

УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНОСТЬЮ ЗАДАЧ В ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА

О.В. Жвалевский

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН)
Россия, 199178, Санкт-Петербург, 14-ая линия В.О., 39
E-mail: ozh@spiiras.ru

Ключевые слова: функциональное состояние, аппаратно-программный комплекс, физиологический сигнал, эргатическая система, биологическая обратная связь.

Аннотация: В работе рассматривается проблемы построения аппаратно-программных комплексов, предназначенных для оценки функционального состояния операторов сложных систем. Для создания таких комплексов предлагается использовать опыт разработки аппаратно-программных комплексов, накопленный при проведении медико-биологических исследований.

1. Введение

Эргатическая система (ЭС)— это сложная система, одним из элементов которой является человек или группа людей. Люди, управляющие системой, называются *операторами*. В зависимости от того, сколько людей управляют системой, различают *моноэргатические* системы, в которых имеется только один оператор, и *полиэргатические* системы, в которых имеется несколько операторов. Также можно говорить о разделении ЭС на *одноуровневые*, где каждый оператор управляет своей частью системы, и *многоуровневые*, где ряд операторов (*первого уровня*) объединяются в группы для решения общей задачи, и имеются выделенные операторы (*второго уровня*), которые принимают управленческие решения относительно операторов первого уровня — ставят задачи, отслеживают выполнение и т.д. и т.п.

В многоуровневых ЭС естественным образом возникает необходимость оценки качества совершаемых оператором действий. Для объективной оценки дееспособности оператора целесообразно оценивать его функциональное состояние (ФС): знание о ФС оператора позволяет предупреждать критические ситуации, когда оператор перестает адекватно решать поставленные перед ним задачи или возникает риск для здоровья оператора. Особую роль оценка ФС играет для критически важных производств, на транспорте и при проведении боевых действий.

Оценка ФС осуществляется при помощи специализированных аппаратно-программных комплексов (АПК). Такие комплексы широко применяются при проведении медико-биологических исследований с диагностическими или прогностическими целями и являются неотъемлемой частью медицинских систем поддержки принятия

врачебных решений. Существующие исследовательские АПК позволяют добиться строгого соблюдения заданных условий регистрации физиологических сигналов. При этом, существует возможность дистанционной, а иногда, даже, и скрытной регистрации физиологических показателей, позволяющей исключить влияние оценки ФС оператора сложной системы на процесс управления в ЭС.

В работе рассматривается особый класс ЭС, который составляют *тренажеры* или *симуляторы*, предназначенные для обучения операторов навыкам решения определенного круга задач. Как правило, такие задачи различаются по *уровню сложности*: предполагается, что оператор постепенно переходит от решения простых задач к решению более сложных. Такой подход не только позволяет естественным образом закреплять сложные навыки на базе уже хорошо усвоенных навыков, но и позволяет оценивать текущую квалификацию оператора в соответствии с тем, какой уровень сложности задач данный оператор решает уверенно. Здесь необходимо оценивать образ совершаемых оператором действий, выявлять те признаки, которыми характеризуется успешное решение оператором поставленной перед ним задачи, соответствующей определенному уровню сложности, и те признаки, которыми характеризуется невозможность оператора решать задачу, также соответствующую определенному уровню сложности. В работе предлагается подход к построению симуляторов, основанный на оценке ФС оператора такой системы и выявляется роль биологической обратной связи (БОС) в построении симуляторов, обеспеченных дополнительным модулем оценки ФС.

2. Управление сложностью задач в эргатических системах

Разработка АПК, предназначенных для мониторинга ФС операторов сложных систем, имеет свою специфику [1]. Во-первых, оценка ФС предполагает введение в общую схему еще одного контура управления. С одной стороны, существующие ЭС, изначально, не предполагают введение каких-либо дополнительных контуров управления. При этом, далеко не всегда оценку ФС можно физически совместить с выполнением основной задачи. Регистрация физиологических сигналов может попросту мешать выполнению основной задачи, причем сами физиологические сигналы, регистрируемые в «боевых условиях», будут содержать многочисленные артефакты и могут оказаться непригодными для анализа. С другой стороны, ЭС можно разрабатывать, закладывая возможность оценки ФС еще на стадии проектирования. Во-вторых, степень интеграции ЭС с оценкой ФС определяются спецификой той задачи, решение которой является для оператора основной. В одних случаях, например, в случае многоуровневых ЭС, требуется оперативное получение сведений о ФС операторов первого уровня. В других случаях, выполнение основной задачи и задачи оценки ФС могут быть разнесены по времени. Например, если речь идет о каком-либо симуляторе, имитирующем «боевую обстановку», то оценка ФС оператора данного тренажера может осуществляться непосредственно перед работой на тренажере, сразу после работы на тренажере и через определенное время после работы на тренажере. Таким образом, возникает необходимость в разработке единого подхода к реализации АПК, предназначенных для мониторинга ФС операторов сложных систем, учитывающего разнообразие предметных ситуаций и технологических требований.

Такие комплексы, очевидно, могут разрабатываться независимо от основной системы в виде самостоятельного функционального блока, предназначенного для решения *хорошо формализуемой задачи*, выбор которой полностью определяется разработчиком комплекса и может быть никак не связан с основной задачей. Формализация задачи, в свою очередь, предполагает наличие у задачи определенной *структуры*, в соответст-

вии с которой у задачи имеются определенные элементы, взаимосвязи между элементами или принципы взаимодействия различных элементов, управляющие параметры, влияющие на способ взаимодействия различных элементов, и различные уровни сложности (прямо или косвенно связанные с управляющими параметрами). Регистрируя физиологические сигналы в условиях определенной задачи при заданном уровне сложности, можно оценить качество выполнения оператором совершаемых им действий. Меняя уровень сложности, можно оценить то, как именно реагирует оператор на изменение условий выполнения задачи. При этом появляется возможность составить представление об индивидуальной норме конкретного оператора и выявить те особенности его поведения, которые позволяют обнаруживать ранние признаки его утомления и или спрогнозировать риск неблагоприятного для здоровья оператора события. В этом смысле, целенаправленное изменение условий (изменение уровня сложности) способно перевести оператора из одного (патологического) ФС в другое (нормальное) ФС, что будет иметь важное значение в ряде значимых предметных ситуаций.

Так же существует возможность менять саму структуру задачи. Изначально, можно решать задачу, имеющую самую простую структуру. Постепенно усложняя структуру решаемой задачи, можно непосредственно приблизиться к той структуре задач, которая решается в ЭС. В результате, возникает довольно эффективный способ обучения оператора «от простого к сложному», при котором оператору нужно сначала полностью освоить один уровень сложности и, только потом, переходить к освоению следующего уровня сложности. Признаком освоения текущего уровня сложности будет, очевидно, успешное прохождение соответствующих данному уровню сложности *функциональных тестов*, где в качестве критерия успешности будет выполнение оператором своей *индивидуальной нормы*.

В результате мы приходим к следующей схеме, представленной на рис. 1, которая в обобщенном виде описывает архитектуру многоуровневой системы, содержащей в качестве одного из блоков блок оценки ФС оператора сложной системы.



Рис. 1. Обобщенная схема эргатической системы.

Каждый оператор первого уровня находится внутри виртуальной среды, созданной симулятором, и совершает в этой среде определенные действия, которые сохраняются в базе данных. Одновременно с этим осуществляется и оценка ФС оператора, результаты которой (в виде интегральных показателей и диагностических оценок) также сохраняются в базе данных. Руководитель группы операторов получает интегральную оценку дееспособности каждого оператора, содержащую как сведения, непосредственно относящиеся к деятельности каждого оператора, так и сведения, относящиеся к его ФС, а также, и сведения, относящиеся к индивидуальной норме каждого оператора. В соответствии с полученными сведениями, руководитель группы может принять какое-либо решение — исключить конкретного оператора из группы (если он вышел за пределы

своей индивидуальной нормы), перераспределить нагрузку между операторами (для более эффективного решения основной задачи) и т.д. и т.п.

3. Принцип биологической обратной связи

Особую роль в разработке АПК для мониторинга ФС операторов сложных систем играет принцип БОС. Наличие БОС означает, что некоторые элементы виртуальной среды симулятора должны находиться под непосредственным или опосредованным управлением самого оператора. Прямое управление означает, что положения отдельных элементов виртуальной среды симулятора, способы их взаимодействия, скорость взаимодействия, вид, форма, размеры, цвет и тому подобные признаки, непосредственно определяются значениями регистрируемых физиологических показателей или оценками их параметров. В то же время, опосредованное управление означает изменение самой виртуальной среды симулятора, происходящее в ответ на ФС, в котором оказывается оператор. Поскольку любое изменение будет определенным образом воздействовать на оператора, то последующий по времени анализ физиологических сигналов позволит оценить реакцию оператора на текущее воздействие.

Примером применения БОС является разработанный в Институте аналитического приборостроения РАН программно-аппаратный комплекс ПАК-ЦНС-01 [2], который «обеспечивает мониторинг функционального состояния центральной нервной системы; выявление и диагностику патологических состояний на ранней стадии двигательных нарушений, еще не проявляемых внешне; контроль действенности лекарственной терапии или других методов лечения больных с нарушениями движений вследствие поражений центральной нервной системы», и аналогичная ему «интеллектуальная измерительная система для реализации способа оценки функционального состояния центральной нервной системы» [3, 4]. Измерительный эксперимент с использованием данного АПК заключается в удержании испытуемым определенного уровня усилия, оказываемого на чувствительную платформу. Усилие оказывается кончиками пальцев обеих рук испытуемого. Каждая рука связана со своим датчиком и управляет своей меткой на экране компьютера. Испытуемый следит за уровнем удерживаемого усилия, стараясь все время совмещать обе метки, которыми он управляет. Характер удержания испытуемым усилия и характеристики регистрируемых при различных условиях треморограмм позволяют не только определить наличие или отсутствие патологии (например, болезни Паркинсона или синдрома паркинсонизма), но и, во многих случаях, локализовать источник патологии.

Структура задачи определяется, здесь, теми функциональными тестами, которые осуществляются в ходе измерительного эксперимента. Существует стандартный набор функциональных тестов (тест на удержание усилия кончиками пальцев при опоре на запястье при минимальном уровне удерживаемого усилия, тест на удержание усилия кончиками пальцев при опоре на запястье при максимальном уровне удерживаемого усилия, тест на удержание усилия для вытянутых рук при минимальном уровне удерживаемого усилия, тест на удержание усилия для вытянутых рук при максимальном уровне удерживаемого усилия), позволяющий эффективным образом производить функциональную диагностику в широком диапазоне ситуаций. Если по результатам стандартных тестов испытуемый попадает в зону риска, то с участием данной испытуемого могут быть проведены дополнительные функциональные тесты. Например, можно использовать тест на удержание максимального уровня усилия и сравнивать результаты полученные в начальный момент удержания испытуемым максимального уровня, в момент прекращения удержания испытуемым максимального уровня, а также

– по прошествии некоторого времени после этого, в результате отдыха. В этом смысле, уровень сложности соответствует тому уровню усилия, которое необходимо удерживать, и тому способу, при помощи которого это удержание происходит.

4. Заключение

Создание ЭС, основанных на оценке ФС оператора, требует особого подхода к разработке и реализации. Представляется целесообразным использовать для решения этой задачи опыт разработки АПК, накопленный при проведении медико-биологических исследований. Принципиальный момент реализации таких ЭС заключается в создании симулятора, который позволяет оценить ФС оператора сложной системы в широком диапазоне условий и в различных проблемных ситуациях, выявить его индивидуальную норму, построить модели, прогнозирующие будущие ФС (и предупреждать возникновение неблагоприятных для здоровья событий), а также оценивать уровень сложности выполнения оператором выполняемых им действий, учитывая конкретное психологическое состояние, в котором находится оператор, и, при необходимости, корректировать его при помощи целенаправленных процедур [5-7]. Таким образом, оценка ФС оператора сложной системы может стать органичной частью системы адаптивного обучения, оптимальным образом подстраивающегося под индивидуальную норму каждого оператора. Особую роль в построении таких обучающих систем или симуляторов, играет принцип БОС. Приведенный в работе пример применения БОС наглядным образом иллюстрирует общий подход к построению ЭС, основанных на оценке ФС, предполагающий задание определенного числа градаций уровней сложности. В то же время, предложенная в работе обобщенная схема ЭС является модульной, расширяемой, тиражируемой, то есть – адаптируемой под конкретные предметные ситуации и конкретные задачи со своей структурой сложности.

Список литературы

1. Жвалевский О.В. Рудницкий С.Б. К вопросу о построении аппаратно-программных комплексов для оценки функционального состояния операторов сложных систем // Труды III Международной конференции «Человеческий фактор в сложных технических системах и средах» (Эрго-2018). Россия, Санкт-Петербург, 4-7 июля 2018 г. СПб.: Издательство «ЛЭТИ», 2018. С. 151-158.
2. Программно-аппаратный комплекс оценки состояния центральной нервной системы ПАК-ЦНС-01 / Режим доступа: <http://iairas.ru/pakcns01.php> (дата обращения 19.10.2018).
3. Алексанян З.А., Буренев П.Н., Кострова О.Б., Разин Н.Н., Сафьянников Н.М. Способ оценки функционального состояния центральной нервной системы человека // Патент РФ №2613446. Зарегистрирован 16.03.2017. Москва.
4. Сафьянников Н.М., Буренев П.Н. Интеллектуальная измерительная система для реализации способа оценки функционального состояния центральной нервной системы человека // Труды конференции SCM-2017. Санкт-Петербург, 24 – 26 мая 2017 г. С. 179-182.
5. Ушаков И.Б., Иванов А.В., Квасовец С.В., Бубеев Ю.А. Нейросемантические и психофизиологические корреляты ритмосуггестивной коррекции стрессовых ситуаций // Авиокосмическая и экологическая медицина. 2015. Т. 49. № 6. С 55-60.
6. Машин В.А. К вопросу классификации функциональных состояний человека // Экспериментальная психология. 2011. Т. 4. № 1. С. 40-56.
7. Пильник Н.Б., Куликова О.М. Алгоритм управления качеством в системах «человек-машина» на основании оценки функциональных состояний оператора // Фундаментальные исследования. 2016. № 6. С. 444-448.