

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОБЩЕЙ ТАЙМЕРНОЙ СИСТЕМЫ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ИФВЭ¹

В. А. Коковин

1. Введение

Разработка и создание систем таймирования больших ускорительных комплексов, каким является ускорительный комплекс ИФВЭ, является сложной и достаточно дорогостоящей задачей. Применение моделирования при разработке таких систем, в частности, имитационного моделирования, дает возможность существенно сэкономить ресурсы. Метод имитационного моделирования позволяет решать задачи анализа больших распределенных систем, включая задачи оценки вариантов структуры системы, эффективности различных алгоритмов управления системой, влияния изменения различных параметров системы [1].

Разрабатываемая общая таймерная система (ОТС) предназначена для генерации и распределения между контроллерами оборудования таймерной информации, необходимой для выполнения задач контроля и управления в рамках системы управления ускорительного комплекса ИФВЭ [2]. Основными требованиями к ОТС являются открытость архитектуры и минимальное время доставки таймерной информации. Имитационная модель позволяет оценить эффективность работы распределенной ОТС при изменении её структуры, интенсивности входных таймерных сообщений (ТС) и времени их доставки потребителю.

Целью построения имитационной модели ОТС является возможность исследования работы ОТС по следующим направлениям:

- определение предельной пропускной способности ОТС при заданном числе узлов коммутации, максимальной интенсивности ТС и фиксированном времени обработки ТС в каждом узле;
- определение максимального количества узлов коммутации (возможность наращивания структурных единиц системы) при фиксированном числе входных таймерных событий;
- исследование времени задержки ТС в узлах коммутации при различной интенсивности входных таймерных событий.

2. Формализация структурных компонентов ОТС

Программа исследований, намеченных в предыдущем параграфе, подпадает под класс задач, связанных с работой систем массового обслуживания (СМО). К основным признакам СМО относятся следующие:

- наличие входного потока заявок или требований;
- наличие каналов обслуживания заявок (одного или нескольких);
- наличие накопителей заявок в каналах обслуживания.

Работа любой СМО заключается в выполнении поступающего на неё потока требований или заявок. Заявки поступают одна за другой в некоторые случайные моменты времени. Обработка поступившей заявки в канале обслуживания продолжается какое-то время (как правило, случайное), после чего канал освобождается и готов принять новую заявку.

Генераторы таймерных сообщений (ГТС), являющиеся основными компонентами ОТС, имеют в своем составе узлы коммутации и программируемую память [2] и,

¹ Институт физики высоких энергий.

таким образом, содержат все признаки системы массового обслуживания. В качестве заявок выступают таймерные сообщения, а каналами обслуживания являются узлы коммутации сообщений, накапливающие ТС в буферной памяти.

ГТС включает в себя следующие функциональные блоки:

- память, в которую можно записать ТС между циклами ускорителя и которая является источником программируемых ТС;
- контроллер таймерной сети (КТС), который обрабатывает и распределяет входную таймерную информацию между глобальной и локальной магистралями, содержит буферную память (накопитель типа FIFO) и является узлом коммутации ТС [3];
- преобразователи двоичного параллельного кода в последовательный код Manchester-II.

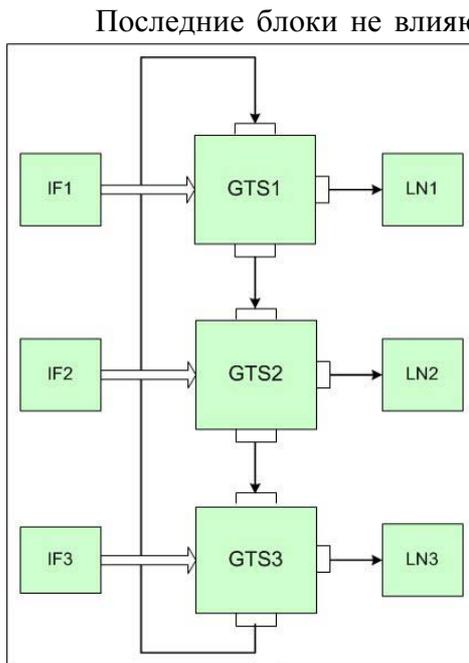


Рис. 1. Структурная схема модели ОТС

Последние блоки не влияют на алгоритм работы обслуживания таймерных сообщений и имеют фиксированное время преобразования, поэтому эти блоки в разрабатываемой модели учитываются как блоки фиксированной задержки. На рис.1 представлена структурная схема модели ОТС с тремя узлами (GTS), выполненной с помощью пакета AnyLogic, версия 5.2. AnyLogic представляет собой мощный инструмент имитационного моделирования, предлагающий богатые возможности описания структуры, поведения и данных моделируемой системы [4]. Пакет AnyLogic содержит обширную библиотеку стандартных объектов, таких, как очереди, задержки, конвейеры и т.д. Кроме того, пользователь может создавать собственные объекты, добавляя в библиотеку. Пакет поддерживает вложенные объекты, что позволяет сравнительно просто организовать иерархию модели. Структура модели полностью повторяет структуру объекта моделирования.

Модель содержит три активных объекта (генераторы ТС – GTS1,GTS2,GTS3), связанных между собой кольцевой глобальной магистралью. Каждый узел имеет:

• вход транзитных ТС от предыдущего генератора и вход внешнего потока ТС, связанный с соответствующим блоком IF;

• выход транзитных ТС на последующий генератор и выход на локальную радиальную магистраль LN.

Внешние потоки ТС задаются с помощью объекта Source (элементы IF1, IF2, IF3), из библиотеки пакета AnyLogic, который является источником ТС и задает:

- максимальное число генерируемых сообщений за один прогон модели;
- интервалы генерируемых сообщений, которые могут подчиняться закону распределения, либо определяться расписанием;
- каждый из источников ТС посылает сообщения со своим кодом, для того, чтобы после возврата по кольцевой магистрали модели можно было исключить из оборота эти сообщения.

В процессе опытной эксплуатации первого сегмента ОТС на ускорительном комплексе были получены экспериментальные данные распределения входных таймерных событий, поступающих на узлы ОТС в виде таймерных импульсов [2]. Эти данные

фиксируются регистраторами таймерных сообщений, встроенными в КТС. Интервалы поступления таймерных событий носят переменный характер и в общем случае являются случайными величинами. По экспериментальным данным рассчитаны временные ряды, построена гистограмма распределения и определён закон распределения входного потока модели, имитирующего внешние таймерные события. Для оценки согласованности теоретического и экспериментального распределения использован метод χ^2 . Полученный закон распределения может приписываться объектам IF1, IF2 и IF3 модели.

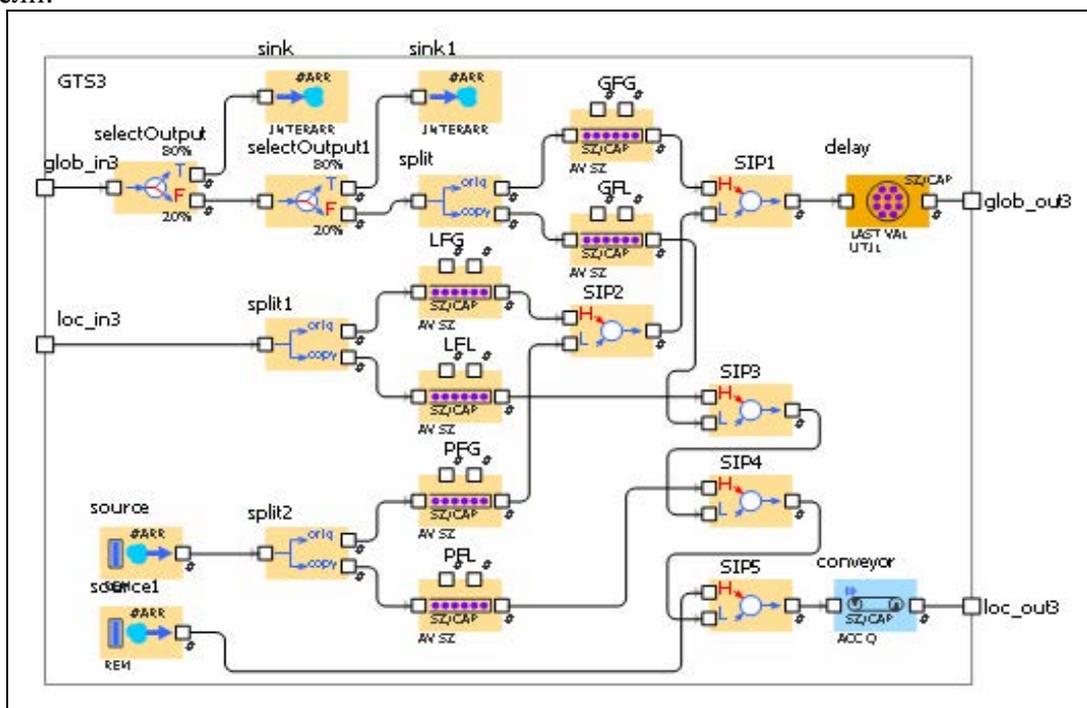


Рис. 2. Структурная схема модели GTS

На рис. 2 представлена структурная схема одного из активных объектов модели GTS3. Большое разнообразие библиотечных объектов позволяет полностью смоделировать работу генератора таймерных сообщений. Алгоритм ГТС задается следующими объектами:

- Source – источник программируемых сообщений (source1 задает импульсы);
- Sink – уничтожает «свои» сообщения, вернувшиеся по глобальной магистрали;
- Split – задаёт копии сообщений для локальной и глобальной магистралей;
- SelectInputPriority – соединяет сообщения, пришедшие из разных источников, согласно заданному приоритету [3];
- SelectOutput – принимает сообщения из глобальной магистрали, а затем сортирует, в зависимости от заданного условия («свои» - уничтожить, «чужие» - пропустить);
- Queue – моделирует FIFO (блоки GPG, GPL, LFG, LFL, PFG, PFL);
- Delay – задерживает сообщения на фиксированное время T_G ;
- Conveyor – моделирует конвейер, задавая такт выдачи сообщений в локальную сеть.

3. Эксперименты

Пакет моделирования AnyLogic позволяет проводить с моделью как простые эксперименты, так и эксперименты с варьируемыми параметрами [4]. Примем в качестве основного показателя эффективности работы системы допустимое время доставки таймерного сообщения (T_S). Это время складывается из времени передачи по глобальной магистрали (T_G) и времени обработки в каждом узле GTS (T_{GTS}) при направлении ТС в радиальную магистраль. Таким образом, суммарное время доставки любого ТС складывается из двух составляющих:

$$T_S = (N - 1) * T_G + T_{GTS}, \quad (1)$$

где $N = 1, 2, 3, \dots, k$ – число узлов глобальной магистрали, через которые проходит маршрут сообщения. При транспортировке по глобальной магистрали ТС присвоен наивысший приоритет, поэтому величина T_G является фиксированной и определяется аппаратным протоколом стандарта MIL1553. При увеличении интенсивности λ потока ТС в блоках GTS возникают очереди, буферная память объектов Queue начинает заполняться, и, соответственно, начинает увеличиваться время T_{GTS} . В общем виде

$$T_{GTS} = m * T_{обсл.}, \quad (2)$$

где $T_{обсл.}$ – фиксированное время, определяемое только аппаратными возможностями канала обслуживания, а m – глубина буферной памяти объектов Queue.

Для оценки допустимых значений T_S , соответствующих эффективной работе ОТС, воспользуемся выражениями и экспериментальными данными, приведенными в работе [3]. Введём обозначения: $P_{ном.}$ – вероятность потерь, Q – относительная пропускная способность канала обслуживания, ρ – коэффициент загрузки канала обслуживания, определяемый выражением $\rho = \lambda T_{обсл.}$. Тогда получаем:

$$P_{ном.} = \rho^{m+1} (1 - \rho) / (1 - \rho^{m+2}); \quad (3)$$

$$Q = 1 - P_{ном.} = \rho^{m+1} (1 - \rho) / (1 - \rho^{m+2}). \quad (4)$$

Из выражений (3) и (4) следует, что при увеличении глубины буферной памяти m уменьшается вероятность потерь и увеличивается относительная пропускная способность. Однако увеличение параметра m приводит к увеличению T_{GTS} (при максимальном заполнении буферной памяти), что снижает достоверность ТС. Исходя из требований к ОТС со стороны технологического оборудования ускорительного комплекса и физической пропускной способности магистралей, общее время доставки T_S не должно превышать времени, соответствующего обработке 8 ТС ($m \leq 8$). Кроме того, экспериментально установлена величина соотношения параметров $T_{обсл.} / T_G \approx 3$. Тогда выражение (1) можно переписать как:

$$T_S = (N - 1) * (T_{обсл.} / 3) + m T_{обсл.} \leq 8 T_{обсл.} \quad (5)$$

Условие соблюдения этого неравенства используется при прогоне моделей как показатель эффективности работы системы, а переменные N и m как параметры, изменяемые во время эксперимента и отличные от нуля. Упростив выражение (5), получим:

$$N + 3m \leq 25 \quad (6)$$

Из выражения (6) видно, что когда нет доставки ТС по глобальной магистрали ($N=1$), допустимая глубина буферной памяти не должна превышать 8.

Общие исходные данные для всех экспериментов:

- время прогона модели – 100 единиц модельного времени;
- шаг по времени – 0,01;
- случайное начальное число (для уникального эксперимента);
- блоки IF1,IF2,...k генерируют сообщения, заданные экспоненциальным распределением или по расписанию;
- число сообщений, генерируемых каждым из IF1,IF2,..., k за прогон модели, не должно превышать 16 (это соответствует конфигурации реального ГТС);
- интенсивность сообщений, заданная по умолчанию: потоки по глобальной сети – 2,56 С/м.е.(сообщений за модельную единицу времени); потоки от источников IF – 0,8 С/м.е.; суммарный поток от программируемой памяти всех GTS – 20,4 С/м.е. [3];
- число прогонов в каждом эксперименте – 10.

Эксперимент 1: прогон модели с увеличенным числом GTS.

Условия прогона: интенсивность сообщений задана по умолчанию; $N=10$ (это число узлов в три раза превышает предполагаемое число ГТС в реальной ОТС); закон распределения сообщений – экспоненциальный.

Результаты: глубина заполнения памяти объектов GPG, GPL, LFG, LFL, PFG, PFL не превышала 2 ($m = 2$), что, согласно выражению (6), соответствует эффективной работе модели.

Эксперимент 2: прогон модели с увеличенной интенсивностью сообщений.

Условия прогона: интенсивность сообщений увеличена в 50 раз, по сравнению с заданной по умолчанию; $N=3$; сообщения задаются экспоненциальным законом распределения или по расписанию.

Результаты: максимальное значение $m = 3$, что соответствует эффективной работе модели.

Эксперимент 3: прогон модели с увеличенной интенсивностью ТС и числом GTS.

Условия прогона: интенсивность сообщений как в эксперименте 2; $N=10$; закон распределения сообщений – экспоненциальный.

Результаты: максимальное значение $m = 5$, что соответствует эффективной работе модели.

4. Заключение

Использование имитационного моделирования в задаче оценки вариантов структуры распределенной таймерной системы ускорителя и влияния изменения различных параметров при заданных показателях работы представляет собой эффективный метод исследования системы. Проведенные эксперименты на модели позволяют с большой достоверностью спрогнозировать успешную работу реальной ОТС как при проектной конфигурации и существующих условиях, так и при значительном увеличении числа узлов системы и интенсивности таймерных сообщений. Разработанная модель применима и в случае замены физической среды распространения ТС (витая пара на оптоволокно) без корректировки структуры модели.

Литература

1. **Советов Б.Я., Яковлев С.А.** Моделирование систем, – М.: Высшая школа, 1998.
2. **Комаров В.В.** Базовые принципы построения общей таймерной системы ускорительного комплекса У-70//Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ. – 2005. – №5.
3. **Коковин В.А., Комаров В.В.** Контроллер таймерной сети общей таймерной системы ускорительного комплекса ИФВЭ//Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ. – 2005 – №6.
4. <http://www.xjtek.ru/anylogic/modeling-levels/>