

**И.В. Сиротинин, С.В. Завадский**

## **ВЫСОКОУРОВНЕВОЕ МАКЕТИРОВАНИЕ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ**

*Сиротинин Игорь Васильевич, начальник отдела ОАО «НПО «Импульс». Окончил Санкт-Петербургский государственный университет. Область научных интересов: решение задач макетирования и тестирования программно-аппаратного обеспечения при разработке встраиваемых систем управления и обработки сигналов с использованием высокотехнологичных диагностических комплексов и современных языков и сред программирования. [e-mail: serg128@pochta.ru].*

*Завадский Сергей Вячеславович, кандидат физико-математических наук, инженер 1 категории ОАО «НПО «Импульс». Окончил Санкт-Петербургский государственный университет. Область научных интересов: решение задач макетирования и тестирования программно-аппаратного обеспечения при разработке встраиваемых систем управления и обработки сигналов с использованием высокотехнологичных диагностических комплексов и современных языков и сред программирования. [e-mail: serg128@pochta.ru].*

### **Аннотация**

В работе рассматривается подход к организации процессов макетирования, верификации качества и тестирования встраиваемых систем и интегрированного алгоритмического и программного обеспечения. Рассматриваются цели и критерии, актуальные при создании узлов и систем объектов критической инфраструктуры на отечественной элементной базе. Предложена методология макетирования и тестирования разрабатываемой аппаратуры, реализованная на основе современного высокотехнологичного измерительного диагностического комплекса с использованием современных визуальных сред программирования.

Ключевые слова: встраиваемые системы, обработка сигналов, макетирование, тестирование, верификация качества, передача данных, критическая инфраструктура.

### **Введение**

Важной задачей при разработке встраиваемых систем и интегрированного программного обеспечения (ПО) является достижение целей процесса верификации качества, особенно при создании узлов и систем объектов критической инфраструктуры. Часто в данной области требуется разработка и поставка ответственного ПО на отечественной элементной базе. Нередко при разработке программно-аппаратных систем наращивание функционала идет итеративно,

задачи верификации качества при этом ставятся на каждой итерации. Известно, что стоимость внесения изменений в сложную систему растет экспоненциально [1], поэтому правильная организация процесса макетирования и тестирования позволяет значительно снизить время и стоимость разработки и является необходимым условием успешного выпуска программно-аппаратного комплекса, его развертывания и дальнейшей поддержки.

Процесс верификации качества должен идти на всех стадиях конструирования и разработки, начиная от стадии проектирования архитектуры и выбора алгоритмов и заканчивая стадиями прототипирования опытного образца и автоматизированного контроля качества выпускаемых серийных изделий.

Основными критериями, отвечающими за соответствие аппаратуры обработки сигналов требованиям к качеству изделий, являются: правильная логика поведения изделия, масштабируемость решения, низкая вероятность отказов, обеспечение заданных параметров помехоустойчивости и заданного времени отклика системы.

В качестве платформы макетирования выбран измерительно-диагностический комплекс фирмы National Instruments на шине PXI. В состав комплекса входят различные измерительные модули, такие как управляемый источник питания, управляемый вольтамперный тестер, управляемый генератор аналоговых сигналов произвольной формы, управляемый диджитайзер входящего аналогового сигнала, управляемые входы / выходы цифровых логических сигналов, управляемый спектроанализатор, управляемые коннекторы типа switch. Комплекс тесно интегрирован с современными визуальными средами разработки.

Архитектура диагностического комплекса позволяет реализовать каждый из требуемых процессов макетирования в виде программы в наиболее подходящей среде, управляющей диагностической и макетируемой аппаратурой согласованно с остальными компонентами.

Предложенная автоматизация процессов макетирования встраиваемых решений основана на объединении программ, управляющих высокотехнологичным измерительно-диагностическим комплексом и представленных в различных современных визуальных средах программирования. Это позволяет организовать визуальный интерактивный интерфейс с пользователем, построение графиков осциллограмм процессов, отображение результатов математической обработки сигналов, хранение и извлечение из базы данных большого количества данных, представляющих эталонные последовательности, построение автоматических отчетов и документирования. Таким образом, анализ спецификаций и требований, предъявляемых к разрабатываемой аппаратуре, а также покрытие обозначенных требований процессами макетирования и тестирования обеспечивают достижение целей процесса верификации качества.

## **Методология макетирования систем обработки сигналов**

Рассмотрим основные критерии, отвечающие за соответствие изделий требованиям к качеству, на примере разработки аппаратуры передачи данных:

- 1) правильная логика поведения изделия в составе системы более высокого уровня;
- 2) масштабируемость и тиражируемость программно-аппаратного комплекса;
- 3) низкая вероятность отказов;
- 4) обеспечение заданных параметров помехоустойчивости приема информации, времени поддержания синхронизации в канале [2], вероятности ошибки на бит и других функциональных задач, связанных с приемом-передачей информации;
- 5) обеспечение заданного времени отклика системы на ответственные события критической инфраструктуры.

Каждый из приведенных пунктов можно и далее разбивать на подзадачи. В частности, логика поведения в составе некоторой более высокоуровневой системы включает сетевое взаимодействие, реализацию маршрутизирующих протоколов, критериев сетевой связности и т. д. Также функционал аппаратуры передачи данных дополнительно может включать подзадачи адаптивности изделия к различным условиям канала и обеспечение требуемой скорости передачи. К потоку передаваемой информации могут быть предъявлены требования по криптостойкости, целостности и закрытости информации.

Для достижения указанных критериев качества в основу методологии макетирования положено разбиение процессов тестирования и верификации качества на нижеуказанные группы и обозначена возможность выбора для каждого процесса соответствующего ему инструмента:

- 1) тестирование структурно-логических процессов;
- 2) тестирование функциональных и динамических процессов обработки информации;
- 3) тестирование потоков данных в системе;
- 4) процессы локализации неисправностей.

Далее для макетирования перечисленных процессов в связке с реальными разрабатываемыми изделиями и в требуемом масштабе времени предлагается единая программно-аппаратная платформа со взаимодействующими с ней современными визуальными средами программирования.

Платформой для процесса верификационного тестирования выступает единый программно-аппаратный комплекс, в задачи которого входит проверка отклика и функционирования изделия при воздействии с заданными цифровыми и аналоговыми сигналами, имитации управляющих команд и режимов, симуляции различных параметров канала и электротехнических условий и макетировании поведения всех узлов и абонентов системы в целом. Автоматизирующее ПО комплекса рассчитано на сопровождение всего жизненного цикла разработки изделия и организовано таким образом, чтобы по команде оператора запускался сценарий, последовательно выполняющий все этапы диагностики. Немаловажную роль играют введенные в состав диагностики так называемые обрушивающие тесты, то есть воздействия, проверяющие штатную отработку изделием различных критических ситуаций.

Основной проблемой описанной концепции является реализация целого спектра тестовых алгоритмов, покрывающего все разнообразие задач верификации качества, на единой диагностической аппаратной базе.

### **Программно-аппаратный инструментарий макетирования**

В качестве платформы макетирования встраиваемых решений выбран измерительно-диагностический комплекс фирмы National Instruments на шине PXI [3]. Представленный комплекс, с одной стороны, обладает всем необходимым для тестирования оборудования, а с другой – тесно интегрирован с самыми современными визуальными средами программирования прикладного уровня, такими как NI LabView, MS VisualStudio.NET (C++/C#), MS SQL Server, MatLab и Simulink фирмы Matworks. В состав комплекса входят следующие измерительные модули:

- 1) управляемый источник питания;
- 2) управляемый вольтамперный тестер;
- 3) управляемый генератор аналоговых сигналов произвольной формы;
- 4) управляемый диджитайзер входного аналогового сигнала;
- 5) управляемые входы / выходы цифровых логических сигналов;
- 6) управляемый спектроанализатор;
- 7) управляемые коннекторы типа switch.

На низком уровне программное управление данными модулями доступно программисту через предоставляемые стандартные драйверы IVI-drivers. На более высоком уровне программистами National Instruments обеспечиваются удобные механизмы доступа к функционалу драйверов IVI-drivers из современных визуальных сред программирования прикладного уровня, таких как NI LabView, MS VisualStudio.NET, MS SQL Server, MatLab, Simulink.

Такая архитектура диагностического комплекса позволяет реализовать каждый из требуемых нами процессов макетирования в виде программы в наиболее подходящей среде, управляющей диагностической и макетируемой аппаратурой и связанной с другими программами. Рассмотрим вариант программной реализации процессов макетирования и механизмы информационного обмена программ, работающих в различных средах.

Макетирование структурно-логических процессов, например сетевого взаимодействия и маршрутизации сетевой информации, реализуется на языках C++/C# в среде MS VisualStudio.NET в нативном (native) или управляемом (managed) вариантах исполнения [4]. Программы задействуют диагностические аналоговые и цифровые входы / выходы, что обеспечивает верификацию процесса обмена информацией между изделиями и доставку команд, управляющих режимами работы изделий.

Тестирование функциональных и динамических процессов обработки информации напрямую связано с задачами математической обработки сигнала и моделированием динамических систем. Сопровождение данного исходного кода и верификация таких критериев, как помехоустойчивость приема, канальная синхронизация и другие, реализуется в средах математического програм-

мирования MatLab и динамического моделирования Simulink [5]. Программы получают доступ к аналоговым входам / выходам комплекса и спектроанализатору.

Тестирование потоков данных в системе связано с визуальной парадигмой программирования dataflow и поэтому реализовано в среде NI LabView [6]. Данный процесс играет связующую роль между остальными.

Процесс поиска и локализации неисправности в случае неверной работы изделия строится на сравнении регистрируемых и эталонных цифровых и аналоговых последовательностей сигналов, снимаемых как в различных компонентах самого изделия, так и в узлах макетируемой сети более высокого уровня. При этом эталонные цифровые и аналоговые сигналы сохраняются / извлекаются из базы данных. Данный процесс макетирования разрабатывается в средах NI LabView (dataflow компоненты) и MS VisualStudio (императивные компоненты) в связке с базой данных MS SQL Server. Программой обеспечивается контроль над источником питания, вольтамперным тестером, управляемыми коннекторами типа switch и цифроаналоговыми входами / выходами.

Полезно осветить следующие механизмы, обеспечивающие автоматизацию, совместную одновременную работу перечисленных выше процессов, обмен данными между ними и доступ к аппаратуре. Доступ к аппаратуре из LabView осуществляется через стандартные VI-приборы, из MS VisualStudio через классы NI Measurement Studio [7] и из Matlab Simulink через диаграммы IVI-drivers blocks с палитры диаграмм. Обмен данными между программами на LabView и на C# реализован через виртуальный прибор .NET Component VI среды LabView, предназначенный для связи с программными компонентами – сборками среды .NET. Код на C# управляет математическим макетированием и динамическим моделированием в Matlab и Simulink через механизм Matlab Engine [5]. Также отметим, что аналогичная взаимосвязь построена и со стороны NI LabView через службу MATLAB COM Automation Server.

## Заключение

Предложенная автоматизация процессов макетирования встраиваемых систем и систем обработки сигналов основана на объединении программ, управляющих высокотехнологичным измерительно-диагностическим комплексом и представленных в различных современных визуальных средах программирования. Это позволяет организовать визуальный интерактивный интерфейс с пользователем, построение графиков осциллограмм процессов, отображение результатов математической обработки сигналов, хранение и извлечение объемных цифровых массивов, представляющих эталонные последовательности сигналов из базы данных, построение автоматических отчетов и документирования.

Анализ спецификаций и требований, предъявляемых к разрабатываемой аппаратуре, и покрытие обозначенных требований процессами макетирования и тестирования обеспечивают достижение целей процесса верификации качества.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олссон Г., Пиани Дж. Цифровые системы автоматизации и управления. – СПб. : Невский Диалект, 2001. – 557 с.
2. Об одном алгоритме совместной тактовой и кодовой цикловой синхронизации // Старт в будущее. Всероссийская научн.-техническая конф. Труды третьей научн.-технич. конф. молодых ученых и специалистов. / С.В. Завадский [и др.]. – СПб. : ОАО «КБСМ», 2013. – С. 105–106.
3. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7. / Л.В. Алексейчик [и др.]. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 265 с.
4. Рихтер Дж. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 4.0 на языке C#. 3-е изд. – СПб. : Питер, 2012. – 928 с.
5. Смоленцев Н.К. MATLAB. Программирование на Visual C#, Borland JBuilder, VBA. М. : ДМК Пресс, 2011. – 456 с.
6. Тревис Дж. LabVIEW для всех / Джеффри Тревис: пер. с англ. – М. : ДМК Пресс; ПриборКомплект, 2005. – 544 с.
7. Магда Ю.С. NI Measurement Studio. Практика разработки систем измерения и управления на C#. – М. : ДМК Пресс, 2013. – 190 с.