

Г. А. КОЛОТЕНКО, канд. техн. наук, Т. И. АХМЕДОВ, канд. мед. наук

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОМИНАНТНЫХ СИСТЕМ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СВЯЗЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПО ЗАКОНУ ЭРЛАНГА

При автоматическом оперативном контроле множества параметров применяемом в гибкоизменяемом производстве, в сложную иерархическую систему обработки сигналов включена сеть модульных программных микроавтоматов и кибернетических систем. Использование мультипараметрических бионических и робототехнических устройств на БИС и СБИС позволит снизить металлоемкость, повысить точность измерений, быстродействие микропрограммного анализа, увеличить функциональные возможности средств реализации. Создание бионических и робототехнических устройств и систем оперативного контроля нового поколения с применением микропроцессорных элементов должно основываться на гибком, пластичном автокоде внешней среды (ВС). В этом случае отпадает необходимость в громоздком математическом обеспечении, технически обеспечивается эффективное преобразование емких массивов информации, оптимизируется процедура анализа и кибернетической оценки инвариантных дискретных сигналов, логически селектируемых из многоканальных случайных нестационарных и неэргодических процессов в реальном масштабе времени. Выделенные коды сигналов переменных структур ВС разных форм автоматически уплотняются, упорядочиваются по вариационным рядам, классифицируются согласно функциональным различным состояниям. Полученные символьные сигналы ВС представляют собой пространственно-временные организации комбинаторных признаков асинхронных и синхронных потенциалов (КПАСП). КПАСП, стремящиеся к достоверности, образуют пространства существенных признаков, позволяют различать функциональные состояния и, по сути, являются фазовыми портретами.

Таким образом, сигналы разной степени интенсивности, распределенные в пространстве и времени, интенсифицируются, отображаются и оцениваются количественно. Одна из форм ВС — многоканальные электроэнцефалосигналы, графическая запись которых представляет ЭЭГ. Цель данной работы — построение модели КПАСП по закону Эрланга.

Так как разработка мультипараметрических роботов (МПР) может быть основана на принципе пространственно-временных организаций КПАСП, согласованное пластическое изменение поведенческих актов МПР производится инвариантно-синхронизированно как целостной системы с локальным информационным и управляющим бионическим быстроперестраиваемым обеспечением. Существенное отличие бионического автокода КПАСП состоит в том, что в момент t_2 он вбирает, «запечатлевает» информацию во всем взаимообусловленном разнообразии систем связей головного мозга момента t_1 . Аналогично

в момент t_i множества КПАСП в целом и единичном существуют в новом качестве, не переставая быть тем, чем были в момент t_{i-1} . Поэтому на разных этапах развития систем КПАСП, несмотря на одно и то же функциональное состояние, имеется новая информационная емкость бионического автокода.

Следовательно, идентифицируется и отображается один из способов интегративного существования множества иерархических подсистем пространственно-временных организаций сигналов разных форм биологического средства. Такой способ самоорганизуется в самообновляющемся накоплении информации, при «исчезновении» одних систем связей головного мозга он несет вновь возникшим то, что было раньше, с добавлением нового. Свойства и характеристики бионического интеллекта робота (БИР), построенного по принципу пространственно-временных организаций КПАСП, определяются функциональным назначением МПР, удельными нагрузками, коэффициентом полезного действия. Обеспечение структурной миниатюризации МПР, функционирующего по автокоду КПАСП, связано с исключением или уменьшением активных и реактивных элементов, с оптимизацией условий теплообмена микросхемных бионических и робототехнических схем. Это особенно важно, так как создание топологически сложных микросборок с бескорпусными диодами, транзисторами и полупроводниковыми микросхемами малой степени интеграции требует больших затрат ручного труда и не обеспечивает необходимых методических возможностей. Конструктивно МПР по автокоду КПАСП выполняются в виде плат, микросборок, представляющих собой часть функционального узла информационного или управляющего блоков (субблоков), законченных функциональных узлов. Субблоки могут включать БИС и СБИС, компоновка которых производится от контакта к контакту или через многослойную печатную плату.

В процессе автоматической оценки рабочей области ВС в МПР используется «эффект присутствия» в виде КПАСП. МПР включают в себя массивы бионического автокода КПАСП и дополняются функциями динамических поведенческих актов, которых лишены, например, автоматизированные координатно-измерительные машины. Согласование исполнительных систем с подсистемами принятия решений и системами управления БИР позволяет производить быстродействующий оперативный контроль, техническое диагностирование, поиск дефектов и неисправностей рабочей области ВС. Поведенческие акты МПР изменяются согласно микропрограммному решению, основанному на системном синтезированном коде. Код включает в себя сигналы отклонения от нормы, поступившие в информационные блоки, и сигналы управления «эффектов присутствия» в форме репрезентативных алгоритмов (РА) КПАСП головного мозга операторов. Записанные в процессе интеллектуальной целенаправленной деятельности РА, а также КПАСП других форм не только биоэлектрической активности, но и других видов сигналов характеризуют целенаправленную различимую деятельность операторов, т. е. сигналов, распределенных в пространстве и времени, имеющих вероятностную направленность

биологического системного средства. С кибернетической точки зрения им выступает оператор, с которого моделируются поведенческие акты МПР. Полученная система бионических кодов КПАСП в синтезе сигналов контроля может служить сигналами верхнего уровня управления МПР.

Бионический автокод КПАСП головного мозга, с одной стороны, стремится к преобразованию и разнообразию в пространстве и времени, с другой — сохраняет устойчивость связей, приближаясь к существенному моменту. Ускорение и замедление одних подсистем КПАСП происходит за счет других вследствие целостного функционирования головного мозга. Единство противоречий систем КПАСП в целом и единичном преобразуется в пространстве и времени из одного момента в другой. Очевидно, в первом приближении закон распределения исследуемых систем КПАСП в процессе развития при переходе из одного момента в другой может представить композицию законов, т. е. моделироваться законом Эрланга $(l - 1)$ -го порядка:

$$f_{(l)}^{(z)}(t_1) = \frac{\lambda (\lambda t_1)^{l-1}}{(l-1)!} \cdot l^{-\lambda t_1} (t_1) > 0$$

при нахождении системы КПАСП мозга в моменты $T_1^{(z)}, T_2^{(z)}, \dots$ при условии, что $x(0) = 0$ — начало траектории развития систем.

Распределение данных систем $T_1^{(y)}$ осуществляется по закону Эрланга $[(n - l)2 + 1]$ -го порядка:

$$f_1^{(y)}(t_1) = \frac{\lambda (\lambda t_1)^{[(n-l)2+1]}}{[(n-l)2+1]!} e^{-\lambda t_1}.$$

Чередование КПАСП головного мозга случайно нестационарно, незргодично и неоднородно. Поэтому T_1^y зависит от начального момента, т. е. того момента, от которого ведется отсчет этих КПАСП. Допустим, время выбрано в элементарном интервале $(t_1^{(z)}, t_1^{(z)} + dt_1^{(z)})$. Путем интегрирования дифференциальных уравнений модель множества КПАСП головного мозга можно описать формулой с начальными условиями $P_j^{-(y)}(t_1^{(z)})$:

$$P_j^{-(y)}(t_1^{(z)}) = P_{i_1}^{(z)}(t_1^{(z)}) \left/ \sum_{n=1}^m P_{n_1}^{(z)}(t_1^{(z)}) \right.,$$

где $(j = \overrightarrow{l}, m)$.

Интегрирование происходит на участке времени $\overline{t_1}^{(y)} > \overline{t_1}^{(z)}$ и приводит к условной функции распределения во времени первоначального пребывания системы КПАСП как подсистемы y :

$$F_1^{(y)}(t_1^{(y)}/t_1^{(z)}) = \sum_{i=k}^{l-1} P_{i_1}^{(y)}(t_1^{(y)}/t_1^{(z)}).$$

Здесь $P_{i_1}^{(y)}(t_1^{(y)}/t_1^{(z)})$ — условная вероятность того, что в момент времени $t_1^{(y)} > t_1^{(z)}$ подсистема КПАСП мозга попадает в состояние $x_1 \in y_\beta = \{x_k, \dots, x_{l-1}\}$ при сохранении изначальных условий, показывавших, что процесс перехода из одного состояния в другое начался в $t_1^{(z)} < t_1^{(y)}$.

Непрерывность в данном случае заключается в устойчивости отрицания отрицания предыдущих КПАСП и утверждении новых. Прерывность дискретность систем КПАСП мозга состоит в сохранении устойчивой неустойчивости, в экстремальности разрешающихся моментов, возникающих при переходе из одной системы взаимосвязей головного мозга к другой, в утверждении того, что было существенно важно в предыдущих системах при добавлении и утрате новых межцентральных отношений. В этом смысле утверждение утверждения и отрицание отрицания приводят противоположные связи к сложной варибельности единства противоположностей, когда подсистемы прямых и обратных синхронных и асинхронных связей головного мозга, выраженные структурой пространственно-временных организаций КПАСП, утверждают, формируют и укрепляют новую систему. Зарождающиеся же подсистемы положительных прямых и обратных связей в динамике перехода от синхронизма к асинхронизму ее отрицают. Свойства, отрицаемые в одних подсистемах КПАСП мозга, могут утверждаться в других. Утверждение положительного с удержанием отрицательного сохраняет единство противоположностей разнополярных систем КПАСП мозга, обеспечивая динамику их развития.

В теории биологической и медицинской кибернетики случайность разнообразия множества иерархических систем и подсистем КПАСП мозга важна при анализе переходных процессов от синхронизма к асинхронизму и обратно, удельная емкость которых значительно больше, чем каждого феномена в отдельности. Вероятность КПАСП представляет меру случайности. Вероятность — это случайность варибельных дискретных событий, распределенных в плоскости измерений головного мозга, стремящихся к достоверности действительности. Случайность — неожиданная необходимость систем КПАСП мозга. Вероятность проявления множества иерархических систем КПАСП определяется в условиях однонаправленности, когда возможно различие функциональных состояний.

Изложенное подтверждается моделями доминантных КПАСП головного мозга, полученными в результате кибернетического анализа ЭЭГ 40 испытуемых и операторов АСУ — практически здоровых лиц обоего пола в возрасте 18—35 лет. Регистрация биполярная, по международной системе. Автоматический анализ проведен при помощи устройства, подключенного к выходу 10-канального электроэнцефалографа французской фирмы «Алвар». Уровень анализа равен 5 мкВ, ЭЭГ выборка — 10 с, фотостимуляция (ФС) — 8 Гц, интенсивность — 1 Дж, расстояние от глаз — 10—20 см. Кроме того, приведены КПАСП, полученные при обработке ЭЭГ в период аутоуггестии покоя. Акцентируется внимание на КПАСП диффузных структур.

С ростом структуры вес КПАСП мозга уменьшается. Выбросы веса математического ожидания μ КПАСП при различных функциональных состояниях меняются. Так, вес комбинаторных несомещенных синхронных потенциалов (КНСП) фоновой ЭЭГ $\mu_{\Phi} = 3$ бит, в 3 раза больше, чем при аутоуггестии покоя ($\mu_n = 1$ бит), а при ФС — $\mu_{\Phi c} = 6$ бит. КНСП $O_d - P_d - T_s - O_s$, как видно, при различных функциональных состояниях меняется. С увеличением μ возрастает средне-

квадратическое отклонение σ . Коэффициент вариации доминантных КНСП четырехкомпонентных структур не превышает 200 бит.

Поскольку μ определяет среднюю плотность доминантных КНСП, расположенных в вероятном интервале признаков вариационных рядов, то сравнение веса (W), например H_{44}^4 и H_{59}^4 , позволяет заключить следующее: степень интенсивности КПАСП, характеризуемая весом (частотой или частотью), может не только различаться, но и оказываться неопределенной и разнонаправленной. Так, для КНСП $T_d - O_d - T_s - P_s (H_{44}^4) \sigma_{ср} = 5,19$ бит, $\mu_{\Phi} = \mu_{\Phi c} = 4,24$ бит.

Моделирование КПАСП пуассоновским потоком как потоком с равномерным проявлением может рассматриваться в идеальном случае, когда ЭЭГ является квазистационарной. Временные интервалы между частотами КНСП — случайны, нестационарны и неравномерны. Причем неравномерность меняется, сохраняя общую направленность при различных функциональных состояниях. Так, при ФС КНСП $T_d - T_s - O_s - P_s (H_{55}^4)$, $O_d - T_s - O_s - P_s (H_{65}^4)$ проявляются почти одинаково: $H_{55}^4 \sigma_{\Phi} = 45$ бит и $H_{65}^4 \sigma_{\Phi c} = 2,39$ бит. Значительные отличия наблюдаются по коэффициенту вариации $H_{55}^4 V_n = 222$ бит, $V_{\Phi} = 173$ бит, $K_c = V_n / V_{\Phi c} = 2,23$ бит, для $H_{65}^4 V_{\Phi} \simeq V_n = 80$ бит, $K_c = V_{\Phi} / V_{\Phi c} = V_n / V_{\Phi c} = 0,7$. Относительная ошибка $H_{65}^4 m_{\Phi c} = 1,36$ бит, что несколько больше $m_{\Phi c} = 1,8$ бит H_{59}^4 . В период аутосуггестии покоя расхождение σ КНСП $F_d - T_d - O_d - O_s (H_4^4)$ и $T_d - O_d - P_d - O_s (H_5^4)$ в 1,5—2 раза больше, чем в периоды фона и фотостимуляции $H_1^4 \sigma_n = 3,86$ бит, $H_{38}^4 \sigma_n = 3,87$ бит.

Деформация и депрессия доминантных КНСП углубляется и расширяется при переходе от 4-компонентных (тетрадных) структур к 5-компонентным (октавным) структурам. Вместе с разворачиванием вариационных структур уменьшается вес μ КНСП. Это происходит при переходе к 5-му иерархическому рангу вариационных рядов, с помощью которых производится классификация КНСП. Вес КНСП этого ряда, как правило, не превышает одного бита по сравнению с предыдущим. В одних случаях цепь признаков вариационного ряда C^5 разрывается, снижается вес КНСП октавных структур до нуля, например H_4^5 , H_{23}^5 , H_{33}^5 , H_{47}^{55} , в других — возрастает на один-два бита. Это наблюдается для H_{89}^5 , H_{12}^5 , H_{45}^5 . Но имеются случаи, когда КНСП, в частности $O_d - P_d - T_s - O_s - P_s (H_{54}^5)$, различается при аутосуггестии покоя ($\mu_n = 1$ бит), в период ЭЭГ фона и ФС $\mu_{\Phi} = \mu_{\Phi c} = 5$ бит. Для H_{54}^5 характерно $\sigma_{\Phi} = 11,62$ бит, $\sigma_{\Phi c} = 2,57$ бит. Отличие веса КНСП фона и ФС — 4,52. Вес коэффициента вариации КНСП сосредоточивается около 100 бит, но часто достигает 200 бит. Для H_{54}^5 $V_{\Phi} = 232$ бит, $V_n = 141$ бит, поэтому коэффициент сравнения $K_c = V_{\Phi} / V_n = 1,65$, $K_c = V_{\Phi} / V_{\Phi c} = 1,8$. Относительные ошибки по сравнению с КНСП тетрадных структур имеют тенденцию к понижению веса и, как правило, равны 0,3.

Доказательством малоинтенсивности КНСП диффузных структур являются весовые пространственно-временные характеристики, упорядоченные вариационным рядом S_8^6 .

Вес КНСП — 6-компонентных структур по данным математических ожиданий не превышает одного бита. Максимальный вес КНСП $O_d — P_d — F_s — T_s — O_s — P_s (H_{28}^6)$: $\mu_\Phi = 3$ бит, $\sigma_\Phi = 5,83$ бит, что в 3,2 раза больше, чем при ФС $\sigma_{\Phi c} = 1,82$ бит.

Лабильность КНСП $T_d — O_d — P_d — T_s — O_s (H_{25}^6)$ определяется следующими параметрами: $\sigma_{\Phi \text{он}} = 1,73$ бит, $\sigma_{\Phi c} = 3,19$ бит, что в 1,73 раза больше КНСП фона, т. е. тех, которые получены в период ауто-суггестии покоя. Коэффициент вариации КНСП H_{25}^6, H_{28}^6 — не более 200 бит, остальных — не больше 140. Вес относительных ошибок 0,3—0,4. Для H_{25}^6 $m_{\Phi c} = 0,9$ бит. Это в три раза больше, чем при ауто-суггестии покоя. Система H_{28}^6 имеет $m_\Phi = 1,68$ бит, $m_{\Phi c} = 0,51$ бит, $m_n = 0,3$ бит. Отсюда следует, что при формировании доминанты КПАСП ауто-суггестии покоя снижается лабильность церебральных систем. Об этом свидетельствует трансформация диффузных структур пространственно-временных архитектур потенциалов головного мозга. Остаются малочисленные коммутационные центры, раскрывающие интимные механизмы биоэлектрических явлений головного мозга. Основная масса инертных КНСП диффузных структур имеет вес, равный $\mu_{cp} = \sigma_{cp} = 1$ бит, и является благоприятным фоном для создания достаточно устойчивых вероятностных межцентральных отношений между регистрируемыми зонами мозга. Повторение пространственно-временных организаций КПАСП подтверждает вероятность проявления аналогичных структур, создает неустойчивую относительную стабильность направленного развития функционального состояния, предполагает относительную квазиоднородность «соматического базиса».

Дальнейший рост структур КПАСП идентифицирует гиперсинхронизацию или, как принято в нормальной физиологии, генерализованную синхронизацию ЭЭГ волн. Равенство веса КНСП 7-компонентных структур не означает равномерного снижения веса, характеризующего однородность связей.

Таким образом, полученные КНСП не сводятся к сложным структурограммам. Рассматривается иерархическая система КПАСП. Под ней понимается множество степеней свободы, синтезированных, проявляющихся интегрально, кооперативно, так, что при изменении одной степени свободы система КПАСП головного мозга меняется в целом. На элементарном уровне степени свободы — это позиционные компоненты структур пространственно-временных организаций потенциалов, наделенные весом и вариабельностью в пространстве и времени. Структуры КНСП раскрывают архитектуру совокупности пространственно-временных отношений церебральных систем. Вес — мера проявления структуры КПАСП. Вариабельность раскрывает разнообразие пространственно-временных характеристик синхронных и асинхронных случайных событий головного мозга, на основе которых строится бионический автокод КПАСП как частная форма ВС. Изменение любого из этих параметров меняет одну из степеней свободы и совокупность системы в целом.

граммной многостадийной обработки, установлении значений пространственно-временных параметров КПАСП, их динамической трансформации, классификации различных состояний. МПР не только контролируют техническое состояние исследуемой системы, но и принимают решение в реальном масштабе времени, управляют по выявленным различиям сигналов, которые могут быть случайными, нестационарными и неэргодическими.

Определение несоответствия в функциональных состояниях с помощью МПР отличает оперативный контроль от параметрического традиционного контроля. Производится не только измерение значений, например электрических параметров по их частоте за период выборки, но учитывается правильность выполнения функций, проводится апробация в процессе тестового автоматического анализа с поиском отклонений от нормы, вырабатываются решения по их оптимальному устранению дефектов, обрабатываются и согласуются сигналы управления с манипуляторной исполнительный подсистемой МПР. Как вариант реализации в процессе функционирования МПР выполняет технологические операции в соответствии с результатами контрольных измерений, представляющих автокод КПАСП в сочетании с целевыми согласованными действиями, построенными на основе целеполагающих функций. Данный тип МПР требует специального математического обеспечения. В дальнейшем модель модифицируется. При этом математическое обеспечение заменяется микропрограммным бионическим аппаратом вплоть до применения элементов бионической рассудочной логической деятельности. Оперативный контроль МПР позволяет различать виды функционального состояния рабочей области ВС и управлять выполнением действий с учетом условий. Параллельно проводится тестовый оперативный контроль с целью выявить работоспособность МПР в заданных пределах точности.

Оперативный контроль в сочетании с оперативным управлением проводится на организационном уровне. Тем не менее это подход к альтернативному решению, сочетающему в системе оперативного контроля информационные функции с управляющими. Сочетание автоматического анализа с программно-модульным обеспечением делает оперативный контроль микропрограммным, что повышает коэффициент гибкости и разнообразит средства робототехнической реализации. Совокупность МПР, обеспечивающих микропрограммный оперативный контроль, представляет гибкий роботизированный модуль (ГРМ). В этом случае вводится модуль координирующего управления ГРМ. Благодаря его многофункциональности становится возможным сочетать технологические операции контроля с функциями управления и диагностирования. Следовательно, гибкий оперативный роботизированный контроль на определенном этапе внедрения МПР рассматривается как модульный локальный многофункциональный контроль исследуемой многоуровневой иерархической системы ВС.

Вместе с тем МПР, предназначенный для оперативного контроля с применением «эффектов присутствия», представляет многоуровневую и многофункциональную бионическую систему. В нее включены

информационно-очувствленная подсистема, субблоки информационных и управляющих систем, которые позволяют на основе бионического интеллекта принимать оперативные решения, обеспечивая соответствующую динамику поведенческих актов исполнительской системы МПР. Вариантом альтернативного решения служит автокод ВС, синтезируемый с бионическим автокодом. Отображенная ВС в системе МПР представляет собой ноосферу. Модель — образ и в системе робота не имеет смысла. МПР не способен оперировать образами. Бионический автокод КПАСП головного мозга наделяет МПР интеллектуальными свойствами, которые не носят формальный характер. Ноосфера пространственно-временных организаций КПАСП разных форм ВС отображает разнообразие сигналов, которые недоступны для прямого восприятия человека. Однако они устанавливают комбинаторные взаимосвязи, определяют их интенсивность по частоте КПАСП и структурному преобразованию инвариантно индивидуальных особенностей и тем самым функционируют в системе связей внешней и внутренней сред.