

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СЕТЕВОГО СИМУЛЯТОРА ПСС

П.Ю. Шамин, В.В. Прокошев

Владимирский госуниверситет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых

Рассмотрена доработка параллельного сетевого симулятора ПСС, разработанного в ВлГУ, которая обеспечивает переход с фиксированного шага по времени, использовавшегося в исходном варианте симулятора, к переменному, обусловленному частотой наступления событий в модели. Выполненная доработка позволяет более адекватно моделировать некоторые процессы, однако снижает производительность процесса моделирования, поэтому в статье также рассматривается возможный подход к повышению производительности симулятора.

Введение

В ВлГУ на кафедре физики и прикладной математики в ходе выполнения нескольких госбюджетных научно-исследовательских работ был разработан параллельный сетевой симулятор ПСС, позволяющий производить имитационное моделирование различных процессов, связанных с взаимодействием в среде из сети узлов. Причём речь идёт не только о информационных сетях, возможно моделирование сетей любой природы, например, социальных взаимодействий в обществе. На базе ПСС также создан параллельный наносимулятор, позволяющий изучать процессы в наноструктурированной среде (содержащей углеродные нанотрубки).

Симулятор ПСС широко применяется как инструмент имитационного моделирования сотрудниками кафедры в научной работе, в частности, задействован в нескольких НИР. С использованием моделей ПСС, осуществлена защита нескольких кандидатских диссертаций. Кроме того, ПСС активно используется в учебном процессе, в частности, как инструмент для курсового проектирования по дисциплине «Компьютерное моделирование» и дипломного проектирования студентов специальностей «Прикладная математика и информатика», «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем».

Подробнее об устройстве и принципах использования ПСС можно узнать в [1].

1. Принципы функционирования ПСС

Физически параллельный сетевой симулятор ПСС представляет собой распределённое приложение, предназначенное для работы в среде операционной системы Linux с использованием технологии MPI. При запуске симулятора создаётся один управляющий процесс (УП) и несколько (как, минимум, один) моделирующих процессов (МП). Модель сети, представленная в виде определённой иерархии объектов, разбивается на сегменты, каждый из которых поддерживается своим МП. Взаимодействие между узлами моделируемой сети в ПСС осуществляется путём передачи объектов «пакет данных». Логика модели реализуется путём вызова на каждом шаге для каждого узла моделируемой сети модулей расширения, которые пользователь пишет в соответствии со своей задачей. Модули расширения физически представляют собой динамические библиотеки Linux и могут: порождать новые пакеты, обрабатывать и перенаправлять пакеты, поступившие на узел, и собирать статистику работы. Отсчёт модельного времени

осуществляется циклами. Доставка пакетов данных в моделируемой сети осуществляется по различным алгоритмам в зависимости от того, требуется ли выполнить доставку пакета узлу, моделируемому тем же МП (локальная доставка) или другим МП (удалённая доставка). Локальная доставка производится копированием объекта «пакет данных» из буфера исходящих пакетов объекта узла-отправителя в буфер входящих пакетов узла-получателя. Удалённая доставка выполняется путём передачи MPI сообщения в адрес МП, которым поддерживается узел-получатель. Логика основного цикла работы МП ПСС приведена на рис. 1. Синхронизация модельного времени на всех МП осуществляется естественным образом процедурой удалённой доставки.



Рис. 1. Основной цикл работы МП ПСС

Следует отметить, что УП в ходе основного цикла работы ПСС используется только для ведения файла-журнала и досрочного принудительного завершения процесса моделирования. Основные свои функции он выполняет до начала моделирования (за-

грузка и передача конфигурационной информации) и после его завершения (агрегация и сохранение результатов моделирования).

2. Описание задачи

Как можно заметить из приведённого описания, изменение модельного времени в ПСС происходит с дискретным шагом фиксированного размера, равным единице. Это не всегда удобно, а иногда и вовсе неприемлемо. Кроме того, передача пакетов от узла к узлу считается происходящей всегда за один шаг, то есть пакет, переданный на текущем шаге, в начале следующего оказывается на узле-получателе.

С учётом сказанного выше, при модернизации ПСС ставились следующие задачи.

- Введение переменного шага по времени, приращение которого определяется временем наступления ближайшего события в модели.
- Реализация возможности задержки доставки отправленного пакета узлу-получателю до указанного момента времени.

Кроме того, поскольку модельное время в рамках всей модели должно быть синхронизировано, возникает задача о выборе «следующего» момента модельного времени, единого для всех МП. Данная процедура наиболее естественно организуется с использованием УП в качестве своеобразного «арбитра».

3. Описание решения

С целью решения данной задачи, логика работы ПСС была существенно переработана. Так, например, в исходной версии каждый узел моделируемой сети имел два буфера – для входящих и исходящих пакетов. Для реализации возможности доставки пакетов за произвольное время потребовалось дополнительно оснастить каждый узел буфером пакетов, находящихся в процессе доставки данному узлу, но ещё не поступивших на него. Для определения момента фактического поступления, каждый объект пакета был дополнен полем метки времени, в которое он должен достигнуть адресата. Типичная цепочка перемещений пакета приведена на рис. 2.

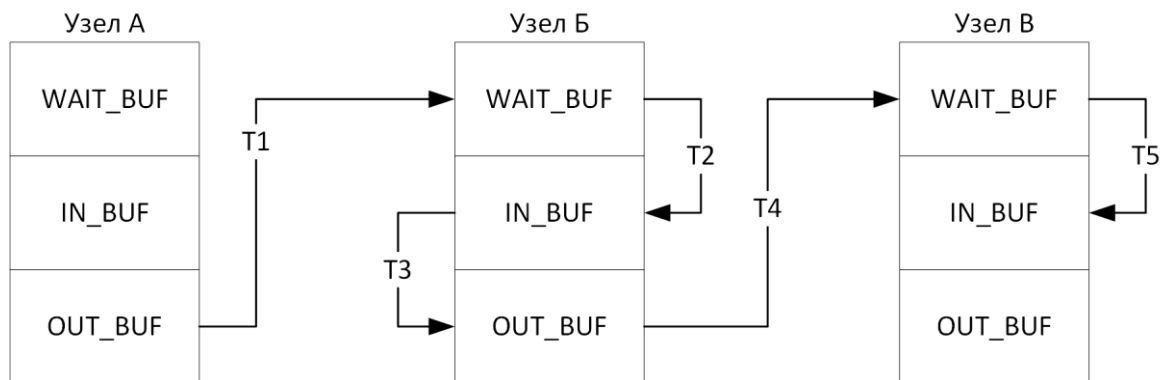


Рис. 2. Типовой порядок перемещения пакета в модернизированной версии ПСС

На рис. 2 представлены три узла – А, Б, В (в реальности цепочка может иметь произвольную длину, пока не истечёт время жизни пакета – TTL). Процесс обработки пакета происходит следующим образом:

- Пакет порождается в некоторый момент времени T_1 одним из модулей расширения ПСС и помещается в буфер исходящих пакетов (OUT_BUF) узла-отправителя А.
- Ядро ПСС перемещает пакет в буфер транспортируемых пакетов (WAIT_BUF) узла-получателя Б с прибавлением некоторого времени к метке времени следующей обработки пакета, что позволяет смоделировать задержку при передаче (новая метка времени пакета – T_2).

- При наступлении момента времени T2 пакет помещается в буфер входящих пакетов узла Б. Предположим, что узел Б должен ретранслировать пакет. Тогда один из модулей расширения ПСС, отвечающий за маршрутизацию, устанавливает для пакета метку времени T3, имитируя затрату времени на его обработку, и помещает его в буфер исходящих пакетов узла Б.
- При наступлении момента времени T3 ядро ПСС перемещает пакет из буфера исходящих пакетов узла Б в буфер ожидания узла В. Пакет вновь получает увеличенную метку времени (новое значение T4), чтобы имитировать затрату времени на транспортировку.
- Наконец в момент времени T4 пакет попадает в буфер входящих пакетов узла В, где один из модулей расширения ПСС обнаруживает, что узел В является окончательным узлом-получателем, обрабатывает содержимое пакета и уничтожает его. Время уничтожения фиксируется как T5, с учётом имитируемых затрат времени на обработку пакета.

Другой проблемой явился единый отсчёт модельного времени. Данная задача была решена следующим образом:

- Выполнив все операции по моделированию для текущего момента модельного времени, каждый МП определяет следующий момент модельного времени, в который у него должно произойти следующее событие (событием в модели является наступление времени обработки какого-либо пакета).
- Каждый МП пересылает свой «локальный» ближайший момент времени УП.
- Получив «локальные» ближайшие моменты времени от всех МП, УП выбирает из них «глобальный» ближайший момент в пределах всей модели и рассылает его каждому МП.
- МП осуществляют обработку всех пакетов, которые должны быть обработаны, в новый текущий момент времени (в случае если таковые есть в сегменте сети, моделируемом данным МП).
- Цикл повторяется до установки флага завершения моделирования, принудительного прерывания процесса моделирования или наступления некоторого (определённого параметрами настройки ПСС) момента модельного времени.

С учётом описанной логики изменения модельного времени, основной цикл работы МП ПСС приобрёл вид, приведённый на рис. 3.

4. Дальнейшие работы по проекту

Выполненная доработка позволила существенно повысить функциональность ПСС за счёт более гибкого управления модельным временем и возможности учёта различных расходов времени на обработку и транспортировку пакетов. Однако при неудачном стечении обстоятельств возможно существенное снижение производительности (много моментов времени, когда один МП работает, остальные простаивают). Возможным решением проблемы было бы внедрение оптимистического алгоритма управления модельным временем вместо консервативного. В этом случае каждый МП обрабатывал бы пакеты для своего ближайшего момента времени, а при возникновении коллизий (имеются пакеты, предназначенные данному МП, но с меткой времени в прошлом), осуществлялся бы откат изменений до данной метки времени и повторный расчёт. Поскольку преимущество в производительности зависит от частоты «откатов», а реализация подхода требует значительного расхода оперативной памяти, данный подход требует дополнительной проработки и экспериментальной оценки его эффективности.



Рис. 3. Основной цикл работы МП ПСС после модернизации

Работа выполнена в рамках НИР по госзаданию «Наука» (регистрационный номер: 8.3534.2011 от 23.11.2011).

Литература

1. Шамин, П.Ю. Параллельный сетевой симулятор: концепция и перспективы развития / П.Ю. Шамин, А.С. Алексанян, В.В. Прокошев // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – СПб., 2009. – № 3. – С. 18–24.