

АКУСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПСИХО-ЭМОЦИОНАЛЬНОГО И ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ САМООБУЧАЮЩИХСЯ НЕЙРОМОРФНЫХ СИСТЕМ

Алюшин А.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Россия, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31
avaluyushin@mail.ru,*

Архангельский В.Г.

*Федеральное государственное автономное научное учреждение ЦИТиС,
Россия, г. Москва, Пресненский Вал, д. 19, стр. 1
citis@arkhang.ru*

Аннотация: Предложена поведенческая модель оператора, характеризующаяся памятью и несколькими переменными внутреннего психо-эмоционального и физического состояния, допускающая эффективное проецирование своей структуры и алгоритма функционирования на аппаратную обрабатывающую среду в виде мемристивных структур со встроенной памятью и многочисленными переменными своего состояния.

Ключевые слова: акустический мониторинг, психо-эмоциональное состояние, физическое состояние, мемристивные структуры.

Введение

Одним из перспективных направлений современного развития искусственного интеллекта (ИИ) для поддержки принятия решений человеком является эмоциональный интеллект (ЭИ - emotional intelligence [1]). Применительно к сфере управления опасными и ответственными производствами это понятие означает способность ИИ:

- определять психо-эмоциональное (ПЭС) и физическое состояние (ФС) человека;
- прогнозировать влияние ПЭС и ФС на результат принятия ответственных решений;
- оптимизировать интерфейс человек-машина, оператор производства - система управления производством с точки зрения удобства осуществления необходимых технологических процедур;
- учитывать индивидуальные особенности человека и его текущее ПЭС и ФС;
- регулировать ПЭС и ФС оператора для конструктивных целей, например, для тренировки персонала, обучения поведению в экстремальных ситуациях;
- поддерживать рабочую и плодотворную обстановку в коллективе.

1 Акустический мониторинг ПЭС и ФС человека

Эмоциональная окраска речи является специфическим маркером отношения человека к происходящему и к своей речевой посылке, информационным каналом ЭИ. Акустические технологии являются одними из основных, а в некоторых областях и единственно возможными, для имплементации неинвазивного дистанционного мониторинга ПЭС и ФС оперативного персонала. Решение данной задачи в общем случае для произвольного человека в неизвестной обстановке является нетривиальной и сопряжено с решением ряда научно-практических подзадач:

- выделение голосового сигнала произвольного диктора из общего акустического сигнала, соответствующего текущей акустической обстановке в наблюдаемой пространственной сцене;
- распознавание произвольного диктора;
- распознавание речи произвольного диктора с неограниченным словарем для выделения лингвистической, паралингвистической (тембр, темп, громкость, заполнители пауз, диалект, мелодика речи), экстралингвистической (паузы, кашель, смех, заикание, дыхание, дрожание голоса) и артикуляционной составляющих его ПЭС и ФС;
- выделение информационных признаков ПЭС и ФС наблюдаемого диктора;
- распознавание и оценка его ПЭС и ФС;
- комплексирование с другими методами дистанционного мониторинга.

Очевидно, что решение вышеперечисленных подзадач невозможно без создания и сопровождения соответствующей базы данных среднестатистических параметров дикторов различных групп, отражающей:

- ожидаемые параметры голосового сигнала в зависимости от возраста, пола, социальной и культурной среды обитания, и других особенностей человека;
- ожидаемые информационные признаки и параметры ПЭС и ФС дикторов различных групп;
- ожидаемые лингвистические особенности для дикторов различных групп в пределах неограниченного или словаря большого объема.

1.1 Пространственная неопределенность

Необходимо учитывать, что для произвольной пространственной сцены при увеличении расстояния от микрофона до диктора исходный акустический сигнал существенно ухудшается из-за снижения отношения сигнал/шум, реверберации в помещении, влияния посторонних источников шума, речи и т.п., что затрудняет как анализ самой речевой посылки, так и поиск и выделение слабых информативных сигналов ПЭС и ФС диктора в многомерном пространстве признаков. Кроме того, само внутреннее эмоциональное пространство (состояние) оператора индивидуально и изменяется спонтанно, нежели благодаря умственным стараниям. Определение эмоционального состояния также является нетривиальной задачей, состояние человека подвержено влиянию многим внешним стимулам (субъективным и объективными факторами, общего физического состояния, текущей производственной обстановки, стрессовой ситуации, чувствам, настроению, взаимоотношения с другими людьми).

1.2 Временная неопределенность

Точность определения параметров ПЭС и ФС в общем случае в значительной степени зависит от времени наблюдения за конкретным диктором, объема накопленных данных, скорости адаптации системы под его параметры, ее калибровки под определенные реперные точки. В определенной степени это соответствует модифицированному принципу неопределенности Гейзенберга - точность измерения как первичных, так и вторичных параметров ПЭС и ФС обратно пропорциональна времени наблюдения (объему соответствующих данных) [2].

Кроме того, программно-аппаратная реализация подобных систем реального времени требует использования соответствующей высокопроизводительной программно-аппаратной платформы, обеспечивающей:

- предварительную первичную адаптивную обработку слабых полезных акустических сигналов в текущей динамической обстановке для выделения речевого сигнала конкретного диктора;
- вторичное преобразование данных по выделению информативных признаков и распознаванию или оценке ПЭС и ФС наблюдаемого диктора.

2 Акустический мониторинг ПЭС и ФС оперативного персонала управления объектами повышенной опасности

Управление объектами повышенной и высокой опасности подразумевает использование информации о физическом, умственном и психо-эмоциональном состоянии обслуживающего персонала и операторов соответствующих технологических процессов для контроля текущей ситуации и прогнозирования развития событий.

В случае акустического мониторинга оперативной обстановки на объектах повышенной опасности (см. рис. 1) вышеуказанная общая задача допускает ряд существенных упрощений:

- анализируется речевой сигнал ограниченной и обычно заранее известной группы дикторов;
- служебное речевое общение дикторов происходит в рамках известного заранее словаря ограниченного объема;
- используется уже сформированная база данных известных заранее дикторов;
- производственная акустическая обстановка и пространственная сцена известны заранее;
- процесс обучения и адаптации соответствующей программно-аппаратной системы под внешние условия функционирования завершен;
- лингвистические, паралингвистические, экстралингвистические и артикуляционные особенности каждого диктора известны заранее;

- возможность использования высококачественного речевого сигнала с высоким отношением сигнал/шум для обучения системы при работе и подготовке операторов вне рабочей производственной обстановки, например, на полномасштабных тренажерах.

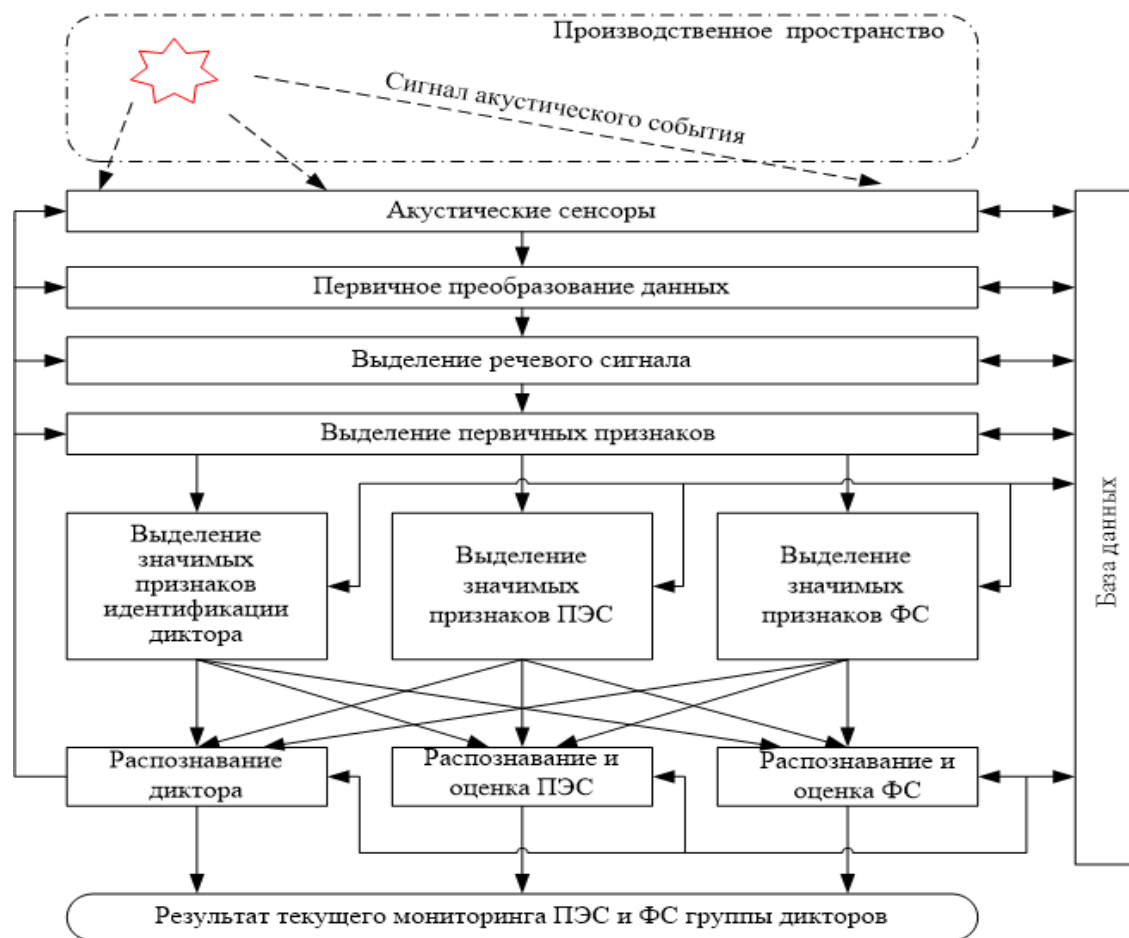


Рис. 1. Структура голосового анализатора ПЭС и ФС оператора

Таким образом, актуальность разработки и имплементации системы пассивного дистанционного акустического мониторинга ответственного производства на современном этапе развития технологий обуславливается следующими факторами:

- необходимостью первоочередного мониторинга наиболее опасных производств;
- возможностью применения технических систем мониторинга ограниченной размерности благодаря присущей каждому опасному производству строго детерминированной внутренней организации и соответственной значительно меньшей пространственной и временной неопределенности при нахождении значений параметров ПЭС и ФС.

3 Поведенческая модель реакции оператора на внешний стимул

Реакция оператора (в том числе и голосовая реакция) на изменения в производственной среде определяется внутренним состоянием оператора, описываемым группой векторов его внутреннего состояния (см. рис. 2).

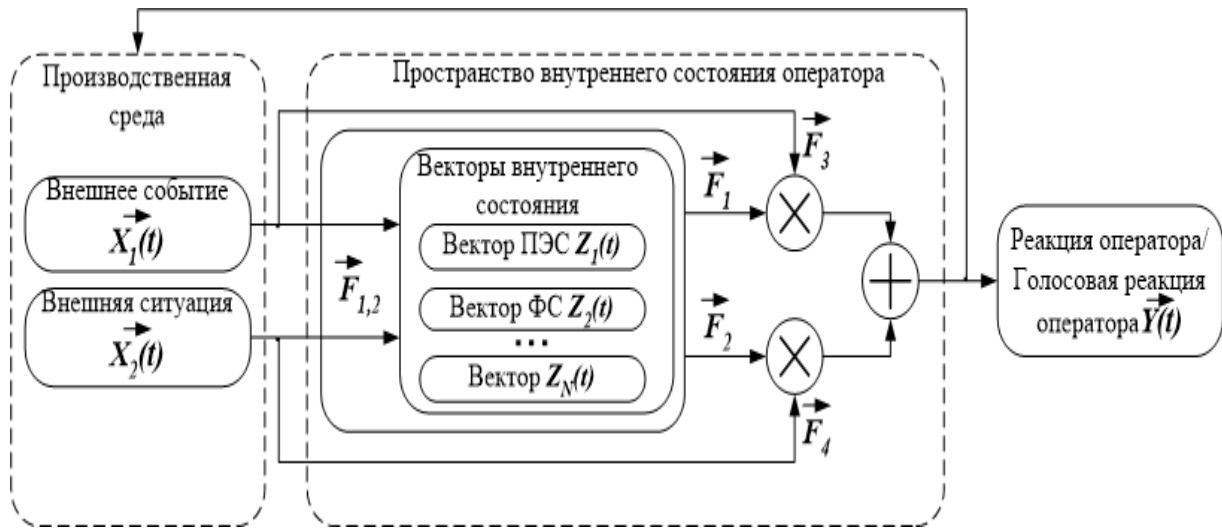


Рис. 2. Поведенческая модель реакции оператора на изменения в производственной среде

Для общего случая представим реакцию оператора в виде

$$\vec{Y}(t) = \left[\begin{array}{l} \vec{F}_1(\vec{Z}_1(t), \vec{Z}_2(t), \dots, \vec{Z}_N(t), \vec{X}_1(t), \vec{X}_2(t), t) \mid \vec{F}_3(\vec{X}_1(t)) \\ \vec{F}_2(\vec{Z}_1(t), \vec{Z}_2(t), \dots, \vec{Z}_N(t), \vec{X}_1(t), \vec{X}_2(t), t) \mid \vec{F}_4(\vec{X}_2(t)) \end{array} \right], \quad (1)$$

$$\frac{d\vec{Z}_i(t)}{dt} = f_i(\vec{Z}_1(t), \vec{Z}_2(t), \dots, \vec{Z}_N(t), \vec{X}_1(t), \vec{X}_2(t), t), \quad (2)$$

где $\vec{Z}_i(t)$, $i = 1, \dots, N$ - векторы внутреннего состояния оператора; $\vec{X}_1(t), \vec{X}_2(t)$ - векторы входного воздействия на оператора, характеризующие внешние событие и ситуацию соответственно; $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4, f_i$ - операторы функционального преобразования.

Предложенная поведенческая модель характеризуется:

- универсальностью и применимостью для описания реакции оператора как на отдельные независимые внешние изменения в производственной среде, так и на одновременные комплексные события;
- возможностью верификации значения эмоционального контекста речи $\vec{Z}_1(t)$ по соответствующему физическому отклику $\vec{Z}_2(t)$ с учетом ситуационной составляющей $\vec{X}_2(t)$;
- внутренним нелинейным динамическим процессом (2), приводящим к генерации соответствующего поведенческого действия оператора даже при отсутствии внешнего стимула $\vec{F}_3(\vec{X}_1(t) = 0) \neq 0, \vec{F}_4(\vec{X}_2(t) = 0) \neq 0$;
- обучением оператора за счет обобщения и сохранения предшествующего опыта во встроенной памяти пространства его внутреннего состояния:

$$\vec{Z}_i(t) = \int_{-\infty}^t f_i(\vec{Z}_1(t), \vec{Z}_2(t), \dots, \vec{Z}_N(t), \vec{X}_1(t), \vec{X}_2(t), t) dt + \vec{C}_{i0}, \quad (3)$$

где \vec{C}_{i0} - вектор постоянной начальной составляющей.

В частном случае при $N=2$, акустический мониторинг оператора сводится к определению векторов $\vec{Z}_1(t)$ и $\vec{Z}_2(t)$, отражающих соответственно его ПЭС и ФС.

3.1 Модальность ПЭС

В данной работе используется непрерывная шкала представления промежуточных параметров ПЭС. При этом компоненты вектора ПЭС $\vec{Z}_1(t)$ являются производными первичных признаков речевого сигнала (см. рис. 1):

$$\vec{Z}_1(t) = Z_{11}\vec{k}_1 + Z_{12}\vec{k}_2 + \dots + Z_{1M}\vec{k}_M, \quad (4)$$

где $\vec{k}_1, \vec{k}_2, \dots, \vec{k}_M$ - координатные базисные единичные векторы M -мерного пространства ПЭС.

Пример проекции вектора $\vec{Z}_1(t)$ на плоскость $0\vec{k}_1\vec{k}_2$ по аналогии с [3] представлен на рис. 3, где ось $0\vec{k}_1$ соответствует степени активности (пассивности), а ось $0\vec{k}_2$ - степень позитивности (негативности) ПЭС.

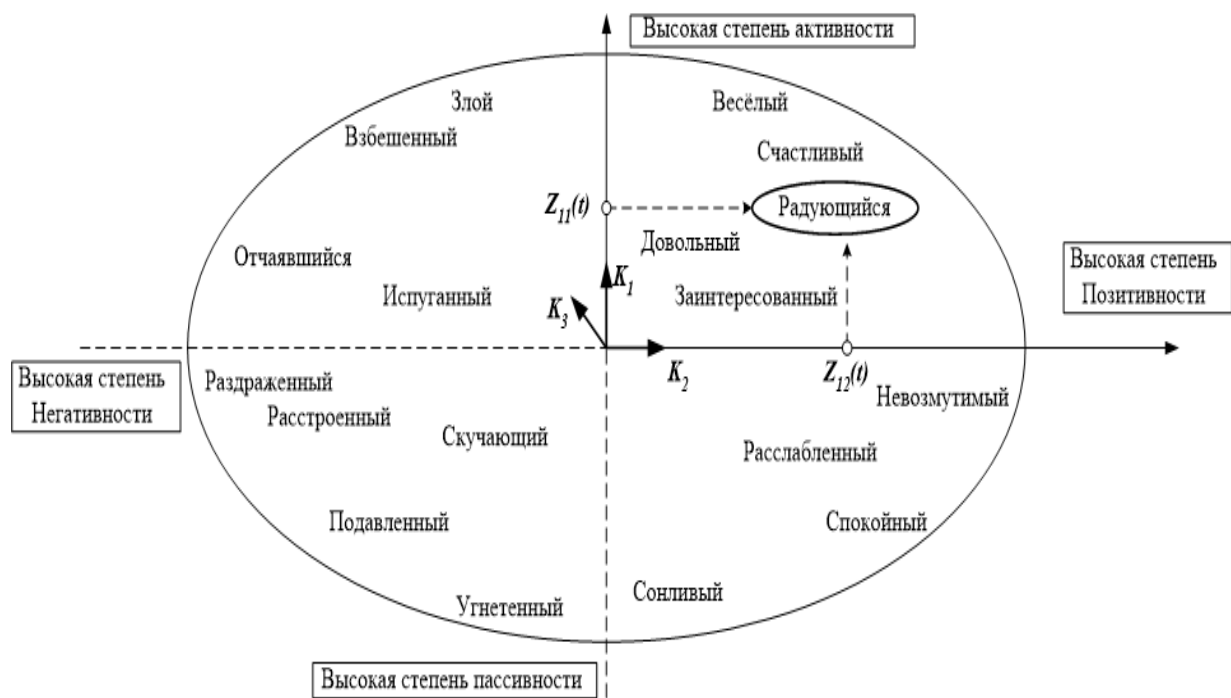


Рис. 3. 2D проекция вектора ПЭС

Высокая размерность пространства вектора ПЭС является необходимым условием достоверного распознавания состояния ПЭС оператора, особенно для близких и трудно делимых понятий, например, таких как злость и страх. Кроме того, появляется возможность топологической детерминации трудно формализуемых понятий, например для состояния удивления. В 3D случае дополнительно используется ось $0\vec{k}_3$ - доминантность ПЭС, степень контроля над определенным состоянием. Также в качестве дополнительной пространственной координаты используется индивидуальность конкретного оператора. Каждый известный заранее оператор характеризуется своим индивидуальным пространством внутреннего состояния.

Непрерывная шкала первичных параметров ПЭС не противоречит дискретному результату распознавания состояния ПЭС оператора при финальной классификации или распознавании, а служит для максимального пространственного разделения конечных состояний ПЭС в M-мерном пространстве внутреннего состояния оператора.

3.2 Размерность вектора ФС

Компонентами вектора $\vec{Z}_2(t)$ ФС являются параметры сердечно-сосудистой системы оператора, его дыхательного тракта, например, частота сердцебиения, дыхания и т.п. Индивидуальность оператора также является одной из пространственных координат вектора $\vec{Z}_2(t)$.

3.3 Вектор временных процессов

Временные параметры реакции отклика оператора на входной стимул имеет важное значение для описания его соответствующего поведения. Первичные (базовые) ПЭС близки к рефлекторному отклику и характеризуются мгновенной реакцией с минимальной временной задержкой на опасные для оператора стимулы. К таким неосознанным состояниям следует отнести, например, страх, удивление, гнев, отвращение, грусть, счастье и некоторые другие. Вторичные осознанные реакции формируются с участием высших отделов головного мозга. Их структура может включать в себя как первичные реакции, так и некоторые дополнительные и описывать поведение человека, например, в состоянии зависти, виновности, стыдливости. Вторичные эмоции являются одной из граней осознания человеком своего отношения к первичным эмоциям и текущей внешней ситуации и могут характеризоваться более длительными временными процессами. Данные временные параметры реакции оператора отражаются в виде дополнительного вектора внутреннего состояния оператора $\vec{Z}_N(t)$, либо в виде дополнительных составляющих для векторов $\vec{Z}_1(t)$ и $\vec{Z}_2(t)$.

3.4 Разрядность компонентов векторов внутреннего состояния оператора

Описание ПЭС и ФС в векторном виде в непрерывном М-мерном пространстве внутреннего состояния оператора эффективно представляет как первичные и вторичные, так и более сложные комплексные эмоциональные и физические парадигмы, траектории движения векторов внутреннего состояния во времени. В результате обучения и параметризации системы акустического мониторинга под конкретную группу операторов в каждом сформированном индивидуальном пространстве (карта внутреннего состояния оператора) формируется структура М-мерных кластеров, топологически отражающих ожидаемые параметры ПЭС и ФС соответствующего человека для продемонстрированных наборов стимулов и внешних ситуаций $\vec{X}_1(t), \vec{X}_2(t)$. При этом, в рабочем режиме определяется:

- текущее пространственное положение и ожидаемое направление изменения векторов ПЭС и ФС конкретного оператора в каждый момент времени при известных $\vec{X}_1(t), \vec{X}_2(t)$;
- ожидаемое значение $\vec{X}_2(t)$ (прояснение обстоятельств) при известных оценках ПЭС и ФС, $\vec{X}_1(t)$;
- ошибку реакции $\vec{Y}(t)$ для текущей подстройки параметров $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4, f_i, \vec{C}_{i0}$.

Высокая размерность пространства внутреннего состояния каждого оператора сопровождается высокой точностью (высокой разрядностью - 8/16/32/64 бита) в описании векторов и соответствующих функционалов модели (1), (2) для передачи всего спектра значений и оттенков ПЭС и ФС, реализации плавного обучения. При этом в рамках используемого для имплементации системы пассивного дистанционного акустического мониторинга стандартного программно-аппаратного базиса само М-мерное пространство является мнимым (вычислительным) и используется только для интерпретации и представления вычислительных процессов с высоко разрядными данными. Компоненты векторов внутреннего состояния оператора $\vec{Z}_i(t), i = 1, \dots, N$ являются производными первичных признаков речевого сигнала, вычисляемыми стандартными алгоритмами в рамках известных парадигм анализа речи - амплитудно-частотного, кепстрального, спектрально-временного, нелинейного динамического.

Определение значимых производных первичных признаков речевого сигнала, а также самого факта их присутствия в формировании $\vec{Y}(t)$ в зависимости от $\vec{X}_1(t), \vec{X}_2(t)$ является трудно формализуемой задачей и достигается за счет необходимого объема обучения. Представляется целесообразным использование технологий ИИ для синтеза необходимой для анализа акустических данных архитектуры системы мониторинга ПЭС и ФС за счет создания соответствующей обрабатывающей среды - массива простых функциональных элементов:

- чувствительных к частотно-временным параметрам входного стимула;
- обладающих внутренней памятью и способностью к самообучению;
- характеризующихся сильными локальными связями между собой;
- имеющих достаточную численность своей популяции для представления всех предполагаемых значений ПЭС и ФС, обеспечивающую возможность их топологической самоорганизации.

4 Компиляция поведенческой модели в мемристивной обрабатывающей среде

4.1. Мемристивная обрабатывающая среда

Перспективным элементным базисом имплементации параллельной высокоскоростной интеллектуальной обработки сигналов на основе проводящих и физически реализуемых сред является мемристивные структуры с совмещенными функциями обработки и хранения информации [4]. В общем случае мемристивный элемент (МЭ) с несколькими переменными внутреннего состояния и интегрирующими и дифференцирующими свойствами можно описать в виде

$$I_m = F_m(z_{1m}, z_{2m}, \dots, z_{im}, \dots, z_{Nm}, U_m, t) U_m, \quad (5)$$

$$z_{im} = F_{im}(A_i(\partial f_{i1}(z_{im}, U_m, t) / \partial t), B_i(\int_0^t f_{i2}(z_{im}, U_m, \tau) d\tau)), \quad (6)$$

где U_m, I_m - соответственно напряжение и ток МЭ, z_{im} - скалярная переменная внутреннего состояния МЭ ($i = 1, \dots, N$), F_m - функция управления внутренним источником тока, например, на основе МОП

структуры, f_{i1}, f_{i2} - определенные дифференцируемые и интегрируемые функции, A_i, B_i -масштабирующие коэффициенты.

Тогда в данной мемристивной обрабатывающей среде векторы внутреннего состояния будут представлены соответствующими группами скалярных МЭ:

$$\vec{Z}_1(t) = Z_{i1m}\vec{k}_1 + Z_{i2m}\vec{k}_2 + \dots + Z_{iMm}\vec{k}_M, \quad (7)$$

где каждый аналоговый (высоко разрядный) МЭ Z_{i1m} отражает определенный параметр внутреннего состояния оператора. При этом сама поведенческая модель оператора (1) и (2) реализуется за счет:

- топологической настройки обрабатывающей среды - упорядоченного пространственного расположения МЭ с сильными локальными связями, реализующими необходимые операции с компонентами векторов, а также в соответствии с $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ и \vec{F}_4 ;
- параметрической настройки мемристивных элементов и детерминации $F_m, F_{im}, f_{i1}, f_{i2}$.

4.2 Пространственно-параметрическое самообучение в мемристивной среде

Образумем обрабатывающую среду на массиве МЭ в виде:

$$I_m = F_{mspl}(z_{1m}, \dots, z_{Nm}, \vec{R}, \mu, w_0, \vec{I}_m, \vec{U}_m, S, t)U_m, \quad (8)$$

где, F_{mspl} - функция управления проводимостью МЭ (mspl - memristive space-parametric learning); \vec{R} -вектор положения МЭ в пространстве обрабатывающей среды; μ, w_0 - соответственно параметр нелинейности Хопфа и резонансная частота МЭ; S - электромагнитные свойства среды; \vec{I}_m, \vec{U}_m - выходные и входные сигналы всех МЭ.

Обработка акустической информации в рассматриваемой среде с обратными связями как между отдельными МЭ (8), так и между внутренними параметрами состояния каждого ФЭ, основывается на едином динамическом процессе, в результате которого топологическое формирование понятий и признаков ПЭС и ФС \vec{F}_R сопровождается активацией параметрического самообучения функциональных элементов F_μ, F_{w_0} с соответствующей настройкой параметров их бифуркационной адаптивной фильтрации типа Хопфа [5]. При этом поиск и все более активное восстановление значимых информационных признаков ПЭС и ФС сопровождается дальнейшим процессом топологической самоорганизации ФЭ:

$$\frac{d\vec{R}}{dt} = \vec{F}_R(z_{1m}, \dots, z_{Nm}, \vec{R}, \mu, w_0, \vec{I}_m, \vec{U}_m, S, t), \quad (9)$$

$$\frac{d\mu}{dt} = F_\mu(z_{1m}, \dots, z_{Nm}, \vec{R}, \mu, w_0, \vec{I}_m, \vec{U}_m, S, t), \quad (10)$$

$$\frac{dw_0}{dt} = F_{w_0}(z_{1m}, \dots, z_{Nm}, \vec{R}, \mu, w_0, \vec{I}_m, \vec{U}_m, S, t), \quad (11)$$

с соответствующим топологическим отражением функционалов:

$$\vec{F}_R \leftrightarrow \vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4, \quad (12)$$

$$F_\mu, F_{w_0} \leftrightarrow F_m, F_{im}, f_{i1}, f_{i2}. \quad (13)$$

Новый или изменяющийся во времени сигнал ПЭС и ФС оператора активизирует движение границ кластеров ФЭ вблизи зон устойчивости как в топологическом, так и в параметрическом пространстве для адекватного представления внутреннего состояния операторов в обрабатывающей среде в соответствии с моделью (1) и (2) (см. рис.4).



Рис. 4. Пространственно-параметрическое самообучение мемристивной обрабатывающей среды

5 Разработка системы дистанционного акустического мониторинга ПЭС и ФС операторов ответственных производств

5.1 Имплементация твердотельного компилятора поведенческой модели оператора в современном интегральном технологическом базисе

Мемристоры активно используются для микроэлектронной и наноэлектронной имплементации искусственных нейронных сетей в качестве гетерогенных субэлементов нейрона с функцией нелинейной обработкой сигналов и локального обучения. Например, для реализации потенциал зависимых ионных каналов аксона и дендритного дерева. При этом используются физические структуры мемристоров с высокой степенью технологической воспроизводимости и ограниченным числом N скалярных переменных внутреннего состояния. Наибольшей стабильностью параметров МЭ характеризуются структуры с $N=1$. Соответственно отдельный нейрон имплементируется как распределенная сеть мемристоров с параллельно-последовательным и встречно-однонаправленным включением мемристоров с $N=1$.

Наноструктуры с $N>1$ находятся в стадии изучения и малодоступны для высоко интегрированных систем при серийном производстве, непосредственной компиляции поведенческой модели оператора в мемристивной среде. Следовательно, при компиляции поведенческой модели оператора из мемристивной среды в современном мемристивный интегральный технологический базис мемристивный ФЭ с $N>1$ эквивалентно отражается на нейроморфное образование из группы нейронов с внутренней организацией из мемристоров с $N=1$. При этом локальные и глобальные связи между ФЭ определяются соответствующей топологией аксонов нейронов и их дендритных деревьев (рис. 5).

Для высоко надежных систем мониторинга с повышенными требованиями к стабильности и воспроизводимости параметров мемристоров, периода времени неразрушающегося хранения данных в распределенной памяти обрабатывающей среды используется дополнительный этап компиляции на нейроморфную обрабатывающую среду на основе мемристоров с ограниченной точностью представления данных вплоть до бинарного. При этом аналоговое представление информации с высоким разрешением (8-32 экв. бит) в одном мемристоре заменяется 1-битовым в группе

мемристоров из соответственно 8-32 элементов. Увеличивающаяся пространственная размерность обрабатывающей среды при переходе от мемристивной модели к нейроморфной высокоразрядной мемристивной и далее к нейроморфной мемристивной 1-разрядной в определенной степени нивелируется простотой твердотельной имплементации бинарного мемристора в виде наноструктуры с минимальными топологическими размерами.

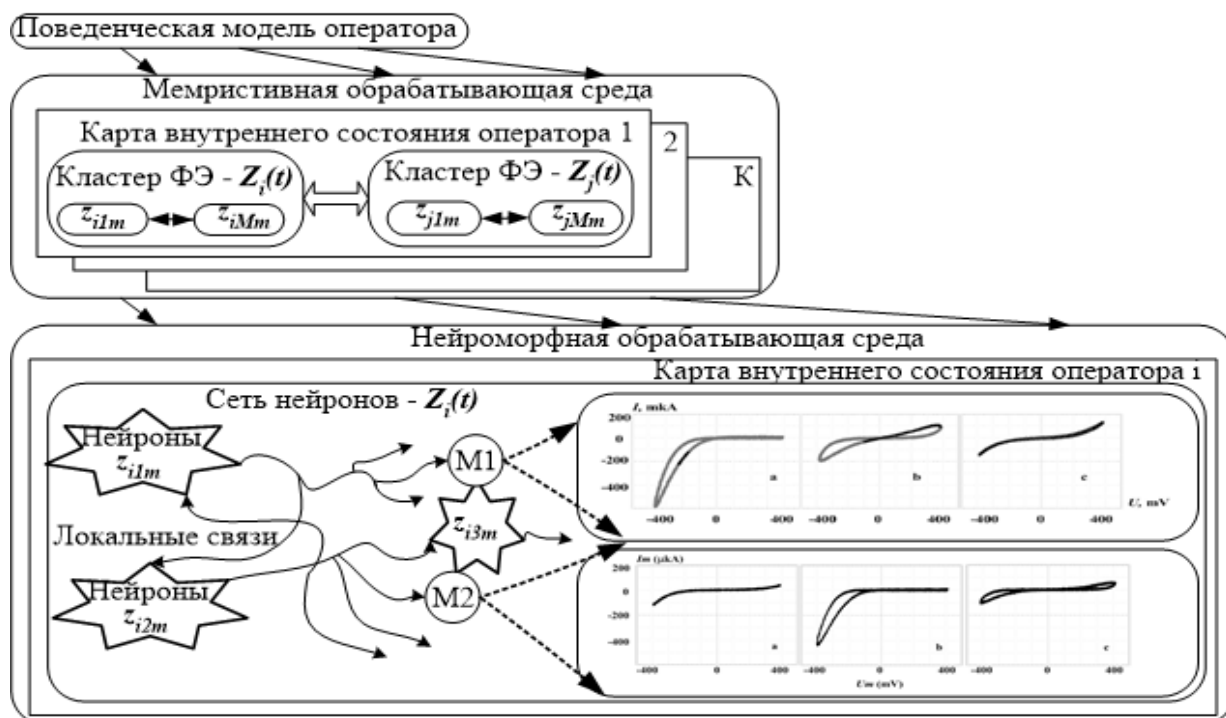


Рис. 5. Компиляция поведенческой модели оператора на нейроморфную мемристивную обрабатывающую среду, где M_1 и M_2 - мемристивные субэлементы дендритного дерева с нелинейной частотно зависимой обработкой сигналов соответственно 1-го и 2-го порядка (а - 10 Гц., б - 100 Гц. с - 1000 Гц.)

5.2 Результаты экспериментального исследования

Разрабатываемая система дистанционного акустического мониторинга психо-эмоционального и физического состояния операторов ответственных производств основывается на едином мемристивном нейросетевом базисе и обеспечивает как первичную обработку входной акустической информации с выделением значимых звуковых признаков, так и вторичное преобразование данных с определением известных или синтезом новых компонентов векторов ПЭС и ФС. Текущая имплементация обрабатывающей среды для аппаратной компиляции поведенческой модели оператора основывается на гибридной технологии совмещения ПЛИС и мемристивных элементов с аналоговой формой представления данных (8-16 бит). Самообучение всей системы основывается на пластичности нейроморфных мемристивных структур, внутренняя память которых хранит сформированные характеристические карты состояния и поведения каждого оператора определенной группы. Основные параметры синтезированных в обрабатывающей среде структур для одного фиксированного диктора представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры синтезированных структур при различном объеме начального обучения

Вариант	Разрядность пространства М	ПЭС		ФС		Достоверность распознавания ПЭС и ФС
		Количество кластеров	Эквивалентная нейроморфная структура	Количество кластеров	Эквивалентная нейроморфная структура	
1	2	8	6-ти слойная	2	5-ти слойная	63-87%
2	3	12	7-ми слойная	3	5-ти слойная	80-95%
3	4	16	8-ми слойная	4	5-ти слойная	83-97%

Варианты 1-3 отличаются объемом и составом обучающих примеров. Вариант 2 и 3 характеризуются включением обучающих примеров с лингвистическими, паралингвистическими, экстралингвистическими и артикуляционными особенностями фиксированного диктора.

Заключение

Предложена поведенческая модель, в соответствии с которой, реакция оператора опасного производства на внешнее раздражение определяется как самим стимулом, так и определенной функцией нескольких переменных, отражающих его внутреннее состояние. К числу последних относятся векторы психо-эмоционального и физического состояния оператора. При этом изменение этих векторов во времени также носит вид соответствующих функциональных зависимостей как от вектора внешнего раздражителя, так и самих векторов внутреннего состояния оператора. Данная модель является универсальной и описывает широкий спектр ситуационного поведения оператора с определенным опытом.

Обоснована роль ИИ в синтезе системы ЭИ реального времени за счет позиционно-топологического и пространственно-временного представления трудно формализуемых понятий ПЭС и ФС в структуре обрабатываемой физически реализуемой среды. При этом многоступенчатость компиляции поведенческой модели на ряд обрабатываемых сред со все более детальным описанием их мемристивно-мемристорных свойств обеспечивает ее адаптацию к возможностям как современных, так и перспективных интегральных технологий.

Разрабатываемая система дистанционного акустического мониторинга психо-эмоционального и физического состояния операторов ответственных производств основывается на едином мемристивном нейросетевом базисе и обеспечивает как первичную обработку входной акустической информации с выделением значимых звуковых признаков, так и вторичное преобразование данных с определением известных или синтезом новых компонентов векторов ПЭС и ФС. Самообучение всей системы основывается на пластичности нейроморфных мемристивных структур, внутренняя память которых хранит сформированные характеристические карты состояния и поведения каждого оператора определенной группы.

Показана многоплановая роль полномасштабных тренажеров опасных производств:

- обучение оперативного персонала в обстановке, приближенной к реальной с имитацией кризисных ситуаций, при соответствующем мониторинге и контроле его ПЭС и ФС;
- обучение ИИ с элементами ЭИ под определенную группу операторов и их поведению в нормальной и экстремальной обстановке;
- определение ФС для допуска к функциональным производственным обязанностям.

Литература

1. *Zvarevashe K., Olugbara O.O.* Recognition of cross-language acoustic emotional valence using stacked ensemble learning, *Algorithms* 2020, 13, 246; doi: 10.3390/a13100246.
2. *Alyushin A.V., Arkhangelsky V.G., Alyushin S.A.* Research and development of autonomous neuromorphic speech stress detector based on spike representation of information// *Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), St. Petersburg-Moscow, January 27-30, Russia, P.1746-1754.*
3. *Russel J.A.* A circumplex model of affect, 1980
4. *Alyushin A.V., Arkhangelsky V.G., Alyushin S. A.* Memristive element with multiple internal state variables functional model for computer based analysis and hardware emulation of pulsed neural adaptive networks// *Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), St. Petersburg-Moscow, January 27-30, Russia, P.1755-1759.*
5. *Alyushin A.V., Arkhangelsky V.G., Alyushin S. A.* Acoustic monitoring of the psycho-emotional state of operational personnel in the management of high-risk objects based on neuromorphic self-learning systems// *Proceedings of 2020 13th International Conference Management of Large-Scale System Development, MLSD 2020, Moscow, September 28-30, 2020, P.9247823.*