

**СТЕНД ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ
ВСТРОЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

**В. Балашов, А. Бахмуrow, Д. Волканов,
Р. Смелянский, М. Чистолинов, Н. Ющенко
(Москва)**

Введение

Современные бортовые встроенные системы реального времени (ВС РВ) представляют собой многомашинные вычислительные комплексы. Количество каналов связи между приборами в составе ВС РВ достигает нескольких десятков. На этапе комплексирования ВС РВ возникает ряд задач, требующих инструментальной поддержки, в том числе:

- проверка соответствия приборов ВС РВ требованиям технического задания, в том числе в части приёма и передачи данных по внешним интерфейсам;
- отработка взаимодействия между приборами ВС РВ по бортовым каналам передачи данных;
- комплексное тестирование и отладка ПО ВС РВ, в том числе ПО, выполняемого распределённо на различных приборах;
- оценка надёжности архитектуры ВС РВ, в том числе наличия резерва пропускной способности каналов передачи данных и устойчивость аппаратно-программных средств ВС РВ к сбоям при передаче данных;
- построение расписаний обмена данными по бортовым каналам, а также проверка правильности отработки этого расписания приборами в составе ВС РВ.

Разработка приборов, входящих в состав ВС РВ, на практике происходит распределённо и выполняется различными организациями. Готовность различных приборов к комплексированию наступает в разные моменты времени. Для соблюдения сроков комплексирования ВС РВ необходимо начинать работы по комплексированию с неполным комплектом доступных приборов. В данной работе описаны программно-аппаратные средства (стенд) полунатурного моделирования бортовых ВС РВ, позволяющие осуществлять комплексирование ВС РВ и решать перечисленные выше задачи 1–5 поэтапно, расширяя состав стыкуемых приборов по мере их готовности в виде натуральных образцов.

Стенд разработан в лаборатории вычислительных комплексов (ЛВК) факультета ВМК МГУ [1]. Особенностью стенда является возможность сравнительной оценки архитектур ВС РВ при помощи моделирования на ранних этапах разработки ВС РВ, что отличает стенд от существующих решений, в частности, от описанного в работе [2].

Структура работы

Работа состоит из трёх частей. В первой части приводятся основные задачи стенда полунатурного моделирования. Затем приводится раздел с описанием структуры аппаратных и программных средств стенда. Также в этом разделе приводятся несколько особенностей стенда. В заключительной части приводится список задач, решаемых стендом полунатурного моделирования.

1. Задачи стенда полунатурного моделирования

Основными задачами стенда полунатурного моделирования (ПНМ) являются:

- проведение исследований и оценка технических решений в области структуры ВС РВ, характеристик приборов и их программного обеспечения;
- комплексная отработка оборудования при решении задач информационного взаимодействия и прикладных задач ВС РВ;
- проверка работоспособности аппаратуры, в т.ч. проверка соответствия функционирования приборов и каналов передачи данных требованиям технического задания.

Основными методами исследования ВС РВ в стенде ПНМ являются имитационное и полунатурное моделирование. В зависимости от степени готовности приборов ВС РВ, в составе стенда могут использоваться полностью программные модели всех приборов, либо комплекс из натуральных образцов приборов и программных моделей приборов, собранных в единый стенд и сопряжённых через аппаратные каналы бортовых интерфейсов.

Также может варьироваться уровень детальности моделирования – от так называемых "интервальных" моделей, которые отрабатывают заданные циклограммы обменов, не выполняя вычисление передаваемых прибором данных, до полных функциональных моделей, эквивалентных реальным приборам по составу и значениям выдаваемых в бортовые каналы данных и включающих в свой состав реальное ПО приборов.

Средства разработки моделей, входящие в стенд ПНМ, позволяют быстро создавать модели, имитирующие "окружение" отлаживаемого прибора и взаимодействующие с ним через аппаратные каналы передачи данных.

2. Структура программных и аппаратных средств стенда

ПО стенда ПНМ включает в себя набор программных инструментов, обеспечивающих решение следующих задач, связанных с моделированием:

- создание имитационных моделей приборов ВС РВ, а также вспомогательных моделей (например, модели внешней среды);
- организация взаимодействия моделей, выполнения набора моделей, их взаимодействия с аппаратурой в модельном и в реальном времени по бортовым каналам с возможностью внесения отказов в каналы;
- управление процессом моделирования в диалоговом режиме, либо выполнение автономного эксперимента без участия оператора;
- оперативное отображение результатов моделирования в графическом и табличном виде;
- регистрация и обработка результатов моделирования, в том числе взаимодействие с аппаратными мониторами каналов передачи данных.

ПО стенда функционирует под управлением ОС Debian GNU/Linux. Оборудование стенда ПНМ включает в себя следующие компоненты (рис. 1):

- инструментальные машины частных моделей (ИМ ЧМ);
- инструментальные машины-регистраторы обмена по бортовым каналам передачи данных (ИМ-регистраторы);
- машины АРМ инженера-экспериментатора;
- натурные приборы из состава ВС РВ;
- натурные каналы информационного обмена, к которым подключены приборы, ИМ ЧМ и ИМ-регистраторы.

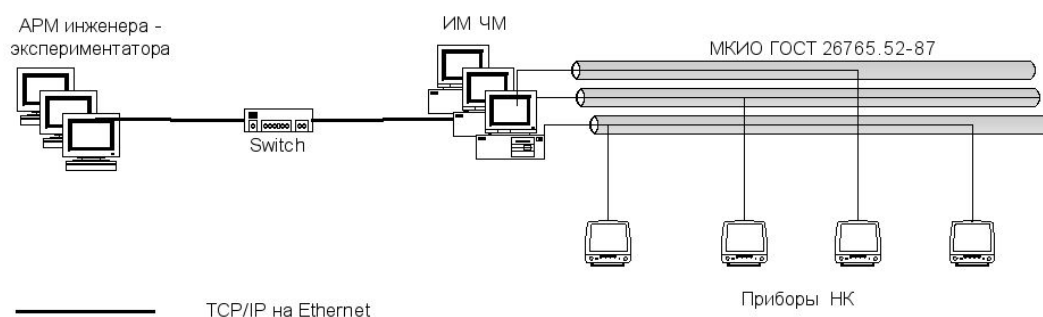


Рис. 1. Структура стенда ПНМ

Инструментальные машины и АРМ представляют собой персональные компьютеры, объединённые сетью Ethernet. На ИМ ЧМ осуществляется имитационное моделирование приборов с помощью разработанных исследователем моделей. При моделировании соблюдается соответствие модельного и реального (астрономического) времени с погрешностью порядка 0,0001 секунды. Указанная точность обеспечивается применением на ИМ ЧМ специализированных расширений реального времени для ядра ОС Linux, входящих в среду выполнения моделей [1]. В состав ИМ ЧМ входят адаптеры бортовых каналов передачи данных (поддерживаются стандарты МКИО (ГОСТ Р 52070-2003) [3], ARINC-429 (ГОСТ 18977-79, РТМ 1495-75), частично поддерживается стандарт Fibre Channel. При помощи этих адаптеров модели устройств ВС РВ осуществляют обмен по каналам в реальном времени, полностью или в заданной части имитируя работу реальных устройств. Необходимо отметить, что на канале МКИО модель устройства может выполнять роль контроллера канала, что обеспечивает возможность комплексирования подмножества устройств ВС РВ, не включающего устройство-контроллер канала.

Реализованная в стенде функциональность взаимодействия моделей устройств ВС РВ и натуральных устройств в реальном времени позволяет обеспечить пошаговое комплексирование ВС РВ с поэтапной заменой программных моделей устройств на натурные устройства. Таким образом, комплексное тестирование и отработка взаимодействия могут выполняться на произвольном сочетании натуральных и моделируемых устройств.

ИМ-регистраторы осуществляют мониторинг информационного обмена по бортовым каналам и запись протоколов регистрации на жёсткий диск для последующего анализа. При выполнении эксперимента на всех инструментальных машинах поддерживается единый отсчёт времени, расхождение счётчиков времени на разных машинах не превышает 0,00001 секунды. Для генерации строго одновременных событий в целях синхронизации времени применяется специализированный протокол, использующий соединение LPT-портов ИМ ЧМ и ИМ-регистраторов. Периодически одна из ИМ ЧМ (мастер синхронизации времени) посылает сигнал через

свой порт LPT. Остальные машины принимают сигнал и фиксируют одновременное событие. Регистрация событий в моделях (на ИМ ЧМ) и регистрация обмена по каналам (на ИМ-регистраторах) выполняется в едином времени, что позволяет с высокой точностью отображать на единой оси времени события на разных каналах и в разных моделях.

Средства АРМ инженера-экспериментатора обеспечивают решение следующих задач:

- разработка моделей с поддержкой управления версиями моделей;

- настройка эксперимента, в т.ч. распределение моделей по инструментальным машинам и настройка регистрации по каналам;
- управление экспериментом с поддержкой оперативного изменения значений параметров моделей с консоли оператора;
- оперативное наблюдение за ходом эксперимента, включая отображение значений параметров моделей и отображение результатов регистрации;
- анализ результатов эксперимента, в том числе трасс значений параметров моделей, трасс событий в моделях и каналах.

Для разработки моделей используется специализированный язык описания моделей, представляющий собой подмножество языка Си, расширенное средствами привязки работы модели к реальному времени и средствами организации межмодельного взаимодействия.

При проведении длительных экспериментов, если не предпринимать специальных мер для ускорения эксперимента, процесс моделирования займет столько же времени, сколько и работа реального комплекса. Зачастую нет необходимости запускать модель с соотношением модельного времени к физическому 1:1. В то же время при запуске модели с ускорением зачастую необходимо оперативно отслеживать изменения параметров. Поэтому в стенде существует возможность запуска эксперимента в ускоренном режиме с оперативным отображением результатов. Помимо ускоренного режима существуют случаи, когда модель необходимо запускать в замедленном режиме, например, если мы хотим отследить изменения многих параметров в течение заданного интервала времени. Для этого существует возможность запуска эксперимента в замедленном режиме.

При функционировании ВС морского НК в аппаратных каналах МКИО возможно возникновение различных ошибок. Логика обработки этих ошибок является существенной частью СПО приборов морского НК, управляющих обменом по каналам МКИО. Существует технология внесения ошибок в программную модель [6]. В стенд встроены средства для внесения ошибок в программную модель канала МКИО. Внесение ошибок происходит либо в «пакетном» режиме, либо исследователем в интерактивном режиме во время выполнения эксперимента.

В программной модели МКИО поддерживаются следующие типы ошибок: обрыв канала, генерация в канале, ошибка четности, неверная пауза перед ответным словом, нарушена непрерывность сообщения, число информационных слов больше заданного, неверный адрес ОУ, неверный тип синхроимпульса, ошибка контроля при передаче. Эти типы ошибок описаны в [3].

3. Выводы

В данной работе представлен стенд полунатурного моделирования, разработанный в лаборатории вычислительных комплексов факультета ВМК МГУ. Средствами стенда решаются задачи пошагового комплексирования бортовых ВС РВ с применением технологии полунатурного моделирования, а также задачи сравнительной оценки архитектур ВС РВ на ранних этапах разработки. Стенд применяется в промышленности при разработке бортовых ВС РВ.

Средства моделирования в составе стенда ПНМ поддерживают создание полностью программной модели ВС РВ. В состав среды моделирования входят модели бортовых каналов передачи данных, которые позволяют выполнять моделирование без задействования аппаратных каналов. В состав моделей приборов ВС РВ может быть включено натурное ПО этих приборов.

Средства стенда ПНМ позволяют решать следующие задачи оценки архитектуры ВС РВ:

- оценка резерва пропускной способности каналов передачи данных посредством моделирования обмена по каналу в соответствии с реальным расписанием обмена;[4,5]
- исследование устойчивости информационного обмена к помехам на канале за счёт задействования функциональности модели канала по имитации отказов на канале (искажение разрядов в сообщениях, потеря сообщений и т.п.);
- оценка загрузки центральных процессоров приборов-вычислителей в составе ВС РВ;
- оценка отказоустойчивости ВС РВ с применением метода анализа механизмов отказоустойчивости, основанного на имитационном моделировании [6].

Литература

1. **Грибов Д. И., Смелянский Р. Л.** Комплексное моделирование бортового оборудования летательного аппарата // Методы средства обработки информации. Труды второй Всероссийской научной конференции. М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2005. С. 59–74.
2. M.P.A.M. Brouwer, et al., Developments in Test and Verification Equipment for Spacecraft. Technical report NLR-TP-2000-658, National Aerospace Laboratory, Netherlands, 2000.
3. ГОСТ Р 52070-2003. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей.
4. **Balashov V. V., Kostenko V. A., Smeliansky R. L., Vavinov S. V.** A Tool System for Automatic Scheduling of Data Exchange in Real-Time Distributed Embedded Systems. Proc. of the 7th IEEE International Symposium on Computer Networks (ISCN'06), Istanbul, Turkey, 2006.
5. **Balashov V. V., Kostenko V. A., Smeliansky R. L.** A Tool System for Automatic Scheduling of Data Exchange in Real-Time Distributed Avionics Systems. Proc. of the 2nd EUCASS European Conference for Aerospace Sciences, Brussels, Belgium, 2007.
6. **Волканов Д. Ю.** Использование имитационного моделирования для оценки надежности распределенных вычислительных систем // Труды Всероссийской научной конференции "Методы и средства обработки информации" (1 октября – 3 октября 2003 г. Москва). М.: МГУ, 2003. С. 343–348.