

P13-2014-33

В. К. Игнатович, И. М. Саламатин,
К. М. Саламатин¹, А. Е. Сеннер¹

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
В ОБЛАСТИ СПЕКТРОМЕТРИИ НЕЙТРОНОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Направлено в журнал «Информационные технологии»

¹Международный университет природы, общества и человека «Дубна»,
Дубна, Россия

Игнатович В. К. и др.

P13-2014-33

Автоматизация экспериментов в области спектрометрии нейтронов
с использованием сетевых технологий

Предлагаются унифицированные средства описания методики эксперимента и управления последовательностью операций, не требующие редактирования программных компонентов системы автоматизации экспериментов при изменении методики эксперимента.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2014

Ignatovich V. K. et al.

P13-2014-33

Automation of Experiments in the Field of Neutron Spectrometry
Using Network Technologies

Standardized means of description of experimental procedures and of control of the operations sequence, which do not require editing experiment control system components, when experimental procedure is changed, are proposed.

The investigation has been performed at the Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Системы автоматизации экспериментов (САЭ) в области спектрометрии нейтронов разрабатываются для серии исследовательских работ. Состав условий и способ регистрации экспериментальных данных составляют методику конкретного эксперимента. После завершения анализа экспериментальных данных, как правило, возникает план новых исследований с изменением методики экспериментов. При этом появляется необходимость модификации состава аппаратного и программного обеспечения (ПО).

Из работы [1] известно, что на модификацию ПО САЭ зачастую тратится около 6 месяцев работы коллектива из нескольких программистов. Известный идеолог фирмы «Code Gear» Питер Интерсаймон отмечает, что причины длительных сроков разработки связаны с отсутствием адекватной стратегии повторного использования программ (code reuse) [2]. Поэтому для сокращения сроков подготовки новых экспериментов программа управления экспериментом должна уметь использовать уже существующие программные блоки. В настоящей работе поставлена именно такая задача: создание унифицированной программы, которая при изменении условий позволяет управлять экспериментами с помощью уже существующих программных блоков без их изменения.

Главный вопрос при создании унифицированной программы состоит в том, как связывать отдельные готовые компоненты при изменении методики эксперимента.

1. СВЯЗЫВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ В РАСПРЕДЕЛЕННОМ ПО САЭ

При статическом связывании необходимая для обеспечения взаимодействия компонентов информация (например, сетевые адреса взаимодействующих компонентов и информация об интерфейсах) тем или иным способом фиксируется до начала работы САЭ. Статическое связывание обеспечивает наибольшую скорость выполнения взаимодействия, и связь между компонентами системы является жесткой. В этом случае сбой одного из компонентов в процессе эксплуатации САЭ с большей вероятностью приводит к потере

работоспособности всей системы, а небольшие изменения методики эксперимента могут потребовать модификации нескольких компонентов. Статическое связывание существенно затрудняет использование компонентов без их изменения в других САЭ. При динамическом связывании необходимая информация для обеспечения взаимодействия компонентов вырабатывается в процессе работы, поэтому этот вариант имеет преимущество при построении унифицированного ПО САЭ для систем с часто изменяемым составом выполняемых функций.

В работах [3, 4] выполнен анализ популярных сетевых технологий и предложены варианты их использования для построения программы-посредника DiCME (Distributed Components Messaging Environment) для динамического связывания компонентов. Посредник DiCME обеспечивает базовую технологическую поддержку работы ПО САЭ и предоставляет следующие основные возможности:

- 1) автоматический поиск и связывание компонентов;
- 2) асинхронный механизм удаленного выполнения процедур;
- 3) передачу информации нескольким процессам одновременно;
- 4) обработку всех взаимодействий компонентов одними и теми же средствами;
- 5) независимость интерфейса доступа к процедурам компонента от сетевого адреса ЭВМ.

2. ВОЗМОЖНОСТЬ УНИФИКАЦИИ КОМПОНЕНТОВ

Если методика эксперимента требует нового оборудования, не предусмотренного заранее, то возникает необходимость изменить состав используемых компонентов и редактировать последовательность выполнения операций в эксперименте.

Традиционных способов управления экспериментом два:

- 1) запись управления фиксированной группой процедур на языке программирования, где каждая процедура реализует определенную функцию эксперимента, а значения параметров задаются в диалоговом окне или данными из файла;
- 2) использование интерпретатора и программы управления экспериментом (скрипта) в виде списка вызовов внешних процедур и значений параметров.

В обоих способах, по сути, в программу управления последовательностью операций в эксперименте включается описание методики в виде списка вызовов процедур, и в результате возникает жесткая связанность компонентов. Практика показывает, что при написании скриптов процент ошибок может

достигать 70 %. В работе [5] отмечается, что настройка ПО САЭ с использованием скриптов и конфигурационных файлов может потребовать до двух дней. Существенное упрощение такой настройки предложено в [6, 7], однако в этих работах не решается общая для скриптов проблема — проблема связанности компонентов.

Для решения проблемы унификации и разработки способа связывания компонентов при изменении методики эксперимента выполнен анализ функционального состава и особенностей работы компонентов в ПО САЭ. На основании этого анализа выявлены следующие особенности [8]:

- динамическое связывание компонентов для удаленного вызова процедур необходимо только для выполнения основных функций — управления условиями регистрации данных, регистрации, преобразования и архивирования экспериментальных данных;

- удаленный вызов процедур должен содержать обязательный сигнал завершения работы, адресуемый вызывающей программе (программе управления экспериментом или интерфейсу пользователя), и детальную информацию (список зарегистрированных данных, описание состояния управляемого объекта, диагностическое сообщение и др.), адресуемую вспомогательным функциям;

- реализация вспомогательных функций (визуализация данных, их предварительная обработка и др.) требует специального способа связывания компонентов, учитывающего спонтанный характер возникновения запросов на такие операции и независимость основных функций (в штатных условиях) от результатов выполнения вспомогательных операций.

С учетом этих особенностей в настоящей работе предложено исключить из описания методики вызовы процедур и отделить программу управления экспериментом от средств описания методики эксперимента. Данный метод управления экспериментом заключается в следующем:

- программа управления экспериментом по умолчанию предполагает, что после формирования условий идет регистрация данных. Программа диктует условия регистрации, которые берет из списка состояний установки в файле задания на эксперимент;

- конкретизация процессов (например, состава используемых компонентов) выполняется динамически с использованием файла с описанием условий регистрации данных, создаваемого подсистемой описания методики эксперимента.

3. ПОДСИСТЕМА ОПИСАНИЯ МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА

Для описания методики эксперимента и составления задания на эксперимент требуется информация об устройствах и работающих с ними компонен-

тах (паспорта устройств). Детекторная система и контроллер ввода данных в ЭВМ для спектрометра фиксированы. Группа компонентов, выполняющих ввод данных, их преобразование и архивирование, обычно объединяется в подсистему (DAQ), и вызов этой подсистемы может выполняться по умолчанию после формирования условий регистрации данных. Подсистема описания методики эксперимента включает базу данных (БД) и две диалоговые программы: 1) используемую программистами для составления паспортов компонентов и управления условиями регистрации данных; 2) используемую экспериментаторами для составления задания PSJ (Preparation of Single Job).

Программа составления паспортов устройств создает и заносит в БД документацию — описания устройств в формате JSON. Документация содержит: название контроллера и список подключенных к нему устройств, тип компонента, работающего с контроллером, его уникальный идентификатор (GUID), используемый для адресации компонента, а также описания параметров. Состав параметров (прикладной протокол) определяется разработчиком компонента.

Программа составления задания PSJ использует список доступных устройств (и компонентов) из БД. Из этого списка пользователь в диалоге выбирает нужные в данном эксперименте компоненты и составляет список устройств, которые в процессе эксперимента будут определять условия регистрации данных. Для каждого устройства из этого списка можно задать список последовательно используемых значений управляемого параметра. Результатом этой работы является PSJ — файл с табличным описанием конечного автомата, реализующего нужные в эксперименте состояния аппаратной системы. В каждом состоянии выполняется экспозиция данных. Структура файла задания на эксперимент показана на рис. 1.

Отличие данного метода от используемых в других системах в том, что программа PSJ составляет *список условий* регистрации данных вместо описания действий в виде списка вызовов процедур в скрипте или указания варианта жестко запрограммированной процедуры.

При описании методики эксперимента используется только терминология экспериментатора: названия узлов спектрометра, угловые положения и др.

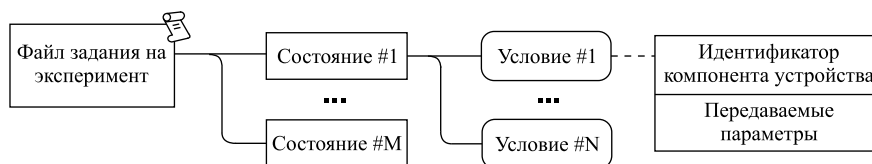


Рис. 1. Структура файла задания на эксперимент

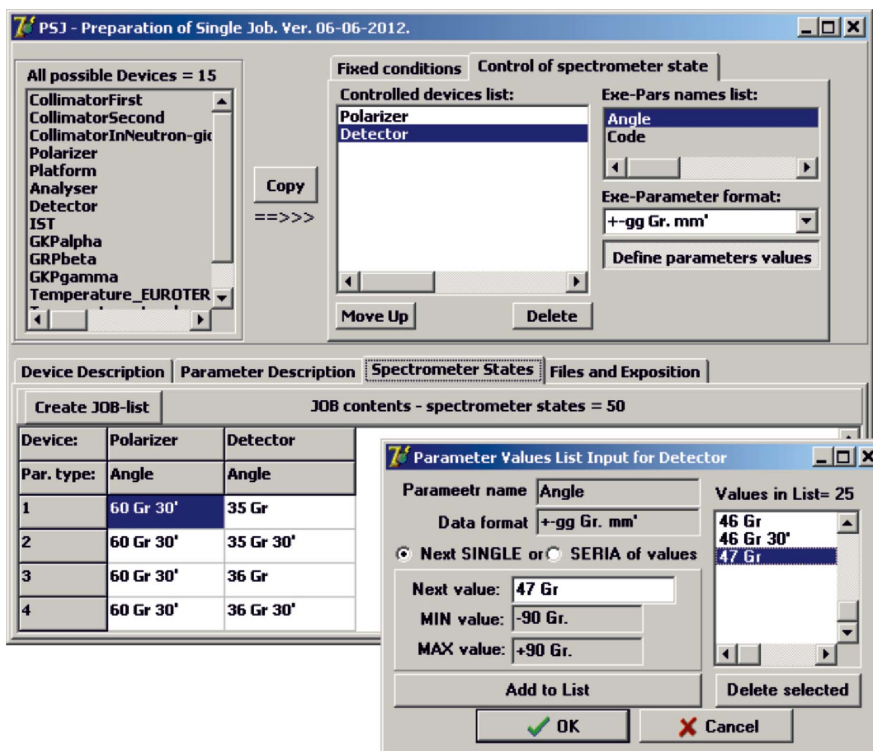


Рис. 2. Окно программы составления задания на эксперимент

Программа PSJ автоматически проносит в файл идентификаторы (GUID) компонентов и представляет описание в формате JSON. Вид окна программы составления задания показан на рис. 2.

4. УПРАВЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОСРЕДНИКА DiCME И ФАЙЛА ЗАДАНИЯ НА ЭКСПЕРИМЕНТ

На рис. 3 приведена схема взаимодействия программы управления экспериментом (ПУЭ) и посредника DiCME при выполнении основных операций ПО САЭ. На вход ПУЭ поступает файл задания. ПУЭ выбирает описание очередного состояния системы (список условий регистрации данных) и передает описание каждого условия посреднику DiCME. Описание условия несет информацию о компоненте (GUID), достаточную для его поиска и связывания с ПУЭ, а также список параметров. DiCME находит нужный компонент и передает ему сообщение с описанием условия, содержащее список параметров.

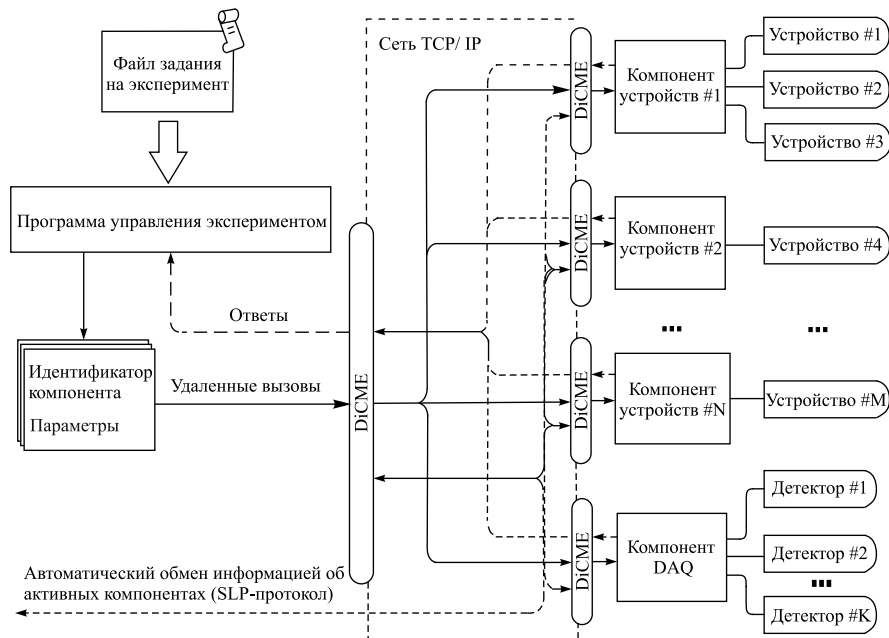


Рис. 3. Схема взаимодействия программы управления экспериментом и компонента DiCME при реализации основных задач ПО САЭ

ПУЭ выполняет функции диспетчеризации используемых компонентов, а выбор и вызов процедур, реализующих нужные условия регистрации данных, выполняются в компонентах, управляющих оборудованием, на основании интерпретации переданных им описаний условий. Например, для управления положением поляризатора описание условия в формате JSON имеет вид

```
{device:"polarizer", parameter:"angle", value:"30 grad"}
```

Каждый компонент, которому ПУЭ передала сообщение, должен вернуть ПУЭ сигнал («Done/Error») завершения работы. После получения сигналов от всех устройств, перечисленных в описании нужного состояния САЭ, ПУЭ включает регистрацию данных подсистемой DAQ. Сигнал завершения экспозиции данных разрешает ПУЭ перейти к обработке описания следующего состояния в файле задания.

В используемом методе динамического связывания [4], в отличие от технологии CORBA и др., устранена необходимость подготовительного диалога между компонентами для настройки удаленного выполнения процедуры. Данный метод связывания не ограничивает развитие методики эксперимента, и ее

изменения не затрагивают ПУЭ и средства межкомпонентного взаимодействия DiCME, так как ПУЭ и DiCME прозрачны для списка параметров.

Наиболее существенные особенности, влияющие на способ выполнения вспомогательных функций, следующие:

- спонтанный характер возникновения информации о событиях и возможность отсрочить ее обработку;
- необходимость передавать информацию нескольким процессам, состав которых, вообще говоря, источнику информации не известен и может изменяться в процессе работы ПО САЭ по инициативе пользователя системы.

Для связывания вспомогательных компонентов используется вариант алгоритма «подписки», при котором компонент-потребитель однократно декларирует интерес к информации определенного типа, после чего специальный компонент (менеджер событий в составе DiCME) обслуживает всех «подписавшихся» потребителей при появлении этой информации. На рис. 4 показана схема работы посредника DiCME при обслуживании вспомогательных операций ПО САЭ.

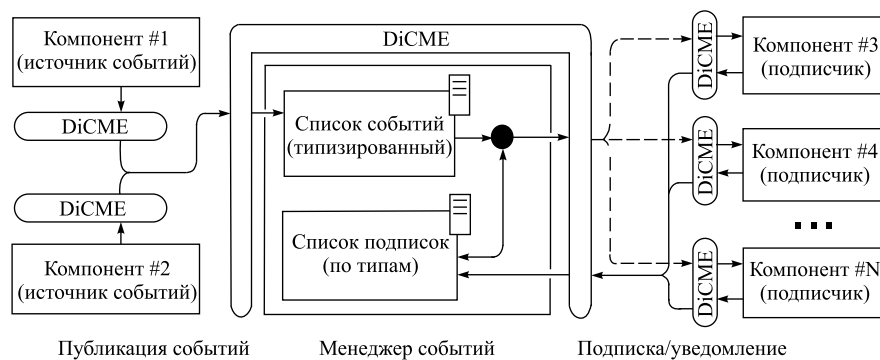


Рис. 4. Схема работы менеджера событий и посредника DiCME при обслуживании вспомогательных операций

В итоге реализация вспомогательных операций через DiCME предоставляет возможность пользователю динамически компоновать систему с нужными вспомогательными функциями просто путем запуска на любой ЭВМ локальной сети нужного компонента.

5. ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОМ

Метод построения унифицированной ПУЭ и сценарий выполнения задания на эксперимент подробно описаны выше. Практика прецизионных экспериментов требует некоторых добавлений. На рис. 5 представлена схема ра-

боты программы управления в прецизионных экспериментах. На схеме показано, что многочасовая экспозиция в каждом состоянии экспериментальной установки (цикл по состояниям) расчленяется на несколько (обычно одинаковых) более коротких измерений (цикл по проходам), результаты которых могут быть просуммированы. Благодаря этому, сравнивая при экспресс-анализе данные в отдельных файлах, полученных при одинаковых условиях, можно обнаружить возможный дрейф фона, эффективности детекторов и другие эффекты и отфильтровать некорректные данные.



Рис. 5. Схема работы программы управления экспериментом

Данная ПУЭ протоколирует работу: запоминает последнюю команду оператора, номер последнего завершенного состояния системы (выполненной строки задания) и некоторые другие данные и использует их для автоматического формирования названий файлов. Благодаря этому при сбоях возможно перезапускать систему — она продолжит работу с последнего незавершенного состояния. Локальное меню программы предоставляет ряд отладочных режимов работы.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Подсистема описания методики эксперимента формирует информационную базу для алгоритмов последующего связывания компонентов, конкретизации функционального состава процессов, выполняемых программой управления экспериментом, и для автоматического объединения компонентов в ПО САЭ. Данная подсистема существенно сокращает время настройки ПО для

нового эксперимента, упрощает работу экспериментатора и является ключевым элементом, благодаря которому стало возможным в условиях изменения методики эксперимента передать функции сопровождения ПО САЭ экспериментаторам.

Модель ПУЭ, выполняющей два абстрактных процесса (формирование условий регистрации и процесс регистрации данных), обеспечивает использование ее реализации с различными заданиями и в разных системах.

Предложенное ПО САЭ является проблемно-ориентированным распределенным пакетом прикладных программ, включающим компоненты управления пакетом (средства обеспечения взаимодействия компонентов и программу управления экспериментом) и унифицированные прикладные компоненты. Подсистема описания методики эксперимента предоставляет язык управления пакетом. Предложенная структура может быть применена и в других областях, например, для автоматизации технологических процессов.

Изложенный здесь подход применен при разработке ПО САЭ для нескольких спектрометров, которые используются в экспериментах на источниках нейтронов ИБР-2 и ИРЕН в ОИЯИ [9–11].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Levis P. et al.* Data Acquisition and Instrument Control at the Lujan Center: An Update // NOBUGS2010, Preliminary Agendas NOBUGS34. 2010.
2. *Дэррил Тафт.* Что нам готовит год 2027-й // PC Week/RE. 2008. № 8(614).
3. *Саламатин К. М.* Выбор технологии построения компонентной системы для автоматизации экспериментов в области спектроскопии нейтронов. Препринт ОИЯИ P13-2013-72. Дубна, 2013. 20 с.
4. *Саламатин К. М.* DiCME — распределенная среда взаимодействия компонентов системы автоматизации экспериментов для физики низких энергий // Программная инженерия. 2014. № 3. С. 3–11.
5. *Konnecke M. et al.* Treepath Based Instrument Control. NOBUGS2008. 2008. № 132.
6. *Nakatani T. et al.* Present Status of the Computing Environment for the Experimental Instruments in J-PARC/MLF. NOBUGS2010, Preliminary Agendas NOBUGS40. 2010.
7. *Clarke M. et al.* Making Life Easier for Scientists: Developing an Experiment Scheduler for the MLF. NOBUGS2010, Posters NOBUGS20. 2010.
8. *Саламатин И. М., Саламатин К. М.* Разработка компонентной САЭ для физики низких энергий на основе использования сетевых технологий. Препринт ОИЯИ P13-2013-74. Дубна, 2013. 24 с.
9. *Tsulaia M. I. et al.* The Kolkhida Setup Upgrade // «ISINN-21» (Alushta, Ukraine, May 20–25, 2013). Dubna: JINR, 2013. P. 77; JINR Preprint E3-2013-40. Dubna, 2013.

10. *Kuznetsov V. L., Kuznetsova E. V., Sedyshev P. V.* Investigation of Possibilities for the Measurement of Parity Violation in Neutron Diffraction at the IBR-2M Reactor // Proc. Intern. Seminar «ISINN-20» (Dubna, May 27–29, 2012). Dubna: JINR, 2013. P. 66–68; JINR Preprint E3-2013-22. Dubna, 2013.
11. *Швецов В. Н. и др.* 8-входная система для нейтронно-ядерных исследований по методу времени пролета // ПТЭ. 2012. Т. 55, № 5. С. 561–568.

Получено 23 апреля 2014 г.

Редактор *А. И. Петровская*

Подписано в печать 16.05.2014.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,81. Уч.-изд. л. 0,98. Тираж 245 экз. Заказ № 58259.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/