

# Стандарт IEC61499 и система программирования контроллеров ISaGRAF 5: от теории к практике

В данной статье рассматривается инновационный стандарт IEC61499, предназначенный для унификации правил создания распределенных приложений и применения функциональных блоков в измерительных и управляющих системах, а также описывается первая в мире реализация этого стандарта в широко известной системе программирования контроллеров ISaGRAF 5 компании ICS Triplex.

## Стандарт IEC61499

Стандарт IEC61499 определяет распределенную, управляемую событиями архитектуру и требования к программному инструментарию для инкапсуляции, встраивания, развертывания и интеграции программного обеспечения в интеллектуальных устройствах, машинах и системах. В его основу были положены такие стандарты, как IEC61131-3 и IEC61158 (Fieldbus).

Стандарт IEC61499 определяет распределенную модель как совокупность модулей (функциональных блоков), на которые разбиваются различные части промышленного процесса автоматизации и сложной системы управления. Эти функциональные блоки могут распределяться и взаимодействовать по коммуникационной сети через множество контроллеров. Приложение становится распределенным путем размещения экземпляров функциональных блоков на различных ресурсах в одном или более устройствах. Функциональные блоки являются атомарными элементами распределения. Приложение со многими функциональными блоками отображается как один элемент, хотя экземпляры функциональных блоков распределяются по ресурсам и устройствам.

Ключевой особенностью функциональных блоков IEC61499 является управление ими с помощью внешних

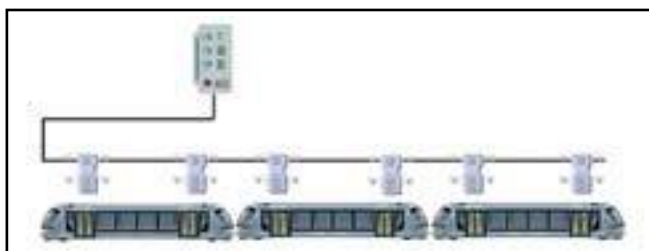


Рис. 1. Пример представления распределенного приложения управления дверьми в трамвае на основе функциональных блоков IEC61499

событий, а не только с помощью входных данных. Рассмотрим пример с трамваем, в котором есть распределенное приложение, управляющее открыванием/закрыванием нескольких дверей в разных вагонах (рис. 1). Все функциональные блоки IEC61499 одновременно выполняют действие “Открыть” или “Заккрыть” дверь, когда получено событие “Открыть” или “Заккрыть”.

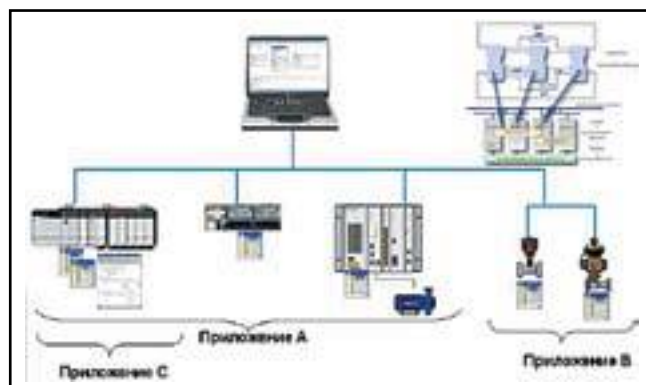


Рис. 2. Пример системы управления с распределенными приложениями

На рис. 2 показан другой пример: система управления, имеющая много устройств, соединенных вместе с помощью управляющей коммуникационной сети. Также показаны приложения, распределенные по нескольким устройствам.

Многие устройства соединяются вместе через коммуникационную сеть. В ISaGRAF устройство – это аппаратное средство (контроллер), имеющее процессор, память и способное выполнять цикл управления, которое также может быть присоединено к коммуникационной сети. Устройства решают задачу управления или измерения и могут входить в состав интеллектуального исполнительного механизма, такого как клапан или расходомер. Любая полевая шина может работать как коммуникационная сеть. Среди часто используемых полевых шин (протоколов) – Profibus, DeviceNet, Industrial Ethernet.

Приложение может содержать один или более циклов управления. Например, ввод данных выполняется на одном устройстве, управление – на втором и преобразование выходных данных – на третьем устройстве. Эти совместные циклы управления разделяют данные предсказуемым и детерминированным образом, описанным в стандарте IEC61499. Стандарт IEC61499 вводит следующие понятия:

- ▶ **Система (System)** – набор устройств, связанных и взаимодействующих друг с другом посредством коммуникационной сети, состоящей из сегментов и соединений.
- ▶ **Устройство (Device)** – независимая физическая единица, способная к выполнению одной или более определенных функций в конкретном контексте и ограниченная интерфейсами устройства.
- ▶ **Ресурс (Resource)** – функциональная единица, имеющая независимое управление его работой и которое обеспечивает различные сервисы для приложений, включая планирование и выполнение алгоритмов.
- ▶ **Приложение (Application)** – программная функциональная единица, предназначенная для решения проблемы в системе управления и измерения. Приложения могут быть распределены между устройствами и могут взаимодействовать с другими приложениями.
- ▶ **Функциональный блок, ФБ (Function block)** – программная функциональная единица, которая является наименьшим элементом в распределенной системе управления. Функциональный блок использует машину состояний (state machine) с диаграммой управления выполнением (execution control chart – ECC) для задания алгоритма работы ФБ.

На рис. 3 показана распределенная модель системы в соответствии со стандартом IEC61499.

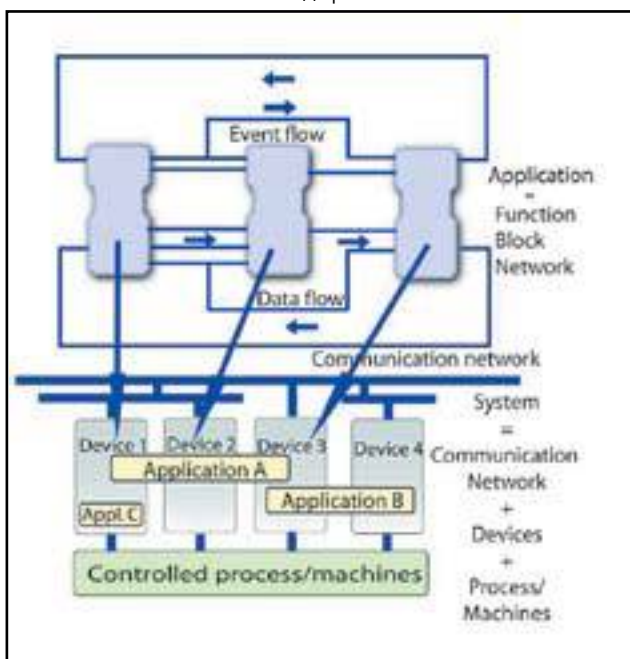


Рис. 3. Общая диаграмма системы в стандарте IEC61499

В I SaGRAF каждая система может быть распределенной, и это может быть показано средствами I SaGRAF с различных точек зрения. Например, может быть показана Модель Системы как на рис. 4. Все пиктограммы функциональных блоков (желтые символы) справа от имени приложения указывают на распределение по устройствам. Пиктограмма, показанная ниже устройства, означает, что программа имеет часть, выполняющуюся в этом устройстве. Отсутствие пиктограммы ниже устройства означает, что программа не имеет части, вы-



Рис. 4. Представление распределенного приложения I SaGRAF в виде Модели Системы

полняющейся на этом устройстве. Коммуникационная сеть соединяет вместе устройства, которые являются частью распределенной системы. Коммуникационная сеть отображается в I SaGRAF, если она сконфигурирована в системе. Причем часть устройств могут использовать одну коммуникационную сеть, в то время как другие устройства – другую сеть. На рис. 4 в качестве коммуникационной сети выступает Ethernet. Элементы I SaGRAF используют коммуникационную сеть в прозрачном режиме. При построении и компиляции приложения генерируются все требуемые для связи параметры.

Рис. 4 показывает систему, состоящую из устройств, коммуникационной сети и приложений в виде Модели Системы в I SaGRAF. Приложение Application\_A имеет части, работающие на первом, втором и третьем устройстве. Приложение Application\_B имеет части, выполняемые на двух последних устройствах системы. Приложение Application\_C работает только на первом устройстве. Каждая часть Application\_A обменивается соответствующей информацией через коммуникационную сеть. Аналогично процесс организован и для Application\_B.

Каждому функциональному блоку в приложении может присваиваться ресурс, который одновременно присваивается и устройству.

Событие и сигналы данных между функциональными блоками очень просто рисовать. Генератор распределения I SaGRAF создает все требуемые связи между этими сигналами. Эти связи обмениваются информацией прозрачно по коммуникационному интерфейсу. Средства I SaGRAF заботятся обо всех аспектах распределения приложения. В частности, в коммуникационный интерфейс и в алгоритм выполнения добавляются задержки, которые должны браться в расчет во время проектирования распределенного приложения.

## Функциональные блоки IEC61499

Различают базовые и композиционные функциональные блоки IEC61499. Композиционные функциональные блоки – это набор базовых функциональных блоков IEC61499. Для определения базового функционального блока IEC61499 надо задать следующие элементы: входные и выходные переменные, входные и выходные события, диаграмму управления выполнением (ECC – Execution Control Chart) и собственно алгоритм блока. Диаграмма управления выполнением – это описание реакций на

внешние воздействия, в котором задается, что именно нужно сделать, если произошло конкретное событие. Входные события инициируют и управляют работой функционального блока IEC61499. Помимо внешних (входных) событий указывается, при необходимости, какие события будут генерироваться при окончании выполнения функций-работчиков. Наиболее удобным языком для создания диаграмм управления является SFC (язык последовательных функциональных схем). Для описания алгоритма преобразования входных данных в выходные (алгоритма блока) используются языки стандарта IEC61131-3 (FBD, SFC, LD, ST, IL) и те же типы данных, что в IEC61131-3.

В стандарте IEC61499 определены 18 типов функциональных блоков: расщепление события, слияние, рандеву двух событий, разрешающее распространение события, выбор между двумя событиями, переключение событий, задержка событий и другие. ISaGRAF 5 поддерживает все типы функциональных блоков IEC61499.

## Экспериментальная проверка построения распределенной системы

Компания ICS Triplex провела экспериментальную проверку реализации стандарта IEC61499 в ISaGRAF, для чего использовались 72 низкостоимостных контроллера NetBurner MOD5272-100CR (с микропроцессором Motorola ColdFire 5272), смонтированных в три группы. Каждый микроконтроллер оборудовался двумя кнопками и двумя переключателями в качестве входных сигналов и двумя зелеными и желтыми лампочками в качестве выходных сигналов. Эти контроллеры имеют Ethernet-вход и работают под управлением операционной системы  $\mu$ C/OS. ISaGRAF был портирован на эти контроллеры, и все коммуникации осуществлялись через TCP/IP.

Для убедительной демонстрации было разработано три приложения, использующие одни и те же аппаратные средства, описанные выше:

- ▶ Приложение по распространению сигнала – использовалось для измерения распространения сигнала и данных в приложении.
- ▶ Приложение симуляции поезда – использовалось для демонстрации применения базовых и композиционных функциональных блоков IEC61499 в симуляторе реальной системы.
- ▶ Приложение “оркестр” – демонстрировало мощь и гибкость IEC61499 в реальных условиях.

Общий вывод по результатам тестирования показал следующее: реализация в ISaGRAF 5 стандарта IEC61499 позволяет использовать его для построения распределенных приложений в системах с большим числом контроллеров, давая в руки разработчиков мощное и гибкое программное средство, каким является ISaGRAF. На сегодняшний день в мире не существует другого аналогичного по своей функциональности средства программирования распределенных приложений в среде контроллеров.

## Реализация контроллеров на базе ISaGRAF 5 с поддержкой IEC61499

Стандарт IEC61499 стал долгожданным решением для создания распределенных систем управления, и он быстро набирает популярность среди производителей контроллеров, в первую очередь на базе ISaGRAF 5. Первым в мире контроллером на основе ISaGRAF 5, в котором поддерживаются одновременно IEC61131 и IEC61499, стал контроллер Kingfisher PLUS+RTU компании RTUnet (рис. 5).



Рис. 5. Контроллер Kingfisher PLUS+RTU

Недавно компания SIXNET (США) объявила о реализации в своих новых контроллерах SixTRAK IPm целевой задачи ISaGRAF 5 SCS (Scalable Control Systems) с поддержкой IEC61499 в среде операционной системы Linux. SixTRAK IPm (рис. 6) построен на базе процессора PowerPC, имеет 64 МБ ОЗУ, 128 МБ флэш-диск, до 5 портов Ethernet, до 640 локальных каналов ввода/вывода и до 50 000 каналов для распределенного ввода/вывода.



Рис. 6. Контроллер SixTRAK IPm

Целая серия контроллеров с ISaGRAF 5 и поддержкой IEC61499, используемая в пищевой и обрабатывающей промышленности, разработана в Новой Зеландии компанией TCS-NZ. Первые опытные образцы таких контроллеров появились еще в 2005 году. Сейчас контроллеры успешно внедряются в таких отраслях, как мясо-молочная промышленность и производство удобрений (рис. 7).



Рис. 7. ISaGRAF 5 управляет распределенной автоматизированной системой машинного доения





Рис. 8. Контроллер LinPAC-8000 со встроенной целевой системой ISaGRAF 5++ ACE Target

И наконец, следует более подробно остановиться на Linux-контроллерах нового поколения LinPAC-8000 тайваньской компании ICP-DAS, выпущенных в третьем квартале 2008 года (рис. 8). Благодаря усилиям специалистов Санкт-Петербургских компаний «ФИОРД» и «Ниеншанц-Автоматика» для LinPAC-8000 реализована поддержка ISaGRAF 5. Исполнительная система контроллеров LinPAC, содержащих лицензионное исполнительное ядро ISaGRAF5++ ACE Target (разработка компании «ФИОРД»), поддерживает драйверы для встраиваемых модулей ввода/вывода серий I-8000 и I-87000, драйверы DCON-протокола (для обмена с внешними модулями серии I-7000), драйверы протоколов Modbus RTU\TCP Master\Slave, систему ведения локальных архивов. Одной из самых интересных новинок контроллеров LinPAC-8000 с установленной исполнительной системой ISaGRAF5++ ACE Target является возможность создавать локальные графические приложения. Система ISaGUI предназначена для обеспечения интерактивного графического отображения данных реального времени непосредственно в исполнительной системе ISaGRAF 5++ ACE Target. Система реализована в виде виртуального устройства ISaGRAF и пакета специальных функций, встроенных в ISaGRAF 5 Workbench. Для проектирования графического интерфейса используется редактор графического интерфейса GLADE, который может работать как в Linux, так и в Windows.

Еще одним примером контроллера с ISaGRAF 5++ ACE Target является «умный» многофункциональный коммуникационный контроллер серии UC-7400 компании MOXA, предназначенный для организации

взаимодействия оборудования, имеющего различные интерфейсы связи, сбора данных и управления удаленными модулями ввода-вывода, ведения локальных архивов, высокоскоростной обработки информации. Контроллеры серии UC-7400 построены на RISC-процессоре Intel XScale IXP-422 с частотой 266 МГц, имеют 128 Мб RAM и оснащены широким набором интерфейсов: 8 портов RS-232/422/485, USB 2.0 и USB 1.1, 2 порта Ethernet 10/100 Мбит/сек, PCMCIA для подключения карт беспроводного Ethernet (опционально), CompactFlash. В качестве HMI-устройств предусмотрены ЖК-дисплей 160x64 dpi и 5 клавиш клавиатуры. На контроллеры серии UC-7400 предустанавливается ОС MontaVista Linux.

В заключение сформулируем основные особенности и преимущества стандарта IEC61499 и ISaGRAF-контроллеров на его основе:

- ▶ Контроль потока решений при управлении распределенной системой.
- ▶ Гарантия целостности распределенного приложения.
- ▶ Обеспечение целостности и непротиворечивости данных.
- ▶ Наличие средств, гарантирующих надежную синхронную работу устройств.
- ▶ Отсутствие необходимости в отдельных схемах синхронизации алгоритмов.
- ▶ Значительное упрощение процесса разработки надежных систем управления.
- ▶ Существенное облегчение обслуживания распределенных систем управления.
- ▶ Наличие механизма для распределения приложения и контроля за его выполнением в системах со многими устройствами.

ISaGRAF-контроллеры представляют собой инструмент нового поколения для создания крупномасштабных распределенных систем управления, использование которого предоставляет разработчикам серьезные конкурентные преимущества.

**Алексей Колтунцев, коммерческий директор,  
Сергей Золотарев, к.т.н., ведущий эксперт,  
компания «ФИОРД»**



**Компания «ФИОРД»**

**Открытая международная конференция  
ISaGRAF 2009**

**10 июня 2009 г., Санкт-Петербург, гостиница «Парк Инн Прибалтийская», зал «Training Room»**

**В программе конференции доклады, мастер-классы и выставка:**

- доклад о тенденциях развития ISaGRAF (компания ICS TripleX)
- доклады об инновационных программно-аппаратных решениях на базе ISaGRAF (ведущие OEM-производители контроллеров)
- презентации внедренных проектов с использованием технологии ISaGRAF (системные интеграторы)
- мастер-классы ведущих специалистов ICS TripleX и ФИОРД
- выставка оборудования производителей контроллеров и интеграторов

[www.fiord.com](http://www.fiord.com)

[info@fiord.com](mailto:info@fiord.com)

тел: (812) 323-6212

факс: (812) 321-5169