

43. Моделирование квантово-подобных когнитивных феноменов методом голографии Фурье: многошаговые игры и механизмы выбора

А. В. Павлов

Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрена bf схема голографии Фурье резонансной архитектуры применительно к задаче выбора как оценки альтернатив. Показано, что радиус корреляции есть квадратичная мера на алгебре решений и дана модель формирования условной и безусловной оценок голографической схемой. Дан анализ формирования условной оценки при редуцировании когнитивного диссонанса, возникающего при противоречивости оцениваемого решения и условия. Показан механизм нарушения классического закона полной вероятности для несовместных событий и определены параметры голографической схемы как когнитивной системы, обуславливающие его выполнение или нарушение. Теоретические выводы подтверждены сравнением результатов численного моделирования на примере некооперативной игры «Дилемма заключенного» с опубликованными результатами экспериментов.

Ключевые слова: Голография Фурье, Квантово-подобный феномен, Когнитивный диссонанс, Дизъюнкция, Квантовая вероятность, Некооперативные игры, Немонотонная логика, Свобода выбора.

Цитирование: Павлов, А. В. Моделирование квантово-подобных когнитивных феноменов методом голографии Фурье: многошаговые игры и механизмы выбора / А. В. Павлов // HOLOEXPO 2020 : XVII международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. — С. 276–286.

Введение

В последние годы в научном сообществе, в том числе физическом, вновь дискутируется возможность наличия квантовой природы, явлений и механизмов у мышления, сознания и мозга как их материального носителя [1–4]. Активации этих обсуждений, наряду с другими факторами, способствовал и тот успех в аналитическом описании некоторых феноменов, выявленных в ряде экспериментов по принятию решений в условиях неопределенности [5–9], что был достигнут формальным применением математики квантовой механики. В частности, в работах [10, 11] дано описание нарушения классической формулы полной вероятности для несовместных событий, основанное на применении квантово-механического формализма.

Но с позиции принципа физической обоснованности математической модели обращает на себя внимание то, что применение математического аппарата квантовой-механики в статьях [10, 11] имело место на сугубо формальном уровне и не сопровождалось апелляцией к физике феномена, т. е. к собственно квантовым явлениям или механизмам. Поэтому, строго говоря, вопрос квантовой природы нарушения формулы полной вероятности с физической

точки зрения остается открытым и, исходя из принципа «бритвы Оккама», представляется целесообразным поиск максимально простых механизмов данного феномена.

В настоящем докладе показано, что нарушение классического закона полной вероятности для несовместных событий (классической формулы дизъюнкции) имеет место в определенном диапазоне отношений параметров эталонных образов, представляющих альтернативы в bf схеме голографии Фурье кольцевой архитектуры, порождающей логику с исключением, фурье-дуальным основному правилу вывода монотонной логики.

1. Анализ проблемы и выбор подхода к её решению

1.1. Анализ проблемы

Пусть имеется две альтернативы A и B такие, что

$$\begin{aligned} A \wedge B &= \emptyset, \\ A \vee B &= U, \end{aligned} \quad (1)$$

где \wedge и \vee — логические умножение и сложение, U — полный набор альтернатив. Имеется шкала оценок $\mu : \{A, B\} \rightarrow \{L, P\}$, где L — низкая оценка, P — высокая, в простейшем случае $\mu \in [0, 1]$.

Альтернативы и их оценки связаны парой правил, например, если первое правило:

$$\mu(A) = L, \quad (2)$$

то из (2) следует эталонная оценка альтернативы B как дополнения A до полного набора:

$$\mu(B) = P. \quad (3)$$

Правила (2) и (3) описывают абсолютную (безусловную) оценку. Обсуждаемая проблема актуальна при формировании условной оценки в ситуации, когда условие противоречит оцениваемой альтернативе. Например, в «Игре в кости» — оценивается решение продолжать игру при условии, что перед принятием решения случился проигрыш, в «Дилемме заключенного» — оценивается решение предать если известно, что подельник молчит, в «Каникулах после экзамена» — улететь на каникулы, несмотря на то что экзамен не сдан, etc.

При анализе [5, 9–11] как оценка μ использована вероятностная мера Pr , для которой в классической теории вероятности при несовместности альтернатив (1), имеет силу

$$\text{Pr}(B_i) = \text{Pr}(B_i | A_{i-1}) \cdot \text{Pr}(A_{i-1}) + \text{Pr}(B_i | B_{i-1}) \cdot \text{Pr}(B_{i-1}), \quad (4)$$

где нижние индексы указывают номер шага, на котором имела место соответствующая альтернатива. Например, в «Дилемме заключенного» i -й шаг — решение, принимаемое игроком, $(i - 1)$ -й шаг — решение, принятое другим игроком (подельником). Выражение (4) известно в классической теории вероятности как формула полной вероятности.

Проблема здесь в том, что согласно (4) полная вероятность может принимать значение только из интервала, ограниченного вероятностями условными, но результаты экспериментов устойчиво давали иной порядок — безусловная оценка оказывалась вне этого интервала. Например, для «Дилеммы бандита», где A — «молчать» и B — «предать», был получен порядок

$$\text{Pr}(B_i | B_{i-1}) > \text{Pr}(B_i | A_{i-1}) > \text{Pr}(B_i). \quad (5)$$

Аналогичные порядки экспериментально были получены и для других игр — цифры в разных экспериментах различались, но порядок у всех исследователей был один и тот же.

1.2. Подход к решению проблемы

В статьях [5–11] противоречие экспериментально наблюдавшегося порядка (5) и определяемого классическим законом (4), анализировалось так: полученные в экспериментах условные вероятности $\Pr(B_i | B_{i-1})$ и $\Pr(B_i | A_{i-1})$, задающие границы диапазона, внутри которого должна лежать полная вероятность $\Pr(B_i)$, принимались как факты, рассчитывалась согласно (4) безусловная вероятность $\Pr(B_i)$ и сравнивалась с экспериментально полученным значением.

Подойдём к проблем с другой стороны и взглянем на неё с иной точки зрения — примем вероятности $\Pr(B_i)$ и $\Pr(B_i | B_{i-1})$, т. е. безусловную и условную при условии, не противоречащем оцениваемой альтернативе, как данности и попытаемся найти механизм, который может поместить условную вероятность $\Pr(B_i | A_{i-1})$ в пределы диапазона $[\Pr(B_i | B_{i-1}), \Pr(B_i)]$.

В контексте задачи моделирования выбора человеком очевидно, что такой механизм должен моделировать и иные атрибуты процесса оценивания альтернатив человеком. Согласно [10], важнейшим из них является когнитивный диссонанс, возникающий при восприятии условия, противоречащего уже имеющемуся правилу оценивания, при этом в «Дилемме заключенного» оценка формируется на первых итерациях редуцирования когнитивного диссонанса — в полиции времени на долгие раздумья не дают.

Учет условия, противоречащего имеющемуся правилу, формально описывается логикой с исключением, относящейся к классу немонотонных логик. Таким образом, задача заключается в поиске реального физического механизма, удовлетворяющего критерию биологической мотивированности, порождающего логику с исключением и моделирующего когнитивный диссонанс во всей полноте — как возникновение, так и редуцирование.

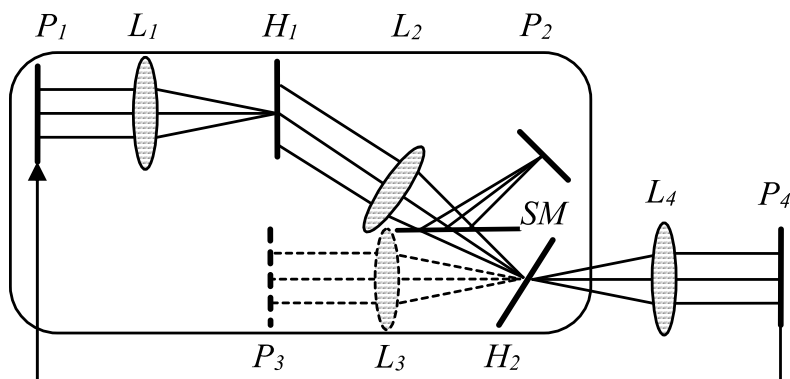
В статьях [12, 13] показано, что логика с исключением порождается $6f$ схемой голографии Фурье, а в работе [14] показано, что при придании этой схеме динамического характера посредством организации кольцевой архитектуры, показанной на рисунке 1, схема моделирует возникновение и редуцирование когнитивного диссонанса.

1.3. Выбор метода записи голограммы монотонной логики и меры на алгебре событий

Согласно правилу Борна, вероятность события $B_{x,y}$, например, нахождения частицы в точке с координатами (x, y) определяется как скалярное произведение его волновой функции или амплитуды вероятности ψ [15]

$$\Pr_{\psi}(B_{x,y}) = \langle \psi(x,y), \psi(x,y) \rangle, \quad (6)$$

где угловые скобки — символ скалярного произведения. Таким образом, вероятность как квадратичная мера математически строго эквивалентна мощности, применительно к схеме рисунка 1 — амплитуде корреляционного отклика в плоскости P_2 с координатами нулевого сдвига, т. е. амплитуде глобального максимума автокорреляционной функции (ГМ АКФ).



P_1 – P_4 — плоскости: входная, корреляций, эталона для записи голограммы H_2 и выходная, связанная с входной видеотрактом (стрелка внизу), соответственно; L_1 – L_4 — фурье-преобразующие линзы; H_1 и H_2 — голограммы Фурье, хранящие альтернативы и расположенные в задних фокальных плоскостях линз L_1 и L_2, L_3 , соответственно; SM — светоделитель (полупрозрачное зеркало); рамкой со скругленными углами выделена $4f$ схема; внеосевой плоский опорный пучок, используемый для записи голограммы H_1 , на схеме не показан

Рис. 1. $6f$ схема голографии Фурье резонансной архитектуры

Мера должна удовлетворять аксиоме монотонного неубывания. Но при записи голограммы H_1 , хранящей правило монотонной логики (2) «Если ..., то ...» (правило логического вывода «Обобщенный Мовус Ропенс»), зависимость меры от смысла значения оцениваемой альтернативы B будет иметь вид

$$\langle B(x, y), A(x, y) \rangle < \langle A(x, y), A(x, y) \rangle, \quad (7)$$

противоречащий с учетом парного правила (3) аксиоме монотонного неубывания оценки.

Аксиома неубывания выполняется при записи голограммы H_1 согласно правилу (3)

$$\langle A(x, y), B(x, y) \rangle < \langle B(x, y), B(x, y) \rangle, \quad (8)$$

но в силу ограниченности динамического диапазона экспозиционных характеристик голографических регистрирующих сред при этом получаем существенное сужение диапазона изменения оценок сравнительно с записью голограммы H_1 согласно (2).

Примем биологически мотивированное допущение, что образы альтернатив $A(x, y)$ и $B(x, y)$ имеют идентичные спектры фаз и отличаются только спектрами амплитуд. Тогда, если спектры амплитуд упорядочены следующим образом:

$$\forall \alpha \in [0.1]: v_\alpha^B < v_\alpha^A, \quad (9)$$

где v — пространственная частота на уровне α , то в силу свойств преобразования Фурье имеем

$$(v_\alpha^B < v_\alpha^A) \stackrel{F}{\Leftrightarrow} (r_\alpha^{B \otimes B} > r_\alpha^{A \otimes A}), \quad (10)$$

где r — радиус корреляции, определяемый как полуширина глобального максимума функции автокорреляции (ГМ АКФ) по заданному уровню α от его максимального значения.

$$r_\alpha = \Delta_\alpha : \frac{C(\Delta)}{C(0)} = \alpha. \quad (11)$$

Таким образом, с учетом результатов, представленных в [16–18], имеем в пространстве оценок требуемый аксиомой монотонности порядок

$$r_\alpha^{B \otimes B} > r_\alpha^{A \otimes B} > r_\alpha^{A \otimes A}. \quad (12)$$

В силу (10) определенный таким образом порядок в пространстве Фурье (левая часть (10)) с учетом ограниченности динамического диапазона экспозиционных характеристик голографических регистрирующих сред однозначно определяет более узкий частотный диапазон голограммы, хранящей вариант (3) правила логического вывода «Обобщенный Modus Ponens» (верхний индекс GMP), т. е. для «Дилеммы заключенного»: «предать — хорошо»

$$H_{BP}^{GMP}(v_x, v_y) = F^*(B(x, y)) \cdot F(P(x, y)) \quad (13)$$

сравнительно с голограммой

$$H_{AL}^{GMP}(v_x, v_y) = F^*(A(x, y)) \cdot F(L(x, y)), \quad (14)$$

хранящей правило в варианте (2): «молчать — плохо». Отсюда следует, что диапазон изменения параметров откликов, обеспечиваемых голограммой (13), хранящей правило (3), существенно уже, чем диапазон их изменения, обеспечиваемых голограммой (14): ширина этого диапазона при обучении правилом (3) находится в обратной зависимости от отношения частот заданного уровня спектра амплитуд эталонных образов для (2) и (3).

Проблема разрешается при использовании в качестве квадратичной меры не скалярного произведения, а радиуса корреляции r , вкуче с записью голограммы согласно (14): при этом получаем удовлетворяющий аксиоме монотонности для меры порядок (12), а частотный диапазон голограммы (14), хранящей правило (2), будет максимален.

В [18] показано, что радиус корреляции для функций одной переменной и площадь корреляции для функций двух переменных связан со скалярным произведением обратной зависимостью. Поскольку и мощность логического заключения, т. е. амплитуда ГМ АКФ, формируемого голограммой (14), также имеет обратную зависимость при порядке (9), то при записи голограммы H_1 по модели (14), радиус (площадь) корреляции может быть принят (принята) как квадратичная мера на алгебре решений, т. е. как оценка решения (альтернативы)

$$r(B) = \mu(B) = \Pr(B).$$

1.4. Реализация логики с исключением и моделирование когнитивного диссонанса

Логика с исключением строится добавлением к правилу монотонной логики «Если ..., то ...» правила исключения «..., если ... не ...». В схеме рисунка 1 это правило хранится голограммой H_2 , которая записывается откликом голограммы H_1 на эталонный образ исключения и фурье-образом эталона, использованного при записи голограммы H_1 . В «Дилемме заключенного»

это отклик голограммы H_1 на образ «Предать», т. е. оценка «Хорошо», и фурье-образ «Молчать».

$$H^E(\xi, \eta) = F(A(x, y)) \cdot (P^{GMP}(\xi, \eta))^*, \quad (15)$$

где $P^{GMP}(\xi, \eta)$ — отклик голограммы H_1 на эталонный образ $B(x, y)$ «Предать», т. е. самая высокая оценка — «Выгодно».

Для реализации модели когнитивного диссонанса, включая его редуцирование, *6f* схеме рисунка 1 придается динамический характер — плоскость P_4 связывается с входной плоскостью P_1 , например, видеотрактом [14]. Тогда, как показано в [13], при предъявлении схеме рисунка 1 во входной плоскости P_1 образа $In(x, y)$, отличающегося от эталонного образа $A(x, y)$ только спектром амплитуд, на n -ой итерации поле в корреляционной плоскости описывается выражением

$$C_n(\xi, \eta) = F(C_{n-1}(\xi, \eta)) * \left\{ \left[A(x, y) \otimes F(P^{GMP}(\xi, \eta)) \right] \otimes A(x, y) \right\}, \quad (16)$$

где за нулевую принята итерация, на которой формируется отклик только голограммы H_1 , т. е. оценка по правилу монотонной логики

$$C_0(\xi, \eta) = In(x, y) \otimes A(x, y). \quad (17)$$

Голограмма H_2 при формировании отклика (16) связана с голограммой H_1 двойным преобразованием Фурье и, если фокусные расстояния линз L_1 и L_2 одинаковы, то (16) можно представить в виде двух эквивалентных выражений:

$$\begin{aligned} C_n(\zeta, \eta) &= F(C_{n-1}(\zeta, \eta)) * F(H_1(v_x, v_y) \cdot H_2(v_x, v_y)), \\ F(C_n(\zeta, \eta)) &= C_{n-1}(\zeta, \eta) (H_1(v_x, v_y) \cdot H_2(v_x, v_y)). \end{aligned} \quad (18)$$

Из (18) видно, что член $H_1(v_x, v_y)H_2(v_x, v_y)$ может рассматриваться как составная голограмма, хранящая как основное правило, так и противоречащее ему условие (исключение). На первых итерациях имеет место неустойчивость отклика $C_n(\xi, \eta) \neq C_{n-1}(\xi, \eta)$, при отсутствии режекции низких частот [13] после ряда затухающих колебаний достигается устойчивый отклик $C_n(\xi, \eta) = C_{n-1}(\xi, \eta)$ — процесс схождения системы к устойчивому отклику соответствует редуцированию когнитивного диссонанса.

2. Моделирование

Моделировалась работа показанной на рисунке 1 *6f* схемы голографии Фурье при реализации сценария некооперативной игры «Дилемма заключенного». Рассмотрены первые итерации редуцирования когнитивного диссонанса:

– нулевая итерация: информация о действиях второго игрока отсутствует, игрок руководствуется монотонной логикой «предать — выгодно, молчать — плохо», оценка решения, представленного образом In , предъявляемом во входной плоскости P_1 , формируется *4f* схемой в плоскости P_2 — это безусловная оценка $Pr(B_i)$;

– первая итерация логики с исключением: поступает информация о том, что второй игрок на допросе молчит, это условие записывается на голограмме H_2 согласно (15), игрок оценивает новую информацию о действиях поделщика, соотнося её с правилом монотонной логики, представленном голограммой H_1 , возбуждение в сети проходит по кругу: $P_1 \rightarrow H_1 \rightarrow H_2 \rightarrow P_4 \rightarrow P_1 \rightarrow H_1 \rightarrow P_2$, формируются условные оценки решения поделщика $\Pr(B_1 | A_1)$ и $\Pr(A_1 | A_1)$;

– вторая итерация логики с исключением: теперь игрок должен оценить уже свои возможные решения с учетом информации о действиях другого игрока – сформировать условные оценки $\Pr(B_2 | A_1)$ и $\Pr(A_2 | A_1)$.

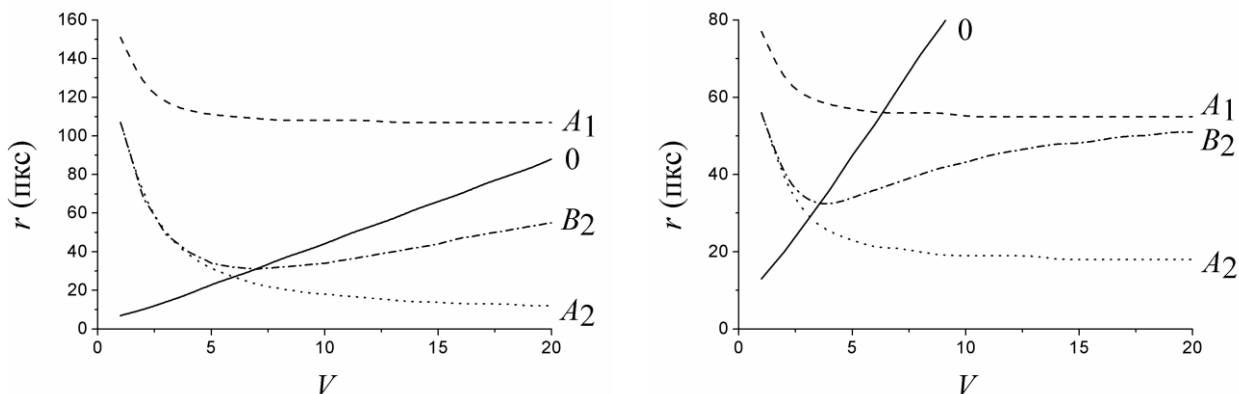
Образы альтернатив были представлены реализациями стационарного случайного процесса с Гауссовым спектром амплитуд и случайным, нормально распределенным с дисперсией 2π спектром фаз. Согласно (9) в качестве меры различия альтернатив взято отношение полуширин спектров амплитуд образов, представляющих альтернативы

$$V = \frac{V_{0,606}^A}{V_{0,606}^B}. \quad (19)$$

Исследовалась зависимость радиуса корреляции как квадратичной меры от оценки (19): для первой итерации варьировалась оценка (19) для альтернатив, хранящихся в голограммах (14) и (15), для второй – оценка (19) синхронно менялась также и для образа подлежащей оценке входной альтернативы B_2 относительно альтернативы A_1 , представляющей решение поделщика как условие.

Как следует из (14), (15) и (18), корреляционные отклики, формируемые схемой рисунка 1. в плоскости P_2 , зависят от параметров спектров образов альтернатив A и B и условий записи голограмм, т. е. дополнительной фильтрации на голограммах вследствие ограниченности динамического диапазона экспозиционных характеристик голографических регистрирующих сред. Поэтому в качестве универсального параметра, учитывающего как свойства эталонных образов, так и дополнительную фильтрацию на голограммах, был использован радиус АКФ эталонов, записанных на голограммах – r^{ACFGMP} для эталонного образа A и r^{ACF} для составного образа, хранимого составной голограммой $H_1(v)H_2(v)$. Примеры зависимостей безусловной и условной оценок от оценки различения альтернатив (19) для двух значений параметра r^{ACFGMP} даны на рисунках 2а и 2б.

Из рисунков 2а и 2б видно, что в определенном диапазоне значений оценки различения альтернатив V , зависящем от радиуса корреляции записанного на голограмме H_1 эталонного образа A , кривая B_2 , представляющая интересующую нас условную оценку $\mu(B_2 | A_1)$, т. е. в игре «Дилемма заключенного» оценку решения «предать» при условии, что поделщик молчит, идет выше кривой O , представляющей безусловную оценку $\mu(B)$, что и требовалось в данной задаче.



а) Зависимости оценок входного образа
(радиуса ГМ АКФ) при $r^{ACFGMP} = 6,2$ пкс

б) Зависимости оценок входного образа
(радиуса ГМ АКФ) при $r^{ACFGMP} = 12,4$ пкс

0 — безусловные оценки на нулевой итерации (монотонная логика)

A_1 и B_2 — оценки $\mu(A_1|A_1)$ и $\mu(B_1|A_1)$, соответственно, на первой итерации

A_2 и B_2 — оценки $\mu(A_2|A_1)$ и $\mu(B_2|A_1)$, соответственно, на второй итерации

Рис. 2

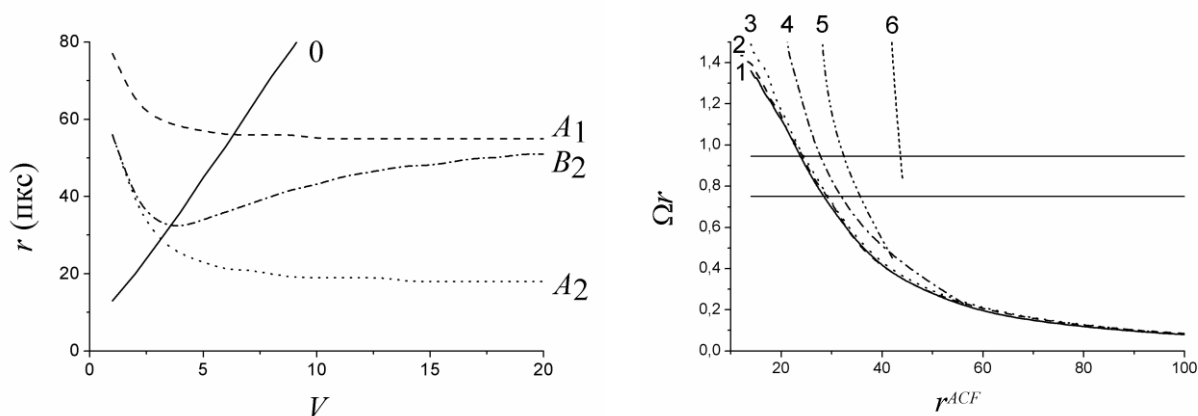
Для наглядности введем количественную оценку нарушения классической формулы полной вероятности (4), позволяющую наглядно сравнить наши результаты с опубликованными результатами экспериментов [5–9]:

$$\Omega(V, r^{ACFGMP}) = \frac{\mu(B(r^{ACFGMP}))}{\mu(B_2(r^{ACFGMP})|A_1(V))}. \quad (20)$$

Как видно из сравнения рисунков 2а с 2б, оценка (20) зависит как от характеристик эталонных образов альтернативы A и её оценки L , использованных для записи голограммы H_1 , т. е. r^{ACFGMP} , так и от отношения в спектральном пространстве V характеристик оцениваемой альтернативы B с характеристиками эталонной пары A и L , но с важным уточнением — не самой альтернативы B , а её образа как исключения, записанного на голограмме H_2 . Голограмма H_2 записывается с использованием в качестве опорного пучка корреляционного отклика голограммы H_1 , т. е. образ альтернативы B подвергается дополнительной фильтрации. Поэтому для того, чтобы обеспечить сравнимость оценок, представим их в пространстве корреляций — заменим оценку различения альтернатив V на радиус корреляции r^{ACF} комбинированного образа, записанного на составной голограмме $H_1(v_x, v_y)H_2(v_x, v_y)$, т. е. оценку (20) заменим на оценку

$$\Omega r(r^{ACF}, r^{ACFGMP}) = \frac{\mu(B(r^{ACFGMP}))}{\mu(B_2(r^{ACFGMP})|A_1(V))}. \quad (21)$$

Выбор радиуса корреляции комбинированного образа r^{ACF} в качестве аргумента оценки (21) целесообразен также и с учетом того, что в работе [19] показано, что эта характеристика является параметром порядка системы, контроль которого позволяет предсказать



а) Зависимости отношения безусловной и условной оценок от оценки различия альтернатив V

б) Зависимости отношения безусловной и условной оценок от параметра порядка системы — радиуса корреляции комбинированного образа

Значения радиуса корреляции: $1 - r^{ACFGMP} = 3,7$ пкс., $2 - r^{ACFGMP} = 4,65$ пкс., $3 - r^{ACFGMP} = 6,2$ пкс., $4 - r^{ACFGMP} = 12,4$ пкс., $5 - r^{ACFGMP} = 18,6$ пкс., $6 - r^{ACFGMP} = 37$ пкс. горизонтальные линии показывают диапазон значений, полученных в экспериментах [5–9].

Рис. 3

изменение типа её динамики: переход от режима устойчивого унимодального отклика к режиму с перемежаемостью и, далее, к режиму устойчивого мультимодального отклика.

На рисунке 3а показаны зависимости оценки (20) от оценки различия альтернатив для ряда значений радиуса корреляции эталонного образа A , записанного на голограмме H_1 , а на рисунке 3б – зависимости оценки (21) от радиуса корреляции r^{ACF} комбинированного образа, записанного на составной голограмме $H_1(v_x, v_y)H_2(v_x, v_y)$.

Таким образом, в определенном диапазоне значений радиуса корреляции композитного образа, включающего как оцениваемую альтернативу, так и противоречащее ему условие, имеем совпадение данных нашего моделирования с опубликованными в [5–9] результатами натуральных экспериментов.

Из рисунки 2 и 3 видно, что точка пересечения кривых 0 и B_2 , т. е. величина V , при которой имеет место $\mu(B_2) = \mu(B_2 | A_1)$, с ростом радиуса корреляции r^{ACFGMP} смещается влево — в сторону меньших V , обозначим эту величину V_1 , она находится в обратной зависимости от радиуса корреляции r^{ACFGMP} . Рассматривая задачу оценки альтернатив как задачу выбора, можно заметить, что выбор определяется радиусом корреляции r^{ACFGMP} . Последний параметр, в свою очередь, количественно описывает внутреннюю связность той внутренней картины мира, что представлена логической связкой (2) и, соответственно, хранится голограммой H_1 . Иными словами, большой радиус корреляции означает наличие дальних смысловых связей во внутренней картине мира (ВКМ) игрока и, напротив, малый радиус корреляции означает наличие очень коротких связей в ВКМ. В результате, при одном и том же текущем значении V игрок с дальними связями ВКМ (большим радиусом корреляции r^{ACFGMP}) более склонен к принятию

решения «молчать», которое расценивается как решение нравственное, чем игрок с короткими (меньшим радиусом корреляции r^{ACFGMP}) — последний склонен к принятию более прагматических, нежели нравственных решений. Отсюда следует, что анализ сугубо физической схемы дает возможный выход на вопросы, считающиеся атрибутами гуманитарной сферы, как нравственность и свобода выбора, их связь с индивидуальными особенностями материального носителя интеллекта и сознания.

3. Заключение

Таким образом, bf схема голографии Фурье, порождающая логику с исключением, демонстрирует на первых итерациях редуцирования когнитивного диссонанса феномен нарушения классической формулы полной вероятности несовместных событий. Этот феномен был обнаружен в ходе экспериментальных исследований принятия решений в условиях неопределенности и в настоящее время рядом исследователей относится к категории квантовых, рассматривается как проявление квантовой природы интеллекта и сознания. Представленный в настоящем докладе механизм является вполне классическим, не требует обращения к квантовой механике ни на уровне физики, ни на уровне формализма, а полученные результаты количественно совпадают с данными натуральных экспериментов [5–9].

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 18-01-00676-а.

Список источников

- [1] **Жёлтиков, А. М.** [Критика квантового разума: измерение, сознание, отложенный выбор и утраченная когерентность](#) / А. М. Жёлтиков // Успехи физических наук. — 2018. — Том 188. — №10. — С. 1119–1128. — DOI: 10.3367/UFNr.2017.06.038155.
- [2] **Менский, М. Б.** [Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов](#) / М. Б. Менский // Успехи физических наук. — 2000. — Том 170. — №6. — С. 631–648. — DOI: 10.3367/UFNr.0170.200006c.0631.
- [3] **Менский, М. Б.** [Концепция сознания в контексте квантовой механики](#) / М. Б. Менский // Успехи физических наук. — 2005. — Том 175. — №4. — С. 413–435. — DOI: 10.3367/UFNr.0175.200504c.0413.
- [4] **Данилов, О. Б.** [Многомодовые лазеры как аналоги сложных биологических систем](#) / О. Б. Данилов, Н. Н. Розанов, Н. А. Соловьев, Л. Н. Сомс // Оптика и спектроскопия. — 2016. — Том 120. — №4. — С. 682–690. — DOI: 10.7868/S0030403416040036.
- [5] **Tversky, A.** [Extensional versus intuitive reasoning: The conjunction fallacy in probability judgment](#) / A. Tversky, D. Kahneman // Psychological Review. — 1983. — Vol. 90. — №4. — P. 293–315. — DOI: 10.1037/0033-295X.90.4.293.
- [6] **Crosson, R.** [The disjunction effect and reason-based choice in games](#) / R. Crosson // Organizational Behavior and Human Decision Processes. — 1999. — Vol. 80. — P. 118–133. — DOI: 10.1006/obhd.1999.2846.
- [7] **Li, S.** [Examining whether there is a disjunction effect in Prisoner’s Dilemma games](#) / S. Li, J. Taplin // Chin. J. Psychol. — 2002. — Vol. 44. — P. 25–46.

- [8] **Busemeyer, J. R.** Quantum game theory explanation of disjunction effects / J. R. Busemeyer, M. Matthew, Z. A. Wang // Proceedings of the annual meeting of the cognitive science society; edited by R. Sun, N. Miyake Mahwah. — NJ : Erlbaum, 2006. — P. 131–135.
- [9] **Hristova, E.** Disjunction effect in prisoner’s dilemma: evidences from an eye-tracking study / E. Hristova, M. Grinberg // Proc. 30th Ann. Conf. Cogn. Sc. Soc. Washington, DC. — 2008. — P. 1225–1230.
- [10] **Pothos, E. M.** [A quantum probability explanation for violations of 'rational' decision theory](#) / E. M. Pothos, J. R. Busemeyer // Proc. Of RSBS. — 2009. — Vol. 279. — P. 2171–2178. — DOI: 10.1098/rspb.2009.0121.
- [11] **Busemeyer, J. R.** [A quantum theoretical explanation for probability judgment “errors”](#) / J. R. Busemeyer, E. M. Pothos, R. Franco, J. S. Trueblood // Psychological Review. — 2011. — Vol. 118. — №2. — P. 193–218. — DOI: 10.1037/a0022542.
- [12] **Павлов, А. В.** Алгебра фурье-дуальных операций: логика с исключением / А. В. Павлов // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2012. — №3. — С. 26–38.
- [13] **Павлов, А. В.** [Влияние условий записи голограмм и нелинейности регистрирующих сред на динамические характеристики схемы голографии Фурье резонансной архитектуры](#) / А. В. Павлов // Оптика и спектроскопия. — 2015. — Том 119. — №1. — С. 151–159. — DOI: 10.1134/S0030400X1507022X.
- [14] **Павлов, А. В.** Логика с исключением на алгебре фурье-дуальных операций: нейросетевой механизм редуцирования когнитивного диссонанса / А. В. Павлов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2014. — Том 89. — №1. — С. 17–25.
- [15] **Фейнман, Р.** Фейнмановские лекции по физике. Вып. 8. / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. — М. : Мир, 1965. — 260 с.
- [16] **Кулешов, А. М.** Влияние нелинейности среды и пространственных ограничений фильтра на параметры сигнала в голографическом корреляторе / А. М. Кулешов, Е. И. Шубников // Оптика и спектроскопия. — 1986. — Том 60. — №3. — С. 1273–1276.
- [17] **Кулешов, А. М.** Об оптимальности голографического согласованного фильтра / А. М. Кулешов, Е. И. Шубников, С. А. Смаева // Оптика и спектроскопия. — 1986. — Том 60. — №6. — С. 606–609.
- [18] **Шубников, Е. И.** Отношение сигнал/помеха при корреляционном сравнении изображений / Е. И. Шубников // Оптика и спектроскопия. — 1987. — Том 62. — №2. — С. 450–456.
- [19] **Pavlov, A. V.** [A Model of Cognitive Disorders upon the Algebra of Fourier-dual Operations](#) / A. V. Pavlov // Advances in Intelligent Systems and Computing. — 2020. — Vol. 1127 AISC. — P. 117–128. — DOI: 10.1007/978-3-030-39216-1_12.