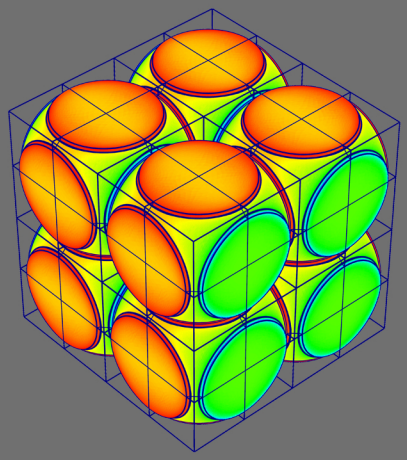
ISSN 2309-3684



Математическое моделирование и численные методы

Белотелов Н.В, Павлов С.А. Агентная модель культурных взаимодействий на неметризуемых хаусдорфовых пространствах. Математическое моделирование и численные методы, 2021, № 3, с. 105–119.

Источник: https://mmcm.bmstu.ru/articles/260/

Параметры загрузки:
IP: 216.73.216.210
01.02.2026 13:57:19

УДК 519.6 DOI: 10.18698/2309-3684-2021-3-105119

Агентная модель культурных взаимодействий на неметризуемых хаусдорфовых пространствах

© Н.В. Белотелов[1], С.А. Павлов[2]

[1]Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН
Москва, 119333, Россия
[2]МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Необходимость разработки формализованных компьютерно-ориентированных подходов к проведению междисциплинарных исследований межкультурных взаимодействий является актуальной задачей. В статье описывается подход к разработке агентных моделей межкультурных взаимодействий, основанный на использовании неметризуемых хаусдорфовых пространств с использованием генетических алгоритмов для введения динамических изменений в рассматриваемой структуре культурных агентов. В статье рассматривается прототип агентной модели, в которой состояние агентов описывается в хаусдорфовых пространствах. С помощью выбора опорных точек для каждого агента строится функция Урысона, которая позволяет вводить предпочтения агентов. Далее с помощью технологии генетических алгоритмов, удается получить тактовую динамику изменения всей системы агентов. В статье приводится описание некоторых имитационных экспериментов. Обсуждаются возможные перспективы развития данного подхода.

Ключевые слова: *хаусдорфовые пространства, функция Урысона, генетически алгоритмы, агентная имитационная модель*

Введение. Проблема моделирования глобальных изменений социально — экономической динамики за последние пол века, начиная с классических работ Дж. Форрестора [1], приобретает все большую актуальность. Предлагаются различные подходы к её формализации, укажем лишь некоторые работы, посвященные этой тематике [2–7]. С течением времени изменения в мире стремительно ускоряются. Происходят изменения в окружающей среде, техносфере, стремительно изменяется культурно социальное пространство. Проблема межкультурных взаимодействий возникающих вследствие миграционных процессов населения между странами является одной из ключевых при анализе глобальных социально-экономических изменений. Именно стремительные изменения культурных ландшафтов вследствие быстрых и мощных миграционных потоков вместе с изменениями в образовательном процессе и с учетом массированных информационных воздействий порождают различные кризисные ситуации.

Обычно считается, что основной целью математического моделирования является прогнозирование. Но помимо этого математическое моделирование является основным инструментом

междисциплинарного исследования проблем. В этом случае оно позволяет по-новому взглянуть на изучаемые объекты. На их основе создаются системы понятий, в которых обсуждаются исследуемые явления. «Под системой понятий мы имеем в виду просто-напросто однозначное логическое отображение соотношений между опытными данными» [8].

Одной из главных проблем моделирования в области гуманитарных наук является отсутствие формальных описаний рассматриваемых объектов и их свойств. Так, развитие естественных наук было во многом результатом формализации Оремом некоторых физических явлений, позволяющих рассматривать их посредством работы с теоретической моделью, а не исключительно эмпирически. В настоящее время технология моделирования и анализа трансформации культурных ландшафтов в различных регионах мира все больше тяготеет к использованию инструментов по обработке больших данных, искусственного интеллекта и т.п., что затрудняет проводить систематизированные междисциплинарные исследованию по выявлению и анализу причинно-следственных связей в наблюдаемых изменениях.

На наш взгляд центральной проблемой является проблема создания динамических моделей, описывающих изменения культурных ландшафтов с учетом плохо формализуемых данных, используемых при социологических описаниях. Одним из подходов к решению данной проблемы в области социологического агентного моделирования является задание агентов в виде элементов гильбертова пространства [9]. Однако данный подход использует допущение о метризуемости пространства признаков, описывающих агентов, которое во многих задачах может являться в корне неверным. Кроме того, на метрику в гильбертовом пространстве накладываются ограничения, которые могут не соответствовать закономерностям, полученным в результате гуманитарных исследований. Возможно, более универсальным решением является другой абстрактный подход к построению фазового пространства модели. Наконец, социальные процессы обусловлены большим количеством случайных факторов, следовательно, излишне детерминированные модели оказываются несостоятельны в динамике.

Данная работа ставит своей задачей создания прототипа модели учитывающую вышеперечисленные факторы. В работе рассматривается агентная модель межкультурных взаимодействий, которая позволяет подойти к формальному описанию динамики межкультурных взаимодействий с использованием плохо формализуемых данных, как в свое время системная динамика Форрестора [1] позволила формализовано подойти к описанию демографо-ресурсно-экономических глобальных процессов.

Конкретизация вида модели зависит от области приложения и может строиться на основании различных социологических теорий или эмпирических закономерностей.

Концептуальное построение модели. В модели считается, что культуры задается осознанными свойствами пространства объектов, окружающие агентов. Под культурными объектами понимаются мемы, актуальные для относящегося к данной культуре социума (например, произведения искусства, идеи, память о событиях, отношение к процессам происходящим или прогнозируемым в стране). Совокупность оценок объектов культуры одного агента будем называть мировоззрением. В качестве культуры в узком смысле (отдельно взятой страны/социума) будем понимать множество мировоззрений агентов, для которых пространства оценок актуальных культурных объектов совпадают. В дальнейшем это понятие будет упоминаться именно в таком смысле. Агент, родившийся в социуме-носителе какой-либо культуры, подвергается ее воздействию через усвоение элементов наиболее свойственных данной культуре мировоззрений. Кроме того, он может подвергаться влиянию других культур через взаимодействия с их агентами или образование и, таким образом, формировать собственные оценки.

Важной особенностью модели является отказ от рассмотрения взаимодействия между непосредственно агентами. Аналогично рассмотрению электрического взаимодействия в классической физике, где вместо взаимодействия всех заряженных частиц рассматривается действие электрического поля, будем говорить о некотором аналоге поля, действующего на каждого агента, аналогом координат как аргументов функции, определяющей вектор в каждой точке, будут уже существующее мировоззрение агента. Действие такого оператора на каждого агента моделируется с помощью генетического алгоритма [10] (подробно будет рассмотрено далее).

Для формализации описанных выше тезисов введем множество объектов культуры M, вообще говоря, континуальное, так как оно представляет собой множество возможных интерпретаций событий и элементов культуры агентами. Будем считать, что мировоззрения агентов отделимы. Введем на M такую топологию T, чтобы пространство (M,T) являлось хаусдорфовым. Таким образом, каждое множество базы топологии T интерпретируется как множество наиболее «близких» культурных объектов (под словом близкие не подразумевается какой-либо метрики, здесь это исключительно интуитивное понятие). Следовательно, любое открытое в M множество интерпретируется как объединение одного или нескольких близких культурных объектов.

Отдельная культура, задающаяся набором культурных объектов, актуализируемых ее агентами, подразумевает структурирование этих

объектов топологией пространства, т.е. выделение множеств объектов по каким-либо признакам и дальнейшее восприятие каждого множества как единого целого. Интерпретируем каждое подмножество такой структуры как открытое множество в M. Тогда любое покрытие содержит в себе некоторую структуру, т.е. конечное подпокрытие. Исходя из такой формализации, культуру можно интерпретировать как некоторое компактное множество.

Таким образом, выделим n компактных непересекающихся подпространств M с индуцированной из M топологией $(K_i,\ i=1,...,n)$, соответствующие n культурам. Такие подпространства будут существовать, так как, по крайней мере, любое конечное пространство компактно.

Компактное хаусдорфово пространство является нормальным [11]. Тогда на каждом из подпространств можно построить функцию Урысона.

Большая лемма Урысона [12]. Пусть $A,\ B$ — два непересекающихся замкнутых множества в нормальном топологическом пространстве M. Существует такая непрерывная функция

$$f : M \to R$$

$$f\big|_A = 0,\ \ f\big|_B = 0,\ \ 0 \le f(m) \le 1\ \ \forall m \in M.$$

Построим некоторую функцию f на K_i Она задает оценку, то есть мировоззрение агента в рамках культуры, к которой он принадлежит, сопоставляя каждому объекту число (оценку) на отрезке $[0,1]$. Множества $A,\ B$ интерпретируются как недопустимое и идеальное соответственно для данного агента. Для остальных объектов соответствующее им число является оценкой уровня одобрения агентом данного объекта. В силу непрерывности отображения, каждая окрестность в M будет отображаться в интервал на $[0,1]$, вложенная окрестность отобразится в меньший интервал.

Интерпретация функций Урысона. Функция Урысона на пространстве культурных объектов определяет некоторое мировоззрение. Основное предположение модели заключается в том, что агент в процессе своего развития пытается подстроить существующее мировоззрение под определенные тренды оценок совокупности агентов (считается, что ему известны эти тренды в некоторых опорных точках). Эта подстройка в процессе развития на каждом такте модели отражается в стремлении уменьшении ошибки текущей оценки агента на опорных точках с оценками этих опорных точек, задаваемые существующим трендом. В модели это реализует генетический алгоритм, который подробно будет рассмотрен ниже.

В качестве опорных точек выступают как наиболее важные из принятых агентом ранее оценок, так и тренды, которые в данный момент существуют в данной культуре или привносятся в нее извне. Ошибка на каждом объекте вычисляется как модуль разности между трендовой оценкой объекта и числом, в которое его отображает данная функция Урысона. В процессе работы генетического алгоритма генерируется функция с локально наименьшим значением ошибки. Таким образом, агент меняет свое мировоззрение в пользу того, которое лучше подходит под все опорные точки, при этом сохраняя непрерывность, которая интерпретируется как целостность восприятия агентом культуры.

В процессе генерации оптимальной функции, генетический алгоритм работает с некоторыми отдельными точками и их окрестностями как с единым целом. Изменение окрестностей в процессе работы генетического алгоритма происходит только в виде мутаций при скрещивании, т.е. агент изначально мыслит некоторыми «кластерами», оценивая близкие для него понятия одинаково. Однако это может также интерпретироваться не как полное соответствие оценок, а, скорее, как их незначительное отличие, т.к. при использовании функции Урысона с более мелким разбиением, отличие между этими окрестностями в силу непрерывности будет строго меньше различия между окрестностями при первоначальной мелкости разбиения.

При введении условия на связность множеств, задающих функции Урысона за счет непрерывности функций Урысона, оценки «соседних» окрестностей, которые образуют связные множества, будут изменяться плавно. Кроме того, функция Урысона определяет наборы окрестностей, которые отображаются в одну точку, при этом во время аппроксимации генетическим алгоритмом эти наборы могут меняться, то есть в мировоззрении агента могут образовываться или распадаться новые «кластеры».

На новых тактах добавляются новые опорные точки, но остается часть прежних, и, если новые не «противоречат» им, аппроксимация трендовых значений на старых точках продолжается. Таким образом, если тренды стабильны, то мировоззрение агентов со временем доходит до наилучшего возможного в смысле аппроксимации этих трендов. Если же они постоянно изменяются, на каждом мировоззрения могут аппроксимировать их с низкой точностью, динамика изменения мировоззрений будет плавной. Т.к. мировоззрение каждого агента вносит вклад в образование трендов на следующих тактах, такие неточности могут менять динамику изменения трендов аналитически непредсказуемым образом. При этом, т.к. вклад одного отдельного агента в образование тренда крайне мал, флуктуации, вызванные случайными погрешностями генетического алгоритма, с

большой вероятностью будут нивелировать друг друга. Для проверки отсутствия существенного влияния таких случайных погрешностей, модель может прогоняться несколько раз с одинаковыми начальными данными и удаленном из модели (или берущимся со значительно урезанной дисперсией) белым шумом при вычислении опорных точек. Значимый вклад будут вносить лишь погрешности, обусловленной невозможностью быстрого перехода к новым трендам, плохо сочетающимся с прежними. Таким образом, модель может прогнозировать непредсказуемые аналитически побочные последствия введения новых трендов или направления изменения существующих.

Построение оценок. Рассмотрим конечное множество агентов P. Примем допущение, что для каждого агента существует доминирующая культура, т.е. в рамках модели существует отображение $P \to K_i$. Каждому агенту необходимо сопоставить некоторую функцию $f:\ K_i \to [0,1]$ задающую его мировоззрение.

Утверждение. Для любого не более чем счетного набора мощности n объектов k_{ij} нормального пространства K_i множество значений $f_x(k_{ij})$, где f_x — все возможные функции Урысона на K_i, всюду плотно на $[0;1]^n$ [13] .

Определим отображение

$$g: P \to \left(M^l \times [0,1]^l\right): \forall p \in P, m = g(p)\ \exists j: m_i \in K_j,\ i = 1..l, \qquad (1)$$

где P — множество агентов, M — множество культурных объектов, K_j — множество объектов культуры j.

Вектор опорных точек m интерпретируется как уже существующий набор отношений данного агента, внушенный ему и усвоенный ранее, к различным объектам культурного пространства. На каждом такте он изменяется и в общем случае является функцией от значений функции Урысона, соответствующих другим агентам той же культуры, а также культур с которыми взаимодействует культура рассматриваемого агента (т.е. вектор формируется на основе мировоззрений агентов, влияющих на данного).

При рассмотрении агентов других культур рассматривается их оценка объектов, являющихся прообразами агентов данной культуры при некотором непрерывном отображении [11]. Заметим, что вектор формируется в 2 этапа: сначала выбираются культурные объекты (например, как arg max числа одинаковых оценок по множеству агентов), а затем оценки для этих агентов (например, как среднее взвешенное оценок этого объекта агентами данной культуры и соответствующих — агентами других культур). Мировоззрение

агента строим как интерполяцию этих пар (объект, оценка) для каждого $m \in K_i$. Для этого зададим функцию ошибок:

$$L(p, f) = \sum_k \left| g(p)_{l+k} - f\left(g\left(p\right)\right)_k \right| \forall p : g\left(p\right)_k \in K_i \quad \forall k, \qquad (2)$$

где l — количество опорных точек, g — определенное выше отображение. Зададим начальный набор оценок для каждого агента. Тогда задание мировоззрения агента на каждом такте интерпретируется как подбор оптимальной (наиболее подходящей под набор уже имеющихся оценок) f, для которой $L\left(g, f\right)$ минимальна. Он осуществляется с помощью генетического алгоритма. Построение генетического алгоритма будет отдельно рассмотрено далее.

В данной работе время будем считать дискретной величиной. На каждом такте набор опорных точек для каждого агента может изменяться. В один такт времени умещается фиксированное число шагов обучения генетического алгоритма.

Динамика системы и взаимодействие агентов. Набор опорных точек и их оценок для каждого агента в общем случае является функцией от оценок множества агентов той же культуры, множеств агентов каждой из других культур с параметром интенсивности взаимодействия. Таким образом, опорные точки и оценки агента строятся на основе характеристик (например, среднего или arg max) распределения оценок по всем агентам его культуры, а также некоторого влияния агентов других культур, с которыми контактирует культура рассматриваемого агента Взаимодействие между агентами P_1, P_2 культур K_1, K_2 задается следующим образом: оценка объекта k агентом P_1 влияет на оценку агентов P_2 объекта h, где $h : K_1 \to K_2$. Опорные точки и их оценки рассчитываются каждый такт за счет чего изменяется мировоззрение агентов.

Множества K_i изначально не пересекаются. Объекты, которые относятся к нескольким культурам рассматриваются для каждой из них отдельно, так как актуализируются разными группами агентов. На каждом такте каждое множество K_i может изменяться непрерывным образом и на это в общем случае может оказывать влияние степень интенсивности взаимодействия с другими культурами, а также распределение уже имеющихся в множестве объектов агентами данной культуры.

Генетический алгоритм. Перейдем к описанию генетического алгоритма. Имеется нормальное подпространство K с индуцированной топологией T_K, имеющей набор опорных точек $O = \left(k_i, r_i\right) \in \left(K \times \left[0;1\right]\right)$.

Рассмотрим сначала случай постоянных K и набора опорных точек. Выберем для каждого агента p N случайных наборов

$$f_i = \{A, B, U_{\lambda i} \mid A, B, U_{\lambda i} \subset K, K \setminus A \in T_k, A \cap B = \varnothing,$$
$$U_{\lambda i} \in T_k, i = 1..N(j)\},$$

задающих некоторые функции Урысона на множестве K. Вычислим для каждого набора функцию ошибок $L(p, f)$ по формуле (2). Тогда агенту p ставится в соответствие набор f с наименьшей $L(p, f)$. Если наименьшее значение реализуется для нескольких агентов, выбирается случайный из них.

Обучение происходит следующим образом. Выберем $\operatorname{int}(n/c)$ функций f_j с наименьшими значениями функции ошибок $(c = const)$. Сгенерируем новые N функций f следующим образом.

Построим f_s, задающуюся набором множеств U_{sl}. Возьмем множества f_q, f_r, задающихся наборами множеств U_{qi}, U_{rj}. Изначально возьмем $f_s = f_q$. Множества U_{qn} с индексом n больше максимального для набора f_q считаем пустыми. Для точки $k \in K$: $k \in U_{qx}, U_{ry}$ с ее некоторой окрестностью (совпадающей с точкой в дискретном случае) найдем ошибку на ней функций f_q, f_r. Если ошибка функции f_s в данной точке удовлетворяет условию:

$$\left| g(p)_{l+k} - f_s\left(g(p)_k\right) \right| > \left| g(p)_{l+k} - f_r\left(g(p)_k\right) \right|,$$

то добавляем точку k с окрестностью ко множествам U_{sy}, U_{sy+1}, $U_{sy+2}, \ldots$, причем, если $x < y \| y = \max$, то берется замыкание окрестности, а также она удаляется из множеств U_{sx+1}, $U_{sx+2}, \ldots, U_{sy-1}$:

$$\begin{gathered}
x < y,\ \ y \neq n_r: \\
U_{sy+i} = U_{sy+i} \cup \overline{U_{ry}} \quad i = 0 \ldots n_q \\
U_{sx+i} = U_{sx+i} \setminus \overline{U_{ry}} \quad i = 0..y - x; \\
x > y: \\
U_{sy+i} = U_{sy+i} \cup U_{ry} \quad i = 0 \ldots x - y; \\
y = n: \\
U_{n_q} = U_{n_q} \cup \overline{U_{n_r}} \quad U_x = U_x \setminus \overline{U_{n_r}}.
\end{gathered} \tag{3}$$

Если ошибка функции f_s меньше, переходим к следующей точке. Когда множество окрестностей рассмотренных точек k становится покрытием K, построение f_s закончено. Т.к. множество K компактное, алгоритм заканчивается за конечное число шагов, а получившееся отображение является функцией Урысона. О сходимости алгоритма [13].

Численная реализация модели. Эксперименты и интерпретация результатов. Описанная выше модель была реализована программно и были проведены пробные имитационные эксперименты. Центральной проблемой при программной реализации заключалась в реализации хаусдорфова пространства (M,T) и механизма непрерывных отображений.

Простейшей реализацией модели является конечное множество M с дискретной топологией. Алгоритм его задания заключается в задании всех точек множества M, их интерпретация и выделение подпространств K_i, соответствующих культурам. Эти характеристики определяются исходя из социологических исследований в рассматриваемой области.

В данной работе реализована дискретная модель с конечным количеством точек, разбитых на несколько подпространств. Одни и те же объекты могут одновременно принадлежать нескольким подпространствам, но задаются как различные точки, вычисления значений для них, в таком случае, происходит независимо для каждого подпространства.

Множества, задающие начальные функции Урысона выбираются как случайные подмножества точек для данной культуры, т.к. в конечном дискретном пространстве, любое множество является одновременно и открытым, и замкнутым.

Рассмотрим пример работы модели для 3 культур с одинаковым набором культурных объектов и случайными начальными данными. Был проведен имитационный эксперимент, в котором начальные значения были сгенерированы случайно и независимо для 3 культур. Считалось, что для каждой культуры имелось 16 объектов культуры. Были рассмотрены тренды на каждом шаге для некоторых объектов. Под трендом понимается наиболее частая оценок данного объекта агентами культуры. Результаты представлены на рис. 1 и 2 и в таблицах 1 и 2.

Как видно из рис. 1 и таблицы 1 для пятого объекта значения оценок для каждой из культур существенно отличаются. При этом только в культуре 2 наблюдаются резкие изменения между тактами, то есть в этой культуре не сформировалось стабильное отношение к данному объекту.

В культуре 1 на всех тактах значения оценок различными агентами близки, что говорит об отсутствии социальных конфликтов, вызванных объектом 5. В культурах 2 и 3 наблюдаются 2 тренда, то есть общество разделяется во взглядах на данном объекте, что потенциально расщепляет социум. При этом в культуре 3 тренды расходятся со временем, что можно интерпретировать как обострение социальных противоречий.

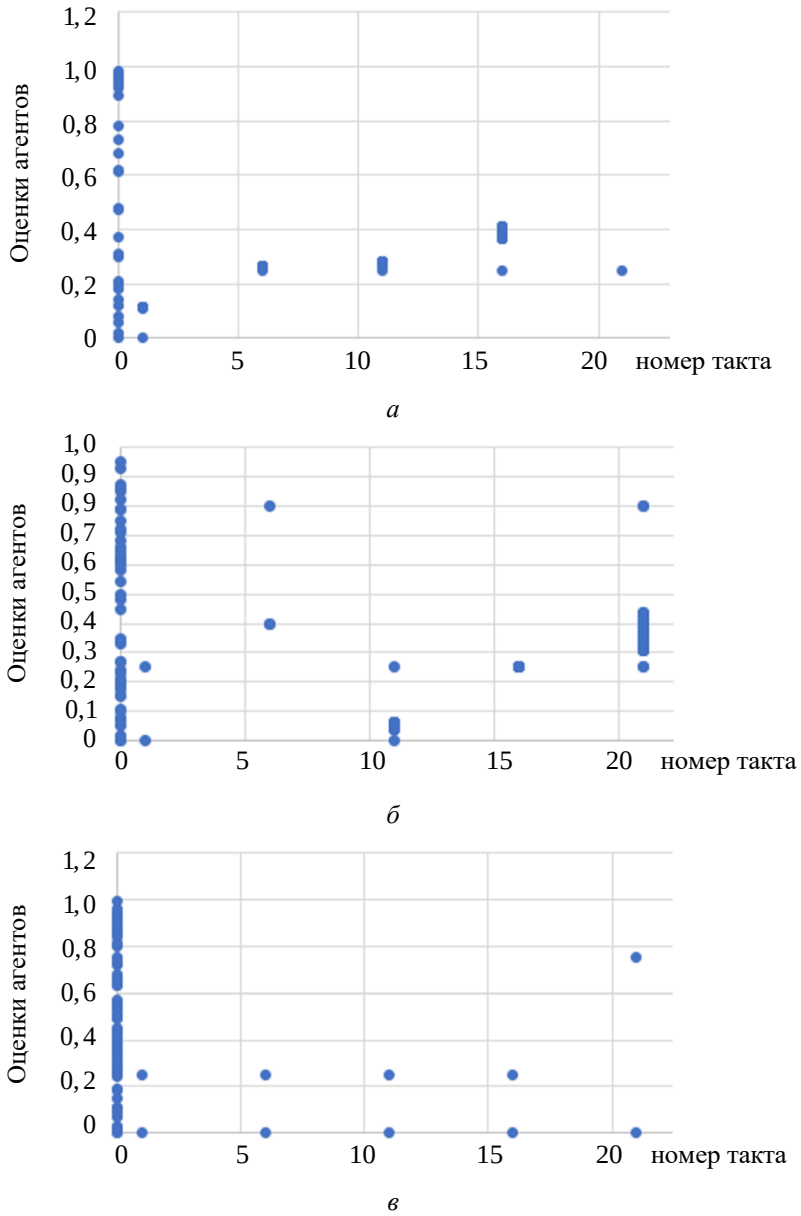


Рис. 1. Динамика изменения оценок пятого объекта:
а — с первой культурой; *б* — со второй культурой;
в — с третьей культурой

Таблица 1

Пошаговые значения оценок пятого объекта разными культурами

	Шаг 1	Шаг 6	Шаг 11	Шаг 16	Шаг 21
Культура 1	0; 0,15	0,22 – 0,25	0,21 – 0,28	0,21; 0,37 – 0,42	0,21
Культура 2	0; 0,27	0,4; 0,8	0 – 0,08; 0,25	0,24	0,24; 0,3 – 0,46; 0,8
Культура 3	0; 0,23	0; 0,23	0; 0,23	0; 0,23	0; 0,78

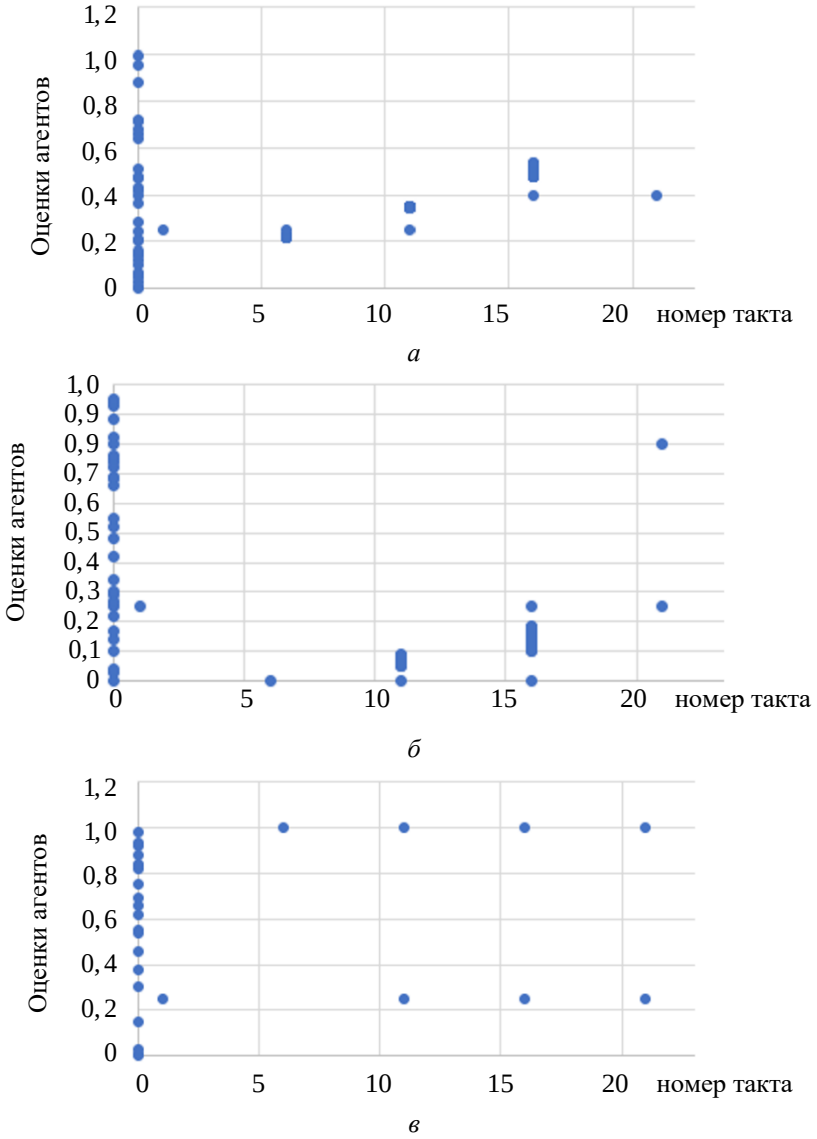


Рис. 2. Динамика изменения оценок девятого объекта:
а — с первой культурой; *б* — со второй культурой;
в — с третьей культурой

Таблица 2

Пошаговые значения оценок дневтого объекта разными культурами

	Шаг 1	Шаг 6	Шаг 11	Шаг 16	Шаг 21
Культура 1	0,22	0,2 – 0,22	0,23; 0,35 – 0,38	0,4; 0,47 – 0,58	0,4
Культура 2	0,27	0	0; 0,05 – 0,1;	0; 0,1 – 0,19; 0,27	0,27; 0,8
Культура 3	0,23	1	1; 0,23	1; 0,23	1; 0,23

Заключение. Предложенный модельный подход к созданию динамических моделей межкультурных взаимодействий, как нам видится, является достаточно универсальным с точки зрения использования различных эмпирических гуманитарных концепций и данных. Во-первых, потому что использование хаусдорфовых пространств позволяет напрямую использовать самые разнообразные эмпирические данные и концепции. Во-вторых, использование при моделировании в качества инструмента генетических алгоритмов, который позволяет ввести тактовую динамику в пространство модели, также дает возможность учета особенностей взаимодействий между агентами. А именно, изменяя параметры генетического алгоритма, а также процедуру выбора опорных точек, необходимую для построения функции Урысона позволяет учесть специфику конкретной прикладной гуманитарной проблемы, связанной с межкультурными взаимодействиями. В результате работы модели мы можем оценивать восприятие одних и тех же (в данном случае) объектов с позиций разных культур. Различия, которые могут быть выявлены в процессе такого моделирования, вызванные разными приоритетами или установками, заставляющими выделять разные компоненты одних и тех же событий, позволят по-новому взглянуть на возникающие межкультурные противоречия.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-010-00423).

ЛИТЕРАТУРА

[1] Форрестер Дж. *Мировая динамика*. Москва, Физматгиз, 1978, 168 с.
[2] Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г *Синергетика и прогнозы будущего*. Москва, Наука, 1997, 285 с.
[3] Вайдлих В. *Социодинамика: системный подход к математическому моделированию в социальных науках*. Москва, Едиториал УРСС, 2005, 480 с.
[4] Димитриенко Ю.И., Димитриенко О.Ю. Кластерно-континуальное моделирование экономических процессов. *Доклады Академии наук*, 2010, т. 435, № 4, с. 466–469.
[5] Димитриенко Ю. И., Димитриенко О.Ю. Модель многомерной деформируемой сплошной среды для прогнозирования динамики больших массивов индивидуальных данных. *Математическое моделирование и численные методы*, 2016, №1, с. 105–122.

[6] Белотелов Н.В., Бродский Ю.И., Павловский Ю.Н. *Сложность. Математическое моделирование. Гуманитарный анализ: исследование исторических, военных, социально-экономических и политических процессов*. Москва, Либроком, 2019, 320 с.
[7] Павловский Ю.Н., Белотелов Н.В., Бродский Ю.И. *Компьютерное моделирование: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Прикладные математика и физика"*. Москва, Физматкнига, 2014, 303 с.
[8] Бор Н. *Единство знаний*. *Т. 2.* Москва, Наука, 1964, 451 с.
[9] Белотелов Н.В., Логинов Ф.В. Модель миграции между странами с учетом образовательного процесса. *Моделирование, декомпозиция и оптимизация сложных динамических процессов*, 2018, т. 33, № 1, с. 183–190.
[10] Панченко Т.В. *Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие*. Астрахань, Издательский дом «Астраханский университет», 2007, 87 с.
[11] Энгелькинг Р. *Общая топология*. Москва, Мир, 1986, 744 с.
[12] Hazewinkel M. *Encyclopaedia of mathematics*. Springer Netherlands, 1994, 540 p.
[13] Павлов С.А. *Агентная модель культурных взаимодействий на неметризуемых хаусдорфовых пространствах*. Выпускная квалификационная работа бакалавра, Москва, 2021, 61 с.
[14] Hughes H.P.N., Clegg C.W., Robinson M.A., Crowder R.M. Agent-based modelling and simulation: The potential contribution to organizational psychology. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 2012, vol. 85, iss. 3, pp. 487–502.

Статья поступила в редакцию 27.06.2021

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:
Белотелов Н.В, Павлов С.А. Агентная модель культурных взаимодействий на неметризуемых хаусдорфовых пространствах. *Математическое моделирование и численные методы*, 2021, № 3, с. 105–119.

Белотелов Николай Вадимович — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Вычислительного центра им. А.А. Дородницына РАН Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН. e-mail: belotel@mail.ru

Павлов Сергей Алексеевич — студент кафедры «Вычислительная математика и математическая физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана. e-mail: spavlof@yandex.ru

Agent-based model of cultural interactions on non-metrizable Hausdorff spaces

© N.V. Belotelov[1], S.A. Pavlov[2]

[1]Institution of Russian Academy of Sciences Dorodnicyn Computing Centre of RAS, Moscow, 119333, Russia
[2]Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The need to develop formalized computer-oriented approaches to conducting interdisciplinary research of intercultural interactions is an urgent task. The article describes an approach to the development of agent models of intercultural interactions based on the use

of non-metrizable Hausdorff spaces using genetic algorithms to introduce dynamic changes in the structure of cultural agents under consideration. The article considers a prototype of an agent model in which the state of agents is described in Hausdorff spaces. Using the choice of reference points for each agent, the Uryson function is built, which allows you to enter the preferences of agents. Further, using the technology of gentic algorithms, it is possible to obtain the clock dynamics of changes in the entire system of agents. The article describes some simulation experiments. Possible prospects for the development of this approach are discussed.

Keywords: *Hausdorff spaces, Urysohn function, genetic algorithms, agent simulation model*

REFERENCES

[1] Forrester J. *World dynamics*. Cambridge, Mass., 1971, 142 p.
[2] Kapitsa S.P., Kurdyumov S.P., Malinetsky G.G. *Sinergetika i prognozy budushchego* [Synergetics and forecasts of the future]. Moscow, Nauka Publ., 1997, 285 p.
[3] Weidlich W. *Sociodynamics: a systematic approach to mathematical modelling in the social sciences*. Courier Corporation, 2006, 380 p.
[4] Dimitrienko Y.I., Dimitrienko O.Y. Cluster-continuum modeling of economic processes. *Doklady Mathematics*, 2010, vol. 82, iss. 3, pp. 982–985.
[5] Dimitrienko Y.I., Dimitrienko O.Y. A model of multidimensional deformable continuum for forecasting the dynamics of large scale array of individual data. *Mathematical Modeling and Computational Methods*, 2016, no. 1, pp. 105–122.
[6] Belotelov N.V., Brodsky Yu.I., Pavlovsky Yu.N. Slozhnost'. *Matematicheskoe modelirovanie. Gumanitarnyj analiz: issledovanie istoricheskih, voennyh, social'no-ekonomicheskih i politicheskih processov* [Complexity. Mathematical modeling. Humanitarian analysis: the study of historical, military, socio-economic and political processes]. Moscow, Librocom Publ., 2019, 320 p.
[7] Pavlovsky Yu.N., Belotelov N.V., Brodsky Yu.I. *Komp'yuternoe modeli-rovanie: uchebnoe posobie dlya studentov vysshih uchebnyh zavedenij, obu-chayush-chihsya po napravleniyu podgotovki "Prikladnye matematika i fi-zika"* [Computer modeling: a textbook for students of higher educational institutions studying in the field of training "Applied Mathematics and Physics"]. Moscow, Fizmatkniga Publ., 2014, 303 p.
[8] Bor N. *Edinstvo znanij. T. 2* [Unity of Knowledge. Vol. 2]. Moscow, Nauka Publ., 1964, 451 p.
[9] Belotelov N.V., Loginov F.V. Model' migracii mezhdu stranami s uchetom obrazovatel'nogo processa [Model of migration between countries taking into account the educational process]. *Modelirovanie, dekompoziciya i optimizaciya slozhnyh dinamicheskih processov* [Modeling, Decomposition and optimization of complex dynamic processes], 2018, vol. 33, no. 1, pp. 183–190.
[10] Panchenko T.V. *Geneticheskie algoritmy: uchebno-metodicheskoe posobie* [Genetic algorithms: an educational and methodical manual]. Astrakhan, Publishing House «Astrakhan University», 2007, 87 p.
[11] Engelking R. *General topology*. PWN, 1977, 626 p.
[12] Hazewinkel M. *Encyclopaedia of mathematics*. Springer Netherlands, 1994, 540 p.
[13] Pavlov S.A. *Agentnaya model' kul'turnyh vzaimodejstvij na nemetrizu-emyh hausdorfovyh prostranstvah* [Agent model of cultural interactions on non-metriz-able Hausdorff spaces]. Bachelor's final qualifying work, Moscow, 2021, 61 p.

[14] Hughes H.P.N., Clegg C.W., Robinson M.A., Crowder R.M. Agent-based modelling and simulation: The potential contribution to organizational psychology. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 2012, vol. 85, iss. 3, pp. 487–502.

Belotelov N.V., Cand. Sc. (Phys.-Math.), Senior Researcher, Institution of Russian Academy of Sciences Dorodnicyn Computing Centre of RAS. e-mail: belotel@mail.ru

Pavlov S.A., Student of Department of Computational Mathematics and Mathematical Physics, Bauman Moscow State Technical University. e-mail: spavlof@yandex.ru