

С.Б. Рудницкий, О.В. ЖВАЛЕВСКИЙ
**ПОДХОД К АВТОМАТИЗАЦИИ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ, ОСНОВАННЫЙ НА ПОСТРОЕНИИ
КОНФИГУРАЦИЙ**

Рудницкий С.Б., Жвалеvский О.В. Подход к автоматизации медико-биологических исследований, основанный на построении конфигураций.

Аннотация. В работе описывается один из возможных подходов к автоматизации медико-биологических исследований. Подход заключается в построении конфигурации — системы взаимосвязанных и взаимоувязанных планов и сценариев. В работе приводятся примеры реальных медико-биологических исследований, в каждом из которых строится своя конфигурация. В результате обобщения рассмотренных конфигураций формируется набор основных компонентов, допускающих непосредственную программную реализацию, и строится конфигурация, которую можно использовать как типовую при разработке программно-инструментальных систем, предназначенных для проведения медико-биологических исследований.

Ключевые слова: медико-биологические исследования, автоматизация, план, сценарий, конфигурация, база данных, схема базы данных.

Roudnitsky S.B., Zhvalevsky O.V. An approach to medical and biological research automation based on the design of configurations.

Abstract. This work describes one of the possible approaches to the automation of medical and biological research. The approach involves designing a configuration, i.e. a system of interlinked plans and scenarios. Examples are cited of real medical and biological investigations, each of them involving the design of its own configuration. As a result of generalizing the configurations in question, a set of basic components allowing direct software implementation is formed. The resulting configuration can be used as a standard in developing software and hardware systems for carrying out medical and biological research.

Keywords: medical and biological research, automation, plan, scenario, configuration, database, database scheme.

1. Введение. Медико-биологические исследования, основанные на измерении физиологических показателей человека, как правило, проводятся по одной и той же схеме:

- 1) выбираются подлежащие измерению психофизиологические показатели, а также методы и средства регистрации физиологических сигналов и поведенческих реакций;
- 2) производятся измерения этих сигналов и реакций;
- 3) результаты измерений обрабатываются выбранными методами математического анализа;
- 4) врачу сообщаются полученные числовые характеристики, по значениям которых врач делает вывод о функциональном состоянии испытуемого.

Каждый исследователь выбирает свои, по его мнению, наиболее информативные показатели, использует собственную постановку измерительного эксперимента и применяет свои методы обработки и модели анализируемых сигналов и процессов. В результате каждая группа исследователей накапливает базу экспериментальных данных собственного формата, которая затем передаётся специалистам по обработке данных. При анализе экспериментальных данных важно знать, при каких именно условиях получены данные, каковы характеристики регистрирующей аппаратуры, и является ли выборка однородной. В частности, если физиологические сигналы зарегистрированы при различных условиях, то, строго говоря, применение математических методов (в особенности статистических) будет затруднено, а в некоторых случаях и неприемлемо. Поэтому очень часто экспериментальные данные приходится предварительно подготавливать к анализу, устраняя некорректные данные и заполняя пропущенные значения. Ситуация усугубляется, когда врачи используют выбранные ими пакеты прикладных подпрограмм, самостоятельно обрабатывая зарегистрированные физиологические сигналы. Всё это приводит к невозможности оценить точность и достоверность результатов математической обработки. Таким образом, накопленные массивы экспериментальных данных нередко оказываются бесполезными или, по крайней мере, малоинформативными. Между тем необходимо обеспечить единообразное накопление экспериментальных данных, которое позволит различным группам исследователей разрабатывать новые методы математического анализа физиологических сигналов. Также важно иметь возможность сравнивать результаты, полученные различными группами исследователей. В то же время единая методика накопления и обработки экспериментальных данных позволит автоматизировать создание программно-инструментальных систем, предназначенных для проведения медико-биологических исследований.

В работе предлагается подход к автоматизации, основанный на понятиях *плана* и *сценария*: каждую создаваемую программно-инструментальную систему предполагается описывать в виде совокупности взаимосвязанных и взаимоувязанных планов и сценариев, и такую совокупность можно будет назвать *конфигурацией*.

Приводимые в работе примеры реальных медико-биологических исследований призваны проиллюстрировать реализацию общего подхода при автоматизации медико-биологических исследований различных видов и вместе с тем используются в качестве источника основных идей.

2. Постановка задачи [5–7]. Для автоматизации медико-биологических исследований необходимо каким-либо образом упорядочить процедуру проведения медико-биологических исследований. Необходимо определить, какие основные этапы встречаются в реальных исследованиях, как эти этапы могут быть описаны, как может быть организована процедура выполнения этапов, каковы результаты выполнения каждого этапа исследования и как могут быть использованы в дальнейшем эти результаты.

Медико-биологические исследования человека, основанные на регистрации физиологических показателей и поведенческих реакций, состоят из обследований испытуемых, в ходе которых производятся *измерительные эксперименты*. Для организации каждого измерительного эксперимента необходимо:

- выбрать регистрируемые физиологические показатели;
- указать, что и как должен делать испытуемый во время регистрации физиологических сигналов, нужно ли предъявлять испытуемому какие-либо воздействия и т.д. и т.п.

Исследования, как правило, осуществляются при помощи программно-аппаратных комплексов (ПАК). Каждый такой ПАК представляет собою прибор, регистрирующий физиологические сигналы, и специальное программное обеспечение (СПО), предназначенное для работы с данным прибором. СПО устанавливает связь с прибором, передаёт в прибор команды пользователя, задаёт режим работы прибора и получает от прибора экспериментальные данные (оцифрованные физиологические сигналы) и сведения о текущем состоянии прибора. Результат работы ПАК — совокупность файлов, содержащих результаты измерений и, дополнительно, результаты (предварительной) математической обработки измерений (если такая обработка встроена в СПО).

При проведении медико-биологических исследований создаётся база экспериментальных данных. Если СПО, используемое в ПАК, допускает внешнее управление (например, посредством передачи соответствующему приложению параметров в командной строке или посредством формирования управляющих файлов), то процесс регистрации можно автоматизировать. И тогда, используя для ведения базы данных отдельный модуль, который предоставляет возможность зарегистрировать нового испытуемого и составить карточку проводимого обследования, можно будет отдельно вызывать СПО для создания файлов с результатами измерений, а в базу данных записывать ссылки на создаваемые в ходе измерительного эксперимента файлы.

Если СПО исключает возможность внешнего управления, то потребуются дополнительные действия для преобразования уже введённых данных из одного формата в другой, поскольку каждое СПО сохраняет введённые данные в базе данных собственного формата. Это существенным образом затрудняет автоматизацию, поскольку приходится учитывать особенности используемого СПО, а также множество входящих обстоятельств, включая и желания пользователей применять привычное для них СПО.

Ситуация существенно усложняется при необходимости измерять множество разнотипных физиологических показателей, особенно если регистрация физиологических сигналов сопровождается видео- и звукозаписью испытуемого. Во-первых, для регистрации каждого физиологического показателя существует свой ПАК, следовательно, необходимо каким-то образом связать несколько ПАК в единый комплекс, что может оказаться в некоторых случаях неосуществимым. Во-вторых, возникает проблема синхронизации разнотипных измерений, которая может быть решена только на аппаратном уровне, при помощи специализированного устройства.

После того, как физиологические сигналы зарегистрированы, необходимо обработать полученные экспериментальные данные математическими методами. Применяемые математические методы весьма разнородны. К ним относятся и методы анализа самих физиологических сигналов (временных рядов), позволяющие вычислять потенциально информативные признаки, и методы теории распознавания образов, основанные на некоторой классификации предъявляемых объектов и предполагающие построение решающих правил, выбор критериев качества (классификации) распознавания, а также алгоритмы отбора информативных признаков. Важную роль в анализе физиологических сигналов играют методы препроцессинга — методы предварительной обработки временных рядов, направленные на выявление внутренней структуры анализируемых временных рядов и на представление данных в форме, наиболее пригодной для дальнейшего анализа. На этапе научных исследований приходится пробовать различные варианты значений управляющих параметров используемых алгоритмов и выбирать наиболее эффективные в смысле выбранного критерия оптимальности. Именно поэтому этап математического анализа также должен быть должным образом автоматизирован.

Таким образом, ставится следующая задача: построить такую систему взаимосвязанных и взаимоувязанных объектов, которая позволила бы эффективно описать все перечисленные выше этапы проведе-

ния медико-биологических исследований, основанных на регистрации физиологических сигналов и поведенческих реакций человека.

3. Примеры медико-биологических исследований (конфигураций). Приведём примеры реальных медико-биологических исследований, в каждом из которых ставится своя научная задача, регистрируются свои физиологические сигналы, применяются свои методы математического анализа экспериментальных данных, и в каждом из которых необходимо построить свою конфигурацию. Разрабатываемые конфигурации имеют общие элементы, связанные с организацией рабочего процесса в целом, но обладают и существенными различиями, отражающими различия в структуре регистрируемых данных и в схеме организации измерительных экспериментов. Цель рассмотрения примеров — выделение основных объектов, которые должны присутствовать в типовой конфигурации, предназначенной для проведения разнотипных медико-биологических исследований.

3.1. Пример №1: Диагностика болезни Паркинсона [2, 4, 8]. При диагностике болезни Паркинсона регистрируется тремор конечностей испытуемого, и по виду полученных треморограмм делают вывод о том, является ли обследуемый испытуемый здоровым, или у него имеется патология. Проф. С.П. Романовым был предложен способ регистрации тремора, основанный на применении пьезорезистивных тензодатчиков, в связи с чем треморограммы, полученные указанным способом, следует называть тензотреморограммами (ТТГ). Каждая ТТГ представляет собой результат регистрации удерживаемого испытуемым усилия (причём одновременно ведётся регистрация усилия как левой, так и правой руки), а также результат интегрирующего преобразования регистрируемого усилия. Результат преобразования и есть, собственно, тремор. Таким образом, на выходе аналого-цифрового преобразования формируются четыре временных ряда, которые образуют то, что можно было бы назвать *планом измерений*, приведённым в табл. 1.

Таблица 1. План измерений

| № | Элемент плана |
|---|--------------------|
| 1 | Усилие левой руки |
| 2 | Усилие правой руки |
| 3 | Тремор левой руки |
| 4 | Тремор правой руки |

Таким образом, каждое *измерение*, входящее в план, — это некоторый вид регистрируемого измерительным прибором (или ПАК) физиологического сигнала.

Также проф. С.П. Романовым была предложена и постановка измерительного эксперимента, в соответствии с которой в ходе обследования отдельного испытуемого регистрируется несколько различных типов ТТГ. Для того, чтобы зарегистрировать ТТГ определённого типа, необходимо провести отдельный измерительный *сеанс*, в ходе проведения которого испытуемый будет выполнять определённые действия, предписанные экспериментатором. В соответствии с этим, список всех регистрируемых типов ТТГ будет называться *планом сеансов*. В отличие от плана измерений, план сеансов в каждом конкретном обследовании выполняется выборочно. В большинстве случаев происходит регистрация ТТГ четырёх типов, перечисленных в табл. 2. Если требуется более глубокий анализ физиологических процессов, то возможна регистрация и других типов ТТГ.

Таблица 2. Основные типы тензотримограмм

| № | Выполняемые испытуемым действия |
|---|--|
| 1 | Удержание усилия кончиками пальцев при минимальном усилии |
| 2 | Удержание усилия кончиками пальцев при максимальном усилии |
| 3 | Удержание усилия кончиками пальцев при минимальном усилии |
| 4 | Удержание усилия кончиками пальцев при максимальном усилии |

Регистрируемые ТТГ обрабатываются методами математического анализа физиологических сигналов. Все вычисления, которые необходимо произвести с ТТГ, образуют то, что можно назвать *планом вычислений*. В самом простом случае, когда рассматривается единственный метод математического анализа, план вычислений будет состоять из вычислений, реализующих этапы выбранного метода анализа, и тогда при выполнении отдельного пункта плана будет появляться один или несколько *результатов*. В том случае, когда необходимо провести сравнительный анализ различных методов, план вычислений будет представлять собой список сравниваемых методов, и тогда результатом выполнения отдельного пункта плана вычислений будет результат применения конкретного метода. Если требуется добавить в схему сравнительного анализа новый метод, то этот метод будет добавлен в план вычислений, что автоматически приведёт к выполнению новых вычислений и получению новых результатов. Аналогичная ситуация возникает и в том случае, когда между собой сравниваются различные

варианты применения одного и того же метода (одного и того же математического алгоритма), связанные с выбором различных значений рабочих параметров, и тогда для каждого метода математического анализа, очевидно, необходимо формировать свой план вычислений. Естественным образом возникает иерархия вычислений, которая может быть изображена в виде единого иерархического плана вычислений. На самом верхнем уровне располагаются, собственно, сами методы анализа. С каждым методом связываются свой набор рабочих параметров и свой порядок вычислительных этапов. На следующем уровне располагаются различные варианты использования одних и тех же методов, но при различных значениях рабочих параметров. Набор рабочих параметров конкретного метода образует то, что можно было бы назвать *планом параметров*, в то время как список результатов, которые необходимо получить при выполнении отдельного вычисления, следовало бы называть *планом результатов*.

3.2. Пример №2: выявление реакций на аудиовизуальные воздействия [3]. Суть исследований заключается в том, чтобы определить, как реагирует человек на предъявляемые ему стимулы: можно ли выделить во временных рядах электроэнцефалограмм (ЭЭГ) устойчивые паттерны, возникающие в ответ на предъявление определённого стимула (или воздействия). В соответствии с этим здесь возникает новый элемент — *сценарий*, в котором указывается, в какой момент времени начинается то или иное воздействие. Далее, в зависимости от постановки исследовательской задачи, формируется план обследования. Измерительный эксперимент (который входит в отдельное обследование конкретного испытуемого), как и в предыдущем примере, состоит из нескольких измерительных сеансов, в каждом из которых используется свой сценарий воздействий. Возможные сценарии перечислены в табл. 3.

Таблица 3. Сценарии

| № | Элемент плана | Сценарий |
|---|---|----------|
| 1 | Фоновая запись, вызывающая нейтральные эмоции | Фон |
| 2 | Набор воздействий, вызывающих сильные эмоции | Опыт |
| 3 | Набор воздействий, вызывающих слабые эмоции | Контроль |
| 4 | Набор из 275 предъявлений 55 картинок воздействий | Тест |

В реальном измерительном эксперименте используются только те сценарии, которые соответствуют конкретной задаче, поставленной при проведении конкретных исследований.

Важную роль при анализе физиологических сигналов играют методы препроцессинга. В частности, представляет интерес рассмотреть вид препроцессинга, основанный на разбиении анализируемых сигналов на эпохи, вычислении спектральных полос и применении критерия Уилкоксона. Разбиение на эпохи, в свою очередь, может быть осуществлено несколькими способами, и это зависит от выбранной длины эпохи. Также важно, сколько формируется спектральных полос, и какие именно формируются спектральные полосы. После того, как спектральные полосы сформированы, необходимо произвести разбиение эпох на два класса и вычислить для данного разбиения значения критерия. Каждая эпоха относится к определённому воздействию, поэтому каждая эпоха получает метку, соответствующую данному воздействию. Далее, необходимо как-либо сгруппировать воздействия и рассчитать значения критерия Уилкоксона для каждого разбиения. Поскольку вариантов разбиения на два класса множество, поступают следующим образом: в качестве первого класса берут воздействия, входящие в первую группу, а в качестве второго — воздействия, входящие в остальные группы, и вычисляют значение критерия для полученного разбиения; эта операция повторяется для всех групп воздействий. Длина эпохи определяет вычисляемые спектральные полосы, а разбиение воздействий на группы — вычисляемые значения критерия Уилкоксона. При этом можно рассматривать различные группировки воздействий при одном и том же разбиении на эпохи (а, значит, и для одних и тех же спектральных полос). Таким образом, даже если использовать только один вид препроцессинга, мы получаем, как и в предыдущем примере, иерархический план вычислений.

3.3. Пример №3: Инструментальная количественная оценка психосоматического статуса [1, 9–12]. При мониторинге процесса лечения, осуществляемом при наличии ряда заболеваний, является крайне важным определять психоэмоциональное состояние наблюдаемого пациента. Поскольку внутренние физиологические процессы регуляции в организме находят отражение в периодических и квазипериодических процессах, доступных для регистрации, представляется целесообразным сопоставить результаты регистрации физиологических сигналов с результатами психологического тестирования испытуемого. Проведя комплексный математический анализ полученных результатов и выявив основные взаимосвязи и закономерности, можно разработать методику количественной оценки психосоматического статуса пациента.

Если в уже рассмотренных примерах медико-биологических исследований структура анализируемых данных была всегда одной и той же в рамках каждого исследования, то здесь регистрируются весьма разнородные данные. Во-первых, в измерительном эксперименте используется прибор «Полиграф-синхронизатор ЛБМИ-001», который позволяет непосредственно регистрировать несколько видов физиологических сигналов. Эти виды перечислены в табл. 4.

Таблица 4. План измерений №1 (для прибора «Полиграф-синхронизатор»)

| № | Вид сигнала | Количество каналов |
|----|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Кардиограмма | 2 канала ЭКГ |
| 3 | Дыхание | 2 канала |
| 5 | Кожно-гальваническая реакция | 1 канал |
| 10 | Пульсовая волна | 4 пульсоксиметрических канала |

Во-вторых, в измерительном эксперименте задействована web-камера, которая направлена на лицо испытуемого и предназначена для изучения микродвижений лица испытуемого. Также в состав системы входит микрофон, обращённый в сторону испытуемого для записи и последующего анализа параметров его голоса. Система сконфигурирована таким образом, чтобы звук, получаемый от микрофона, попадал в AVI-файл, формируемый web-камерой. В-третьих, для проведения психологического тестирования используется программное приложение «Интегративный тест тревожности». Приложение предоставляет возможность предъявить испытуемому список необходимых вопросов, получить от испытуемого ответы и вычислить интегративные и итоговые показатели, отражающие уровень личностной и ситуативной тревожности данного испытуемого.

Таким образом, здесь возникает новый элемент схемы — *регистратор*. Регистратор — это объект, который отвечает за определённый способ получения экспериментальных данных. В соответствии с тем, что (и как) позволяет регистрировать регистратор, формируется план измерений. При проведении отдельного измерительного эксперимента необходимо указать, какие именно используются регистраторы. Список используемых в измерительном эксперименте регистраторов образует *план регистрации*. Это означает, что при формировании плана обследования для каждого элемента плана обследования должен быть указан свой план регистрации. План обследования, который возникает при оценке психосоматического статуса, представлен в табл. 5.

Таблица 5. **Основной план обследования**

| № | Элемент плана | Подчинённый план | |
|---|--|---------------------|---------------|
| 1 | Многоканальная синхронизированная запись | План регистрации №1 | |
| | | № | Элемент плана |
| | | 1 | Прибор |
| | | 2 | Аудио&Видео |
| 3 | Психологическое тестирование | План регистрации №2 | |
| | | № | Элемент плана |
| | | 1 | ИТТ |
| | | | |

Далее, каждый регистратор в результате проведения измерительного эксперимента создаёт один или несколько файлов. Структура создаваемых файлов и их формат являются неотъемлемой частью регистратора. Отсюда возникает потребность в составлении *протокола*, куда входит описание того, что было получено в результате измерений. Тем самым удаётся упорядочить накопление разнородных экспериментальных данных и предоставить возможность реализации методов обработки, учитывающих тип протокола. Например, если в ходе измерений регистрируются дыхание и пульс, то можно составить план измерений таким образом, чтобы каждый вид измерений обрабатывался при помощи собственного метода математического анализа.

Может так получиться, что в ходе проведения измерительного эксперимента возникла какая-то ошибка (перестала функционировать камера, отвалился измерительный датчик, испытуемый или экспериментатор своим действием нарушили запись каким-либо неприемлемым артефактом). Тогда обязательно должна быть предусмотрена возможность принудительного завершения текущего измерительного сеанса, который должен быть помечен, в случае возникновения ошибки, как некорректный. Цель проведения измерительного эксперимента — корректное завершение начатого сеанса, поэтому система будет порождать новые сеансы до тех пор, пока очередной сеанс не будет корректно завершён.

Ещё один важный аспект связан с организацией самой измерительной процедуры. Если мы хотим сравнить экспериментальные данные, полученные в различных функциональных состояниях, то мы можем искусственно создать различные условия для испытуемого. В частности, мы можем обязать испытуемого сначала неподвижно сидеть, и тогда мы получим запись, которую будем называть *фоновой*. Предложив испытуемому считать вслух от единицы до ста, мы полу-

чим запись, которую будем называть *контрольной*. Таким образом, можно сформировать сценарий, который будет состоять, в нашем случае, из двух пунктов: «Фоновая запись» и «Контрольная запись». Для того, чтобы выполнить пункт сценария, необходимо провести отдельный сеанс. Если сеанс завершён корректно, то этот сеанс будет соответствующим образом помечен. Таким образом, выполнение сценария гарантирует, что в ходе измерительного эксперимента будут получены все необходимые для математической обработки экспериментальные данные.

4. Проектирование программно-инструментальной системы. В каждом примере медико-биологического исследования, приведённого в предыдущем разделе, описывалась своя система или конфигурация взаимосвязанных и взаимоувязанных объектов. Проектируемая программно-инструментальная система, предназначенная для проведения медико-биологических исследований, должна обеспечивать функционирование некоторой обобщённой конфигурации, которая поддерживает все необходимые типы объектов и позволяет связывать объекты различных типов для оптимального решения конкретных исследовательских задач. Дадим ниже описание концептуальной схемы проектируемой программно-инструментальной системы и покажем место в этой схеме таких понятий, как план и сценарий.

4.1. Объекты. В медико-биологических исследованиях встречаются следующие типы основных объектов:

1. **Посещения.** *Посещения* связаны с проведением *обследований* конкретных *испытуемых*.
2. **Эксперименты.** *Эксперименты* заключаются в применении измерительных приборов или *регистраторов*.
3. **Регистрации.** *Регистрации* представляют собою наборы физиологических сигналов, регистрируемые прибором.
4. **Измерения.** *Измерения* представляют собою временные ряды, которые непосредственно участвуют в *вычислениях*.
5. **Вычисления.** *Вычисления* приводят к *результатам*.

Типы объектов, очевидно, образуют иерархию. При традиционном подходе, можно было бы ограничиться созданием в базе данных пяти основных таблиц («Испытуемые», «Эксперименты», «Регистрации», «Измерения» и «Вычисления») где каждая таблица связана отношением «один-ко-многим» с последующей таблицей. При применении предлагаемого подхода необходимо иметь разделение объектов на те, которые отвечают за логическую организацию экспериментальных данных (объекты *первого рода*), и на те, которые отвечают за физиче-

скую реализацию выполняемых в системе действий (объекты *второго рода*). Основные объекты — это объекты первого рода. В результате совершения того или иного действия с участием объекта первого рода возникает один или несколько объектов второго рода: в результате посещения с участием испытуемых возникают обследования, в результате проведения (в рамках конкретного обследования) измерительных экспериментов возникает один или несколько измерительных сеансов, и т.д. и т.п. Таким образом, получается иерархия объектов (типов объектов), которая в представлена в виде табл. 6.

Таблица 6. **Иерархия объектов**

| Уровень | Типы объектов первого рода | Типы объектов второго рода |
|---------|----------------------------|----------------------------|
| 0 | | Испытуемые |
| 1 | Посещения | Обследования |
| 2 | Эксперименты | Сеансы |
| 3 | Регистрации | Протоколы |
| 4 | Измерения | Представления |
| 6 | Вычисления | Результаты |

Для описания взаимосвязей между различными типами объектов необходимо ввести в схему понятие *плана*.

4.2. Планы. План — это набор объектов, которые необходимо создать. Поскольку при создании объектов совершаются некоторые действия, то план также можно интерпретировать и как последовательность действий, которые необходимо совершить. План представляет собою упорядоченный список, каждый элемент которого имеет порядковый номер, собственное уникальное имя и шифр. В общем случае план применяется для объектов одного типа и для того, чтобы породить объекты другого типа. Каждый объект первого рода порождает (при помощи соответствующего плана) один или несколько объектов второго рода, а каждый объект второго рода автоматически порождает или «разворачивается» (при помощи соответствующего плана) в полный набор объектов первого рода. Таким образом, становится совершенно очевидным разделение объектов на два класса. К объектам первого рода применяются планы, выполнение которых всегда требует ввода некоторой дополнительной информации, и поэтому такие планы следует называть *пассивными*, в то время как к объектам второго рода применяются планы, которые по своему составу отражают структуру объектов второго рода, и поэтому такие планы следует называть *активными*. Иерархия типов объектов порождает такую же иерархию планов. Обе иерархии представлены в виде табл. 7.

Таблица 7. **Двойная иерархия: объекты и соответствующие им планы**

| № | Типы объектов первого рода | Пассивные планы | Типы объектов второго рода | Активные планы |
|---|----------------------------|-----------------|----------------------------|----------------|
| 0 | | | Испытуемые | |
| 1 | Посещения | Обследований | Обследования | Экспериментов |
| 2 | Эксперименты | Сеансов | Сеансы | Регистраций |
| 3 | Регистрации | Протоколов | Протоколы | Измерений |
| 4 | Измерения | Представлений | Представления | Вычислений |
| 5 | Вычисления | Результатов | Результаты | |

Для того, чтобы окончательно прояснить роль пассивных планов, потребуется ввести в схему понятия *сценария*.

4.3. Сценарии. План — это способ дать наименование и уникальную идентификацию однородной в каком-то отношении группе объектов. Никто не мешает пополнять план новыми элементами, но, в целом, план должен сохранять некоторое постоянство. Вообще говоря, оптимальной будет такая реализация планов, при которой все входящие в конфигурацию планы сохраняют своё постоянство. Для того, чтобы отразить изменчивость, используются *сценарии*. Сценарий — это упорядоченный набор объектов, которые необходимо последовательно использовать, или действий, которые необходимо также последовательно совершить. Имеется три важных примера сценария: сценарий измерительного эксперимента включает те сеансы, которые необходимо произвести в ходе измерительного эксперимента; сценарий воздействий описывает порядок предъявления воздействий; сценарий вычислений, в свою очередь, описывает порядок вычислений, которые необходимо произвести. Каждый сценарий связан с определённым планом. В определённом смысле сценарий реализует некоторый алгоритм обхода элементов плана или, если говорить совсем коротко, несколько упрощая и огрубляя, сценарий «реализует» некоторый план. Можно составить полный план сеансов, который оказывается на деле справочником видов экспериментов, и сформировать несколько сценариев, каждый из которых будет использоваться в соответствующей ситуации. В случае, когда рассматриваются воздействия, имеет смысл взять план воздействий и составить сценарий, в котором будет указан порядок предъявления воздействий, причём, в файле сценария (файле, соответствующем конкретному измерительному эксперименту) будут содержаться реальные сведения о том, когда именно (в рамках данного измерительного эксперимента) предъявлено то или иное воздействие.

5. Построение конфигурации. Рассмотрим, теперь, как на основании изложенных в предыдущем разделе принципов и понятий можно построить реальную (рабочую) конфигурацию, предназначенную для проведения медико-биологических исследований.

5.1. Посещения и обследования. Точка отсчёта для построения конфигурации — это испытуемые. Для решения поставленных исследовательских задач составляется план обследований, который определяет виды допустимых обследований. При прохождении испытуемым очередного (первого или повторного) обследования необходимо выбрать вид обследования. Вид обследования — это совокупность внешних по отношению к обследованию условий проведения измерительных экспериментов. Здесь может быть использован сценарий обследований, который позволяет за один заход (за одно посещение испытуемого) проделать несколько обследований различных видов. Таким образом, вид обследования используется для формирования различных выборок экспериментальных данных и проведения научных исследований, которые могут предполагать, вообще говоря, разработку и применение существенно различающихся методов математической обработки экспериментальных данных. Может так оказаться, что в системе предусмотрен только один вид обследований. Такое может иметь место в примере с диагностикой болезни Паркинсона, когда весь массив экспериментальных данных обрабатывается математическими методами как есть, без разделения данных, соответствующих обследованиям различных видов. Но уже при более глубоком анализе экспериментальных данных возникает потребность в указании условий проведения экспериментов (речь пойдёт об исследовании влияния лекарственных препаратов на процессы регуляции). В конечном итоге каждое обследование представляет собою блок экспериментальных данных, полученных при одних и тех же условиях. План обследований, очевидно, может быть только один. В свою очередь, планов экспериментов может быть несколько. Не имеет особого смысла напрямую привязывать план экспериментов к плану обследований, особенно в ситуации, когда план обследований — это пассивный план, а план экспериментов — это активный план: подчиняться друг другу могут только планы одного вида. В соответствии с выбранным планом экспериментов обследование «разворачивается» в набор экспериментов.

5.2. Эксперименты и сеансы. План экспериментов — это активный план самого верхнего уровня. Каждый элемент плана экспериментов описывает отдельный измерительный эксперимент, поэтому в качестве подчинённого плана используется другой активный план —

план регистраций, перечисляющий те источники экспериментальных данных, которые необходимо использовать в ходе данного измерительного эксперимента. Также в каждом элементе плана экспериментов даётся указание на используемый в данном эксперименте пассивный план — план сеансов, и имеется ссылка на сценарий сеансов. Если сценарий задан, то он позволяет, например, сформировать последовательность сеансов, полученных с использованием одной и той же регистрирующей аппаратуры, но помеченных как различные измерительные эксперименты. План регистрации, в таком случае, отвечает за структурную организацию измерительных экспериментов (*что регистрируется*), а сценарий сеансов — за логическую организацию экспериментов (*как регистрируется*). Именно сценарий должен отвечать за:

- формирование различных типов тензотрёморограмм в примере с болезнью Паркинсона;
- формирование фоновой и тестовой записей в примере с воздействиями;
- формирование фоновой и тестовой записей в примере с психосоматическим статусом.

Как и сценарий экспериментов, сценарий сеансов может включать ссылку на план, и таким планом может быть план воздействий. Каждый сеанс, в соответствии с планом регистраций, «разворачивается» в виде набора регистраций.

5.3. Регистрации и протоколы. План регистраций описывает те измерительные приборы, которые используются для регистрации физиологических сигналов. Каждый прибор или датчик позволяет регистрировать сигналы определённого вида и сохраняет результаты своей работы в виде файлов определённого формата. Создаваемым в ходе измерительного эксперимента файлам различных форматов можно дать условное название: *протоколы*. Можно составить единый план протоколов, где будут описаны различные типы файлов, и использовать в каждом конкретном случае свой сценарий протоколов, в соответствии с которым можно будет осуществлять последовательные преобразования данных из одной формы в другую. Вне зависимости от формы представления результат регистрации (протокол) «разворачивается» в виде упорядоченного набора измерений.

5.4. Измерения и представления. Каждое измерение — это отдельный физиологический сигнал. Конкретная реализация алгоритма математической обработки физиологических сигналов имеет дело не с физиологическим сигналом как таковым, а с конкретным файлом, содержащим отсчёты анализируемого временного ряда и имеющим

определённый формат. Таким образом, можно говорить о *представлениях*. Каждое представление — это описание того, каков формат хранения данных, и указание на то, каким именно образом в файле хранится представляемое в данном файле измерение (то есть, временной ряд). У каждого измерения может быть несколько представлений, начиная с тривиального текстового файла, содержащего только отсчёты единственного временного ряда, и заканчивая бинарными файлами сложного формата, в которых находятся несколько временных рядов (не обязательно полученных при одной и той же частоте дискретизации). Сюда относятся и файлы, которые использует регистратор для сохранения результатов измерений, а также файлы, которые используются математическими пакетами прикладных подпрограмм. Формируя сценарий представлений, можно получить цепочку преобразований, в результате применения которой будет получено представление в виде файла формата, подходящего для применения выбранного пакета подпрограмм. Как только такое представление получено, оно в соответствии с планом вычислений будет «развёрнуто» в виде набора вычислений.

5.5. Вычисления и их результаты. План вычислений — это набор тех действий, которые необходимо осуществить для обработки каждого регистрируемого временного ряда (измерения). План вычислений состоит из выбранных *методов* или из различных вариантов применения одного и того же метода. Каждый метод описывается в виде некоего *алгоритма*, неотъемлемой частью которого является набор рабочих *параметров*, значения которых можно выбирать, и реализуется в виде исполняемого программного *модуля* (внутреннего программного объекта или внешнего приложения). Если необходимо сравнить несколько различных методов (или несколько различных вариантов применения одного и того же метода, но для различных наборов значений рабочих параметров), то составляется соответствующий план вычислений. Каждое вычисление — это применение указанного в плане метода при заданных в том же плане значениях рабочих параметров. Для управления параметрами составляется другой план — план параметров. У каждого метода будет свой план параметров. Также составляются план результатов, куда входят все допустимые виды вычислительных результатов, и сценарий вычислений (результатов), в котором указываются конкретные виды результатов, которые необходимо получить при применении выбранного математического метода. Таким образом, план вычислений оказывается иерархическим: на самом высоком уровне располагаются наиболее общие ме-

тоды, а на самом низком — конкретные реализации этих методов с указанием конкретных значений рабочих параметров. На каждом уровне иерархии может быть использован свой частный сценарий получения вычислительных результатов. Если же предполагается использовать различные методы (или группы методов) для различных измерений, то для каждого отдельного измерения (из плана измерений) указывается свой собственный план вычислений.

6. Дополнительные вопросы. Описанные в разделе 3 конфигурации были предназначены исключительно для накопления экспериментальных данных и их первичной математической обработки. Неохваченными остались вопросы, связанные с формированием выборок экспериментальных данных, применением решающих правил и отбором информативных признаков. Между тем, именно эти вопросы являются центральными при проектировании программно-инструментальных систем, предназначенных для проведения медико-биологических исследований.

6.1. Формирование выборок. При накоплении экспериментальных данных основными объектами обработки являются обследования и эксперименты. Выполнение заданного плана вычислений приводит к тому, что для каждого зарегистрированного физиологического сигнала формируется полный набор потенциально информативных признаков. Следующим шагом должно стать построение обучающих и контрольных выборок. Подобно отдельно взятому обследованию испытуемого, выборка является объектом, порождающим иерархию подчинённых ему объектов, для построения которых необходимо использовать некоторый план. При формировании выборки сохраняется информация о принадлежности каждого объекта к тому или иному классу, поэтому используемая классификация образует план выборки (план группировки). На следующем уровне иерархии перечисляются, собственно, сами объекты, входящие в выборку. Но каждый объект может быть представлен множеством способов. Каждый метод анализа физиологических сигналов предоставляет свой набор потенциально информативных признаков, таким образом, для одной и той же выборки объектов может быть составлено столько матриц экспериментальных данных, сколько используется математических методов. Сказанное означает, что в системе должны быть предусмотрены два слоя объектов — слой объектов-выборок и слой объектов-матриц — и план методов, в соответствии с которым каждая выборка может быть «развёрнута» в виде набора матриц экспериментальных данных, по одной на каждый метод математического анализа.

6.2. Применение решающих правил. При применении выбранного решающего правила используются матрица экспериментальных данных и информация о принадлежности каждого объекта к тому или иному классу (для этого формируется специальная группирующая переменная). По аналогии с планом вычислений здесь также создаётся свой план классификаций, при этом либо проводится сравнительный анализ различных классификаторов, либо используется один и тот же классификатор, но при различных значениях рабочих параметров. В частности, мы можем выбирать критерий качества распознавания и сравнивать результаты, полученные для различных критериев. Применение классификатора приводит к появлению новых объектов — результатов распознавания (по сути, это — принятие решения о принадлежности каждого объекта к одному из классов заданной классификации). Если речь идёт об обучающей выборке, то результатом будет также и само решающее правило, которое используется уже на контрольной выборке. Таким образом, ход вычислений при распознавании оказывается более сложным, чем при непосредственной обработке экспериментальных данных.

6.3. Отбор информативных признаков. При применении алгоритмов отбора информативных признаков выбранные классификаторы вызываются многократно, особенно если используются многошаговые алгоритмы. Однако, здесь главное — не результат применения выбранного классификатора, а набор информативных признаков, который получается в результате выполнения процедуры отбора. Поэтому, если в качестве источника выступает некоторая матрица экспериментальных данных, то эту матрицу, в соответствии с поставленной задачей, следует структурировать уже по столбцам, формируя то, что можно назвать планом столбцов. По существу, это будет каталог потенциально информативных признаков (это может быть план, связанный с определённым методом математического анализа физиологических сигналов, а может быть и общий план, описывающий все возможные признаки), а сопроводительный файл, в котором перечислены конкретные признаки, фигурирующие в данной матрице экспериментальных данных, будет напоминать по своему назначению сценарий — сценарий формирования матрицы экспериментальных данных. Нетривиальный момент заключается в том, что процедура перебора признаков также может быть интерпретирована как сценарий, который будет уже содержать указания на исключаемые и/или добавляемые признаки.

7. Заключение. В статье предложен подход к автоматизации медико-биологических исследований. Автоматизация заключается в

формировании единой процедуры проведения исследований, формализации её отдельных этапов и построении системы взаимосвязанных и взаимоуязванных программных объектов, прежде всего, планов и сценариев. Рассмотрение примеров различных типов медико-биологических исследований выявило все компоненты, необходимые для накопления и первичной обработки экспериментальных данных. Эти компоненты многократно используются, поэтому имеет смысл воплотить эти компоненты в виде конфигурации, которую можно настраивать под конкретную исследовательскую задачу. Фактически, в каждом из приведённых примеров создаётся своя собственная конфигурация. Можно выделить такие же общие компоненты и при рассмотрении вопросов, связанных с формированием выборок экспериментальных данных, применением решающих правил и отбором информативных признаков. Это свидетельствует о том, что предлагаемый подход действительно позволяет автоматизировать разработку программно-инструментальных систем, предназначенных для проведения медико-биологических исследований. Применение подхода, основанного на построении конфигураций, не ограничивается только накоплением экспериментальных данных. Дальнейшая разработка должна концентрироваться на создании технологической платформы, при помощи которой будут функционировать конфигурации, и на создании конфигууратора — средства для управления конфигурациями (создания и настройки конфигураций).

Литература

1. *Вассерман Е.Л., Карташев Н.К.* Разработка устройства для полиграфических исследований с регистрацией физиологических параметров и синхронным сбором информации внешними устройствами // XII Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2010)», Санкт-Петербург, 20–22 октября 2010 г. Труды конференции. СПб.: СПОИСУ, 2011. С. 266–268. ISBN 978-5-905183-88-1
2. *Вейн А.М., Голубев В.Л., Берзиньш Ю.Э.* Паркинсонизм. Клиника, этиология, патогенез, лечение. Рига: Зинатне, 1981. 328 с.
3. *Дюк В.А., Попова Е.А., Сенкевич Ю.И., Цветков О.В.* Методы интеллектуального анализа данных в задаче исследования реакции ЭЭГ на неосознаваемые визуальные стимулы // Труды Всероссийской научной конференции «Экспериментальный метод в структуре психологического знания», 22–23 ноября 2012 г.
4. *Жвалевский О. В.* Методика математического анализа тензотримограмм // Региональная информатика (РИ-2012). Юбилейная XIII Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2012)». Санкт-Петербург, 24–26 октября, 2012 г.: Материалы конференции. СПб.: СПОИСУ, 2012. С. 284–285.
5. *Жвалевский О. В.* Применение семантических представлений в задачах обработки биомедицинских данных // Сборник трудов конференции «Инженерия знаний и технологии семантического веба – 2012». СПб.: НИУ ИТМО, 2012. С. 214–224.

6. *Жвалевский О. В.* Программно-инструментальная система для проведения измерений физиологических показателей человека // *Материалы конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2012).* СПб.: ОАО «Концерн» ЦНИИ «Электроприбор», 2012. С. 578–587.
7. *Жвалевский О. В.* Общий подход к автоматизации проведения медико-биологических исследований // *Региональная информатика (РИ-2012). Юбилейная XIII Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2012)».* Санкт-Петербург, 24–26 октября, 2012 г.: *Материалы конференции.* СПб.: СПОИСУ, 2012. С. 285–286.
8. *Пчелин М.Г., Романов С.П., Якимовский А.Ф.* Метод тензометрии для количественной оценки тремора // *Физиологический журнал им. И.М.Сеченова.* 1996. Т. 82., № 2. С. 118–123.
9. *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.
10. *Юсупов Р.М., Рудницкий С.Б., Вассерман Е.Л., Карташев Н.К., Жвалевский О.В.* Использование внешнего синхронизатора для преодоления проблем организации синхронного сбора физиологической информации при использовании программно-аппаратных комплексов разных производителей // *Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования в физиологии, фармакологии и медицине.* Т. 1: Сборник статей Второй международной научно-практической конференции «Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования в физиологии и медицине» 26–28.10.2011, Санкт-Петербург, Россия / Под ред. А.П. Кудинова, Б.В. Крылова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. С. 278–283. ISBN 978-5-7422-3181-3
11. *Юсупов Р.М., Вассерман Е.Л., Денисова Д.М., Дюк В.А., Жвалевский О.В., Карташев Н.К., Рудницкий С.Б., Толстоногов Д.А., Бланк М.А., Бланк О.А.* Разработка теоретических основ, моделей и информационных технологий экспресс-диагностики и мониторинга функционального состояния человека на основе комплексной обработки биометрических данных // *Фундаментальные науки — медицина: Тезисы докладов на конференциях и семинарах по научным направлениям Программы в 2009 году.* М.: Фирма «Слово», 2009. С. 105–106. ISBN 978-5-900228-83-9
12. *Юсупов Р.М., Рудницкий С.Б., Вассерман Е.Л., Карташев Н.К.* Экспресс-диагностика и мониторинг функционального состояния человека на основе комплексной обработки биометрических данных: разработка исследовательского полиграфического комплекса // *Фундаментальные науки — медицина: Тезисы докладов на конференциях и семинарах по научным направлениям Программы в 2010 году.* М.: Фирма «Слово», 2010. С. 122–123. ISBN 978-5-900228-90-7

Рудницкий Сергей Борисович — д.т.н.; заведующий лабораторией биомедицинской информатики СПИИРАН. Область научных интересов: комплексная обработка сигналов, принятие решений в условиях неопределенности, биометрия, дальняя радионавигация. Число научных публикаций — 90. roudnitsky@spiiras.nw.ru; СПИИРАН, ул. 14 линия, 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-54-11, факс +7(812) 328-44-50.

Roudnitsky Sergey Borisovich — Ph.D., Dc.Sci.; Head of the Laboratory of biometrical informatics, SPIIRAS. Research interests: integrated signal processing, decision making under conditions of uncertainty, biometry, long-range radionavigation. The number of publica-

tions — 90. roudnitsky@spiiras.nw.ru; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-54-11, fax +7(812) 328-44-50.

Жвалевский Олег Валерьевич — научный сотрудник лаборатории биомедицинской информатики СПИИРАН. Область научных интересов: методы обработки экспериментальных данных, системы управления базами данных, интеграция приложений. Число научных публикаций — 32. ozh@spiiras.ru; СПИИРАН, 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, 199178, РФ; п.т. +7(812)328-5411, факс +7(812)328-4450.

Zhvalevsky Oleg Valerievich — researcher, Laboratory of biometrical informatics, SPIIRAS. Research interests: methods of experimental data processing, systems of database control, integration of applications. The number of publications — 32. ozh@spiiras.ru; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-5411, fax +7(812)328-4450.

Рекомендовано лабораторией лаборатории биомедицинской информатики, заведующий лабораторией Рудницкий С.Б., д.т.н.
Статья поступила в редакцию 18.09.2013.

РЕФЕРАТ

Рудницкий С.Б., Жвалецкий О.В. **Подход к автоматизации медико-биологических исследований, основанный на построении конфигураций**

В статье описывается один из возможных подходов к автоматизации медико-биологических исследований. Подход заключается в построении конфигурации — системы взаимосвязанных и взаимоуязванных планов и сценариев.

В статье описывается архитектура программно-инструментальных систем, предназначенных для проведения медико-биологических исследований, основанных на регистрации физиологических показателей человека. Также, в статье ставится задача автоматизации разработки программно-инструментальных систем указанного типа.

В работе приводятся примеры реальных медико-биологических исследований. В примере, связанном с диагностикой болезни Паркинсона, вводятся и описываются основные объекты (испытуемые, обследования, эксперименты, измерения и вычисления) и описываются основные планы (планы обследований, планы измерений, планы вычислений). Во втором примере, связанном с предъявлением испытуемому воздействий, вводится новый элемент — сценарий. Наконец, в третьем примере, связанном с регистрацией нескольких разнотипных физиологических показателей и поведенческих реакций, вводится понятия регистратора — модуля отвечающего за регистрацию измерений определённого вида. В каждом из рассмотренных примеров строится своя конфигурация.

В результате обобщения рассмотренных примеров, формируется набор основных типов объектов (которые должны входить в конфигурацию), и указываются связи между объектами различных типов. Для указания связей между объектами различных типов используются планы и сценарии. Объекты, входящие в конфигурацию, подразделяются на классы (вводятся классы объектов первого и второго рода), и, в соответствии с принятой классификацией, строится обобщённая иерархия объектов и планов. Объекты конфигурации допускают непосредственную программную реализацию. Далее, в статье осуществляется построение обобщённой конфигурации, которая включает все необходимые компоненты медико-биологических исследований. Подробно описывается каждый компонент выбранной схемы организации объектов. Также, в статье даётся представление и о том, как описанный подход может быть использован при формировании выборок, при применении решающих правил и при применении алгоритмов отбора информативных признаков.

Поскольку предложенный подход позволяет описать практически все элементы медико-биологических исследований, то делается вывод об эффективности подхода, основанного на конфигурациях. В то же время, описанную в статье обобщённую конфигурацию можно использовать как типовую при разработке программно-инструментальных систем, предназначенных для проведения медико-биологических исследований.

SUMMARY

Roudnitsky S.B., Zhvalevsky O.V. **An approach to medical and biological research automation based on the design of configurations**

This work describes one of the possible approaches to the automation of medical and biological research. The approach involves designing a configuration, i.e. a system of interlinked plans and scenarios. The architecture of software and hardware systems intended for carrying out medical and biological research based on recording human vital signs is described in this article, and the problem of automation of the development of said systems is put forward.

Examples are cited of real medical and biological investigations. In the example involving the diagnosis of Parkinson's disease principal objects (test subjects, examinations, experiments, measurements and calculations) are introduced and described, and the basic plans (plans of examinations, plans of measurements, plans of calculations) are described. In the second example involving exposing the test subject to stimuli a new element is introduced: the scenario. Finally, in the third example involving recording several polytypic vital signs and human behavioural reactions we introduce the concept of the logger, i.e. the element that is responsible for the recording of measurements of a particular kind. In each of the examples under consideration a separate configuration is designed.

As a result of generalising the examples under consideration, a set of basic types of objects (that should be included in the configuration) is formed, and the relations between objects of various types are specified. For specifying the relations between objects of various types plans and scenarios are used. Objects included in the configuration are subdivided into classes (classes of type I and type II objects are introduced), and, according to the adopted classification, the generalised hierarchy of objects and plans is designed. Objects of the configuration allow direct software implementation. Further, the design of a generalised configuration that includes all the necessary components of medical and biological research is carried out in this article. Each component of the chosen scheme of object organisation is described in detail. The article also gives an idea of how the approach in question can be used in forming the samples, applying decision rules and applying the algorithms of informative sign selection.

Since the suggested approach allows for describing virtually all the elements of medical and biological research, we conclude that the configuration-based approach is effective. At the same time, the generalised configuration described in this article can be used as a standard in developing software and hardware systems for carrying out medical and biological research.