}(m_2)$  формируются значения запросов ресурсов  $CPU_k$  и  $HDD_k$  в  $l$ -ой реализации ВСГР  $(m_{12kl}, P_{02kl}, m_{22kl})$ . По этой информации процесс  $PR.MTXO_{ij}$  формирует управляющий транзакт вида:

$$UTR_{ijkl} = (k, R_2=2, \pi_{k2}, m_{12kl}, P_{02kl}, m_{22kl}), \quad (1)$$

где  $k$  – номер узла ЛВС, на котором реализуется  $MTXO_{ij}$ ;  $R_2$  – тип режима РОИ;  $\pi_{k2}$  – приоритет РН режима РОИ.

$UTR_{ijkl}$  поступает в ИМ узла ЛВС, состав и структура которой изложена в работе [5], через имитатор-коммутатора узла  $k$  ( $COMUT_k$ ) в качестве запроса РОИ на ресурсы узла ЛВС. По окончании выполнения этого запроса  $UTR_{ijkl}$  обратно через  $COMUT_k$  возвращается к процессу  $PR.MTXO_{ij}$ , запоминается момент завершения выполнения этого запроса  $(t_{3ij/k})$ , определяется интервал фактического выполнения  $UTR_{ijkl}$  ( $\tau_{Bjk} = t_{3ij/k} - t_{Aij/k}$ ). Далее с помощью  $UTR_{ijkl}$ , поступающего на один из входов процесса-имитатора события  $(PR.SOB_{jk})$ , фиксируется сам момент поступления  $UTR_{ijkl}$ . В алгоритме  $PR.SOB_{jk}$  определяется момент прихода самого позднего  $UTR_{ijkl}$ , который и будет ранним сроком свершения данного события  $(t_{Pjk})$ , что приводит к срабатыванию «спусковой» функции процесса. На выходах  $PR.SOB_{jk}$  формируются несколько запусков процессов  $PR.MTXO_{ij}$  и весь процесс выполнения  $MTXO_{ij}$  на  $k$ -ых узлах ЛВС повторяется аналогично предыдущему.

Окончание  $l$ -ой реализации ВСГР определяется в момент выполнения имитатором завершающего события  $PR.SOB_n$ . В этот момент фиксируется критическое время выполнения графа РОИ ( $T_{кр/l}$ ) и начинается обратный просмотр выполнения всех событий для определения поздних сроков свершения  $PR.SOB_j$  в  $l$ -ой реализации ВСГР. Поздний срок окончания завершающего события равен раннему сроку ( $t_{Пn/k} = t_{Pn/k}$ ). Далее выполнение  $t_{Пij/k}$  осуществляется согласно известным методикам [4]. Ранее при имитации выполнения  $PR.MTXO_{ij}$  запоминались времена их фактического выполнения в ИМ узла ЛВС ( $\tau_{Bij/k}$ ). При обратном выполнении статистик  $t_{Пn/k}$  и резервов свершения событий  $R_{ilk}$  ведется по формулам:

$$t_{Пlk} = \min \{t_{Пjk} - \tau_{Bij/l}\}; R_{ilk} = t_{Пjk} - \tau_{Pik}. \quad (2)$$

После вычисления статистик реализации всех событий согласно процедуре Монте-Карло они запоминаются в базе данных модели (БДМ). Проверяется момент завершения

процедуры Монте-Карло ( $l=N$ ). Пока  $l < N$  имитация выполнения  $l$ -ой задачи РОИ в узле продолжается аналогично вышеизложенному.

По окончании всех  $N$  реализаций модели РОИ статистики выполнения процессов усредняются по выборкам объема  $N$ . В итоге формируются оценки математического ожидания и дисперсии характеристик выполнения ВСГР:  $(\bar{t}_{pi}, \bar{t}_{pi}, \bar{R}_i)$  для PR.SOB<sub>i</sub>;  $\bar{\tau}_{vj}$  для PR.MTXO<sub>ij</sub>. Граф критических путей (GR.KRP), по которому определяется качество реализации  $l$ -ой задачи РОИ на ЛВС при наличии других режимов обслуживания запросов на ресурсы узла ЛВС, формируется путем наложения  $\{KRP_l\}$ .

Для оценки влияния режима РОИ на динамику выполнения запросов на ресурсы узлов ЛВС определяется статистика загрузки ресурсов CPU<sub>k</sub> и HDD<sub>k</sub> узла  $k$  ЛВС, представляющие собой коэффициенты использования ресурсов CPU<sub>k</sub> и HDD<sub>k</sub>:

$\eta_{C1k}, \eta_{H1k}$  – запросами диалогового режима РН;

$\eta_{C3k}, \eta_{H3k}$  – транзитными запросами;

$\eta_{C4k}, \eta_{H4k}$  – фоновыми задачами;

$\eta_{C2k}, \eta_{H2k}$  – запросами  $l$ -ой задачи в режиме РОИ.

Более подробно со структурой ИМ ВП ЛВС можно ознакомиться в [3].

### Заключение

Сочетание ИМ ВП с ИМ ВСГР позволяет оценить влияние подключения режима РОИ на характеристики использования ресурсов узлов ЛВС при существующем ВП и РН на узлах ЛВС. Поэтому данная технология имитации РОИ является удобным инструментом проектирования ЛВС и выбора состава ресурсов при реализации конкретной РОИ на ЛВС.

**Abstract.** The paper considers simulation modelling of the technological processes of distributed information processing in LANs.

### Литература

1. И. В. Максимей, В. С. Смородин, Е. И. Сукач, Способ моделирования агрегатами технологических процессов опасного производства, Электронное моделирование, **27**, № 6 (2005), 101–109.
2. Е. О. Попова, О методе имитационного моделирования сборочно-разборочного производства, Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины, № 5(32) (2005), 122–124.
3. О. В. Быченко, В. Д. Левчук, И. В. Максимей и др., Имитационное моделирование распределенной обработки информации в локальных вычислительных сетях, Математические машины и системы, № 3 (2004), 132–141.
4. С. И. Жогаль, И. В. Максимей, Задачи и модели исследования операций, Ч. 1. Аналитические модели исследования операций, Уч. пособие, Гомель, БелГУТ, 1991.
5. И. В. Максимей, В. Д. Левчук, Г. И. Терещенко и др., О проблемной модификации программно-технологического комплекса имитации технологических процессов производства, Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины, № 3(18) (2003), 38–41.