

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФУРЬЕ-ГОЛОГРАФИИ В ЗАДАЧЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТВОРЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ: ТРЕБОВАНИЯ К ПЕРЕДАТОЧНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ РЕВЕРСИВНЫХ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ СРЕД

© 2008 г. А. В. Павлов, канд. техн. наук

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

E-mail: pavlov@phoi.ifmo.ru

Показана возможность реализации в схеме фурье-голографии с обращением волнового фронта в корреляционной плоскости сценария Фейгенбаума перехода к хаосу. На этой основе предложен подход к применению схемы фурье-голографии с обращением волнового фронта в задаче реализации творческого мышления. Определены требования к передаточным функциям реверсивных регистрирующих сред для реализации самонастройки системы на тип динамики, необходимой для решения встреченной задачи. Приведены результаты численного моделирования динамики системы.

Коды OCIS: 090.0090, 3000.34700.

Поступила в редакцию 31.03.2008.

Введение

Фундаментальная проблема искусственного интеллекта (ИИ) рассматривается многими исследователями как одна из перспективных областей применения голографии в силу наличия ряда глубоких аналогий между принципами функционирования мозга, с одной стороны, и физическими явлениями и механизмами, лежащими в основе голографии, с другой [1–7]. Хорошо известны реализации голографической ассоциативной памяти [8, 9]. Очевидно, что память образует фундамент интеллекта, но интеллект предполагает не только вспоминание уже известной информации, как это реализуется в модели ассоциативной памяти, но и создание новой информации, т. е. способность к творчеству. Проблема реализации творческого мышления является в настоящее время одной из актуальных задач ИИ [10–13]. Поэтому представляет интерес возможность голографической реализации моделей, имеющих отношение к решению творческих задач.

Задачи, решаемые интеллектом, принято условно делить на две группы – стандартные и творческие [10]. Стандартной считается задача на вспоминание ранее известного знания. Творческой – задача, решение которой ранее не было известно или предполагает формирование нового индивидуального знания [10].

Известно, что решение творческих задач относится к компетенции правого полушария головного

мозга [10–14], реализующего образную форму мышления. Один из методов решения творческих задач заключается в “погружении в хаос” – генерации мозгом новых образов в хаотическом режиме нейронной активности мозга [15–17]. Именно способность к погружению в хаос (и выходу из него) определяет творческие возможности индивида, его способности к нахождению нестандартных решений. При этом высокому уровню развития образного мышления должен соответствовать адекватный уровень логического мышления для того, чтобы найденное решение было проверено на адекватность реальности [10].

Другой важнейший атрибут интеллекта, имеющий непосредственное отношение к творческим способностям, – способность к предсказанию, предвидению дальнейшего развития событий [16, 18].

Принятие этих предпосылок определяет поиск механизмов решения творческих задач в рамках методов, объединяющих образную и логическую формы мышления [11], вкпе с возможностью реализации хаотической динамики [15] и моделей предсказания. В статье [19] показано, что метод фурье-голографии позволяет интегрировать две формы мышления, реализуя нечетко значимую логику при обработке паттернов внутренней репрезентации воспринимаемой информации, аналогичных паттернам нейронной активности коры головного мозга. В работах [20, 21] методом фурье-голографии реализована модель линейного предсказателя и проде-

монстрирован эффект, аналогичный известному в психологии феномену познавательного дрейфа.

В настоящей статье, в развитие работ [19–21], предложен подход к применению схемы фурье-голографии в рамках проблемы реализации творческого мышления.

Подход к задаче реализации творческого мышления

Рассмотрим (весьма упрощенно) процесс решения задачи мозгом в рамках нейросетевого подхода [10]. Воспринимаемая из внешнего мира информация, пройдя сенсоры и сенсорные тракты, активизирует нейроны коры головного мозга. Инициированная картина нейронной активности коры мозга называется паттерном внутренней репрезентации (ПВР) воспринимаемой информации. Аналогично воспоминание также приводит к формированию соответствующей картины нейронной активности – ПВР запомненного образа. Мозг, как нейронная сеть, обрабатывает именно эти ПВР, а знания хранятся в виде весов межнейронных связей. Применительно к решению задач ПВР воспринимаемой информации – это ПВР условий задачи, подлежащей решению. В результате решения задачи в коре формируется новый ПВР – ПВР решения.

Примем модель нейронной сети, состоящую из двух слоев – слоя репрезентации R , в котором формируются ПВР, и слоя корреляции C (рис. 1а). Знания хранятся в виде матрицы двунаправленных связей H , соединяющих слои R и C . Такая нейросетевая модель адекватна представленной на рис. 1б $4f$ -схеме фурье-голографии в линейном резонаторе, образованном фазосопрягающими зеркалами в слоях R и C . Нейронные слои R и C суть плоскости изображений Im и корреляций C , а матрица связей H – фурье-голограмма эталонного ПВР (знаний).

Эта нейросетевая модель относится к категории динамических систем. Для реализации автоассоциативной памяти динамика системы должна быть конвергентной, т. е. в пространстве состояний системы должны быть только стабильные аттракторы, соответствующие эталонным ПВР. Это условие выполняется при использовании в слое R только одного нейрона, активированного глобальным максимумом автокорреляционной функции [8].

Согласно результатам, полученным в когнитивных науках [16], интеллектуальная деятельность направлена на формирование целостной внутренней картины мироустройства. Соответственно, если ПВР воспринимаемой информации, с точки зрения индивида, обладает свойством целостности, то проблемы нет. Задача возникает тогда, когда ПВР

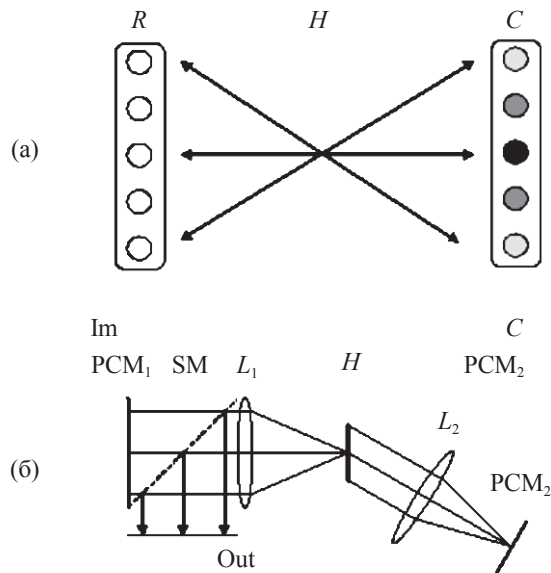


Рис. 1. а – нейросетевая модель обсуждаемой архитектуры. R и C – слои репрезентаций и сравнения, соответственно, H – матрица связей; б – $4f$ -схема голографии Фурье в линейном резонаторе. Im и C – плоскости изображений и корреляций соответственно, SM – полупрозрачное зеркало, формирующее выходную плоскость Out , сопряженную плоскости Im ; PCM_1 и PCM_2 – фазосопрягающие зеркала в плоскостях Im и C соответственно, H – голограмма Фурье, L_1 и L_2 – фурье-преобразующие линзы.

субъективно не полон, дефектен, искажен. Решение задачи заключается в достройке субъективно неполного ПВР (условий задачи) до субъективно целого ПВР.

В рамках нейросетевого подхода эта концепция конкретизируется следующим образом: при предъявлении ПВР в слое R в слое C формируется функция взаимной корреляции объектного (условий задачи) и эталонного (знаний) ПВР. Коэффициент корреляции является мерой соответствия ПВР задачи имеющимся знаниям. Если коэффициент корреляции равен 1, то ПВР воспринимается как эталонный, проблемы нет. Если коэффициент корреляции меньше 1, то ПВР задачи либо не полон, либо искажен – его надо достроить до полного или исправить искажения.

Далее рассмотрим три класса задач и методы их решения:

1. **Стандартная задача** – коэффициент корреляции объектного ПВР (условий задачи) и имеющихся знаний меньше единицы, но превышает некоторый порог, т. е. условия задачи знакомы – ПВР, предъявленный в слое R , опознан как фрагмент или

искаженная версия уже известного, эталонного ПВР. Для того чтобы решить задачу, надо просто вспомнить известный ответ – эталонный ПВР. Такой метод решения реализуется моделью ассоциативной памяти – в обратном ходе лучей $C \rightarrow H \rightarrow R$ в слое R восстанавливается эталонный образ [8, 9]. Если реализуется модель адаптивной памяти, то возможно и дообучение – подстройка матрицы H для включения нового знания, содержащегося в объектном ПВР [22]. Это задача стандартная – не на размышление, а на вспоминание, условия задачи – фрагмент или искаженный ПВР ранее запомненного примера. Новой информации при решении не создается.

2. Задача становится **творческой**, если коэффициент корреляции ПВР задачи и знаний не превышает порог – в памяти нет готового ответа, который можно было бы просто вспомнить, возникает необходимость думать. “Думание” – первый этап процесса решения, завершающийся выдвижением гипотезы – формированием в слое R (рис. 1а) ПВР новой картины мироустройства, обладающей свойством целостности. На этапе выдвижения гипотезы необходимо обеспечить устойчивость знаний – построение ПВР гипотезы не должно приводить к изменению самой матрицы H до тех пор, пока ПВР гипотезы не проверен на адекватность реальности. Именно в этом пункте отличие гения от сумасшедшего.

Следующие этапы решения творческой задачи – проверка ПВР гипотезы на адекватность реальности и, при положительном ответе, переобучение, т. е. включение новой картины мироустройства в структуру индивидуального знания. Ограничимся рассмотрением реализации первого этапа.

Раздумья, в отличие от фантазий, продуктивны только тогда, когда они основаны на имеющемся знании. Поскольку гипотеза должна быть расширением или модификацией ПВР задачи [16], то требование на связь гипотезы со знаниями может быть удовлетворено, например, посредством применения модели регрессии [23, 24] условий задачи по знаниям [25, 26]. В рамках модели регрессии возможны оба упомянутых варианта – как достройка ПВР задачи, т. е. экстраполяция, так и модификация ПВР [21]. Как будет показано далее, использование для построения гипотезы регрессии ПВР задачи по эталонному ПВР (знаниям) позволяет удовлетворить требование на устойчивость знаний. Рассмотрим условную классификацию творческих задач. Введем 2 класса задач.

2.1. “Простая” творческая задача – для ее решения не требуется генерации новых знаний, а достаточно уже имеющихся. Гипотеза может быть построена как экстраполяция объектного ПВР мето-

дом регрессии [23, 24]. Реализация модели линейного предсказателя методом фурье-голографии показана в [20, 21]. Таким образом, схема голографии Фурье в линейном резонаторе (рис. 1) может быть применена для решения как стандартных (ассоциативная память), так и некоторых простых творческих задач (линейный предсказатель).

2.2. Будем считать **задачу сложной**, если решение не может быть найдено только на основе имеющихся знаний – регрессия условий задачи по знаниям не позволяет найти решение. Для решения задачи необходимо изменение знаний, генерация новых знаний.

Известно [10], что для решения проблемы “полезно посмотреть под другим углом” как на условия задачи (переформулировать задачу), так и на знания – временно отказаться от каких-то постулатов, считающихся незыблемыми, усомниться в известных законах. В рамках нейросетевого подхода это значит, что необходимо изменить как ПВР задачи, так и знания. При этом заранее неизвестно, ни как именно надо изменить ПВР, ни какой именно ПВР. Поэтому необходимо перебрать множество вариантов, причем эти изменения ПВР должны быть не совершенно произвольными, но обязаны принадлежать некоторой ограниченной области. Границы этой области определяются базовыми закономерностями, ограничивающими диапазон возможных изменений ПВР и, тем самым, предотвращающими порождение химер – ПВР, невозможных с точки зрения фундаментальных законов мироздания.

Эти условия удовлетворяются посредством погружения модели регрессии в хаос” для генерации в хаотическом режиме нейронной активности новых ПВР [15–17]. Хаотическая динамика позволяет генерировать множество паттернов, отличающихся друг от друга, но принадлежащих одной, ограниченной области пространства состояний системы, называемой странным аттрактором [27]. При этом свойство плотности множества точек на странном аттракторе гарантирует неповторяемость перебираемых гипотез.

Покажем, что схема рис. 1б позволяет не только реализовать сценарии перехода к хаосу и выхода из него, но и обеспечить самостоятельный выбор типа динамики, необходимой для решения встреченной задачи.

Подход к голографической реализации и модель решения творческих задач

Один из методов погружения в хаос и выхода из него в детерминированных системах основан на реализации сценария Фейгенбаума [27]. Ограничен-

ность объема статьи не позволяет дать детальное объяснение перехода к хаосу детерминированной системы по сценарию Фейгенбаума; заинтересованный читатель найдет его в прекрасно написанной книге [27]. Вкратце, для реализации сценария необходимо реализовать нелинейное итерирующее отображение, связывающее последующее состояние системы с предыдущим

$$x_{n+1} = T(x_n, a), \quad (1)$$

где a – параметр, изменение которого ведет к изменению динамики системы от конвергентной к циклической и далее к хаотической; n – номер итерации. При $a \in [a]_{\text{conv}}$, начиная с некоторого n , имеет силу $x_{n+1} = x_n$ для всех n – динамика конвергентная. При увеличении (уменьшении) значения параметра происходит переход сначала к циклической динамике, при которой, начиная с некоторого значения n , имеет силу $x_{n+m} = x_n$, где m – период орбиты (периодические точки периода m , образующие циклический аттрактор для данного a , будем обозначать $\{x_n^m\}$), а затем к хаотической, при которой для любых n и m имеет силу $x_{n+m} \neq x_n$. В схеме рис. 1б сценарий Фейгенбаума может быть реализован, если передаточные функции фазосопрягающих зеркал в плоскостях Im и C нелинейны и могут быть аппроксимированы функцией, позволяющей реализовать описанный сценарий.

Как показано в работе [20], если в схеме рис. 1б голограмма H записана с изображения Im_A , ограниченного кадровым окном $[0, x_0]$, и восстанавливается объектным изображением Im_B , то, если на этапе прохождения света от плоскости C к плоскости Im используется голограмма с инверсной передаточной характеристикой, амплитуда светового поля, восстановленного в точке x_k плоскости Im , описывается выражением

$$\text{Im}_{\text{out}}(x_0 + x_k) = F^* \left(\frac{F^* (\eta_{\text{ФСЗ}}(C_{BA}(x_k + \xi)))}{F(\text{Im}_A(x))} \right), \quad (2)$$

где $C_{BA}(x_k + \xi)$ – функция взаимной корреляции эталонного изображения Im_A (знаний) и Im_B (ПВР задачи), F – оператор преобразования Фурье, астериск обозначает комплексное сопряжение, x – координата в плоскости изображений, ξ – координата в корреляционной плоскости, $\eta_{\text{ФСЗ}}$ – передаточная функция фазосопрягающего зеркала (ФСЗ) в плоскости C . Для упрощения выкладок мы рассматриваем одномерный случай.

Если при реализации итерационного процесса $\text{Im} \leftrightarrow C$, развивающегося в схеме, принять передаточную функцию фазосопрягающего зеркала в плос-

кости Im линейной, а в корреляционной плоскости C нелинейной, то последняя и будет итерирующим отображением (1). Вопрос в том, чтобы вид конкретной передаточной функции $\eta_{\text{ФСЗ}}$ позволял при изменении параметра a , входящего в (1), реализовать сценарий Фейгенбаума. Параметром a в данном случае служит отношение амплитуд записывающего и обращенного пучков для фазосопрягающего зеркала, определяемое амплитудой считывающего пучка.

Отметим, что нелинейность входящего в выражение (2) оператора $\eta_{\text{ФСЗ}}$ позволяет, изменяя $\eta_{\text{ФСЗ}}(C_{BA}(x_k + \xi))$, моделировать три известных [10] метода решения творческой задачи, а именно

а) изменение ПВР задачи при неизменности знаний, т. е.

$$\eta_{\text{ФСЗ}}(C_{BA}(x_k + \xi)) = \text{Im}'_B \otimes \text{Im}'_A; \quad (3)$$

б) изменение знаний при неизменности ПВР задачи, т. е.

$$\eta_{\text{ФСЗ}}(C_{BA}(x_k + \xi)) = \text{Im}_B \otimes \text{Im}'_A; \quad (4)$$

в) совместное изменение ПВР задачи и знаний, т. е.

$$\eta_{\text{ФСЗ}}(C_{BA}(x_k + \xi)) = \text{Im}'_B \otimes \text{Im}'_A, \quad (5)$$

где символ \otimes обозначает операцию корреляции, а штрихи при Im – дефектную или искаженную версию соответствующего изображения. Здесь необходимо подчеркнуть, что мы не можем знать, какой из этих трех методов реализуется “на самом деле”.

Выбор передаточной функции фазосопрягающего зеркала в корреляционной плоскости

Поскольку тип задачи, подлежащей решению, заранее неизвестен, то система должна самостоятельно настраиваться на метод решения, адекватный задаче, – автоассоциативную память для задачи на зубрежку, линейное предсказание для “простой” творческой задачи и погружение в хаос для “сложной” творческой задачи. В рамках нашего подхода различие между стандартной и творческими задачами проявляется в слое C величиной отношения глобального максимума корреляционной функции к боковым максимумам (рис. 2). Если это отношение больше некоторого порога, то задача должна восприниматься как простая и, соответственно, динамика системы должна быть конвергентной (рис. 2а). Если отношение ниже порога, то задача сложная и динамика должна быть хаотической (зона B на рис. 2в).

При этом конвергентной (или циклической) динамика должна быть для процессов, инициирован-

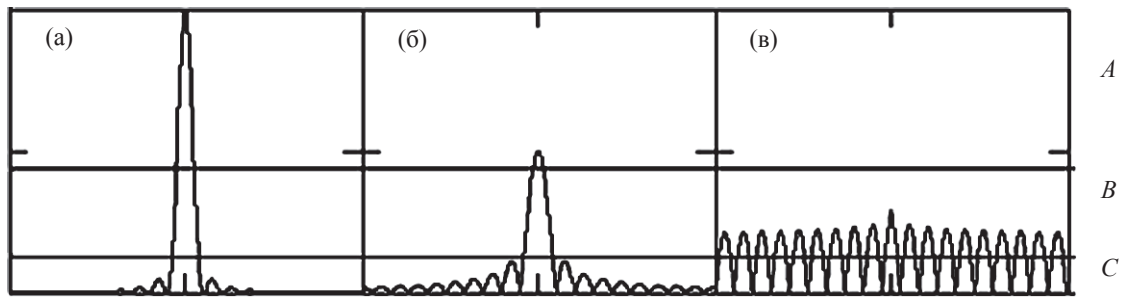


Рис. 2. Распределения амплитуд в корреляционной плоскости в зависимости от типа встреченной задачи. а – задача на воспоминание, б – простая творческая задача, в – сложная творческая задача.

ных как глобальным максимумом (зона А на рис. 2), так и боковыми максимумами, если их амплитуда соответствует простой творческой задаче (зона С на рис. 2б). Первое условие необходимо для реализации модели автоассоциативной памяти. Последнее условие необходимо в силу того, что для поиска ответа мы приняли модель регрессии, а для построения регрессии используются боковые максимумы корреляционной функции [20]. Иными словами, необходима такая передаточная функция фазосопрягающего зеркала, чтобы переход к хаотической динамике происходил только при старте процесса из диапазона, соответствующего диапазону амплитуд боковых максимумов корреляционной функции в случае “сложной” творческой задачи. При старте из другого диапазона, соответствующего простой задаче, динамика должна быть либо конвергентной, либо циклической. Определим эти условия.

Пусть имеется отображение (1), определенное на универсуме X , и для некоторого интервала значений параметра a имеются интервал $X_a = X_{aL} \cup X_{aC} \cup X_{aR}$ и орбита периода m , т. е. устойчивые неподвижные точки $\{x_a^m\} \in X_a: x_{a,n+m} = x_{a,n}$, а значит, динамика для данного значения a на интервале X_a циклическая. Например, для упрощения выражений примем $m = 2$, т. е. орбита $\{x_a^2\}$ состоит из двух точек x_{aL}^2 и x_{aR}^2 . Обозначим символом $T^m(x_n, a)$ отображение порядка m , приносящее орбиту $\{x_a^m\}$. Это означает, что

$$\begin{aligned} x_a^1 \in X_{aC}; \quad \forall x \in X_{aC}: |T'(x_a)| > 1, T(x) \in X, \\ x_{aL}^2 \in X_{aL}; \quad \forall x \in X_{aL}: |T'(x_{aL})| < 1, \\ x_{aR}^2 \in X_{aR}; \quad \forall x \in X_{aR}: |T'(x_{aR})| < 1, \end{aligned}$$

где $T'(x_a)$ – производная в точке x_a . Иными словами, итерационный процесс, стартовав из любой точки, принадлежащей интервалу X_a , не выйдет за его пределы и сойдется к устойчивой орбите $\{x_a^2\}$. Ана-

логичные условия можно сформулировать для любого m . Далее, если на универсуме X имеются также интервалы X_{aLR} и X_{aRL} такие, что

$$\begin{aligned} X_{aLR} \cap X_a &= \emptyset, \\ X_{aRL} \cap X_a &= \emptyset, \end{aligned}$$

и существует (в общем случае периодическая, с периодом k) орбита $\{x_a^k\} \in X_{aLR} \cup X_{aRL}$ такая, что при изменении значения a реализуется сценарий Фейгенбаума, то свойства итерирующего отображения оказываются зависимыми от начальной точки старта итерационного процесса. Если начальная точка x_{a1} принадлежит интервалу X_a , то динамика системы будет либо конвергентной, либо циклической с периодом m . Если начальная точка x_{a1} принадлежит $X_{aLR} \cup X_{aRL}$, то при надлежащем значении a динамика системы будет хаотической.

Это означает, что на интервале X_a уравнение $T^m(x_n, a) - x_n = 0$ должно иметь $m + 1$ корней и дополнительно на интервалах X_{aLR} и X_{aRL} по $k/2$ корней.

Требуемые для реализации такого подхода функции удалось найти среди передаточных функций голографических регистрирующих сред, используемых для реализации устройств обращения волнового фронта, например, структур жидкий кристалл-фотополупроводник [28] или фоторефрактивных кристаллов [29]. Эти функции и были использованы для численного моделирования.

На рис. 3а приведена бифуркационная диаграмма, рассчитанная для передаточной функции жидкокристаллического модулятора при динамическом диапазоне $[0, 185]$ в относительных единицах и старте из точки $x_1 = 40$. Диаграмма показывает зависимость значения неподвижной точки (ось Y), к которой сходится процесс, от значения параметра, входящего в выражение для передаточной функции модулятора, принятой в качестве итерирующего отображения (1). На рис. 3б приведен ее увеличен-

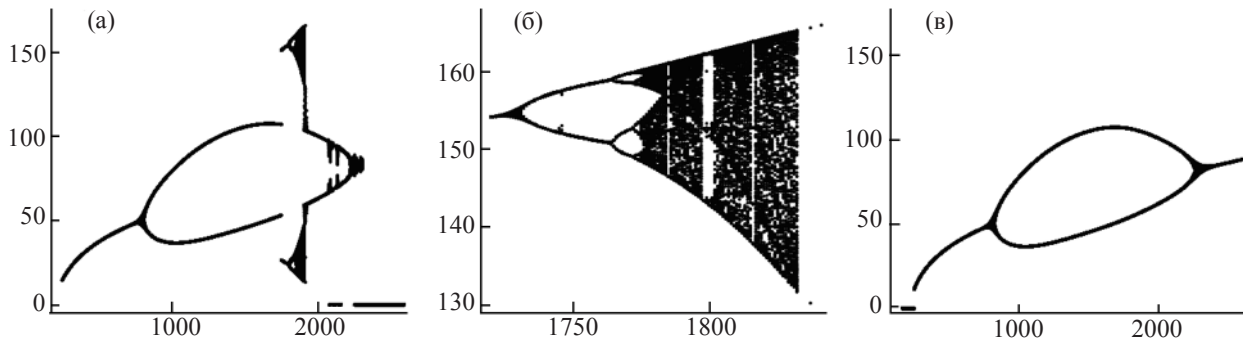


Рис. 3. Бифуркационная диаграмма. а – при старте из точки $x_1 = 40$, б – увеличенный фрагмент диаграммы при старте из точки $x_1 = 40$, в – при старте из точки $x_1 = 100$.

ный фрагмент, а на рис. 3в – диаграмма при старте из точки $x_1 = 100$. Значения параметра на диаграммах (ось X) масштабированы в 2000 раз. В диапазоне значений параметра $[0, 900]$ динамика системы конвергентна – процесс сходится к единственной неподвижной точке. Далее появляется цикл периода 2 – динамика становится циклической. Начиная с некоторого значения параметра, появляется зависимость динамики системы от точки, из которой начинается процесс – при старте из одних точек динамика циклична (рис. 3в), а затем снова конвергентна, при старте из других (рис. 3а) неподвижная точка теряет устойчивость и появляется область хаотической динамики (рис. 3б).

Для иллюстрации этого явления на рис. 4 приведена зависимость положения неподвижной точки для отображений первого (1) и второго (2 и $2'$) порядков. Видно, что, начиная с некоторого значения параметра a , при сохранении неподвижных точек периода 2 (кривые 2), отображение второго порядка приносит еще четыре неподвижные точки, формирующие цикл периода 4 (кривые $2'$), при этом неподвижные точки периода 2 сохраняют устойчивость.

На рис. 5 показана сходимость данного итерационного процесса в диапазоне $[40, 200]$ итераций в зависимости от точки старта (ось абсцисс) при значении параметра 0,913 (при масштабировании к шкале рис. 3 – 1826). В зависимости от точки старта процесс либо сходится к предельному циклу периода 2 (горизонтальные линии), либо реализуется хаотическая динамика в ограниченном диапазоне амплитуд – точки, описывающие состояние системы плотно заполняют черные прямоугольники. Таким образом, приведенная на рис. 4 зависимость динамики системы от точки старта позволяет реализовать самостоятельную настройку системы на требуемый для решения встреченной задачи тип динамики. Рассмотрим три типа задач.

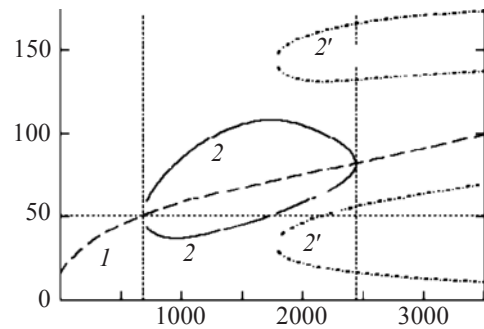


Рис. 4. Зависимость значения неподвижных точек для отображений первого (1) и второго (2 и $2'$) порядков. $2'$ – неподвижные точки на отображении второго порядка, формирующие цикл периода 4.

А. Если условия задачи знакомы, то ПВР задачи коррелирует с имеющимися знаниями H – отношении глобального максимума автокорреляционной функции к боковым максимумам высоко. Амплитуда глобального максимума попадает в тот диапазон, при старте из которого процесс сходится к предельному циклу – в слое R формируется эталон. Амплитуды боковых максимумов попадают в диапазон, при старте из которого процесс сходится к нулю.

В. “Простая” творческая задача. ПВР условия задачи вызывает слабый отклик - отношение глобального максимума к боковым максимумам невысокое, но амплитуды как глобального максимума, так и боковых максимумов попадают в диапазоны, при старте из которых реализуются предельные циклы. В этом случае боковые максимумы строят линейное предсказание. Если циклы боковых максимумов и глобального максимума находятся в противофазе, то в восстанавливаемом слое R ПВР активируется фрагмент, представляющий новую информацию [21].

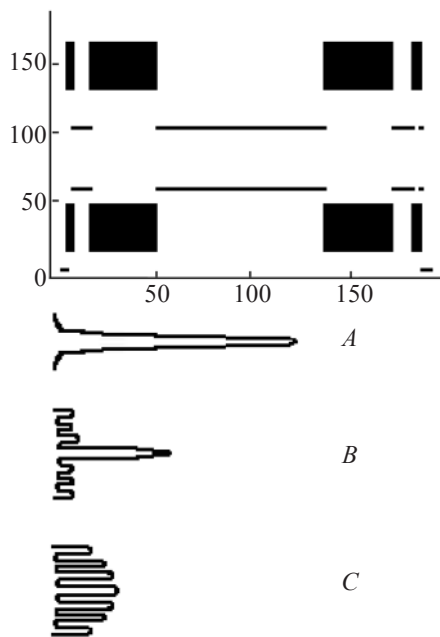


Рис. 5. Сходимость итерационного процесса в диапазоне [40, 200] итераций. На верхнем рисунке изображены области, к которым сходится процесс – черные прямоугольники соответствуют областям хаоса, горизонтальные линии – устойчивая точка периода 2. На нижнем – *A*, *B* и *C* – схематическое изображение распределения амплитуд в корреляционной плоскости для соответствующих типов задач.

С. “Сложная” творческая задача. Условия задачи совершенно незнакомы – глобальный максимум не выделяется. Максимумы корреляционной функции попадают в диапазон, при старте из которого реализуется хаотическая динамика. Тем самым каждый генерируемый в хаотическом режиме паттерн в слое *R* строится как регрессия ПВР задачи по знаниям *H*, а параметры регрессии меняются хаотически – происходит перебор множества паттернов из ограниченного диапазона (см. рис. 5).

Заключение

Таким образом, “схема фурье-голографии в линейном резонаторе” при соответствующем выборе оператора фазосопрягающего зеркала позволяет создать искусственную нейронную сеть, самостоятельно выбирающую метод решения задачи. Если условия задачи знакомы, то система реализует модель автоассоциативной памяти. Для задач, требующих творческого подхода, система самостоятельно реализует либо модель линейного предсказателя для “простых” творческих задач (предельный цикл),

либо переходит к хаотическому типу динамики для генерации множества паттернов в случае “сложной” творческой задачи. Для реализации этого подхода необходимы реверсивные голографические регистрирующие среды с нелинейными передаточными функциями, удовлетворяющими определенным в статье условиям

За рамками рассмотрения остался следующий этап решения творческой задачи – проверка сгенерированного паттерна на адекватность реальности. Этот вопрос требует выхода за рамки рассматриваемой схемы (как принципиальной, так и физической), поскольку модель оперирует только паттернами внутренней репрезентации и знаниями.

Автор считает приятным долгом выразить благодарность проф. И.Б. Фоминых (РосНИИ ИТАП), инициировавшему данную работу; проф. О.П. Кузнецову (ИПУ РАН) за обсуждение, А.Н. Чайке (СПбГУ ИТМО) за предоставленные характеристики жидкокристаллических структур, использованные при моделировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов О.П. Неклассические парадигмы в ИИ // Изв. АН. Сер. Теория и системы управления. 1995. № 5. С. 3–23
2. Кузнецов О.П., Шупилина Л.Б. Псевдооптические нейронные сети – полная прямолинейная модель и методы расчета ее поведения // Изв. АН. Сер. Теория и системы управления. 2000. № 5. С. 168–176.
3. Кузнецов О.П. Моделирование оптических явлений в нейронных сетях // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 8. С. 25–33.
4. Арбиб М. Метафорический мозг. М.: Мир, 1976. 296 с.
5. Прибрам К. Языки мозга. М.: Прогресс, 1975. 464 с.
6. Судаков К.В. Голографический принцип системной организации процессов жизнедеятельности // Успехи физиологических наук. 1997. Т. 28. № 4. С. 3–32.
7. Прибрам К. Нелокальность и локализация: голографическая гипотеза о функционировании мозга в процессе восприятия и памяти // Синергетика и психология. Методологические вопросы. 1997. В. 1. С. 136.
8. Farhat N.H., Psaltis D., Prata A., Paek E. Optical Implementation of the Hopfield Method // Appl. Opt. 1985. V. 24. P. 1469–1475.
9. Owechko Y. Nonlinear holographic associative memories // IEEE Journal of Quantum Electronics. 1989. V. 25. № 3. P. 619–634.
10. Фоминых И.Б. О технологии решения творческих задач // Тр. VIII Национальной конференции по искусственному интеллекту “КИИ-2002”. М.: Физматлит. 2002. Т. 1.
11. Голицын Г.А., Фоминых И.Б. Нейронные сети и экспертные системы: перспективы интеграции // Новости искусственного интеллекта. 1996. № 4. С. 121–145.

12. Семинар “Отражение образного мышления и интуиции специалиста в системах искусственного интеллекта” // *Новости искусственного интеллекта*. 1998. № 1. С. 22–136.
13. Дискуссионная трибуна. Научный семинар (продолжение) “Отражение образного мышления и интуиции специалиста в системах искусственного интеллекта” // *Новости искусственного интеллекта*. 1998. № 3. С. 64–100.
14. *Леутин В.П., Николаева Е.И.* Функциональная асимметрия мозга. Мифы и реальность. СПб.: Речь, 2005. 368 с.
15. *Фриман У.Дж.* Динамика мозга в восприятии и сознании: творческая роль хаоса // *Синергетика и психология*. 2004. В. 3. Когнитивные процессы. С. 13–28.
16. *Князева Е.Н.* Методы нелинейной динамики в когнитивной науке // *Синергетика и психология*. 2004. В. 3. Когнитивные процессы. С. 29–48.
17. *Комбс А.* Сознание: Хаотическое и странно-аттракторное // *Синергетика и психология*. 2004. В. 3. Когнитивные процессы. С. 49–60.
18. *Моллер Р., Гросс Х.-М.* Восприятие через антиципацию // *Синергетика и психология*. 2004. В. 3. Когнитивные процессы.
19. *Алексеев А.М., Константинов А.М., Павлов А.В.* Использование метода Фурье-голографии для моделирования принципа образности мышления // *Оптический журнал*. 2006. Т. 73. № 9. С. 77–82.
20. *Павлов А.В.* Реализация модели линейного предсказателя методом фурье-голографии // *Оптический журнал*. 2005. Т. 72. № 2. С. 43–47.
21. *Павлов А.В.* Возможности ассоциативной обработки информации, реализуемые методом фурье-голографии // *Новости искусственного интеллекта*. 2006. № 2. С. 41–56.
22. *Kosko B.* Adaptive Bidirectional Associative Memories // *Appl. Opt.* 1987. V. 26. № 3. P. 4947–4960.
23. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория случайных процессов и инженерные приложения. М.: Высшая школа, 2000. 383 с.
24. *Вентцель А.Д.* Курс теории случайных процессов. М.: Наука, 1975. 320 с.
25. *Павлов А.В.* О применимости голографических технологий в задаче моделирования творческого мышления. Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте // *Тр. IV Международной научно-практической конференции (Коломна, 28–30 мая 2007)* М.: Физматлит, 2007. С. 282–290.
26. *Grimmet G.R., Sterzaker D.R.* Probability and Random Processes. Oxford: Oxford Sc. Publ., Clarendon Press, 1992. 541 p.
27. *Кроновер Р.М.* Фракталы и хаос в динамических системах. М.: Постмаркет, 2000. 352 с.
28. *Амосова Л.П., Плетнева Н.И., Чайка А.Н.* Нелинейный режим реверсивной записи голограмм на структурах фотопроводник–жидкий кристалл с высокой чувствительностью к излучению He–Ne-лазера // *Оптический журнал*. 2005. Т. 72. № 6. С. 57–62.
29. *Богодаев Н.В., Елисеев В.В., Зозуля З.А., Ивлева Л.И., Коршунов А.С., Орлов С.С., Полозков Н.М.* Двойное ОВФ-зеркало: экспериментальное исследование и сопоставление с теорией // *Квант. электрон.* 1992. Т. 19. В. 37. С. 648–653.