



А.Л. Ерохин

Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
г. Харьков, Украина, ayerokhin@ukr.net

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ С СИСТЕМОЙ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА

В статье на основе теоретико-множественного подхода разработана оригинальная модель взаимодействия системы когнитивной деятельности человека с внешними воздействиями. Рассмотрены модели генерации дискретно-хаотических процессов. Исследованы взаимодействия дискретно-хаотических процессов с системой когнитивных функций человека-оператора.

МОДЕЛЬ КОГНИТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ВНЕШНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ, ДИСКРЕТНО-ХАОТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Введение

При разработке систем и средств искусственного интеллекта одним из наиболее важных остается вопрос моделирования интеллектуальной деятельности человека. Важной составляющей такого класса задач является моделирование влияния различных внешних факторов на процессы принятия решений при идентификации когнитивных функций человека [1]. Актуальность теоретических и прикладных исследований взаимодействий стохастических процессов с системой когнитивных функций человека определяется усложнением задач принятия решений в условиях интенсивных внешних стохастических воздействий на комплексы психофизиологических состояний человека-оператора.

Разработка и исследование моделей таких взаимодействий дает возможность повысить эффективность функционирования систем искусственного интеллекта систем в поле воздействий стохастических факторов, получить практические средства снижения вероятности принятия ошибочных решений.

Статья посвящена разработке моделирования влияний стохастических воздействий на комплекс психофизиологических состояний человека с целью разработки интеллектуальных средств стабилизации когнитивных функций мозга человека при выполнении им функций принятия решений.

1. Анализ литературы и постановка задачи

Процессы принятия решений человеком являются сложноорганизованными процессами, образующими иерархическую открытую систему, которая динамически изменяет свои состояния под влиянием как экзогенных, так и эндогенных факторов [2].

Изменение этих факторов носит случайный характер, поэтому смена психических состояний человека может быть представлена последовательностью переходных состояний, у которых каждое последующее состояние зависит от предыдущего. Это свойство дает возможность характеризовать этот процесс как марковский. Большой интерес

представляют так называемые пограничные состояния, возникающие у человека, например, при длительном и постоянном воздействии стрессоров или при хронических заболеваниях.

В частности, стресс монотонии является неспецифической реакцией системы психофизиологического статуса лица, принимающего решение, на длительное воздействие повторяющихся (монотонных) стимулов. Рассматриваемый стресс можно представить как защитную реакцию центральной нервной системы, которая ставит фильтр, перекрывающий доступ указанным малоинформационным воздействиям в высшие отделы сознания [3]. Для человека-оператора основной задачей является реализация именно операторских функций

Рассмотрим некоторую формальную модель взаимодействия интеллектуальной (человеко-машинной) системы со стохастическими возмущающими влияниями. Рассматриваемая система, являясь эргатической, наряду с подсистемами управления содержит систему поддержки принятия решений и модель интеллектуальной деятельности человека в виде комплекса когнитивных функций человека-оператора.

Представим рассматриваемую систему в виде иерархии подсистем, связанных между собой отношениями координации и субординации. Представим структуру системы когнитивных функций человека-оператора в виде локализованного процесса, а процессы, происходящие в ее подсистемах – в виде топологий. В такой декомпозированной системе отношения координации и субординации между подсистемами предполагают возможность преобразований выходных параметров с нижележащей S -й подсистемы на вход $S+1$ -й подсистемы.

Естественно предположить, что некоторое подмножество внутренних i -параметров на выходе обладает упорядоченностью. При передаче i -параметров на вход $S+1$ -й подсистемы возможны варианты, когда упорядоченность структур-процессов выхода-входа остается без изменений или претерпевает нарушения.

Необходимо разработать модель генерации дискретно-хаотических процессов и исследовать возможные модели взаимодействий с системой когнитивных функций человека.

2. Генерация дискретно-хаотических процессов в системе когнитивных функций человека-оператора

Топология структуры внутренних параметров в системе связей основывается на изоморфизме отображения множества i -параметров выхода на множество входа с такой же мощностью.

Рассмотрим случай, когда структуры параметров и их флуктуаций сохраняют упорядоченность. Представим A_{S_j} множество a_i -параметров выхода S_j -подсистемы на k -уровне в виде объединения дискретных параметров :

$$\{A\}_{S_j}^k = \bigcup_{i \in M^2} (a_i)_{S_j}^k, \quad i \in M^2. \quad (1)$$

Отобразим множество $\{A\}_{S_j}^k$ на множество $\{B\}_{S_{j+1}}^{k+1}$ входов S_{j+1} подсистемы. Вследствие изоморфности отображения параметры S_j -подсистемы на выходе и параметры входа S_{j+1} подсистемы тождественны друг другу. Выражение (1) представим в виде

$$\{A\}_{S_j}^k = \bigcup_{i \in M^2} (a_i)_{S_j}^k \equiv \bigcup_{i \in M^2} (b_i)_{S_{j+1}}^{k+1} = \{B\}_{S_{j+1}}^{k+1} \quad (2)$$

при наличии условия взаимной сопряженности $(a_i)_{S_j} \leftrightarrow (b_i)_{S_{j+1}}$. Изоморфизм отображений предполагает тождественность локальных систем координат, в которых задана упорядоченность параметров. Зададим i -параметрам выхода флуктуации Δa_i .

Посредством подсистемы автоматического управления указанные флуктуации компенсируются на входе, и параметры выхода-входа по истечении времени Δt становятся равноэквивалентными с точностью до ошибки установления параметра в оптимальном диапазоне изменений

$$(a_i \pm \Delta a_i)_{S_j} \equiv (b_i)_{S_{j+1}}. \quad (3)$$

Если значение флуктуаций Δa_i превышают возможности авторегуляции системы, то посредством ручного управления за время, превышающее Δt , может быть установлен режим, близкий к оптимальному, тогда (3) можно представить в виде

$$\begin{aligned} (a_i \pm \Delta a_i)_{S_j} &\neq (b_i \pm \Delta b_i)_{S_{j+1}} \rightarrow \\ &\rightarrow (a_i)_{S_j} \approx (b_i)_{S_{j+1}} \quad \forall t > \Delta t. \end{aligned} \quad (4)$$

Из (3) и (4) видно, что превышение уровней флуктуаций не приводит к возникновению неустойчивости системы когнитивных функций человека-оператора на некотором временном промежутке. Именно в этом состоянии являются важными воздействия стохастических факторов. Однако сами флуктуации, как внутренние параметры воздействия на систему, детерминированы множеством сценариев нестандартных ситуаций.

Гораздо больший интерес может представить возникновение хаотического процесса изменения внутренних параметров, не предусмотренных указанными сценариями.

Рассмотрим вариант, когда при отображении параметров изменяется исходная упорядоченность. Нарушение упорядоченности параметров $(a_i)_{S_j}$ выхода означает появление на множестве $(b_i)_{S_{j+1}}$ входа новой локальной системы координат, при которой отображенному параметру выхода соответствует параметр b_k входа, локализованный в другом месте среды.

Однако нарушение упорядоченности не означает нарушение отношения сопряженности

$$(a_i \pm \Delta a_i) \leftrightarrow (b_k \pm \Delta b_k) \quad \forall i \neq k. \quad (5)$$

Если общее число временно неупорядоченных k -параметров образует подмножество $k_0 < k \leq i$, то при $T \gg \Delta t$ в динамике отображения параметров приобретают хаотичный характер.

Можно рассмотреть условные системные каналы, состоящие из множества элементарных информационно независимых каналов, у которых отображение параметров $a_i \leftrightarrow b_k \quad \forall i \neq k$ осуществляется посредством комбинаторно-топологических преобразований.

Как было показано в [4], процессы, генерируемые в результате таких комбинаторно-топологических преобразований, являются детерминированными хаотическими процессами, относительно устойчивые внутри своих аттракторов. Для комбинаторно-топологических преобразований аттракторами являются компактные объединения гомеоморфизмов топологических пространств с дискретными носителями топологии.

3. Исследование взаимодействия дискретно-хаотических процессов с системой когнитивных функций человека

Для исследования моделируемых взаимодействий дискретно-хаотических процессов и когнитивных функций человека применим дискретно-хаотический генератор (ДХП-генератор), который размещается между S_j и S_{j+1} подсистемами так, что выходы $(a_i)_{S_j}$ поступают на его вход, преобразуются в нем случайным образом и поступают на вход S_{j+1} подсистемы.

Таким образом моделируется сложноорганизованная динамическая система связей, флуктуации структур-процессов параметров которой детерминированы аттракторами двумерного, фазового, дискретного пространства (метрического или логического).

Когда в рассматриваемой модели взаимодействия отключены ДХП-генераторы, то устойчивость системы обеспечивается эффективной работой механизмов обеспечения внутрисистемной стабильности — гомеостазиса [3]. Любое возмущение

внутренней или внешней природы может привести к нестабильности системы когнитивных функций двух видов:

– внутрисистемная нестабильность, когда интенсивность флуктуации параметров превышает возможности системы гомеостаза. Необходим временный перевод системы в новое гетеростатическое состояние;

– внешнесистемная — определяется последовательностью переходов жизненного цикла системы от оптимально функционирующей к состоянию хронической нестабильности вплоть до ее гибели. Квазистатическая фаза устойчивости в системе сохраняется до появления в ней режимов с обострением, при этом, находясь в состоянии неустойчивости, система становится чувствительной к резонансным взаимодействиям низкой интенсивности.

Основным видом связей-отношений между подсистемами являются отношения субординации и координации, или отношения по горизонтали и по вертикали. Рассмотрим элементарные каналы $(w_i)^k \in W \subset CK$, образующие в совокупности условный системный канал, по которому осуществляется взаимодействие стохастических воздействий с системой когнитивных функций человека. Обозначим параметры входов и выходов между подсистемами на k -уровне как $(w_i)_b^k$ и $(w_i)_a^k$. В соответствии с установленными связями между подсистемами их i -параметры выходов и входов тождественны друг другу

$$\begin{aligned} (w_i)_b^k &\equiv (w_i)_a^k \quad \forall (w_i)_b^k \leftrightarrow (w_i)_a^k; \\ (w_i)_b^k &\equiv (w_i)_a^{k+1} \quad \forall (w_i)_b^k \leftrightarrow (w_i)_a^{k+1}. \end{aligned} \quad (6)$$

Первое тождество описывает связи координации, второе — субординации.

Определим свойство (6) подсистем как принцип тождества. Каждый из процессов, протекающий в своем “черном ящике”, функционально предопределен закономерностями, характерными для определенной предметной области. Отношения в системе входов-выходов определяются только системами (6).

Анализ взаимодействия ДХП-генератора и реакцию системы проведем на основании следующих предположений:

– связи-отношения между подсистемами являются локализованными структурами-процессами; параметры выходов-входов между подсистемами подчиняются принципу тождества и взаимно однозначны друг другу (6);

– реакция подсистем открытой и нелинейной выражается флуктуациями интенсивностей и структур-процессов выходных параметров;

– включенный в систему ДХП-генератор изменяет упорядоченность параметров слабо структурируемых элементарных каналов внутри системного канала в системе связей-отношений координации и субординации.

Возьмем два рядом расположенных уровня k и $k+1$, которые содержат подмножества подсистем $\bigcup_{i=1}^n (P_i)^k$ и надсистем $(S_j)^{k+1}$. В процессе функционирования подсистема $(P_i)^k$ формирует на своем выходе подмножество $(w_i)_b^k$ выходных параметров, которые, в соответствии с принципом тождества, являются и параметрами подмножества $(w_i)_a^k$ входов для надсистемы $(S_j)^{k+1}$.

Для подсистем $(P_i)^k$ все выходы $(w_i)_b^k \in W$ образуют исходную упорядоченную структуру параметров, соответствующую оптимальному функционированию подсистемы и всех подсистем $(P)_{i+s}^k$, $(S)_j^{k+1}$, с которой он связан.

При отображении множества

$$(w_i)_b^k \rightarrow (w_i)_a^k, (w_i)_b^k \rightarrow (w_i)_a^{k+1}$$

упорядоченность элементов организует для входов надсистемы $(S)_j^{k+1}$ некоторый образ W^* .

На подмножествах рассматриваемых связей-отношений можно выделить S -подмножество признаков, по которым все параметры выходов-входов могут быть соотнесены в Ω_s -подклассы эквивалентности по S -признаку параметров.

Для каждого из уровней рассматриваемой системы подклассы Ω_s образуют кластеры, включающие в себя собственные замыкания $(\bar{\Omega}_s)^k$, $(\bar{\Omega}_s)^{k+1}$ и нулевой элемент Ω

$$(\Omega_s) = \bigcup (\Omega_s)^k / (\bar{\Omega}_s)^k \equiv \bigcup (\Omega_s)^{k+1} / (\bar{\Omega}_s)^{k+1}. \quad (7)$$

Это дает возможность рассматривать указанные подклассы как подмножества топологического пространства (Ω_s, w_s) с дискретным носителем w_s топологии.

Каждый подкласс эквивалентности признаков представим в виде объединения подмножеств

$$(\Omega_s)^k = \bigcup_{i=1}^n (\Omega_s)_i^k, \quad (8)$$

при этом объединение (6) может быть тождественным как всему подклассу входов, так и его части

$$(\Omega_s)^k \subset (\Omega_s)^{k+1}. \quad (9)$$

Число элементов $(w_i)_b^k$ и $(w_i)_b^{k+1}$, образующих соответствующие подклассы $(\Omega_s)^k$ и $(\Omega_s)^{k+1}$, конечно, и поэтому они полностью определяют систему конечных связей-отношений с выхода $(P_i)^k$ подсистемы на вход $(S_j)^{k+1}$ надсистемы.

Представляет интерес определение границ существования изоморфных преобразований элементов $(w_i)_b^k$ и $(w_i)_b^{k+1}$ внутри подклассов эквивалентности S -признаков при воздействиях ДХП.

Внутри подкласса эквивалентности параметры элементов выходов-входов могут суммироваться,

объединяться, сравниваться, а вне подкласса – нет. Условное поперечное сечение подмножеств $(w)_i^k$ и $(w)_i^{k+1}$ топологических областей $(\Omega_s)^k$ и $(\Omega_s)^{k+1}$ можно рассматривать как сет параметров выхода с каждой из $(P_i)^k$ подсистемы k -уровня и образа системы входов S_j надсистемы на $k+1$ -уровне. Такое рассмотрение системы выходов-входов с теоретико-множественной точки зрения возможно вследствие топологической эквивалентности областей

$$(\Omega_s)_{i=1,2,\dots,n}^k \subset (\Omega_s)_j^{k+1}. \quad (10)$$

С этих позиций анализ систем связей выходов и входов между подсистемами и реакции системы на внешние воздействия переводится в плоскость задачи сравнения образов.

Любая флуктуация структуры-процесса, сгенерированная ДХП-генератором, нарушает упорядоченность выходного образа, что свидетельствует об отсутствии взаимной однозначности между $(\Omega_s)_{i=1,2,\dots,n}^k \subset (\Omega_s)_j^{k+1}$. Однако при этом области $(\Omega_s)^k, (\Omega_s)^{k+1}$ гомеоморфны и их размерности (мощности) остаются неизменными при всех топологически подобных преобразованиях.

Будем считать, что все аффинные преобразования как самих $(w_s)_i^k \subset (w_s)_i^{k+1}$, так и самих областей $(\Omega_s)_{i=1,2,\dots,n}^k \subset (\Omega_s)_j^{k+1}$ не изменяют их упорядоченности. Эти свойства могут считаться инвариантами системы связей-отношений.

Проведем реорганизацию элементов $(w_s)_{i,a}^k \subset (w_s)_{i,a}^{k+1}$ выходов.

Для этого произведем объединение параметров по S -признакам для всех i -подсистем

$$(\Omega_{s=1,2,\dots,m})^k = \bigcup_{i=1}^n (\Omega_{s=1,2,\dots,m})^{ki}. \quad (11)$$

В результате такой реорганизации все связи-отношения образуют образ всех входов в виде объединения S -подклассов

$$(\Omega)_j^{k+1} = \left[\bigcup (\Omega_s)^k \right] \bigcup (\bar{\Omega}_s)_j^{k+1}, \quad (12)$$

где $(\bar{\Omega})_j^{k+1}$ – замыкание области образа системы входов для надсистемы $(S_j)^{k+1}$.

После реорганизации новые области (12) не меняют топологических инвариантов. Свойство тождественности и упорядоченности параметров $(w_s)_i^k$ в системе выходов-входов является теоретико-множественной формализацией анализируемых связей-отношений.

Выводы

Таким образом, рассмотренный подход к моделированию влияния внешних факторов на когнитивные функции модели интеллектуальной деятельности человека дает возможность определить

основные типы преобразований между множествами W и W^* системы когнитивных функций человека-оператора.

Предложенный теоретико-множественный подход дает возможность при изучении моделей дискретно-хаотических воздействий на когнитивные функции человека-оператора определить все множества семантик, описывающих потоки исходной информации и построить практические средства повышения устойчивости операторских функций человека как составную часть интеллектуальной человеко-машинной системы.

Такие средства должны основываться на моносенсорном визуальном воздействии невербального типа, в котором отсутствуют постоянные, циклически повторяющиеся компоненты изображений, что вызывает у человека-оператора подсознательную заинтересованность и повышает эффективность функционирования комплекса когнитивных функций человека [5, 6].

Список литературы: 1. Ерохин, А.Л. О визуальном кодировании информации на основе идентификации когнитивных функций человека-оператора. Сообщение 1 / А.Л. Ерохин // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. – 2006. – №2(65). – С.19-26. 2. Федоров, Л.И. Эндогенные ритмы организма как факторы модуляции параметров стимуляции / Л.И. Федоров // Биофизика, 1996. – Т. 41, Вып. 3. – С. 718-724. 3. Селье Г. Стресс без дистресса. – Рига: Виеда, 1992. – 109 с. 4. Бурцев, В.М. Застосування теорії груп підстановок для моделювання детермінованих хаотичних процесів / В.М. Бурцев, А.Л. Ерохин // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2001. – Вип. 6 (16). – с.47-51. 5. Solso R.L. Cognition and Visual Arts, Cambridge, MA: The MIT Press, 1994. 6. Ruggieri V., Morelli J. Chromatic perception in relation to an hypothesized cerebral dominance // Percept and Mot. Skills. – 1985. – V.60. – P.583-589.

Поступила в редколлегию 09.10.2012

УДК 004.89

Моделювання взаємодії зовнішніх факторів з системою когнітивних функцій людини-оператора / А.Л. Єрохін // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2013. – № 1 (80). – С. 41–44.

В статті на основі теоретико-множинного підходу розроблено модель взаємодії дискретно-хаотичного процесу з системою когнітивних функцій людини в інтелектуальній людино-машинній системі.

Бібліогр.: 6 найм.

UDC 004.89

Modeling of the external factors interaction with the cognitive functions of the human operator / A.L.Yerokhin // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. – 2013. – № 1 (80). – P. 41–44.

The paper proposes a set-theoretic approach to interaction of model discrete chaotic process with the human cognitive functions in intelligent human-machine system.

Ref.: 6 items.