

АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЛЕКТИВНОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В МАЛОЙ ГРУППЕ: РОЛЬ ФОРМАЛЬНОГО ЛИДЕРА

© 2023 А. А. Агафонов✉, А. В. Пономарев

*Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук
14-я линия В.О., 39, 199178 Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Аннотация. Агентное моделирование является перспективным инструментом исследования коллективного поведения и обладает высоким потенциалом для повышения эффективности групповой работы. С помощью агентных моделей может решаться целый ряд задач поддержки групповой работы, включая подбор состава команды, формирование рекомендаций протоколов работы и многие другие. В статье предлагается агентная модель для исследования влияния характеристик формального лидера на работу группы при коллективном принятии решений. Сама задача моделируется как максимизация некоей «сложной» функции, осуществляемая совместно группой агентов. Каждый агент может исследовать проблемное пространство самостоятельно и сообщать другим агентам о результатах такого поиска. Консолидированное групповое решение формируется и уточняется на основе индивидуальных результатов, полученных агентами, при этом в моделируемом протоколе особую роль играет результат формального лидера группы. С помощью вычислительного эксперимента оцениваются влияние собственных поисковых способностей («интеллекта») лидера, его предрасположенности к коммуникации («разговорчивости») и степени влияния на эффективность группового решения. Результаты моделирования показали, что в рамках используемого протокола согласования в случае, когда степень влияния лидера ограничена, его низкие поисковые способности не оказывают существенного воздействия на эффективность находимого группой решения. В случае высокого влияния — появляется риск принятия неэффективных решений. Сам по себе полученный результат хорошо согласуется с практикой и является достаточно интуитивным. Однако, более важно то, что он показывает, что даже достаточно простые агентные модели позволяют исследовать особенности групповой работы и могут быть использованы для оценки протоколов такой работы, формирования правил совершения коллективных действий и, в целом, для поддержки эффективной работы групп.

Ключевые слова: агентное моделирование, коллективное принятие решений, лидерство, влияние лидера, малая группа.

ВВЕДЕНИЕ

Коллективное принятие решений в группе является сложным процессом, в котором взаимодействие между участниками и роль лидера имеют большое значение. Понимание

динамики этого взаимодействия и влияния лидера на принятие решений может быть важным фактором для разработки и анализа различных стратегий управления. Также это может способствовать выявлению возможных паттернов групповых взаимодействий, формализация которых может сыграть важную роль в формировании правил совершения совместных действий. С развитием агентного моделирования открываются новые воз-

✉ Агафонов Антон Александрович
e-mail: agafonov.a@spcras.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

возможности для более глубокого исследования данной проблемы.

Агентное моделирование является подходом, основанным на создании моделей, в которых агенты, представляющие отдельных индивидов или группы, взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой. Оно позволяет моделировать сложные социальные процессы, включая групповое принятие решений, с учетом различных факторов [1].

Преимущества агентного моделирования заключаются в его способности к описанию и изучению сложных динамических систем, включая социальные взаимодействия и поведение группы. Благодаря агентному моделированию появляется возможность анализировать и визуализировать процессы, которые не всегда доступны для прямого наблюдения или экспериментального исследования. Кроме того, агентное моделирование способствует проведению численных экспериментов, которые позволяют оценить влияние различных факторов на принятие решений в группе.

К настоящему моменту агентный подход нашел достаточно широкое применение в изучении закономерностей коллективной (групповой) работы. Так, в [3] предлагается модель для оценки влияния мотивационной схемы на эффективность команды, в [4] предлагается способ моделирования когнитивного стиля участников. В [5] агентное моделирование используется для оценки влияния размера группы на ее производительность. В [6] предлагается модель для оценки качества групповых взаимодействий. Было показано, в частности, что от качества (и уместности) координационных механизмов существенным образом зависит производительность команды. В [7] предлагается агентная модель, которая имитирует обмен информацией в группах, где критически важная информация распределена между членами группы. Также рассматривается устойчивость различных стратегий обмена информацией к информационной перегрузке с точки зрения скорости и точности коллективного принятия решений. Важным направлением исследований является моделирование решений по определению состава команды [8].

Отдельная ветвь исследований посвящена применению агентного моделирования для изучения динамики процессов формирования мнений (в том числе, в социальных сетях) [9, 10]. Исследования с использованием агентного моделирования продемонстрировали влияние лидеров мнений на формирование мнений отдельных лиц [11–14]. В [15] была предложена агентная модель, которая рассматривает феномен лидерства мнений с учетом амбивалентности (двойственности) различных сторон мнений на основе соответствующих теоретических и эмпирических знаний. Авторы [16] изучали влияние среди пользователей Twitter на основе распространения по социальной сети. Под влиянием ими подразумевается степень распространения информации через сеть — чем шире распространяется информация, тем более влиятелен ее отправитель. В [17] предлагается агентная среда социального моделирования, использующая Twitter, которая позволяет оценить, как убеждения агентов, представляющих обычных пользователей Twitter, могут быть подвержены влиянию злоумышленников, цель которых — распространение дезинформации.

Агентное моделирование также дает возможность исследовать взаимодействие между лидером и участниками группы, а также анализировать факторы, влияющие на решение, принимаемые в группе. Так, например, в [18] исследуется возникновение лидера и динамика его восприятия в изначально равноправной группе.

Однако в существующих исследованиях было уделено мало внимания моделированию и исследованию влияния лидера в аспекте принятия коллективных решений. В данной статье предлагается агентная модель, которая позволяет моделировать различные сценарии коллективного принятия решений с учетом влияния лидера. С помощью предложенной модели проводится анализ того, как влияние и индивидуальные качества лидера (интеллект и разговорчивость) сказываются на эффективности решений, принимаемых группой. В частности, мы проверяем предположение о том, что при ограничении

степени влияния лидера на групповое решение нехватка компетентности этого лидера не будет иметь решающего значения для получения эффективного решения — в процессе совместного обсуждения группа будет постепенно корректировать мнение лидера, чтобы найти наилучшее решение задачи. В то же время излишнее влияние лидера может нарушить этот процесс — нехватка компетентности лидера в этом случае может привести к значительному снижению эффективности групповых решений.

Результаты данного исследования могут способствовать лучшему пониманию динамики группового принятия решений и помочь в разработке стратегий управления и лидерства в организационной среде.

1. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Используемая в нашем исследовании агентная модель во многом базируется на идеях статьи [18] и представляет собой адаптацию предложенной в [18] модели, предназначенную для оценки степени влияния лидера на качество принятия коллективных решений.

1.1. Постановка задачи

Проблема, стоящая перед группой агентов, моделируется как задача оптимизации нелинейной функции полезности, определенной на непрерывном пространстве $S = [0,1]^m$, где m — размерность проблемного пространства. Потенциальное решение проблемы (план) представляет собой вектор, длина которого равна размерности проблемного пространства. Каждый из элементов вектора соответствует одному из аспектов проблемы. Истинная функция полезности определяется следующим образом:

$$U(v) = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l E_{ik}^L \sin(\omega_{ik} x_i) + \sum_{\substack{1 \leq i, j \leq m \\ i \neq j}} \sum_{k=1}^l E_{ij}^L \sin(\omega_{ik} x_i) \sin(\omega_{jk} x_j), \quad (1)$$

где $v = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ — план в проблемном пространстве, l — количество частот в каждом измерении, $\omega_{ij} \in [0;10]$ — частоты, которые генерируются случайным образом. E_{ik}^L и E_{ij}^L представляют собой коэффициенты, которые случайно выбираются из диапазона $[0;1]$. Пример истинной функции полезности приведен на рис. 1. В связи с тем, что данная функция обладает большой нелинейностью (имеет множество локальных экстремумов), поиск оптимума представляет собой достаточно сложную задачу для агентов, решение которой не всегда может быть получено за разумное время. Такое абстрактное представление проблемы имеет смысл, так как в реальных условиях не существует идеального решения коллективной проблемы.

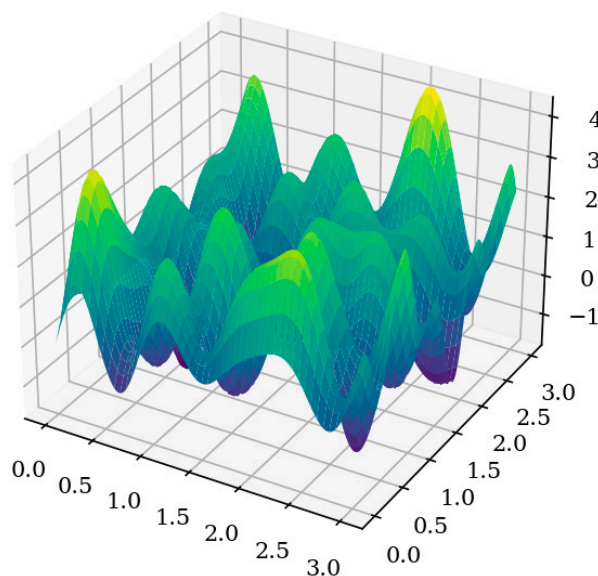


Рис. 1. Пример истинной функции полезности [Fig. 1. Example of a true utility function]

Истинная функция полезности недоступна ни для одного из агентов. Вместо этого каждый из агентов действует на основе своей индивидуальной функции полезности, являющейся некоторым приближением истинной функции. Мнение агента представляет собой план с полезностью, рассчитанной по индивидуальной функции полезности агента. Под расстоянием между двумя планами или между планом и мнением понимается расстояние между двумя точками в проблемном пространстве.

1.2. Модели агентов

В соответствии с предлагаемой моделью выделяется два вида агентов — формальный лидер группы и обычный участник. Каждый агент (и лидер, и участники) характеризуется двумя параметрами, определенными в диапазоне $[0; 1]$:

- Собственной поисковой способностью, характеризующей то, насколько точно данный агент представляет функцию полезности и насколько эффективно он может исследовать пространство задачи. Данная характеристика во многом соответствует интеллекту, поэтому в дальнейшем для краткости будем ее называть именно так.

- Склонностью делиться найденным решением с другими членами группы или, для краткости, «разговорчивостью».

Кроме этого, каждый агент обладает памятью, которая включает индивидуальную функцию полезности, набор запомненных мнений (планов) и его текущий лучший план. Агент обновляет свой лучший план и индивидуальную функцию полезности по мере того, как в его память добавляется больше мнений.

Интеллект i -го агента I_i определяет качество и количество мнений каждого агента. Разговорчивость i -го агента T_i представляет собой готовность высказать новое предложение в процессе группового обсуждения. Агенты с более высоким значением этой характеристики, как правило, чаще делятся найденными решениями с другими участниками.

Собственные мнения — это мнения, которые каждый агент первоначально выбирает из истинной функции полезности. Количество собственных мнений i -го агента определяется следующим выражением:

$$\text{Число мнений} = \varphi I_i + 1, \quad (2)$$

где I_i — интеллект i -го агента, а φ — параметр. Добавление 1 гарантирует, что у каждого агента будет как минимум одно мнение. Индивидуальное значение полезности этих исходных планов формируется на основе их истинной полезности, искаженной случайным шумом $\delta \in [I_i - 1; 1 - I_i]$. Память агента содержит три вида мнений: собственные мне-

ния (полученные в ходе описанной выше процедуры инициализации), мнения, найденные самостоятельно с помощью процедуры локального поиска, и мнения, полученные от других агентов. Индивидуальный лучший план i -го агента $v_{i,best}$ — это план с наибольшей полезностью, определяемой на основе индивидуальной функции полезности агента.

Как уже указывалось, агент характеризуется индивидуальной функцией полезности, которая сопоставляет план со значением полезности. Оценка плана осуществляется с помощью метода k -ближайших соседей (k -NN) по мнениям, сохраненным в памяти агента. Каждый агент может оценить все предложенные планы.

Кроме всех перечисленных атрибутов, агент, являющийся лидером, характеризуется степенью влияния λ . Степень влияния определяет вес голоса лидера при принятии группового решения. Вес голоса каждого из агентов составляет 1 (за исключением лидера). В случае, когда степень влияния равна числу агентов в группе, решение группы целиком и полностью определяется лидером, что может негативно сказаться на поиске решения проблемы.

1.3. Взаимодействие агентов

Взаимодействие агентов осуществляется в процессе группового обсуждения, в ходе которого агенты либо сообщают мнения другим агентам, либо самостоятельно осуществляют поиск решения. Соотношение между самостоятельным поиском и обсуждением варьируется в зависимости от размера группы. Мы использовали линейную модель доли времени обсуждения в зависимости от размера группы n , предложенную в [18]:

$$T_D = an + b, \quad (3)$$

где $a = -0.045$, $b = 0.56$. Процесс моделирования организован итерациями, и T_D определяет вероятность того, что очередная итерация будет итерацией обсуждения.

В состоянии молчания каждый агент независимо выполняет поиск лучшего плана вокруг его текущего лучшего плана для дости-

жения более высокой полезности. Агент случайным образом выбирает и запоминает новый план из окрестности своего наилучшего плана: $\{v \mid \|v - v_{i,best}\| < r\}$, где r — локальный радиус поиска. Если новый план оказывается лучше, то агент обновляет свой лучший план.

Групповое обсуждение представлено четырьмя шагами, которые повторяются на протяжении всего времени взаимодействия агентов (см. рис. 2).

Приведем подробное описание каждого из шагов:

- Выбор спикера. Агент, который будет высказывать предложение группового плана, выбирается исходя из его разговорчивости. Вероятность того, что i -й агент выступит с предложением определяется следующим выражением:

$$p_i = T_i^\xi / \sum_{j=1}^n T_j^\xi, \quad (4)$$

где $\xi \geq 1$ — регулируемый показатель степени. При $\xi = 1$ вероятности выбора говорящего пропорциональны разговорчивости агентов. Увеличение ξ усиливает влияние разговорчивости на выбор спикера.

- Предложение нового группового плана. Выбранный спикер создает m новых планов, заменяя каждый из m аспектов (размерностей) текущего группового плана соответствующим значением в своем индивидуальном лучшем плане. Затем спикер выбирает план с наибольшей полезностью и предлагает его другим агентам.

- Индивидуальный ответ на предложенный план. Каждый слушатель индивидуально решает принимать или отвергать план, предложенный спикером. Решение слушателя определяется следующим соотношением:

$$|U_j(v_{new}) - U_i(v_{new})| < d_j^{\min} + \tau e^{-\alpha(t/h)}, \quad (5)$$

где $U_j(v_{new})$ — полезность нового плана по версии слушателя, $U_i(v_{new})$ — полезность но-

вого плана по версии спикера, d_j^{\min} — минимальное расстояние между планами слушателя и предложенным планом, τ — начальное допустимое отклонение полезности, α — коэффициент для вычисления временного спада, t — номер текущей итерации, h — общее число итераций. Если соотношение (5) выполняется, то слушатель примет и добавит новый план в свою память.

- Групповое принятие решения. После того, как все слушатели приняли решение о принятии или отклонении предложенного плана, новый план группы определяется с учетом веса мнения лидера с помощью следующего выражения:

$$\frac{\sigma}{n-1+\lambda} > 0.5, \quad (6)$$

где σ — суммарный вес голосов агентов, n — число агентов, λ — степень влияния лидера.

Суммарный вес σ складывается из числа голосов агентов, поддержавших спикера, и голоса лидера, вес которого определяется его степенью влияния λ . Предполагается, что спикер поддерживает предложенный им план. Если соотношение (6) выполняется, то план группы изменяется на предложенный спикером. Иначе говоря, если предложенный план поддержит более половины агентов и/или влиятельный лидер, то план группы будет изменен, в противном случае план группы останется без изменений.

2. МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Основной задачей вычислительного эксперимента является поиск зависимостей между характеристиками лидера (степень влияния λ , интеллект I_L и разговорчивость T_L) и полезностью группового плана. Рассматривается группа, состоящая из шести агентов, один из которых является лидером. Зна-

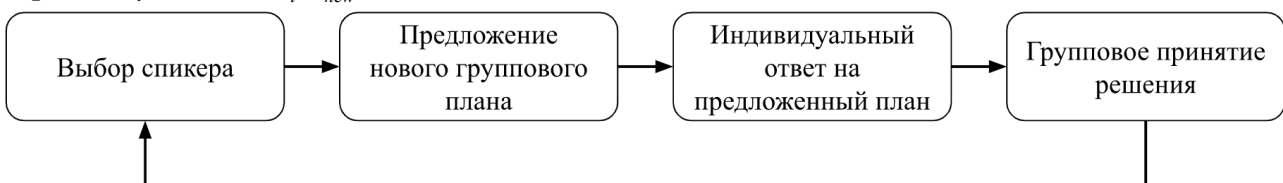


Рис. 2. Схема взаимодействия агентов
[Fig. 2. Scheme of interaction of agents]

чения индивидуальных качеств лидера варьируются, в то время как атрибуты других агентов являются фиксированными (см. табл. 1). Характеристики агентов были выбраны с учетом соображений разнородности качеств членов группы для большего соответствия модели реальным составам групп.

Таблица 1. Характеристики агентов
[Table 1. Characteristics of agents]

Агент	Интеллект	Разговорчивость
Агент 0 (Лидер)	{0.2, 0.5, 0.8, 0.95}	{0.2, 0.5, 0.8, 0.95}
Агент 1	0.95	0.25
Агент 2	0.75	0.65
Агент 3	0.25	0.91
Агент 4	0.85	0.75
Агент 5	0.95	0.85

Таблица 2. Параметры агентной модели
[Table 2. Parameters of the agent-based model]

Параметр	Значение
Размерность проблемного пространства	$m = 2$
Число сосуществующих частот в истинной функции полезности по каждому измерению	$l = 5$
Параметр, определяющий число мнений агентов	$\varphi = 20$
Число ближайших соседей, используемых для расчета индивидуальной функции полезности агента	$k = 2$
Радиус локального поиска каждого агента	$r = 0.005$
Параметр для определения текущего спикера	$\xi = 3$
Коэффициент для вычисления временного спада	$\alpha = 1.3$
Начальное допустимое отклонение полезности	$\tau = 0.5$

Степень влияния лидера λ принимает каждое из значений диапазона {1, 2, 4, 6} для каждой комбинации набора индивидуальных характеристик группы. При степени влияния лидера, равной 6, предложение спикера не

может быть принято, если оно не было поддержано лидером группы.

Значения параметров агентной модели, используемые в ходе эксперимента, представлены в табл. 2.

Начальный групповой план задается точкой (0, 0) в проблемном пространстве.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе эксперимента было проведено 100 независимых запусков моделирования, каждый из которых включает 300 итераций.

Рассмотрим медианные зависимости полезности группового плана от номера итерации при различных значениях степени влияния λ и интеллекта лидера I_L (см. рис. 3). Можно наблюдать, что при низком интеллекте лидера ($I_L = 2$) полезность группового плана во многом определяется степенью влияния лидера. Так, например, степень влияния $\lambda = 6$ свидетельствует о том, что новый групповой план принимается только в том случае, если его поддержит лидер. Поэтому достигнутая полезность группового плана в этом случае значительно ниже, чем при остальных значениях степени влияния. На первых 50 итерациях эффект «компенсации» низкого интеллекта лидера проявляется наиболее заметно. Лидер соглашается только с теми предложениями, которые близки его точке зрения. Однако, по мере обсуждения (с количеством итераций) группа постепенно смещает мнения лидера об истинной полезности, предлагая наиболее близкие к его мнениям групповые планы, но при этом обладающие более высоким значением истинной полезности. При степенях влияния $\lambda < 6$, группе проще переубедить лидера, так как принятие коллективного решения не будет полностью определяться им, что позволит найти лучшее решение проблемы, стоящей перед группой. При значениях интеллекта $I_L > 0.5$ высокая степень влияния лидера менее сказывается на полезности группового плана, так как данный уровень интеллекта способствует принятию наилучших решений.

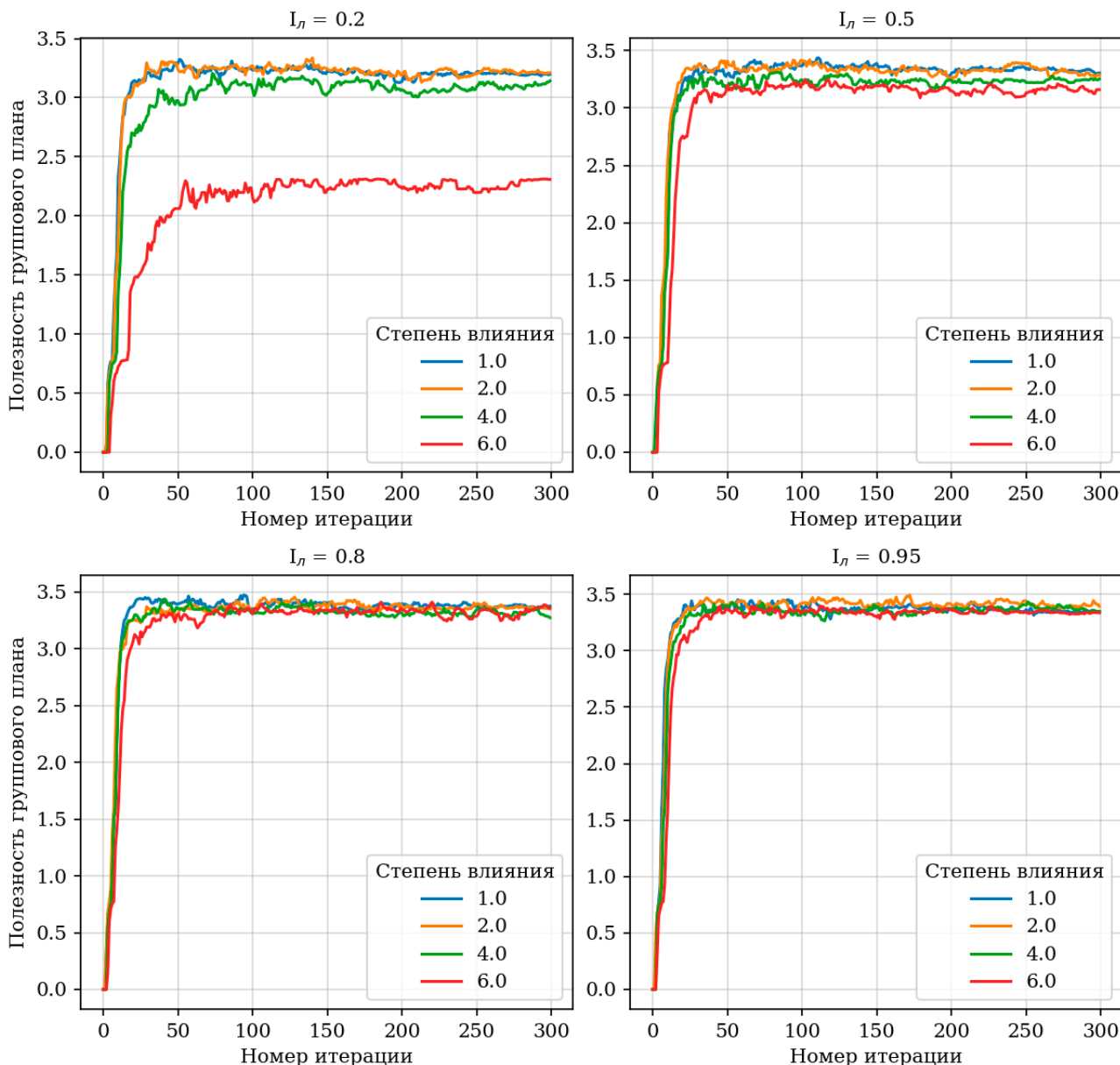


Рис. 3. Медианы полезности группового плана при различных значениях степени влияния λ и интеллекта лидера I_l

[Fig. 3. Medians of group plan utility at different values of the degree of influence λ and the leader's intelligence I_l]

Для оценки влияния разговорчивости лидера на качество принимаемых группой решений приведем диаграммы размаха, отразив на них распределения полезности группового плана в зависимости от разговорчивости и интеллекта лидера, а также от разговорчивости и степени влияния (см. рис. 4). Можно видеть, что разговорчивость лидера не оказывает заметного влияния на полезность группового плана. Это можно обосновать следующим образом. Предложения планов лидера, обладающего низким интеллектом, группа

будет в большинстве случаев отклонять, в то время как предложения лидера, обладающего средним или высоким интеллектом, будут чаще поддерживаться. Например, при интеллекте лидера, равном 0.2, разброс полезности группового плана оказывается больше, чем при более высоких значениях интеллекта. Подобное наблюдение характерно и для степени влияния лидера. В этом случае наибольший разброс полезности наблюдается при максимальной степени влияния лидера (решение группы полностью определяется лидером).

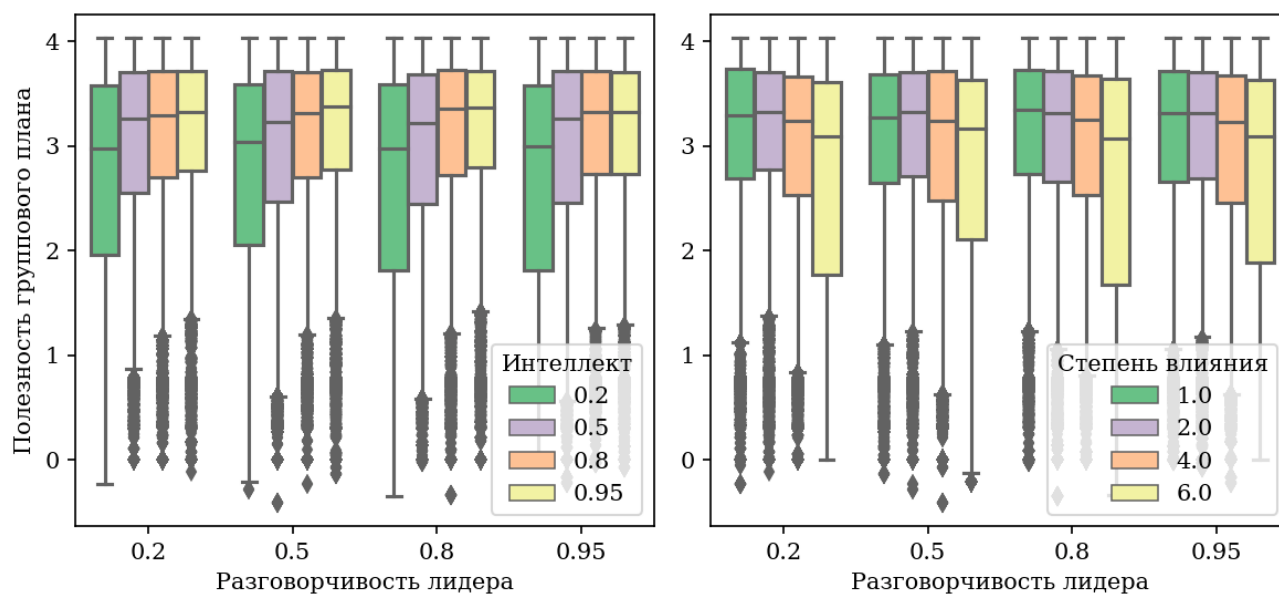


Рис. 4. Диаграммы распределения полезности группового плана в зависимости от разговорчивости лидера

[Fig. 4. Charts of the distribution of group plan utility depending on the leader's talkativeness]

Таким образом, разговорчивость лидера мало влияет на качество решения проблемы, стоящей перед группой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье показывается применение агентного моделирования коллективного принятия решений для исследования роли формального лидера группы и его влияния на качество принимаемых решений. В предложенной модели рассматривается динамика взаимодействий между лидером и участниками группы, а также роль индивидуальных качеств лидера, таких как способность к самостоятельному поиску решения («интеллект») и склонность к взаимодействию («разговорчивость»).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при ограниченной степени влияния лидера качество принимаемых группой решений практически не зависит от его компетентности — даже если лидер не обладает достаточной компетентностью для решения задачи, группа постепенно корректирует его мнение, опираясь на более глубокое представление о проблеме. Наоборот, при высокой степени влияния, когда принятие коллективного решения полностью определяется

лидером, присутствует риск принятия некачественных решений.

Сам по себе полученный результат хорошо согласуется с практикой и является достаточно интуитивным, однако более важно то, что он показывает, что достаточно простые агентные модели позволяют исследовать особенности групповой работы и могут быть использованы для оценки протоколов такой работы, формирования правил совершения коллективных действий и, в целом, поддержки эффективной работы групп.

Так, полученный в статье результат является одной из закономерностей (или одним из паттернов) группового поведения при принятии решений. Выявление подобных паттернов является основой для формирования правил совершения совместных действий и повышения их эффективности.

В целом, агентное моделирование коллективной работы является перспективным инструментом изучения групповой динамики и может способствовать разработке стратегий управления и лидерства. Дальнейшие исследования в этой области помогут расширить наше знание о групповых взаимодействиях, а также принести практическую пользу в области управления и принятия коллективных решений.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0005.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gilbert N.* Agent-Based Models. 2455 Teller Road, Thousand Oaks California 91320 United States of America: SAGE Publications, Inc., 2008. doi:10.4135/9781412983259.
2. *Reia S. M., Amado A. C., Fontanari J. F.* Agent-based models of collective intelligence // *Phys. Life Rev.* Elsevier B.V. – 2019. – Vol. 31. – P. 320–331. doi:10.1016/j.plrev.2018.10.004.
3. *Bleda M., Querbes A., Healey M.* The influence of motivational factors on ongoing product design decisions // *J. Bus. Res.* Elsevier. – 2021. – Vol. 129, № February. – P. 562–569. doi:10.1016/j.jbusres.2020.02.018.
4. *Lapp S., Jablokow K., McComb C.* KA-BOOM: an agent-based model for simulating cognitive style in team problem solving // *Des. Sci.* – 2019. – Vol. 5, № Riding 1997. – P. 1–32. doi:10.1017/dsj.2019.12.
5. *Cao S. et al.* Group Size and Group Performance in Small Collaborative Team Settings: An Agent-Based Simulation Model of Collaborative Decision-Making Dynamics // *Complexity* / ed. Galán J. M. – 2022. Vol. 2022. P. 1–16. doi:10.1155/2022/8265296.
6. *Rojas-Villafane J. A.* An agent-based model of team coordination and performance // *ProQuest Dissertations and Theses.* Florida International University. – 2010. – 169 p. doi:10.25148/etd.FI10081217.
7. *Van Veen D. J., Kudesia R. S., Heintzmann H. R.* An Agent-Based Model of Collective Decision-Making: How Information Sharing Strategies Scale with Information Overload // *IEEE Trans. Comput. Soc. Syst.* – 2020. – Vol. 7, № 3. – P. 751–767. doi:10.1109/TCSS.2020.2986161.
8. *Lim S. L., Bentley P. J.* Diversity Improves Teamwork: Optimising Teams using a Genetic Algorithm // *2019 IEEE Congr. Evol. Comput. CEC 2019-Proc.* – 2019. – P. 2848–2855. doi:10.1109/CEC.2019.8789981.
9. *Abrica-Jacinto N. L., Kurmyshev E., Juárez H. A.* Effects of the Interaction Between Ideological Affinity and Psychological Reaction of Agents on the Opinion Dynamics in a Relative Agreement Model // *J. Artif. Soc. Soc. Simul.* – 2017. – Vol. 20, № 3. doi:10.18564/jasss.3377.
10. *Mckeown G., Sheehy N.* Mass media and polarisation processes in the bounded confidence model of opinion dynamics // *Jasss.* – 2006. – Vol. 9, № 1. – P. 33–63.
11. *Van Eck P. S., Jager W., Leeflang P. S. H.* Opinion leaders' role in innovation diffusion: A simulation study // *J. Prod. Innov. Manag.* – 2011. – Vol. 28, № 2. – P. 187–203. doi:10.1111/j.1540-5885.2011.00791.x.
12. *Borowski E., Chen Y., Mahmassani H.* Social media effects on sustainable mobility opinion diffusion: Model framework and implications for behavior change // *Travel Behav. Soc.* – 2020. – Vol. 19. – P. 170–183. doi:10.1016/j.tbs.2020.01.003.
13. *Kaiser C., Kröckel J., Bodendorf F.* Simulating the spread of opinions in online social networks when targeting opinion leaders // *Inf. Syst. E-bus. Manag.* – 2013. – Vol. 11, № 4. – P. 597–621. doi:10.1007/s10257-012-0210-z.
14. *Anderson C. A., Titler M. G.* Development and verification of an agent-based model of opinion leadership // *Implement. Sci.* – 2014. – Vol. 9, № 1. doi:10.1186/s13012-014-0136-6.
15. *Röchert D., Cargnino M., Neubaum G.* Two sides of the same leader: an agent-based model to analyze the effect of ambivalent opinion leaders in social networks // *J. Comput. Soc. Sci.* – 2022. – Vol. 5, № 2. – P. 1159–1205. doi:10.1007/s42001-022-00161-z.
16. *Bakshy E. et al.* Everyone's an influencer: Quantifying influence on twitter // *Proc. 4th ACM Int. Conf. Web Search Data Mining, WSDM 2011.* – 2011. – P. 65–74. doi:10.1145/1935826.1935845.
17. *Averza A., Slhoub K., Bhattacharyya S.* Evaluating the Influence of Twitter Bots via Agent-Based Social Simulation // *IEEE Access.* –

2022. – Vol. 10. – P. 129394–129407. doi:10.1109/ACCESS.2022.3228258.

18. Cao S. *et al.* An Agent-Based Model of Leader Emergence and Leadership Perception within a Collective // Complexity. – 2020. – Vol. 2020. – P. 1–11. doi:10.1155/2020/6857891.

Агафонов Антон Александрович — м.н.с. лаборатории интегрированных систем автоматизации Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук.

E-mail: agafonov.a@spcras.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7960-8929>

Пономарев Андрей Васильевич — канд. техн. наук, доцент, с.н.с. лаборатории интегрированных систем автоматизации Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук.

E-mail: ponomarev@iias.spb.su

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9380-5064>

DOI: <https://doi.org/10.17308/sait/1995-5499/2023/3/5-16>

ISSN 1995-5499

Received 19.07.2023

Accepted 30.09.2023

AGENT-BASED MODELING OF COLLECTIVE DECISION MAKING IN SMALL GROUPS: THE ROLE OF A FORMAL LEADER

© 2023 A. A. Agafonov✉, A. V. Ponomarev

*St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences
39, 14th line V.O., 199178 St. Petersburg, Russian Federation*

Annotation. Agent-based modeling is a promising tool for studying collective behavior and has a high potential for increasing the efficiency of group work. Agent-based models can serve as a basis for supporting group work — selecting team members, recommending work protocols, and much more. The article proposes an agent-based model for studying the influence of the characteristics of a formal leader on the collective decision making. The task itself is modeled as the maximization of a utility function, carried out jointly by a group of agents. Each agent can explore the problem space independently and inform other agents about the results of such a search. A consolidated group decision is formed and refined on the basis of individual results obtained by agents, while the result of the formal leader of the group plays a special role. With the help of a computational experiment, the influence of the leader's own search abilities ("intelligence"), his predisposition to communication ("talkativeness"), and the degree of influence on the effectiveness of the group decision are evaluated. The simulation results showed, in particular, that within the framework of the considered protocol, in the case when the degree of influence of the leader is limited, his low search abilities do not have a significant impact on the effectiveness of the solution found by the group. In the case of high influence, there is a risk of making ineffective decisions. The result itself is in good agreement with practice and is quite intuitive, but more importantly, it shows that fairly simple agent models allow us to study the group work, can be used to evaluate the protocols of such work, to form rules for committing collective action and, in general, to support the effective work of the groups.

Keywords: agent-based modeling, collective decision-making, leadership, leader influence, small group.

✉ Agafonov Anton A.
e-mail: agafonov.a@spcras.ru

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. Gilbert N. (2008) Agent-Based Models. 2455 Teller Road, Thousand Oaks California 91320 United States of America, SAGE Publications, Inc. doi:10.4135/9781412983259.
2. Reia S. M., Amado A. C. and Fontanari J. F. (2019) Agent-based models of collective intelligence. *Physics of Life Reviews*. 31. P. 320–331. doi:10.1016/j.plrev.2018.10.004.
3. Bleda M., Querbes A. and Healey M. (2021) The influence of motivational factors on ongoing product design decisions. *Journal of Business Research*. 129 (February), P. 562–569. doi:10.1016/j.jbusres.2020.02.018.
4. Lapp S., Jablow K. and McComb C. (2019) KABOOM: an agent-based model for simulating cognitive style in team problem solving. *Design Science*. 5 (Riding 1997), P. 1–32. doi:10.1017/dsj.2019.12.
5. Cao S., MacLaren N. G., Cao Y., Marshall J., Dong Y., Yammarino F. J., Dionne S. D., Mumford M. D., Connelly S., Martin R. W., Standish C. J., Newbold T. R., England S., Sayama H. and Ruark G. A. (2022) Group Size and Group Performance in Small Collaborative Team Settings: An Agent-Based Simulation Model of Collaborative Decision-Making Dynamics J. M. Galán (ed.). *Complexity*. 2022. P. 1–16. doi:10.1155/2022/8265296.
6. Rojas-Villafane J. A. (2010) An agent-based model of team coordination and performance. *Florida International University*. doi:10.25148/etd.FI10081217.
7. Van Veen D. J., Kudesia R. S. and Heiniemann H. R. (2020) An Agent-Based Model of Collective Decision-Making: How Information Sharing Strategies Scale with Information Overload. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*. 7 (3). P. 751–767. doi:10.1109/TCSS.2020.2986161.
8. Lim S. L. and Bentley P. J. (2019) Diversity Improves Teamwork: Optimising Teams using a Genetic Algorithm. *2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2019-Proceedings*. P. 2848–2855. doi:10.1109/CEC.2019.8789981.
9. Abrica-Jacinto N. L., Kurmyshev E. and Juárez H. A. (2017) Effects of the Interaction Between Ideological Affinity and Psychological Reaction of Agents on the Opinion Dynamics in a Relative Agreement Model. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 20 (3). doi:10.18564/jasss.3377.
10. Mckeown G. and Sheehy N. (2006) Mass media and polarisation processes in the bounded confidence model of opinion dynamics. *Jasss*. 9 (1). P. 33–63.
11. Van Eck P. S., Jager W. and Leeflang P. S. H. (2011) Opinion leaders' role in innovation diffusion: A simulation study. *Journal of Product Innovation Management*. 28 (2). P. 187–203. doi:10.1111/j.1540-5885.2011.00791.x.
12. Borowski E., Chen Y. and Mahmassani H. (2020) Social media effects on sustainable mobility opinion diffusion: Model framework and implications for behavior change. *Travel Behaviour and Society*. 19. P. 170–183. doi:10.1016/j.tbs.2020.01.003.
13. Kaiser C., Kröckel J. and Bodendorf F. (2013) Simulating the spread of opinions in online social networks when targeting opinion leaders. *Information Systems and e-Business Management*. 11 (4). P. 597–621. doi:10.1007/s10257-012-0210-z.
14. Anderson C. A. and Titler M. G. (2014) Development and verification of an agent-based model of opinion leadership. *Implementation Science*. 9 (1). doi:10.1186/s13012-014-0136-6.
15. Röchert D., Cargnino M. and Neubaum G. (2022) Two sides of the same leader: an agent-based model to analyze the effect of ambivalent opinion leaders in social networks. *Journal of Computational Social Science*. 5 (2). P. 1159–1205. doi:10.1007/s42001-022-00161-z.
16. Bakshy E., Mason W. A., Hofman J. M. and Watts D. J. (2011) Everyone's an influencer: Quantifying influence on twitter. *Proceedings of the 4th ACM International Conference on Web Search and Data Mining, WSDM 2011*. P. 65–74. doi:10.1145/1935826.1935845.
17. Averza A., Slhoub K. and Bhattacharyya S. (2022) Evaluating the Influence of Twitter Bots

via Agent-Based Social Simulation. *IEEE Access*. 10, P. 129394–129407. doi:10.1109/ACCESS.2022.3228258.

18. Cao S., MacLaren N. G., Cao Y., Dong Y., Sayama H., Yammarino F. J., Dionne S. D., Mumford M. D., Connelly S., Martin R., Standish C. J., Newbold T. R., England S. and Ruark G. A. (2020) An Agent-Based Model of Leader Emergence and Leadership Perception within a Collective. *Complexity*. 2020. P. 1–11. doi:10.1155/2020/6857891.

Agafonov Anton A. — junior researcher of the computer-aided integrated systems laboratory at St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences.

E-mail: agafonov.a@spcras.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7960-8929>

Ponomarev Andrew V. — PhD, senior researcher of the computer-aided integrated systems laboratory at St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences.

E-mail: ponomarev@iias.spb.su

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9380-5064>