

Подход к созданию систем автоматизации физического эксперимента с учетом современных требований

А.К. Кавеев (ООО “ПроматиксЛаб”)

Рассматриваются особенности создания систем автоматизации физического эксперимента (АФЭ) с учетом современных требований к эксперименту, включающих не только необходимость быстрой обработки и анализа множества сигналов в реальном времени, но и отсутствие каких-либо стандартизованных требований заказчика.

Ключевые слова: автоматизация физического эксперимента, системы реального времени, обработка сигналов, микроконтроллеры, отладочные платы, одноплатные компьютеры.

Введение

Современный физический эксперимент (ФЭ) представляет собой сложное комплексное явление в силу большой разнородности не только измеряемых величин и анализируемых объектов, но и огромного объема существующего научного оборудования как современного, так и более старого, но не вышедшего из употребления.

Необходимость автоматизации ФЭ продиктована не только и не столько удобством и упрощением работы с оборудованием, сколько необходимостью обработки информации в реальном времени. Какой-либо значимой стандартизации АФЭ не существует. В каждом конкретном случае вопрос АФЭ решается индивидуально, зачастую собственными подручными силами и средствами научных сотрудников. Тем не менее, возможность выработки общего (типового) подхода к автоматизации современного ФЭ существует. Помимо этого, зачастую возникает проблема “разрыва квалификаций”, когда специалисты по автоматизации не обладают достаточным уровнем физических знаний, чтобы понять требования физика-заказчика. А данные требования отнюдь не всегда возможно свести к четкому техническому заданию, такому как обычно предоставляется при монтаже производственных систем. Это вызвано необходимостью уточнения ряда технических и/или конструктивных параметров в процессе выполнения работ, в силу сложности задачи.

АФЭ и требования к нему

ФЭ — это общенаучный метод получения в контролируемых и управляемых условиях новых знаний о причинно-следственных отношениях между явлениями и процессами. Теме АФЭ посвящено множество публикаций [1, 2, 3 и др.]. Обычные цели эксперимента — проверка гипотез, проверка адекватности модели, описывающей поведение объекта, определение значимых параметров, характеризующих объект наблюдений. При этом параметры объектов эксперимента могут быть: 1) контролируемые и управляемые; 2) контролируемые, но неуправляемые; 3) статистически распределенные; 4) неконтролируемые и неуправляемые. При организации физического эксперимента нужно принимать в расчет, что средства экспериментальных исследований имеют ограниченную точность, конечное быстродействие, а также вносят ошибки. Также следует принимать во внимание в первую очередь, какие

именно физические характеристики будут измеряться, и как их следует сопоставить с измеряемыми величинами (в частности, с электрическими сигналами). Далее надо спланировать метод действий и средства достижения цели эксперимента. Наконец, следует определить, какая точность требуется для достижения необходимого результата. И главное — оценить соотношение необходимых и имеющихся ресурсов.

Автоматизация эксперимента — комплекс аппаратно-программных средств для ускорения, упрощения и повышения точности сбора и обработки экспериментальных данных, общего повышения эффективности работы научных сотрудников. Современные требования к системам АФЭ:

- высокая скорость детектирования и обработки данных, возможность эффективной работы в режиме реального времени;
- высокая надежность системы. Отказ системы АФЭ не должен приводить к отказу связанного с ней лабораторного оборудования;
- простота эксплуатации системы, возможность быстрого обучения, в том числе коллективом, дружелюбный интерфейс;
- архитектура системы, позволяющая гибкую настройку (модульный принцип);
- относительная дешевизна системы.

Основные функции, выполняемые системой АФЭ:

- прием сигналов (воздействий) в общем случае произвольного вида с исследуемых объектов, преобразование их внутри датчика в аналоговую форму, в некоторых случаях оцифровка внутри датчика;
- передача принятых сигналов в аналоговой форме для дальнейшей обработки;
- выдача на исследуемые объекты управляющих воздействий посредством элементов управления (механические, излучательные воздействия и т. д.). Управление элементами с помощью электрических сигналов;
- аналогово-цифровое и цифро-аналоговое преобразование;
- передача данных между элементами системы АФЭ с помощью интерфейсов;
- обработка информации, подготовка к представлению для оператора и представление.

В настоящее время любой физический эксперимент невозможно представить без управления и/или контроля при помощи ПК. За счет увеличения производительности ПК стало возможным в кратчайшие

сроки снимать и обрабатывать огромные массивы данных, полученных с неограниченного числа датчиков, практически мгновенно. Прогресс в создании периферийных устройств, осуществляющих прием, первичную обработку информации, а также ее передачу от ПК, позволяет создавать компактные и вместе с тем гибкие системы, позволяющие адаптацию практически к любому ФЭ.

При этом не все сводится к считыванию показаний датчиков. Существует проблема скорости реакции системы на поступивший сигнал, особенно если последний требует дополнительной обработки. Характерным примером такой системы является Фурье-спектрометр. В данном случае необходимо в реальном времени осуществлять механическое управление узлами (например, зеркалами интерферометра), имеющими обратную связь с поступающим от детектора измеряемым сигналом, требующим обработки.

Традиционная концепция АФЭ, подходящая к большей части лабораторных экспериментов, включает ПК, управляющий процессом эксперимента, устройство сопряжения ПК с исследуемым объектом и соответствующий сопрягающий интерфейс, периферийные устройства — датчики, органы управления и т. д. и соответствующий сопрягающий интерфейс (шина).

В основу построения типового решения системы АФЭ положен хорошо известный принцип унификации, то есть возможности легкой замены отдельных блоков системы и/или дополнения системы блоками, расположенными на общей шине. Данный принцип позволяет легко обслуживать систему научному сотруднику — неспециалисту в области АСУ. При этом исчезает ограничение на число каналов измерений, то есть система является предельно гибкой и адаптивной.

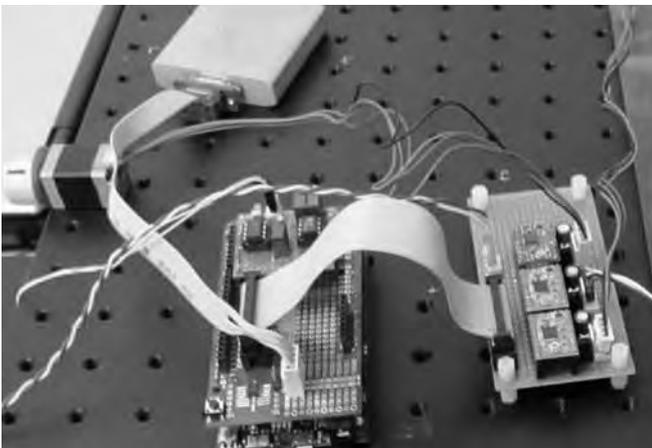


Рис. 1. Общий вид системы управления спектрометром на основе интерферометра Фабри-Перо, созданной на базе микроконтроллера ATmega 2560

Подход к построению систем АФЭ от компании “ПроматиксЛаб”

Предлагаемая компанией “ПроматиксЛаб” концепция базируется на традиционном решении. Вместе с тем она предполагает возможность адаптации

Чем дальше эксперимент от теории, тем ближе он к Нобелевской премии.

Владимир Бехтерев

практически любого нестандартного оборудования в систему управления. Ядро системы основано на простых микроконтроллерах Atmel (например, семейств ATmega или ATtiny) и отладочных платах и не требует использования дорогих промышленных контроллеров и шин. В настоящее время на рынке существуют практически готовые дешевые сочетания контроллер + периферийное устройство (сенсор, двигатель и т. д.) + библиотека управления периферийным устройством. Данные системы легко интегрируются на отладочных платах. При необходимости может быть использован одноплатный миникомпьютер (например, RaspberryPi или др.). В качестве элементов управления и датчиков могут использоваться как стандартные решения, имеющиеся на рынке, так и нестандартные, предоставляемые заказчиком. Интеграция элементов в систему осуществляется с помощью схем и устройств-преобразователей как типовых, так и создаваемых в рамках выполнения работы. В итоге система получается гибкой и портативной (рис. 1).

Особенности предлагаемого подхода:

- в системах реализован принцип “быстрой сборки”, позволяющий во многих случаях обойтись без пайки и разводки печатных плат;

- программирование микроконтроллеров осуществляется средствами высокоуровневого программирования, что позволяет прошивать сложный код за короткое время, и не требует длительной отладки. Это позволяет существенно сократить время выполнения проекта;

- имеется ряд готовых библиотек, в том числе в свободном доступе, позволяющих осуществлять быструю компоновку, программирование и работу с большим числом датчиков и устройств управления.

Системы, разработанные в рамках данного подхода, могут применяться для:

- автоматического управления ФЭ;
- обработки потока данных, полученных в процессе ФЭ, в том числе моделирования и визуализации;
- автоматического управления техническими и производственными процессами.

В отдельных случаях вместо ПК может быть использован микрокомпьютер, либо он может вообще отсутствовать (в этом случае устройство сопряжения играет самостоятельную управляющую роль), система может сопрягаться с локальными вычислительными сетями или сетью Internet, иметь несколько иерархических уровней управления, связанных через вспомогательные устройства управления и сопряжения, иметь иные изменения в конфигурации.

Компания “ПроматиксЛаб” производит работы по созданию систем АФЭ под конкретный физический эксперимент. Рассмотрим систему управления спектрометром (рис. 2). Управление системой осуществляется с ПК через устройство сопряжения и управле-

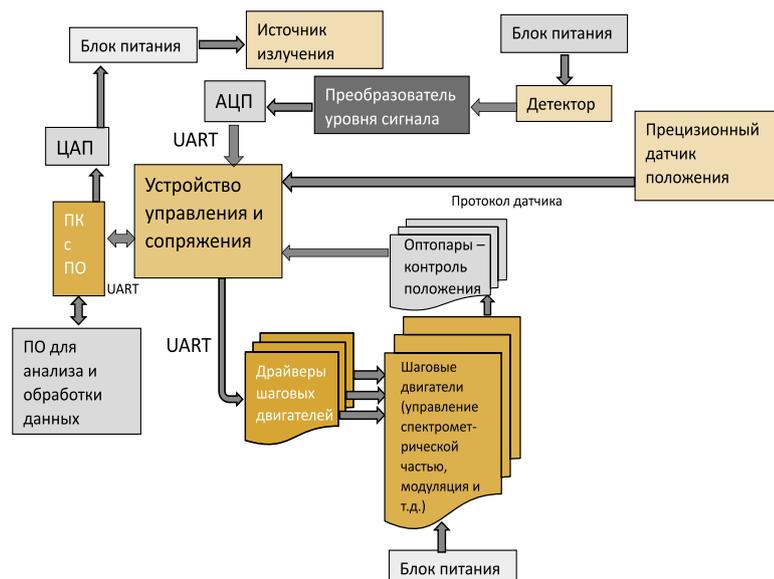


Рис. 2. Структурная схема системы управления спектрометром интерференционного типа

ния, которое через ЦАП и АЦП осуществляет обмен данными с датчиков положения зеркал интерферометра, измеряемым сигналом, управляет шаговыми двигателями и источником излучения спектрометра. Устройство сопряжения и управления представляет собой контроллер ATmega 2560. Управление шаговыми двигателями осуществляется с помощью драйверов типа A4988, подключенных к контроллеру. Крайние положения зеркал передаются в систему с помощью простых концевых выключателей, рассчитанных на уровень сигнала 3,3 В. Считывание измеряемого сигнала производится с помощью ячейки Голея. Сигнал оцифровывается с помощью АЦП и передается в контроллер, а затем — в ПК для восстановления измеряемых спектров. Прецизионный контроль положения зеркал интерферометра осуществляется с помощью контактного датчика положения Orbit3, реализующего обмен данными напрямую с контроллером по собственному внутреннему протоколу.

Система способна работать в режиме реального времени, реализуя сложный алгоритм разгона/торможения двигателей, управляющих зеркалами интерферометра, в зависимости от поступающих с детектора данных. Двигатель оптического модулятора, являющийся частью системы, можно раскрутить с заданным ускорением до частоты 100 Гц. Этого с избытком достаточно для оптических приложений. Большие значения частоты достичь затруднительно в силу ограничений скорости работы контроллера. Обработка потока данных происходит непосредственно в контроллере, минуя ПК, что существенно ускоряет процесс. Вся система реализована на трех платах с примерными габаритами 4x8 см (рис. 1), очень проста и портативна. Себестоимость системы крайне мала.

Кавеев Андрей Камильевич — канд. физ.-мат. наук, генеральный директор ООО «ПроматиксЛаб».

Контактный телефон (812) 740- 00-69.

E-mail: ak@promatixlab.ru

Особенности ПО, управляющего ФЭ

ПО является самостоятельным сложным компонентом системы АФЭ. С одной стороны, оно осуществляет высокоуровневое управление системой, с другой, — производит математическую обработку результатов эксперимента и их отображение, что требует от создателя ПО владения не только алгоритмами обработки данных, но и пониманием собственно физической составляющей эксперимента. На рынке известны зарубежные универсальные программные продукты с возможностью адаптации под конкретную систему. Однако это ПО требует специального обучения и зачастую недоступно в силу высокой стоимости.

Специалисты компании «ПроматиксЛаб» разработали собственное ПО, базирующееся на следующих предпосылках:

— алгоритмы управления системой являются машиннонезависимыми;

— интерфейс ПО должен быть дружелюбным пользователю - неспециалисту

и легок в освоении;

— сотрудничество с заказчиком позволяет создавать ПО, адаптированное не только под конкретную систему АФЭ, но и под характер конкретных экспериментов (например, построение математических моделей экспериментов, применение методов математической статистики и т. д.).

Заключение

В статье приведено описание подхода к АФЭ, реализованного в компании «ПроматиксЛаб». Подход основан на принципе магистрально-модульного построения системы с применением простых микроконтроллеров и отладочных плат. Настоящий подход неоднократно апробирован и имеет ряд преимуществ: это гибкость и относительно быстрая реализация в виде компактной системы в сочетании с достаточно высокими требованиями по скорости обработки информации и ее объему. Управляющее процессом ПО может включать математико-аналитическую часть или обходиться без нее. Первичная обработка сигналов может производиться как исключительно за счет микроконтроллеров, так и с применением ПК (обычного или одноплатного) в зависимости от характера задачи.

Список литературы

1. Герман А.Е., Гачко Г.А. Основы автоматизации эксперимента. ГрГУ. 2004.
2. Гайдьшев И. Анализ и обработка данных: Специальный справочник. СПб.: Питер. 2001.
3. Певцов Е. Ф. Автоматизация физического эксперимента. Лабораторный практикум: Уч. пособие. Ч. 1. Схемы с операционными усилителями. Электронное издание. № Гос. регистрации 0321304452.