

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**О.В. Жвалевский, С.Б. Рудницкий (Санкт-Петербург)**

Аппаратно-программные комплексы (АПК), используемые при проведении медико-биологических исследований, представляют собою системы, состоящие из нескольких компонентов. Первый компонент — это аппаратная часть в виде набора датчиков и микросхем, реализующих как аналогово-цифровое преобразование регистрируемых сигналов, так и последующую обработку уже цифровых сигналов, которая может включать не только фильтрацию, но и вычисление в режиме реального времени некоторых характеристик регистрируемых сигналов для оперативного отображения этих характеристик пользователю системы. Второй компонент — это программная часть, основное назначение которой — организация и проведение измерительных экспериментов, накопление, сохранение и обработка экспериментальных данных, а также ведение базы данных об обследуемых испытуемых и проводимых с их участием обследованиях.

Создаваемые АПК предназначены для решения следующих трёх задач: диагностика определённого заболевания; наблюдение за состоянием пациента (мониторинг) и проведение научных исследований. При диагностике заболеваний фактически лишь формируются значения ряда показателей и основанная на полученных значениях общая оценка функционального состояния испытуемого. Поэтому здесь следует говорить скорее не о системах диагностики, а о системах поддержки принятия врачебных решений. Мониторинг, как правило, связан с регистрацией довольно узкого набора физиологических показателей (чаще всего одного) и связан в основном с обследованием конкретной подсистемы человеческого организма, например, сердечно-сосудистой. Широкий набор регистрируемых показателей встречается в особых случаях: либо в случае прикроватных мониторов при интенсивной терапии, либо при проведении научных исследований.

Проведение научных исследований представляет особый интерес в плане автоматизации и обладает рядом особенностей, которые необходимо учитывать при создании АПК. Ниже рассматриваются основные аспекты автоматизации проведения медико-биологических исследований и описывается возможный подход к автоматизации, основанный на применении конфигураций.

### **Автоматизация научных исследований**

Проведение медико-биологических исследований заключается в сборе экспериментальных данных и разработке методики математического анализа полученных экспериментальных данных, позволяющей эффективным образом решать основную задачу (диагностика какого-либо заболевания, определение психосоматического статуса, мониторинг функционального состояния). Каждая исследовательская задача предполагает регистрацию определённого набора физиологических показателей, вычисления определённых характеристик регистрируемых сигналов и применения определённых методик математического анализа экспериментальных данных. Некоторые задачи (например, регистрация ЭКГ и ЭЭГ), ставшие уже типовыми, решаются при помощи таких же типовых АПК. В отдельных случаях разрабатываются полноценные стандарты (на принципы регистрации физиологических показателей, на способы представления и хранения экспериментальных данных) и имеются полноценные методики обработки экспериментальных данных, например, методика обработки ЭКГ по Р.М. Баевскому. Однако, в большинстве случаев какие-либо стандартные протоколы и методики отсутствуют, а вопросы конечной реализации процедур сбора и обработки экспериментальных данных отдаются на откуп самим исследователям. Назрела необходимость определённым образом упорядочить процедуру проведения научных

исследований и составить единый протокол, который обеспечит корректное выполнение всех этапов проводимого научного исследования. Этот единый протокол может стать общим стандартом и использоваться для проектирования и реализации АПК, предназначенных для медико-биологических исследований.

Как правило, при проведении исследований целевой состав физиологических показателей не известен заранее (этот состав как раз и формируется в ходе научного исследования), поэтому изначально регистрируется широкий набор физиологических показателей [1]. При этом представляется целесообразным иметь набор датчиков одноимённых параметров, основанных на различных физических принципах функционирования (для исключения систематических погрешностей и ошибок), и проводить одновременные измерения связанных показателей, осуществляя затем комплексную обработку полученных разнотипных экспериментальных данных для исключения артефактов с целью повысить точность и достоверность измерений. [3] Исследователю также может понадобиться дополнительный источник данных или дополнительный метод обработки экспериментальных данных или, например, возможность отображать какую-либо дополнительную информацию в режиме реального времени. Таким образом, аппаратная часть используемых в медико-биологических исследованиях АПК должна строиться по принципам «открытой архитектуры», быть достаточно гибкой и допускать измерение сразу нескольких физиологических показателей, а также подключение нескольких дополнительных источников данных, осуществляемое как по цифровым, так и по аналоговым каналам. При этом аппаратная часть должна уже изначально обеспечивать высокое качество регистрируемых данных. В частности, необходимо обеспечить необходимую или высокую синхронизацию разнотипных данных.

При проведении медико-биологических исследований целесообразно изначально предусматривать возможность совместной работы различных групп исследователей, например врачей и специалистов по обработке данных. Это означает не только и не столько наличие развитых средств для обмена экспериментальными данными, сколько наличие единой «системы понятий», или «онтологии». У исследователя должна быть также возможность проверки собственных гипотез и возможность самому задавать сценарии обработки экспериментальных данных. Последнее подразумевает наличие развитых вычислительных средств и таких же развитых средств пользовательского интерфейса, предназначенных для управления вычислительным процессом и отображения результатов вычислений. Таким образом, в базе данных должна храниться информация о тех задачах, которые поставлены перед исследователями, о тех показателях, которые регистрируются, о тех моделях измерений и тех методах математической обработки, которые используются. Представляется целесообразным также иметь в базе данных явные описания измерительной аппаратуры, характеристик регистрируемых физиологических сигналов, моделей измерений (например, спектры ошибок), математических моделей анализируемых процессов, а также используемых вычислительных моделей. В то же время программная составляющая часть АПК должна обеспечивать выполнение довольно широкого круга задач.

В итоге, архитектура АПК должна быть: гибкой (подстраиваться под конкретные исследовательские задачи), расширяемой (допускать подключение дополнительных модулей), масштабируемой (реализуемой на различных платформах и в различных вычислительных средах) и тиражируемой (поддерживающей механизмы распространения полученных решений). Реализация такой архитектуры невозможна без применения системного подхода, позволяющего описать решение в самом общем виде — в виде обобщённого АПК.

### **Имитационное моделирование аппаратно-программных комплексов**

Каждый компонент АПК имеет свою сложную системную организацию и, как правило, сам может быть представлен в виде отдельных компонентов или модулей. В

частности, каждый способ регистрации физиологических показателей порождает свой компонент аппаратной части АПК, в то время как модули, отвечающие за организацию и проведение обследований, за ведение базы данных и за математическую обработку — это отдельные компоненты программной части АПК. Может быть несколько различных модулей, реализующих различные виды математической обработки экспериментальных данных, модуль обмена данными, модуль отображения результатов, модуль построения отчётов, а также центральный управляющий модуль, предназначенный для управления другими модулями.

АПК, предназначенные для проведения медико-биологических исследований, также могут иметь многоуровневую и распределённую архитектуру. Такова, например, многоуровневая система мониторинга [4], различные (распределённые) узлы которой представлены решениями на базе мобильных телефонов (собирающих первичную информацию с датчиков), локальными хранилищами (где хранятся промежуточные результаты обработки) и центральными серверами (где хранится агрегированная информация о каждом пациенте). Также имеется связь с врачами, которые могут удалённым образом получать всю необходимую информацию об изменении текущего состояния пациента и также удалённо принимать врачебные решения и выдавать рекомендации. Такая система является самонастраиваемой. В частности, при существенных изменениях текущего состояния пациента осуществляется изменение определённых характеристик измерительной аппаратуры (например, увеличение частоты дискретизации регистрируемых сигналов или изменение характеристик используемых фильтров), направленное на более детальную обработку поступающих данных.

Ещё один уровень системной организации АПК связан с моделями анализируемых процессов и моделями принятия решений, которые явным или неявным образом используются при регистрации физиологических показателей и при обработке экспериментальных данных. Особое значение этот уровень системной организации приобретает при построении математических моделей исследуемых явлений, когда происходит структурная идентификация. В этом случае выбирается определённая модель (или, точнее, параметрическое семейство моделей), порождаются искусственные «экспериментальные» данные, которые затем пропускаются через систему распознавания. Полученные результаты модельных экспериментов сравниваются с результатами реальных экспериментов, и либо уточняются значения параметров выбранной модели, либо текущая модель заменяется на другую модель, которая должна, как предполагается, находиться в лучшем согласии с опытом, чем текущая.

Система распознавания также основана на применении моделей. Эти модели определяются признаковыми пространствами, видами решающих правил и способами построения решающих правил. Последнее непосредственно соотносится с методами машинного обучения (нейронными сетями, генетическими алгоритмами, машинами опорных векторов, деревьями решений), представляющими собою различные подходы к построению решающих правил в виде алгоритмических моделей.

Очевидно, что большинство медико-биологических исследований посвящено идентификации моделей принятия решений. Процесс идентификации основан на математической обработке не только всех имеющихся экспериментальных данных, но и на обработке постоянно поступающих новых данных, которые одновременно используются и в качестве контрольной выборки, и в качестве данных, позволяющих скорректировать систему распознавания. В обычной ситуации экспериментальные данные берутся «как есть» и основной упор в исследовании делается на применение развитых методов машинного обучения. Однако более полный вариант медико-биологических исследований заключается в построении (и идентификации) математических моделей анализируемых процессов и явлений.

### **Подход к автоматизации, основанный на применении конфигураций**

Для повышения эффективности разработки АПК, используемых для медико-биологических исследований, целесообразно использовать единый протокол проведения медико-биологических исследований и единую архитектуру АПК, которая реализует предложенный единый протокол. Единый протокол опирается на системный анализ предметной области (медицина, физиологические показатели, модели заболеваний, обработка временных рядов цифровых сигналов, методы машинного обучения) и имеет вид предполагаемого стандарта, следуя которому можно было бы гарантировать как корректное заполнение базы экспериментальных данных, так и возможность такого же корректного использования этой базы данных в дальнейших исследованиях. Единая архитектура АПК используется в качестве спецификации для проектирования и реализации программного обеспечения.

Наличие единой архитектуры не только позволяет автоматизировать создание АПК, но и использовать при реализации подход, основанный на применении конфигураций [2]. Действительно, системный анализ предметной области позволяет выделить определённый ряд объектов, каждый из которых соответствует своему элементу системной организации медико-биологических исследований и определённому месту в едином протоколе проведения исследований. В то же время эти же объекты выступают друг с другом в различных ситуациях в различных отношениях, а это значит, что этим объектам будут соответствовать различные элементы системной организации самих АПК (то есть архитектуры комплексов). Определённый набор этих объектов составляет конфигурацию. Сначала создаётся технологическая платформа, в которой реализуются механизмы управления объектами конфигурации, а затем средство для создания самих конфигураций (конфигуратор). Создание конкретной конфигурации заключается в формировании списка конкретных объектов, присутствующих в конфигурации, и задании всех взаимосвязей между объектами. Задание связей фактически реализует единый протокол проведения медико-биологических исследований. Сама конфигурация изначально предоставляет лишь только список допустимых типов объектов, в то время как при создании реальной конфигурации, создаются реальные объекты заранее заданных типов. Дальнейшее функционирование конфигурации происходит при помощи специальной оболочки, которая использует технологическую платформу для доступа к объектам конфигурации. Конфигурация, по своей сути, задаёт логическую схему базы экспериментальных данных. Наличие единой схемы (или спецификации) обеспечивает единообразное наполнение баз экспериментальных данных различными группами исследователей, являющихся пользователями одной и той же конфигурации. В то же время возможна и локальная настройка конкретной конфигурации конкретного пользователя, учитывающая особенности проводимых им исследований.

### **Заключение**

Для того чтобы автоматизировать проведение медико-биологических исследований, необходимо иметь подходящий инструмент для исследования. Таким инструментом, по нашему мнению, может являться АПК. Представляется целесообразным создавать АПК, используемые в медико-биологических исследованиях, по единой методологии. Сначала предлагается создавать некий обобщённый АПК, который на этапе проектирования будет иметь вид имитационной модели настоящего АПК. При этом необходимо разработать имитационные модели для всех подлежащих автоматизации процессов, а также иметь имитационные модели анализируемых процессов и явлений. Единая методология проектирования и реализации программного обеспечения АПК может быть обеспечена подходом, основанным на применении конфигураций: конфигурация представляет собою логическую схему базы экспериментальных данных, которая гарантирует корректное выполнение всех этапов

медико-биологических исследований. Таким образом, автоматизация медико-биологических исследований может быть полностью сведена к автоматизации проектирования и реализации АПК, предназначенных для проведения медико-биологических исследований.

### Литература

1. **Рудницкий С.Б., Вассерман Е.Л., Карташев Н.К., Жвалевский О.В.** Комплексирование измерений в физиологических исследованиях: программно-аппаратный комплекс на основе внешнего синхронизирующего устройства // Биотехносфера. 2012. № 3–4. С. 72–77.
2. **Жвалевский О.В.** Построение и анализ конфигураций программных объектов // Материалы конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ–2014). СПб.: ОАО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор». 2014. С. 480–489.
3. **Вассерман Е.Л., Карташев Н.К., Жвалевский О.В., Рудницкий С.Б.** Гибкая архитектура аппаратно-программных комплексов для физиологических исследований. // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2016. Т. 59. № 11. С. 952–958.
4. **Юлдашев З.М., Пустозёров Е.А., Анисимов А.А.** Многоуровневая интеллектуальная система удалённого мониторинга состояния здоровья людей с хроническими заболеваниями // Биотехносфера. 2016. № 5 (47). С. 2–8.