

Р.Ю. Лопаткин, В.В. Куприенко, В.А. Иващенко, С.Н. Игнатенко

## Организация дистанционного физического эксперимента с помощью универсального программно-аппаратного комплекса

Рассмотрена технология дистанционного выполнения физического эксперимента на основе разработанного универсального программно-аппаратного комплекса. Использование *Ethernet* в качестве базового протокола для передачи данных в предложенном концептуальном решении позволяет строить различные схемы взаимодействия студента с экспериментальной установкой, в том числе и дистанционную работу.

A method of carrying the remote physical experiment on the basis of the developed all-purpose hardware-software complex is considered. The use of the *Ethernet* as a base protocol for a data transfer in the suggested conceptual solution allows to construct different patterns of a student and an experimental facility interaction including the remote work.

Розглянуто технологію дистанційного виконання фізичного експерименту на основі розробленого універсального програмно-апаратного комплексу. Використання *Ethernet* як базового протоколу для передачі даних у запропонованому концептуальному рішенні дозволяє будувати різні схеми взаємодії студента з експериментальною установкою, в тому числі й дистанційну роботу.

**Введение.** Развитие телекоммуникационных технологий вызвало поиски новых форм обучения. Если раньше дистанционное обучение больше основывалось на пересылке заданий и отчетов в письменном виде или средствами *e-mail*, то сейчас дистанционное обучение использует практически всю мощь мультимедийных и интерактивных Интернет-технологий. Однако при дистанционном изучении курсов естественно-направленного до сих пор не решен вопрос их экспериментальной части. Исторически так сложилось, что физический эксперимент стал заменяться виртуальным. Однако при изучении базовых законов это абсолютно неприменимо. Нисколько не умаляя роль виртуального эксперимента, дающего возможность познакомиться со сверхсложными установками и исследовать экзотические процессы, необходимо отметить, что изучение базовых законов, как, например, Ньютона или Кулона, нужно проводить только с реальным оборудованием [1, 2].

Таким образом, для дистанционного обучения на данный момент остро стоит проблема организации удаленного реального физического эксперимента средствами интерактивных телекоммуникационных технологий.

### Структура программно-аппаратного комплекса

Для компьютеризации учебного эксперимента в Научно-исследовательском центре учебно-научных приборов Института прикладной физики НАН Украины разработан специаль-

ный универсальный программно-аппаратный комплекс (УПАК) для компьютеризации экспериментальных установок. Как видно из *UML*-диаграммы вариантов использования (рис. 1), взаимодействующие с системой актеры (в терминологии *UML* [3]) делятся на три роли: «Пользователь», «Ученик» и «Исследователь», причем «Ученик» и «Исследователь» – наследники «Пользователя». Основной вариант использования «Эксперимент» – результат генерализации локального и глобального экспериментов, «Исследователь» может реализовать напрямую, проведя «Подготовку установки», включающую в себя непосредственно «Сбор экспериментальной установки» и может быть расширена «Настройкой программного обеспечения».

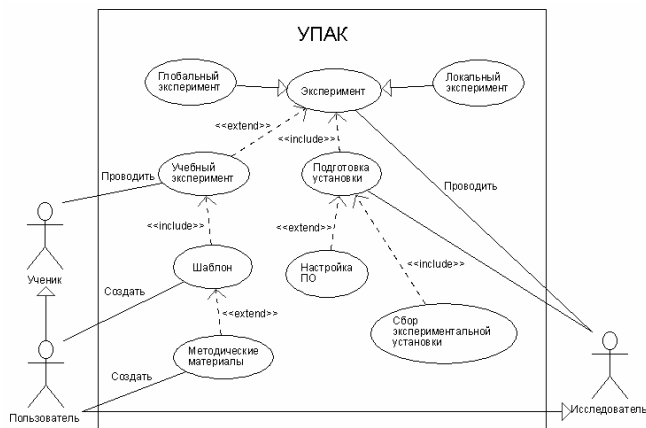


Рис. 1. *UML*-диаграмма вариантов использования УПАК

С другой стороны, «Ученик», в противоположность «Исследователю», реализует «Учебный эксперимент», отличающийся от «Экспери-

мента» наличием «Шаблона». «Шаблон» представляет собой предустановки эксперимента, где определены датчики и указаны наблюдаемые зависимости физических величин. Одним словом, «Ученику» остается снять установленные «Пользователем» данные с собранной установки и провести их анализ. Такой «Шаблон» эксперимента разрабатывается «Пользователем» и может еще содержать «Методические материалы» к эксперименту.

УПАК состоит из набора датчиков, модуля регистрации и передачи данных (МП), коммутатора (опционально), устройства визуализации и анализа данных, т.е., в общем случае, компьютера и специального программного обеспечения (ПО). В основе системы лежит МП, построенный на основе микроконтроллера. Принципиальная схема модуля представлена на рис. 2.

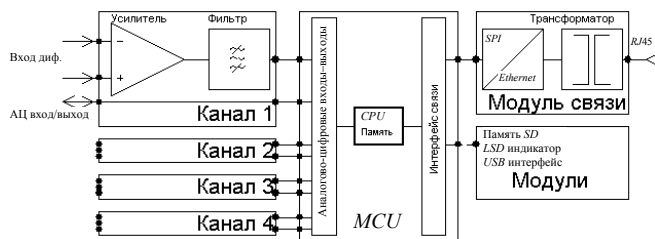


Рис. 2. Принципиальная схема модуля регистрации и передачи данных

Сигнал с датчиков физических величин (в виде нормированного напряжения) после аналогового входа подается на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и затем обрабатывается процессором центрального микроконтроллера по специальной программе, сохраненной в постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ) контроллера. После этого данные поступают Ethernet-контроллеру, который передает их по специальному протоколу на компьютер, где они расшифровываются, визуализируются и сохраняются в случае необходимости. Здесь МП выступает как сервер, а компьютер пользователя – как клиент, который подает серверу запрос на отправку данных и получает ответ в виде пакета, что продемонстрировано на рис. 3. Фактически реализована клиент-серверная технология обмена данными между компьютером пользователя и экспериментальной установкой, позволяющей визуализировать показания ана-

логовых датчиков физических величин на удаленном компьютерном устройстве.

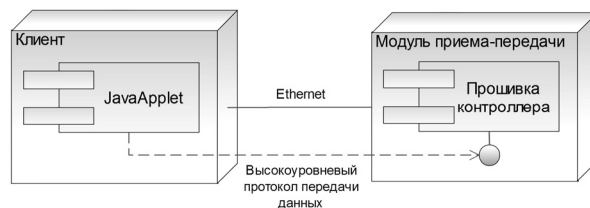


Рис. 3. UML-диаграмма развертывания

На тех же принципах реализована обратная связь, т.е. МП имеет цифровой выход с возможностью удаленного управления, к которому можно подключить внешние устройства (нагреватель, двигатель, реле и т.п.). С компьютера по специальному протоколу обмена данными поступает управляющий сигнал, который распаковывается Ethernet-контроллером и передается процессору центрального контроллера. Процессор центрального контроллера формирует выходной сигнал на определенном порту, управляя таким образом внешним устройством.

Как уже отмечалось, МП выполняет три основные функции: сбор данных с аналоговых датчиков, отправка данных на компьютер через Ethernet-совместимую сеть, а также управление внешними устройствами. Использование протокола связи с компьютером, основанного на распространенном протоколе IEEE 802,3, позволят интегрировать МП в состав более сложных и распределенных в пространстве систем [4, 5].

### Схемы применения

Схемы работы пользователя с компьютеризированной с помощью УПАК экспериментальной установкой могут быть различны и диктуются конкретными условиями. Первый, самый простой случай – индивидуальное использование, когда МП напрямую подключен к компьютеру пользователя (см. рис. 4). В таком случае доступ к данным и права на управление устройствами принадлежат одному пользователю.

Расширенная схема построения демонстрационного эксперимента, когда компьютер преподавателя напрямую подключен к МП, но результаты эксперимента демонстрируются некоторой аудитории с помощью проектора или другим способом.

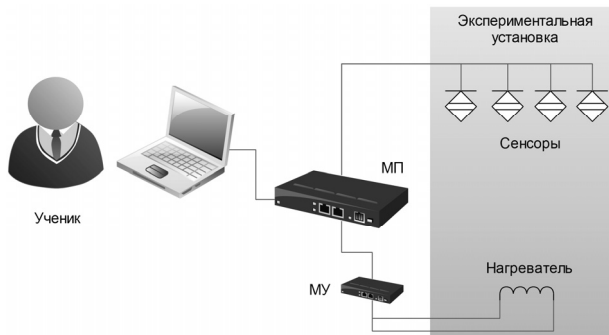


Рис. 4. Схема индивидуального использования УПАК

Более интересный случай – коллективное использование. Для этого нужно МП подключить к сетевому коммутатору. Тогда функционал системы станет доступен всем, кто находится в пределах организованной подсети. Причем получать экспериментальные данные с установки пользователи могут совершенно разными компьютерными устройствами – от мобильного телефона (если на нем установлена виртуальная *Java*-машина) до персонального компьютера (рис. 5).



Рис. 5. Коллективное использование УПАК

Самый сложный вариант использования УПАК – с удаленным доступом через Интернет по протоколу *TCP/IP*. Схема организации такой удаленной физической лаборатории на основе УПАК представлена на рис. 6. Как видно на рисунке, в дистанционной лаборатории – так называемом центре коллективного пользования – расположено определенное количество готовых к работе экспериментальных установок, компьютеризированных УПАК (на рис. 6 показано всего две). Каждая экспериментальная установка снабжена аналоговыми датчиками физических величин и модулем управле-

ния (МУ) с устройствами, такими, как нагреватель или шаговый электродвигатель, подключенными к МП. Все МП с помощью кабеля типа «витая пара» подключены к сетевым коммутаторам. К ним же подключены сервер и компьютеры локальных пользователей, находящихся в пределах подсети. Описываемая схема подключения продемонстрирована на *UML*-диаграмме развертывания (рис. 7). Также установки могут оснащаться *IP*- или *web*-камерами для возможности удаленного наблюдения за ходом эксперимента и состоянием установок.

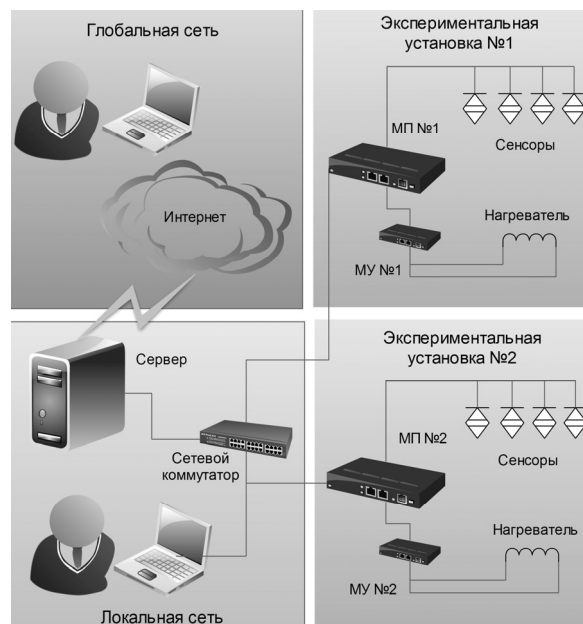


Рис. 6. Доступ пользователей к экспериментальным установкам через Интернет

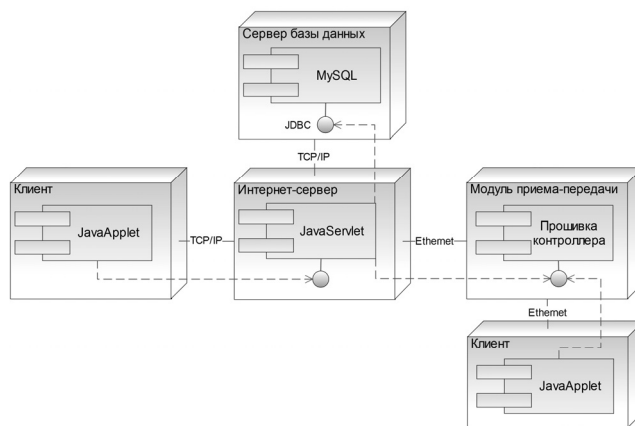


Рис. 7. *UML*-диаграмма развертывания УПАК в случае доступа к экспериментальным установкам через Интернет

Окончание на стр. 85