

Академия управления МВД России

Б.А. Торопов

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИТУАЦИИ
ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ДЕСТРУКТИВНЫМ
ВЛИЯНИЯМ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ ПО РЕЗОНАНСНЫМ
ОБЩЕСТВЕННО-ПОЛИТИЧЕСКИМ ВОПРОСАМ**

Монография

Москва • 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Виртуальные сетевые сообщества как фактор влияния на мнения интернет-пользователей	6
2. Информационное противоборство и информационная война как объект научного познания	13
3. Теоретико-графовые модели социальных сетей.....	22
4. Групповая центральность участников социальных сетей	24
5. Расчет полезности вершины графа как элемента произвольной группы вершин на основе вектора Шепли	28
6. Расчет групповой центральности по степени на основе вектора Шепли ..	30
7. Методика и примеры расчета групповой центральности	33
8. Введение качественных характеристик вершин.....	40
9. Методика расчета и пример анализа групповой центральности участников террористического сообщества.....	42
10. Обобщенная форма центральности по степени и по близости на основе центральности распада	48
11. Метод вычисления центральности распада на основе алгоритма Флажолемартена	53
12. Вычислительный эксперимент	58
13. Центры управления в ситуациях информационного противоборства, их целеполагание и подходы к достижению целей	62
14. Максимизация конкурентного влияния в социальных сетях на основе игры Вороного	67
15. Модели распространения влияния в линейном пространстве	71
16. Механизм формирования диаграммы Вороного на множестве вершин социального графа.....	81
17. «Конкурентные» метрики центральности.....	85
18. Основные результаты. Влияние конкурентных центральностей по близости и по промежуточности на эффективность стратегии второго игрока.....	86
Заключение	91
Список литературы	92
Приложение	97

Введение

Виртуальные сетевые социальные сообщества на сегодняшний день широко представлены в киберпространстве всемирной паутины. Тенденция современного времени заключается во все нарастающем влиянии этих сетевых сообществ на мнения их участников, а, следовательно, и на формирование общественного мнения по различным общественно-политическим, социальным и другим вопросам, включая вопросы текущей ситуации в стране и мире, деятельности государственного аппарата, правоохранительных органов. При этом традиционные средства массовой информации все больше уступают свои позиции в области влияния на умы граждан, которые склонны получать информацию именно из виртуальных сетевых сообществ, представленных сервисами Интернета, называемыми, как правило, социальными сетями.

Опыт последних десятилетий, сопряженный с широким распространением Интернета в мире и повышением его доступности, показал, что социальные сети могут быть весьма эффективным инструментом проведения информационных кампаний, в том числе и антигосударственных, в ходе которых у граждан сначала формируется определенное негативное мнение по резонансным вопросам, связанным с деятельностью органов власти, а затем проходит организация протестной активности в реальной действительности. В этой связи можно вспомнить серию революций в арабских странах, начавшуюся в 2010 году с Туниса, затем в 2011 году захлестнувшую Египет, а также ряд других арабских государств, «оранжевую» революцию на Украине в 2014 году. Во всех названных случаях социальные сети, и действующие в них виртуальные сообщества сыграли немалую роль, выступив площадками для нагнетания общественного мнения в антигосударственном русле, а затем и для координации массовых протестных акций. Не является исключением и Российская Федерация, где многие несогласованные массовые протестные акции последних лет также стали возможны благодаря коммуникации их участников в социальных сетях.

Виртуальные сетевые сообщества обладают в плане подачи информации значительно большей оперативностью, чем традиционные СМИ, высоким

уровнем гибкости и свободой действий в части формирования информационной повестки и, следовательно, влияния на умы граждан. Кроме того, эти виртуальные сетевые сообщества в социальных сетях слабо институционализированы и плохо подвержены нормативному правовому регулированию, зачастую они находятся в юрисдикции откровенно недружественных государств и организаций.

Следовательно, на сегодняшний день становятся актуальными вопросы выработки новых моделей и методов для исследования информационных влияний, распространяемых в социальных сетях, оценки их эффективности, а также управления этими влияниями. В данном контексте представляется целесообразным формирование модели, позволяющей оценить каким образом отдельные сетевые сообщества влияют на мнения пользователей с учетом сложившегося в социальной сети информационного фона, а также с учетом структуры связей пользователей, составляющих социальную сеть, и существующих в ней виртуальных сетевых сообществ.

При этом в последние годы участники и исследователи виртуального пространства социальных сетей стали свидетелями ситуаций, когда противоположные информационные влияния, распространяясь одновременно, формируют группы сторонников, каждая из которых негативно настроена к противоположной стороне. Участники таких групп вступают друг с другом в частные информационные связи, и подключаются таким образом к информационной кампании, вступающей в таком случае в фазу информационного противоборства. Причем данные участники, примыкая к одной из сторон информационного противоборства, могут действовать как самостоятельно, руководствуясь собственным жизненным опытом и убеждениями, так и быть ангажированы некими внешними силами, заинтересованными в том или ином исходе ситуации информационного противоборства.

В подобных ситуациях государственный аппарат не вправе оставаться в стороне от разворачивающихся информационных процессов. Сегодня

практически во всех странах мира создаются правовые, организационные и технологические рычаги влияния на социальные сети и их участников. Правовые инструменты позволяют официально временно или на постоянной основе предписывать Интернет-провайдеру блокировать работу социальных сетей на территории государства, предписывать операторам социальных сетей блокировать личные страницы отдельных пользователей, удалять отдельные информационные сообщения со всеобщего обозрения. Пользуясь правовыми инструментами, правоохранительные органы могут привлекать к ответственности лиц, распространяющих информацию запрещенного характера. Однако правовые инструменты достаточно формальны. Так они не учитывают технологических возможностей обхода блокировок информационных ресурсов, которые расположены вне юрисдикции государства. Кроме того, граждане, подлежащие привлечению к ответственности, далеко не всегда могут быть установлены, поскольку заботятся о собственной анонимности и применяют соответствующие информационные технологии.

Поэтому в последние годы в социальных сетях разных государств можно наблюдать применение более гибких и неявных методов работы в целях, связанных с информационными противоборствами.

Научная проработка подобных методов, как представляется автору, должна быть направлена на решение ряда частных задач, таких как:

- оценка значимости участников социальной сети, распространяющих нежелательное влияние, и прогнозирование результатов этого влияния;
- оценка влияния, оказываемого на не ангажированных участников социальной сети со стороны совокупности виртуальных сообществ;
- оценка значимости участников социальной сети с точки зрения эффективности использования их в качестве инициаторов желательного информационного влияния;
- отбор совокупности участников социальной сети в качестве инициаторов желательного информационного влияния;

– отбор совокупности связей между участниками социальной сети, способных будучи заблокированными эффективно препятствовать распространению нежелательного влияния.

В настоящей работе рассматривается ряд подходов и методов, позволяющих решать подобные задачи, и, следовательно, направленных на повышение эффективности мер по достижению необходимых результатов информационного противодействия (далее – информационное противоборство) информационным влияниям в виртуальном пространстве.

1. Виртуальные сетевые сообщества как фактор влияния на мнения интернет-пользователей

Основным источником получения информации по общественно-политическим вопросам на всем протяжении XX в. выступали традиционные средства массовой информации: периодические печатные издания, радиовещание и телевидение. Соответственно, именно они выступали главными институтами формирования общественного мнения. Нормативная правовая база функционирования СМИ позволяла государству осуществлять прямой или косвенный контроль за ними и формировать информационную повестку, поддерживать желательную направленность распространяемой информации. При этом СМИ могли сохранять разную ориентацию: государственно-патриотическую, оппозиционную, культурную, военную, развлекательную и другие, и иметь устоявшуюся и сохраняющуюся десятилетиями аудиторию. Центрами принятия решений по проведению информационных кампаний в случае традиционных СМИ выступают общественно-политические институты: государственные органы, политические партии, несистемные социальные сообщества, а реализуют информационные кампании редакции СМИ, независимые журналисты и журналистские сообщества.

В последние десятилетия серьезную конкуренцию традиционным СМИ стали составлять Интернет-ресурсы, среди которых выделяются виртуальные сетевые сообщества в социальных сетях. Коммуникации между пользователями в социальных сетях зачастую одновременно содержательны, эмоциональны и привлекают большой интерес виртуального сообщества, то есть выступают по своей сути в качестве локального СМИ. Популярность социальных сетей привлекла массовую аудиторию, и сегодня аудитория виртуальных псевдо-СМИ превышает по количеству аудиторию государственных телеканалов. В социальные сети также перетекла существенная часть аудитории, которая, обладая критическим мышлением, не удовлетворена социально-значимой информацией, появляющейся в традиционных СМИ. Как следствие, в социальных сетях сформировались экспертные сообщества по различным

вопросам, появились пользователи, обладающие значительным авторитетом, например, лидеры мнений. При этом лидеры мнений могут оставаться, с одной стороны, анонимными, с другой стороны, представлять собой целый профессиональный коллектив, включающий: редакторов, корректоров, монтажеров, специалистов в области информационных технологий и продвижения в социальных сетях. Кроме того, очевидно, что как отдельные личности, так и коллектив людей в состоянии вести в виртуальном пространстве страницы неограниченного количества виртуальных пользователей. Анонимность стала возможной благодаря различным программным средствам, позволяющих осуществлять выход в Интернет не напрямую через провайдеров, а опосредованно, через цепочку телекоммуникационных устройств, разбросанных по всей планете (VPN-сервисы, от англ. Virtual private network, виртуальная частная сеть). Содержание профессионального коллектива возможно потому, что в последние годы на Интернет-ресурсы обратили свое внимание рекламодатели, а также некоммерческие организации, заинтересованные в продвижении определенной информационной повестки.

Смысловые единицы, формируемые пользователями социальных сетей, представляют собой информационные сообщения, адресованные аудитории – посты. Посты появляются в информационных лентах подписчиков, либо могут быть открыты для ознакомления по прямому адресу любым участником социальной сети (если автор намеренно не ограничил доступ к посту, например, только для друзей или подписчиков). Важной привлекательной особенностью социальных сетей выступает возможность онлайн-реагирования на сообщение путем написания комментария или выражения эмоционального отношения к написанному при помощи набора стандартных реакций («лайк», «дизлайк» и т.п.), что может в свою очередь вызвать ответную реакцию от автора изначального поста или других пользователей. Кроме того, интерфейсы социальных сетей позволяют легко распространить заинтересовавшую информацию, разместив ее на своей странице. Здесь тоже есть разные возможности. Во-первых, можно изначальное сообщение разместить на своей

странице, то есть сделать репост, причем репост может содержать ссылку на первоначальное сообщение или не содержать его, а также может содержать дополнительное сообщение-комментарий. Во-вторых, в тексте любого собственного сообщения можно разместить прямую ссылку на любое другое сообщение или на личную страницу любого пользователя. Важно, что информационное сообщение в любом случае находит новую аудиторию. Эта легкость и быстрота социальных контактов, в числе прочего, привела к тому, что обсуждение информационного посыла стало зачастую выходить из рациональной плоскости, быть более эмоциональным, порождать локальные устойчивые смысловые единицы, так называемые мемы.

Сегодня в русскоязычном сегменте Интернета наиболее популярными социальными сервисами являются «ВКонтакте», «Одноклассники», «Instagram», «Facebook», «Twitter» и др., продолжает пользоваться угасающей популярностью одна из старейших блог-платформ «LiveJournal», серьезно опережают их по популярности и притоку аудитории видео-хостинги «Youtube» и «TikTok», обладающие рядом характерных свойств, присущих социальным сетям: возможность коммуникаций путем обмена комментариями, выставление стандартных эмоциональных оценок, и т.п. В последние годы набирают популярность виртуальные сообщества, формируемые в программах-мессенджерах, изначально предназначенных для прямых коммуникаций. В этой категории можно выделить мессенджер «Telegram», позволяющий пользователям вести собственные информационные каналы, обмениваться в этих каналах комментариями, выставлять эмоциональные оценки. Несмотря на то, что в деятельность всех названных сервисов регулярно вмешиваются государственные контролирующие органы разных стран мирового сообщества, целиком блокируя к ним доступ на своих территориях и принуждая удалять определенные сообщения и блокировать отдельных пользователей, - они не теряют популярности, поскольку их участники находят пути обхода названных блокировок, а адресно заблокированные лидеры мнений создают новые виртуальные группы и восстанавливают свою аудиторию достаточно быстро.

Аудитория рассматриваемых Интернет-сервисов разнородна. Можно отметить, что, например, пользователи сети Одноклассники представляют старшее поколение российских граждан, в то время как молодежь склонна группироваться вокруг сети «ВКонтакте»; к сети «Facebook» тяготеет прозападно настроенная демократическая публика, поскольку там сильна цензура по политическим признакам, направленная против недемократических взглядов; «Instagram» привлекает в большинстве случаев людей аполитичных, ищущих развлекательной коммуникации; простота интерфейса видео-хостинга «TikTok» притягивает в него самых молодых участников, включая детей-дошкольников; «YouTube» в последние годы стал новым телевидением, где каждый может найти видеоролики по своему вкусу: образовательные, развлекательные, политические и другие¹. Помимо непосредственного общения друг с другом участники социальных сетей объединяются по интересам и образуют тематические виртуальные сетевые сообщества-группы. Такая опция присутствует, например, в «Facebook», «ВКонтакте», «Одноклассниках».

В последнее время становятся популярными резонансные тематические группы на базе виртуальных сетевых сообществ. Они создаются для обсуждения либо относительно непродолжительных по времени тем (например, террористический акт), либо длящихся (военные столкновения на Украине, в Сирии, в Афганистане и т.д.). Схожие признаки отмечают и западные исследователи.² В ответ на поисковый запрос по ключевым словам «Z ДНР» социальная сеть «ВКонтакте» представляет 571 тематическое сообщество (группу), содержащие искомый контекст в названии или в описании. Самой многочисленной группой, отражающей события на Украине 2022 года, является группа под наименованием «Донецк Новости Быстрого Реагирования ДНР

¹ *Ефимов Е.Г., Небыков И.А.* Социальные группы в структуре социальных сетей (на примере сети «Одноклассники») // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. Грамота. 2014. № 5 (43). Ч. 3. С. 64.

² *Burnap P., Williams M., Sloan L., Rana O., etc.* Tweeting the terror: modelling the social media reaction to the Woolwich terrorist attack. *Social Network Analysis and Mining*. 2014. P. 114.

России». Численность участников данной группы составляет 167 767 человек. Второй по численности участников является группа «В Макеевке Z Донецк | ДНР | Сводки с фронта», в которой на момент изучения состояло 148 684 человек. Тематическая направленность этих сообществ понятна – это обсуждение новостной повестки по ситуации в регионе Донбасса причем со стороны жителей этого региона и сочувствующей публики. Одновременно существуют сообщества другой прямо противоположной направленности, например, по запросу «Украина майдан АТО» легко обнаружить небольшое количество сообществ, по количеству участников среди которых лидирует группа «Майдан | Евромайдан | АТО | Моя Украина» с 28 652 подписчиками.

В социальной сети, ее участник самостоятельно отбирает других участников, информационные сообщения от которых будут поступать ему для ознакомления, формируя таким образом сам для себя новостную ленту. По каждому информационному поводу любой участник сети может являться одновременно и частью аудитории, и распространителем сообщения. Получив информационное сообщение через новостную ленту, участник может переразместить (сделать репост) это сообщение на своей странице, прокомментировать его, или добавить в понравившиеся (поставить «лайк»). Любое из этих действий публично, то есть становится известно окружению участника сети, а соответственно такое действие способствует дальнейшей трансляции исходного информационного повода.

Эмоциональность, низкий уровень критичности рассуждений в сообщениях, появляющихся на лентах сообщений тематических сообществ, а также ангажированность отдельных участников, одновременно с большим числом потенциальных пользователей-потребителей размещаемой информации несет потенциальную угрозу социально-психологическому самочувствию людей, формированию у них искаженной картины мира, радикализации политических взглядов. Как отмечают исследователи, «виртуальные социальные сети обладают огромным потенциалом в качестве канала распространения разнообразной информации, включая деструктивные идеи, и обеспечивают

возможности тиражирования контента, носящего экстремистский характер и представляющего потенциальную и реальную угрозу национальной безопасности страны»¹.

Таким образом, вопросы регулирования информационных влияний, распространяемых в социальных сетях в современных условиях, чрезвычайно актуальны. Существенный научно-практический интерес представляет управление процессами инициации и протекания информационных кампаний, в которых может быть задействовано большое количество пользователей виртуальных сетевых сообществ, взаимодействующих между собой. Далее в работе рассматриваются подобные ситуации и их более сложный вариант, когда одновременно имеют место два (в общем случае – два и более) противоположных по направленности и часто взаимоисключающих информационных влияния. Такие ситуации будем рассматривать в качестве ситуаций информационного противоборства в социальных сетях. Но прежде чем перейти к ним, имеет смысл остановиться на истории образования самого термина «информационное противоборство» и его крайнего проявления, «информационной войне», научного осмысления этих феноменов.

¹ Шиллер В.В., Шелудков Н.Н. Российские социальные сети как потенциальная угроза национальной безопасности России (на примере сайтов «Одноклассники» и «ВКонтакте») // Вестник Кемеровского государственного университета. 2013. № 1 (53). С. 124.

2. Информационное противоборство и информационная война как объект научного познания

До недавнего времени информационное противоборство как область научных исследований, по большей части, рассматривалась в области военных наук и в контексте проведения военных операций, а также их сопровождения информационными операциями. В качестве крайней стадии информационного противоборства принято рассматривать информационную войну как непосредственные агрессивные действия в информационной сфере. Первое появление термина информационная война принято связывать с отчетом «Системы вооружения и информационная война», подготовленным в 1976 году для авиакомпании Боинг Т.П. Роной.¹

Несколько позже, в 1992 году, введен термин информационного противоборства как операций, осуществляемых во время кризиса произвольной природы или военного конфликта для достижения определенных целей в отношении имеющегося противника или противников²³.

В межведомственном отчете североамериканских правительственных и научных учреждений и организаций, датированном 1997 годом, феномен информационного противоборства связывается непосредственно с недавними инициативами США, разработанными для защиты инфраструктуры компьютерных сетей от преднамеренного разрушения. Причем термин охватывал множество различных форм разрушения сетей связи (проводных и беспроводных), а также соответствующих контрмер⁴.

В официальную терминологию военного дела в США информационное противоборство вошло в понимании действий, осуществляемых «для достижения информационного превосходства над противником путем

¹ *Rona T. P. Weapon Systems and Information War. Seattle, Washington, D.C. 1976. Boeing Aerospace Co.*

² *DoD Directive TS-3600.1 Information Warfare (U). December 21. Washington, D.C. 1992*

³ *DoD Directive S-3600.1 Information Operations (U). December 9. Washington, D.C. 1996. P. 204.*

поражения его информации, информационных процессов и информационных систем, а также одновременной защиты собственной информации, информационных процессов и информационных систем»¹.

В российской научной и специальной литературе наиболее широкое распространение и цитирование получила трактовка информационного противоборства, выдвинутая А.В. Манойло, которая во многом является обобщением тех определений, которые рассмотрены выше.

«Информационное противоборство — борьба в информационной сфере, которая предполагает комплексное деструктивное воздействие на информацию, информационные системы и информационную инфраструктуру противоборствующей стороны с одновременной защитой собственной информации, информационных систем и информационной инфраструктуры от подобного воздействия. Целью информационного противоборства является завоевание и удержание информационного превосходства над противоборствующей стороной»².

Экстраполируя это определение, выдвинутое в начале 2000-х, на настоящее время, когда информационное общество стало основной формой существования человека, а также констатируя то, что социальные и экономические системы неразрывно переплетены с системами информационными и выступают органической частью информационной инфраструктуры, следует отнести к объектам информационного противоборства индивидуальные сознания граждан, а также состояние коллективного сознания общества в виде усредненных настроений, мнений, суждений о текущем моменте существования государства и общества.

Объекты информационного противоборства разноплановы. С одной стороны, к ним можно отнести технические системы с элементами

¹ URL: https://itlaw.wikia.org/wiki/Intelligence_Warning_Terminology (дата обращения: 05.10.2021).

² Манойло А. В. Объекты и субъекты информационного противоборства // Пси-Фактор [Электронный ресурс]. 2003. URL:<http://psyfactor.org/lib/psywar24.htm> (дата обращения: 20.10.2021).

автоматизации, предполагающими обмен информационными сигналами как внутри системы, так и с внешней средой. С другой стороны, к объектам информационного противоборства можно отнести общество, отдельные его составляющие: социальные группы, религиозные, политические, профессиональные объединения, наконец, отдельные граждане, в отношении которых возможно осуществление информационного воздействия, влияния, информационной «обработки».

Таким образом, объектом, на который направлено информационное противоборство может быть любой элемент или подмножество элементов, составляющих информационное пространство противоборствующих сторон, сюда следует отнести: массовое сознание общества, индивидуальное сознание граждан, их информированность относительно сложившейся обстановки; общественно-политические системы и протекающие в них информационные процессы; технологическая инфраструктура, включая системы связи; автоматизированные системы сбора, хранения, передачи, распространения и обработки информации.

В свою очередь к субъектам, осуществляющим информационное противоборство можно причислить: страны и иные государственные образования, их содружества и объединения; вооруженные формирования и террористические организации, равно как и организации экстремистского, радикально политического или же религиозного характера; международные коммерческие корпорации; некоммерческие организации; самоорганизованные группы пользователей в виртуальных сервисах Интернета; медиакорпорации и СМИ.

Родственным информационному противоборству термином выступает «информационная война». Различные подходы к определению термина «информационной войны» также в основном лежат в области военного дела. Но вместе с тем и здесь наблюдается уклон к рассмотрению наряду с усилиями по подрыву информационной инфраструктуры противника также вопросов пропаганды, агитации, деморализации самого этого противника. В научной

литературе представлена антология подходов к пониманию этого феномена¹. Информационная война – это целенаправленные действия, направленные на разрушение и/или нейтрализацию информационно-телекоммуникационной системы противника и лишения его возможности осуществления командования и управления располагаемыми силами, и одновременно на защиту и сохранение работоспособности информационно-телекоммуникационной системы командования и управления дружественными силами и средствами.² По Райсману и Антониу, информационная война может осуществляться для достижения следующих целей:

- сбор оперативной информации;
- верификацию располагаемой информации, собранной ранее;
- деморализация и/или манипулирование в отношении военных сил противника и общественного мнения путем пропаганды и дезинформирования, распространения так называемых «фейков», то есть заведомо ложных информационных сообщений;
- манипулирование уровнями целостности, доступности и достоверности информации, располагаемой противником;
- лишение противника возможности сбора оперативной информации.³

Винн Швартау выделял три группы информационной войны: 1) личная информационная война; 2) корпоративная информационная война; 3) глобальная информационная война.⁴

¹ *Damjanovic Dragan Z.* Types of information warfare and examples of malicious programs of information warfare // *Vojnotehnički glasnik*. Vol. 65. № 4. 2017. P. 1044–1059.

² *Roger C. Molander, Peter A. Wilson, B. David Mussington, Richard Mesic.* Strategic Information Warfare Rising. URL: https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR964.html 1998 (дата обращения: 22.10.2021).

³ *Reisman W.M. & Antoniou C.T.* The Laws of War: A Comprehensive Collection of Primary Documents on International Laws Governing Armed Conflict. New York. 1994.

⁴ *Schwartz W.* Information Warfare: Chaos on the Electronic Superhighway. New York. 1994. URL: <https://archive.org/details/informationwarfa00schwrich> (дата обращения: 23.10.2021).

Таким образом в области стратегического взаимодействия центров управления информационное противоборство, а также его крайняя форма – информационная война первого поколения (1-nd generation Strategic Information Warfare) часто рассматриваются вместе с традиционными силами и средствами противоборства / войны (бронетехникой, авиатехникой, оружием массового поражения: ядерным, химическим, бактериологическим и средствами его доставки и др.), но при этом они по большей части нацелены на дезорганизацию деятельности противника, связанной с использованием информационно-телекоммуникационных систем в целях управления и контроля и проводятся скорее, в рамках обеспечения эффективности действий традиционных военизированных сил и средств. Подобное восприятие со стороны ученого сообщества и практиков информационного противоборства и информационной войны характерно для начального этапа научной проработки этой проблемы. В отчете RAND Corporation MR-964-OSD стратегическое информационное противоборство первого поколения (1-st generation Strategic Information Warfare) определено следующим непритязательным образом: «... одна из нескольких компонентов будущего стратегического противоборства, применяемая совместно с другими инструментами достижения цели ...»¹.

По мнению еще одного автора из научного сообщества, близкого к армии США Мартина Либицки, информационная война протекает в таких формах и сферах как:

- война в сфере командования и управления;
- разведывательная война;
- радио-электронная война;
- психологическая война;
- хакерские атаки;

¹ *Roger C. Molander, Peter A. Wilson, B. David Mussington, Richard Mesic. Strategic Information Warfare Rising.* URL: https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR964.html 1998 (дата обращения: 22.10.2021).

– информационно-экономическая война.¹

Все эти формы взаимосвязаны и взаимодополнимы. В контексте настоящего исследования особый интерес представляет комбинация психологической войны и кибервойны. Р. Шафрански под термином психологическая война понимает «применение информации против сознания человека»². Действительно, на сегодняшний день очевидно, что центры управления в США рассматривают психологическую войну в качестве неотъемлемой, а иногда и основной части любого военного противостояния. В связи с большим значением, придаваемым этой форме информационной войны, в США в данном направлении работают многие научные учреждения и образовательные организации, исследовательские центры в различных органах власти, частные коммерческие корпорации.

Кроме того, информационная война может влиять на политические, экономические или военные цели посредством: конференций по проблемным вопросам с участием журналистского сообщества и представителей государства и бизнеса, саботажа экономики, саботажа объектов разработки и научных исследований, саботажа спутниковой связи, разрушения информационно-коммуникационных сетей³. Сюда следует добавить кибератаки на объекты критической информационной инфраструктуры государства, включая сайты органов власти, информационные системы коммуникации государства и общества, системы управления промышленными, транспортными и другими объектами, нарушение нормального функционирования которых способно привести к катастрофическим последствиям.

¹ *Libicki M.* What Is Information Warfare. National Defense University. Washington, DC. 1995. URL: <http://doc/pdf?AD=ADA367662> (дата обращения: 19.04.2021).

² *Szafranski C. R.* When waves collide. Essay contest on the Revolution in Military Affairs. Joint Force Quarterly. 1995.

³ *Leonhard R.R.* The Art of Maneuver: Maneuver Warfare and AirLandBattle. Novato, CA. 2008.

Теория и практика информационного противоборства / информационных войн развивалась на протяжении конца прошлого – начала нынешнего веков и сегодня можно говорить о втором поколении этих феноменов (2-nd generation Strategic Information Warfare) — «... принципиально новый тип стратегического противоборства, вызванный к жизни информационной революцией, вводящий в круг возможных сфер противоборства информационное пространство и ряд других областей (прежде всего экономику) и растянуто во времени на недели, месяцы и годы ...»¹. Экспертная группа, собранная под эгидой компании RAND Corporation пришла к заключению, что развитие и постепенная эволюция методологии осуществления стратегического информационного противоборства, вместе с развитием научно-технического прогресса и появлением новых информационных технологий (включая технологии двойного назначения), потенциально в состоянии привести к окончательному и полному отказу от применения традиционных военизированных сил и средств, поскольку комплексные фокусированные во времени и пространстве информационные атаки в состоянии лишить противника самой возможности применять таковые. Отмечается, что, если в ходе информационного противоборства первого поколения его результаты и последствия для сторон в целом понятны и могут быть спрогнозированы, то информационное противоборство второго поколения в современном мире чрезвычайно разнообразно по способам и методам осуществления, плохо поддается формализации, а известные методики прогнозирования по отношению к результатам противоборства малоэффективны. К ключевым задачам, решаемым путем ведения информационного противоборства второго поколения, ученые относят:

¹ Molander R. C., Peter A., Wilson B., Mussington D. Strategic Information Warfare Rising. Santa Monica, Calif. 1998. URL: https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR964.html (дата обращения: 10.03.2022).

- культивация бездуховности и безнравственности в обществе противника, формирование отрицательного общественного мнения относительно собственной истории и культуры противника;

- влияние на общественное сознание и политические взгляды различных демографических, социальных, религиозных и т.п. групп граждан страны противника с целью провокации конфликтов, создания атмосферы взаимного недоверия и подозрительности, усиления расслоения в обществе и политической нестабильности, как результат – хаоса;

- инициирование различных протестных мероприятий и попытка создания ситуации массовых беспорядков, забастовок, вооруженного насилия;

- провокация властных структур с целью усиления репрессий в отношении недовольных групп граждан;

- общее снижение уровня информационного обеспечения властных структур с целью спровоцировать ошибочные управленческие решения, выгодные атакующей стороне;

- распространение среди населения заведомо ложной информации о работе государственных органов, очернение отдельных должностных лиц, подрыв их авторитета, общая дискредитация власти в глазах граждан;

- нанесение вреда авторитету государства в международном сообществе, подрыв конструктивного сотрудничества с иностранными партнерами.¹

Таким образом, подходы к определению феномена информационного противоборства со временем мигрируют от военно-технических к информационно-психологическим. Если в первых работах речь идет скорее о разрушении информационной инфраструктуры, то есть по большей части о выводе из строя информационно-телекоммуникационных систем как военно-технических объектов, то в позднейших работах практически повсеместно

¹ Гриняев С. Н. Поле битвы - киберпространство. Теория, приемы, средства, методы и системы ведения информационной войны. Москва, 2004. С. 426.

затрагиваются вопросы пропаганды, воздействий на массовое сознание, дезориентацию общества, политического влияния.

Одно из полей информационного противоборства в таком понимании, приобретшее существенную значимость в последние два десятилетия, – это пространство социальных сетей Интернета. Сегодня все больше людей и во все большей степени отказываются от потребления информации, предлагаемой традиционными СМИ, мигрируя к избирательному ознакомлению с ней в социальных сетях, которые становятся новыми медиа.

3. Теоретико-графовые модели социальных сетей

Наиболее наглядной, интуитивно понятной и при этом содержательно верной моделью социальных сетевых структур выступают графы, то есть математические модели связей между участниками:

$$G = (V, E),$$

где V – это множество вершин, составляющих граф связей, каждая из которых есть отождествление одного из участников социальной сети $v_i \in V, i \in [1..n], n = |V|$;

E – это множество ребер графа, каждое из которых отображает связь между двумя участниками социальной сети $e_{ij} \in E | g_{ij} = 1$, где g – это матрица сопряженности графа G с размерностью $n \times n, g = \{0, 1\}^{n \times n}$.

Теоретико-графовый подход к анализу социальных сетей позволяет ввести количественные характеристики, показывающие насколько одни вершины графа «важнее» других, относительно того как они расположены в этом графе. Такие характеристики принято именовать метриками центральности. Экстраполируя эти метрики на социальные сети Интернета, можно делать выводы о влиятельности участников этих сетей и их роли в процессах информационного противоборства.

В основе расчета метрик центральности вершин графа лежат такие характеристики как: количество инцидентных вершин, то есть количество связей оцениваемой вершины; количество кратчайших путей, в которых оцениваемая вершина участвует; длины кратчайших путей, соединяющих оцениваемую вершину с прочими вершинами графа.

В таблице 1 представлены известные и нашедшие наиболее широкое распространение в научной и учебной литературе метрики центральности с приведенным оценочным временем работы алгоритма, где n – число участников сети, m – число связей в сети, D – диаметр сети (кратчайший путь наибольшей длины), \bar{d} – среднее количество инцидентных вершин среди всех вершин, входящих в граф связей.

Таблица 1.

Метрики центральности узлов социальных сетей

	Метрика	Содержательный смысл	Скорость алгоритмов пропорциональна
Метрики на основе подсчета инцидентных вершин	Центральность по степени (degree centrality)	Количество инцидентных вершин	n
	Центральность по k-степени (k-path degree centrality)	Количество вершин с длиной пути до них, не превышающей k	$\bar{d}^k \times n$
Метрики на основе кратчайших путей	Центральность по близости (closeness centrality)	Обратно-пропорциональна суммарной длине кратчайших путей от вершины до всех прочих вершин в связном графе	n^3 – наивный алгоритм $D \times m$ – алгоритм приведенный в [0]
	Центральность распада (decay centrality)	Сумма степенных функций всех кратчайших путей	n^3 – наивный алгоритм $D \times m$ – расчет возможен по аналогии с [0]
Метрики посредничества	Центральность по промежуточности (betweenness centrality)	Пропорциональна доле кратчайших путей, в которые включена вершина, для каждой возможной пары других вершин	n^3 – наивный алгоритм $n \times m$ – алгоритм приведенный в [0]
	Центральность по k-промежуточности (k-betweenness centrality)	Пропорциональна доле кратчайших путей, в которые включена вершина, для каждой возможной пары других вершин находящихся от заданной на расстоянии не превышающем k	Не более $n \times m$, сильно зависит от плотности связей в графе
	Центральность по загруженности (stress centrality)	Пропорциональна общему числу кратчайших путей, в которые включена вершина	n^3 – наивный алгоритм $n \times m$ – по аналогии с [0]
Метрики влияния	Центральность по собственному вектору (eigenvector centrality)	Оценивает значимость вершины на основании значимости инцидентных вершин	Алгоритмы имеют полиномиальную сложность
	Центральность Каца-Боначича (Katz-Bonacich centrality)	Сумма собственных значений соседних вершин (пропорциональных их центральности по степени) на расстоянии k с коэффициентами b^k . Учитываются все возможные длины маршрутов	Скорость алгоритмов оценить проблематично в силу неограниченности числа маршрутов внутри графа
	Рейтинг веб-страниц по Google (Google's page rank)	Рейтинг рассчитывается на основе количества ссылок, ведущих на данную страницу с других страниц, но с учетом их собственных рейтингов	Алгоритмы имеют полиномиальную сложность

4. Групповая центральность участников социальных сетей

Итак, метрики центральности вершины в графе могут использоваться в качестве модельных значений важности соответствующих участников социальной сети. В зависимости от специфики рассматриваемой сети и поставленных аналитических задач, могут использоваться самые разнообразные метрики центральности, служащие различными характеристиками вершин и ребер содержащихся в графе. На сегодняшний день учеными и практиками в области анализа социальных сетей предложен широкий спектр разнообразных метрик оценки важности вершин графа, таких как: центральность по степени, центральность по близости, центральность по промежуточности и многие другие, некоторые из которых приведены в таблице в предыдущем разделе вместе с расчетными формулами, каждая из них позволяет сделать некоторые выводы относительно значимости конкретной отдельно взятой вершины в графе по сравнению с другими вершинами в некотором смысле, который в дальнейшем подлежит экспертной интерпретации. В каких-то случаях наиболее важны те вершины, у которых много прямых связей, в других – те, которые связывают между собой другие вершины, в третьих – те, которые находятся максимально близко к условному центру сети, в четвертых – те, которые обладают некоторым комплексом приведенных выше характеристик. Разные метрики подходят для решения разных аналитических задач, которые зависят от природы рассматриваемого графа связей, его структурных особенностей, от того, какие именно социально-экономические, технические или организационные системы, объекты, процессы и / или явления он отображает, моделями каких именно объектов выступают его вершины и ребра, однородны ли эти объекты, какие весовые коэффициенты им присущи, какими прочими, в том числе качественными, характеристиками они обладают. В результате вычислений для каждой вершины графа некоторой метрики центральности, например, из числа тех, что рассмотрены выше, можно строить ранжиры значимости вершин и тем самым определять подмножество, состоящее из k вершин наиболее важных во всем имеющемся множестве.

Но иногда перед исследователями стоят другие аналитические задачи. Например, может потребоваться определить такое подмножество вершин мощности k , которые, вступая в коалицию, являются наиболее значимой коалицией из всех прочих возможных коалиций, образованных подмножеством вершин аналогичной мощности.

Подобную задачу можно рассматривать относительно любой социальной сети, где среди участников возможны процессы взаимовыгодной кооперации для достижения совместных целей. Например, при рекламе новых политических идей, социальных движений, инновационных разработок на рынках товаров или услуг в социальных сетях Интернета, центры управления, стоящие за рекламируемой сущностью и заинтересованные в успехе рекламной (пропагандистской, политической) компании, могут ставить перед аналитическим персоналом задачу выявления и формирования коалиции пользователей сети из k участников социальной сети, которые, будучи замотивированными тем или иным образом инициаторами распространения «полезной» информации, позволят обеспечить наиболее широкий и / или быстрый по времени охват остальных участников сети (целевой аудитории). В такой задаче выявление k самых индивидуально влиятельных пользователей с большой вероятностью не позволит получить наилучшего решения, в силу того, что сферы влияния этих k участников сети могут и часто будут смежными.

Другая задача, самым тесным образом связанная с задачей поиска самой влиятельной коалиции вершин и являющаяся ее обобщением, – это определение значимости каждой вершины графа как члена формируемой коалиции. Решение подобной задачи лежит в плоскости методологии теории графов и теории игр.

Расширение концепции центральности отдельных вершин графа до групповой центральности подмножеств вершин рассматривается в работе М.Г. Эверетта и С.П. Боргатти, где введено понятие групповой центральности (group centrality). Исследователи продемонстрировали расчет метрик групповой

центральности по степени и групповой центральности по близости для двух модельных графов.¹

Метрика групповой центральности по степени (group degree centrality) для подмножества вершин определяется как количество вершин – не членов группы, инцидентных вершинам – членам группы:

$$c^{deg}(S) = |\{u : (v, u) \in E \wedge v \in S \wedge u \notin S\}|, \quad S \subseteq V, \quad (1)$$

где $c^{deg}(S)$ – групповая центральность по степени для подмножества вершин S , а V и E – множества вершин и ребер графа G соответственно.

Из этого следует, что значимость вершины v графа как элемента S будет рассчитываться как разность центральностей S до и после включения в нее вершины v :

$$\varphi_v(S) = c(S) - c(S \setminus \{v\}) \quad (2)$$

Как видно, приведенное выражение носит общий характер, в нем не важно, какие теоретико-графовые свойства вершины или их подмножества использовались для вычисления центральности. Если рассматривать метрику центральности подмножества вершин по степени $c^{deg}(S)$, то значимость каждой вершины для этого подмножества определяется тем, какому количеству новых внешних по отношению к подмножеству вершин она инцидентна. Данная формулировка предполагает возможность присутствия «отравленных» вершин, обладающих отрицательной полезностью по достижению поставленной цели максимизации влияния. Например, на рис.1 вершина, обозначенная как «1», при включении в подмножество S только снижает $c^{deg}(S)$ на единицу, поскольку у S теряется одна внешняя инцидентная вершина – это сама вершина «1». При этом вершина «2» добавит «3» ранее не существовавшие связи, таким образом, увеличив $c^{deg}(S)$ на 2.

¹ Everett M. G. & Borgatti S. P. The centrality of groups and classes // The Journal of Mathematical Sociology. 1999. P. 181–201. URL: <https://doi.org/10.1080/0022250X.1999.9990219> (дата обращения: 25.04.2021).

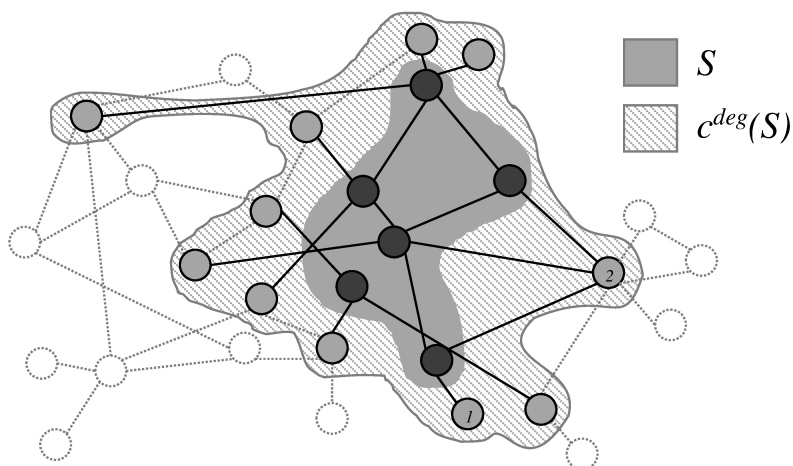


Рис.1. Пример коалиции на графе связей

Таким способом рассчитывается ценность вершины v при включении ее в конкретное подмножество S . Однако, что если поставленная аналитическая задача требует определить потенциальную полезность φ_v вершины v при ее включении в каждое возможное подмножество вершин из множества V ? В этом случае необходимо провести приведенный расчет для $|V|!$ перестановок множества вершин V , каждая из которых (перестановок) представляет собой полную группу $S=V$, при этом порядок местонахождения по счету вершины v в каждой перестановке из $|V|!$ необходимо рассматривать как очередность включения этой вершины в полную группу – все имеющееся множество вершин графа связей.

5. Расчет полезности вершины графа как элемента произвольной группы вершин на основе вектора Шепли

Усредненный прирост полезности, рассчитанный для каждой вершины анализируемого графа при ее включении во все существующие допустимые размещения и перестановки полной коалиции, образует значение вектора Шепли [0] для рассматриваемого графа. Вектор Шепли – это концепция, хорошо известная в теории игр, а именно в разделе коалиционных (кооперативных) игр. Она позволяет справедливо оценить выигрыш каждого участника некоторой коалиции. Формальная нотация значения вектора Шепли для вершины v , имеет следующий вид:

$$\varphi_v = \frac{1}{V!} \sum_{S \subseteq V} |S|! (|V| - |S| - 1)! [c(S) - c(S \setminus \{v\})], \quad (3)$$

где: $\sum_{S \subseteq V} |S|! (|V| - |S| - 1)!$ – это количество существующих перестановок

вершин в полной группе из множества V ;

$|S|!$ – количество перестановок для подмножества вершин, которые уже включены в S до того, как в него включена вершина v ;

$(|V| - |S| - 1)!$ – количество перестановок тех вершин, которые включены в подмножество S после вершины v ;

$[c(S) - c(S \setminus \{v\})]$ – это предельный прирост полезности при включении вершины v в подмножество S , здесь $c(S)$ – это центральность подмножества S , а $c(S \setminus \{v\})$ – центральность S до вхождения в нее вершины v ;

Деление результата на общее число перестановок $|V|!$ позволяет вычислить средний вклад вершины v во все возможные подмножества.

Использованию вектора Шепли для решения аналитических задач, связанных с расчетом значимости вершин в социальных графах, посвящен ряд работ, среди которых следует выделить статьи Т. Михалака и его коллег¹. Далее

¹ Michalak T., Moretti S., Narayanam R. A New Approach to Measure Social Capital Using Game-Theoretic Techniques, Newsletter of the ACM Special Interest Group on E-commerce (ACM SIGecom Exchanges). Vol. 14 № 1. 2015. P. 95-100; Michalak T., Rahwan T., Skibski O., Wooldridge

уделим внимание отдельным возможностям применения вектора Шепли в различных аналитических задачах.

M. Defeating Terrorist Networks with Game Theory // Intelligent Systems. Institute of Electrical and Electronics Engineers. Vol. 30. №. 1. 2015. P. 53-61; Michalak T., Szczepanski P.L., Rahwan T. Efficient Algorithms for Game-Theoretic Betweenness Centrality // Journal of Artificial Intelligence. Vol. 231. 2016. P. 39-63.

6. Расчет групповой центральности по степени на основе вектора Шепли

Безусловно, вычисление для каждой вершины v из V для каждой из $|V|!$ перестановок ее вклада в подмножество предшествующих вершин – это вычислительно сложная задача, весьма трудоемкая для крупномасштабных графов. Также представляется очевидным то, что анализировать все возможные перестановки в случае расчета групповой центральности по степени скорее всего не потребуются и существует более быстрый алгоритм. Для решения поставленной аналитической задачи следует прежде всего ответить на вопрос о том, какова вероятность для вершины v при ее вхождении в подмножество S в случайной перестановке из $|V|!$ принести полезность в это подмножество связью с инцидентной вершиной u ? Обозначим множество вершин-соседей вершины u как $\{z\}$ такое, что каждое ребро $(u, z) \in E$. Тогда v при ее включении в подмножество S добавит связь с u лишь в том случае, если ни сама вершина u , ни одна из вершин $\{z\}$ на момент вхождения v в S в этом подмножестве отсутствуют: $u \notin S \wedge \{z\} \notin S$. Таким образом вероятность для v принести в формируемое подмножество S ребро с вершиной u обратно пропорциональна количеству вершин инцидентных вершине u :

$$p_u = \frac{1}{1 + |\{z : (u, z) \in E\}|}, \quad (4)$$

Вероятность для вершины v добавить формируемому подмножеству любую новую инцидентную вершину и будет являться значением вектора Шепли для вершины v :

$$\varphi_v = \sum_{u \in \{u : (v, u) \in E\} \cup \{v\}} \frac{1}{1 + |\{z : (u, z) \in E\}|} \quad (5)$$

Раскроем содержание формальной нотации следующим образом:

$$\varphi_v = \frac{1}{1 + \text{число соседей } v} + \sum_{u \in \text{соседи } v} \frac{1}{1 + \text{число соседей } u}, \quad (6)$$

Как видно рассмотренный способ расчета значения Шепли для всего множества вершин графа лаконичен и эффективен с точки зрения вычислительной сложности, он потребует количество операций пропорциональное $O=(V+E)$. Одновременно, решение задачи методом Монте-Карло требует $O=(V+E)$ операций на каждой из итераций алгоритма, при том, что метод дает оценочное аппроксимированное значение, и точность оценки растет с ростом количества выполненных итераций.

алгоритм расчета групповой центральности по степени

Input: граф, заданный множеством вершин V и множеством ребер E ;
 Output: расчетные значения групповой центральности по степени C^{gr-deg}

```

for  $v$  in  $V$  do
   $c_v^{gr-deg} \leftarrow \frac{1}{1+|\{u:(v,u) \in E\}|}$ ;
  for  $u$  in  $\{u : (v, u) \in E\}$  do
     $c_v^{gr-deg} \leftarrow c_v^{gr-deg} + \frac{1}{1+|\{z:(z,u) \in E\}|}$ ;
  end
end
end
  
```

Рис.2. Псевдокод алгоритма

Полученные согласно выражениям (5) или (6) и вычисленные по алгоритму (рис.2) значения Шепли имеют интуитивно понятное объяснение. Чем больше инцидентных вершин у данной вершины, тем большее количество слагаемых войдет в расчетную формулу, но величина каждого из этих слагаемых тем меньше, чем больше соседей у соответствующей инцидентной вершины. В результате, наибольшую значимость приобретает не та вершина, у которой просто много связей, а та, у которой соседи обладают меньшим количеством связей, чем сама эта вершина. Power comes from being connected to those who are powerless¹.

В качестве иллюстрации к этому тезису следует рассмотреть далее хорошо известный в научной литературе историко-математический пример с флорентийскими брачными союзами, где рост политического и экономического

¹ Власть порождается связями с теми, кто не властен (англ.)

влияния семьи Медичи объясняется заключением ряда чрезвычайно выгодных браков.

7. Методика и примеры расчета групповой центральности

На представленной иллюстрации (рис.3) вершины графа – правящие олигархические семейства средневекового Флорентийского государства, ребра – это брачные союзы между членами семей.

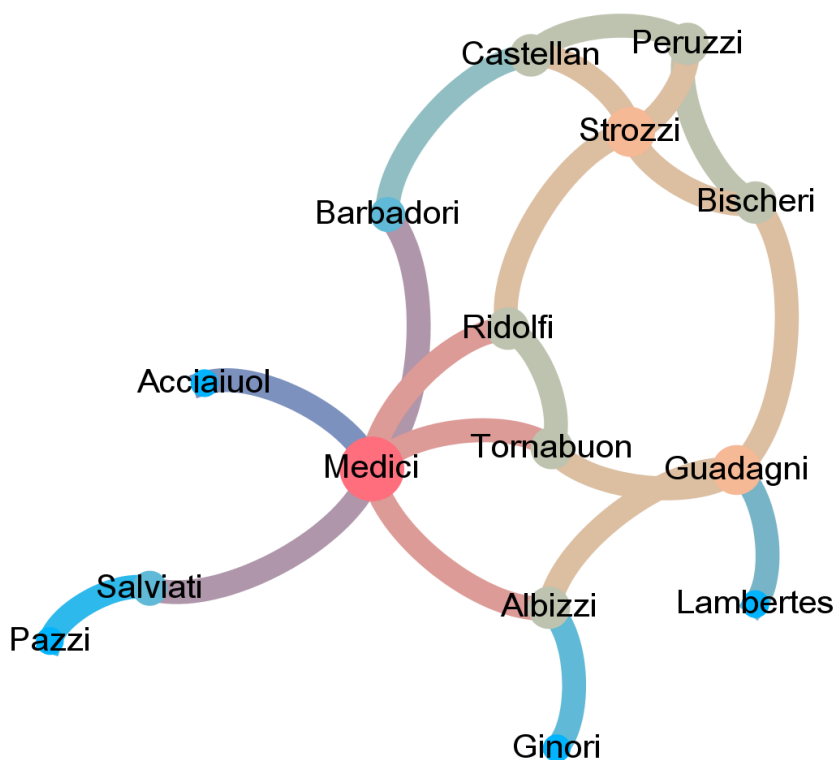


Рис.3. Граф связей флорентийских семей

Мэтью Джексон в своей книге анализирует значения метрик центральности вершин приведенного графа, а именно метрик центральности по степени, а также по близости и по промежуточности.¹ В таблице ниже представлены вычисленные значения названных метрик центральности, а также значения вектора Шепли на основе метрики центральности по степени для каждой из флорентийских семей, рассчитанное методом, описанным в предыдущем разделе.

¹ Jackson M.O. Social and Economic Networks. Princeton University Press. 2008. P. 520.

Значения различных метрик центральности флорентийских семей

Семья	Метрика центральности				Занимаемое место по центральности			
	Степень	Значение Шепли по степени	Промежуточность	Близость	Степень	Значение Шепли по степени	Промежуточность	Близость
Medici	6	2,06	0,52	0,56	1	1	1	1
Guadagni	4	1,45	0,25	0,47	2	2	2	5
Strozzi	4	1,20	0,10	0,44	2	3	7	6
Albizzi	3	1,09	0,21	0,48	4	4	3	3
Castellan	3	1,03	0,05	0,39	4	5	10	9
Saviati	2	0,98	0,14	0,39	10	6	4	9
Peruzzi	3	0,95	0,02	0,37	4	7	11	11
Bischeri	3	0,90	0,10	0,40	4	8	6	8
Ridolfi	3	0,84	0,11	0,50	4	9	5	2
Tornabuon	3	0,84	0,09	0,48	4	9	9	3
Pazzi	1	0,83	0,00	0,29	12	11	12	15
Ginori	1	0,75	0,00	0,33	12	12	12	13
Barbadori	2	0,73	0,09	0,44	10	13	8	6
Lambertes	1	0,70	0,00	0,33	12	14	12	14
Acciaiuol	1	0,64	0,00	0,37	12	15	12	11

Результат показывает, что значения Шепли по степени отличаются от прочих индивидуальных метрик центральности, однако во многом сопряжены со значениями стандартной центральности по степени (парный коэффициент корреляции Пирсона между двумя векторами равен 0,89), при этом вектор Шепли отдает предпочтение тем семьям, у которых имеются уникальные связи с другими семьями, не имеющими других брачных союзов. Значения вектора

Шепли тесно коррелированы со значениями стандартной центральности по промежуточности (парный коэффициент корреляции Пирсона двух векторов составил 0,92), т.к. граф весьма мал, и в наименьшей по значениям стандартной центральности по близости (парный коэффициент корреляции Пирсона двух векторов составил лишь 0,65).

Таким образом, метрика центральности на основе значений вектора Шепли учитывает как общее число брачных уз каждой семьи, так и уникальность этих союзов, влекущую за собой общее увеличение посреднических возможностей в процессах принятия коллективных олигархических решений (центральность по промежуточности).

Использование вектора Шепли для оценки важности участников различных коммуникаций имеет очень широкие возможности. Так значение Шепли может учитывать как одну конкретную из известных стандартных метрик центральности, так и любую сколь угодно сложную их сверхточную комбинацию, в зависимости от аналитических задач, представляющих интерес. Кроме этого, вектор Шепли позволяет учитывать не только теоретико-графовые характеристики вершин, но и качественные характеристики участников социальной сети, которые могут оказывать влияние на достижение коллективных целей.

В одном из примеров, приведенных Мэтью Джексоном в монографии, в качестве характеристики участника социальной сети, влияющей на достижение некоторого кооперативного результата, обозначенного как $\omega(S)$, а соответственно и вклад этого индивидуально взятого участника в данный командный результат, обозначенный как $\omega(v)$, принята центральность по степени (количество вершин, инцидентных данной) участников социальной сети.¹

Введенную функцию полезности для любой формируемой коалиции вершин графа $\omega(S)$, которая складывается из суммы количеств инцидентных (имеется ввиду инцидентность вершинам, уже введенным в коалицию ранее),

¹ Jackson M.O. Social and Economic Networks. Princeton University Press. 2008. P. 520.

неповторяющихся вершин и количества тех вершин, которые вошли в кооперацию участников сети, - будем считать коалиционной полезностью.

Ниже приведены рисунки «4» и «5», иллюстрирующие процесс включения новой вершины в формируемую коалицию S . Из иллюстраций видно, что не только местоположение участника рассматриваемой социальной сети в моделирующем эту сеть графе, но и в не меньшей мере очередность, с которой он включается в каждую отдельно взятую коалицию определяет его вклад в коалиционную полезность. Например, при включении участника u_{10} в коалицию $S = \{\emptyset\}$, состоящую из пустого множества вершин (рис.4), общая полезность такой коалиции до вхождения u_{10} закономерно равна 0 (а), а после его включения уже равна 4 (б), из чего следует, что вклад u_{10} равен $4 - 0 = 4$. Если же до включения u_{10} в рассматриваемую коалицию S вошло какое-то подмножество участников (пусть это будет коалиция $S = \{u_7, u_8\}$ (рис.5)), то коалиционная полезность S , перед вхождением в нее u_{10} , равняется 6 (рис. 5. а) так же, как и после – все те же 6 (рис. 5. б). Следовательно, вклад вершины u_{10} в такую коалицию равняется нулю: $6 - 6 = 0$.

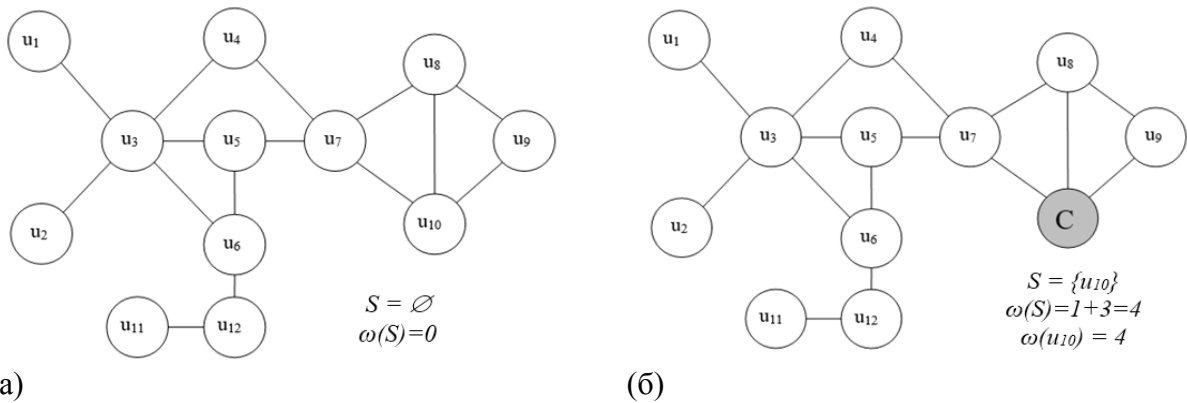
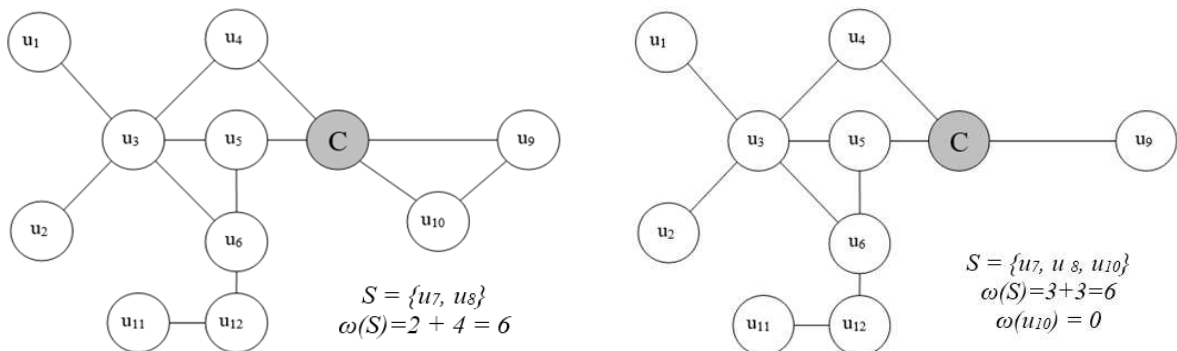


Рис. 4. Добавление вершины u_{10} в коалицию пустого множества вершин



(a)

(б)

Рис. 5. Добавление вершины u_{10} в коалицию $S = \{u_7, u_8\}$

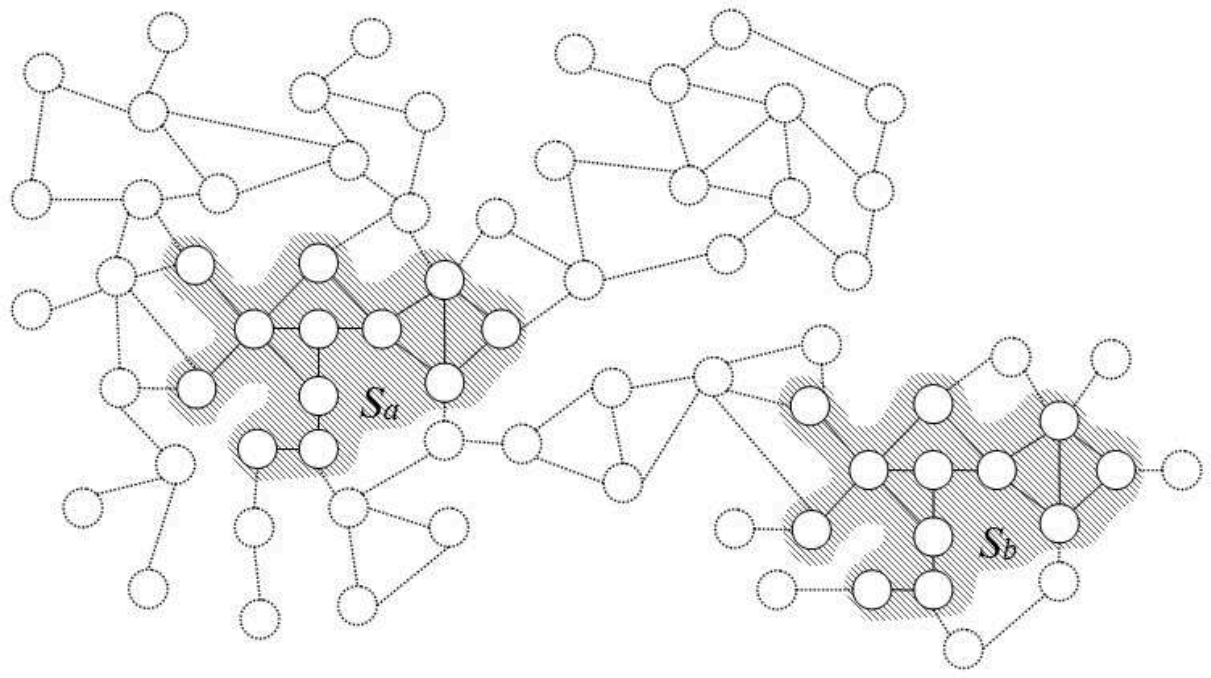
Средний арифметический прирост полезности от включения в коалицию участника u_{10} в двух приведенных случаях будет равен $(4 + 0)/2 = 2$. Но это лишь две возможные перестановки очередности вхождения вершин графа в коалицию. Всего таких перестановок будет 12. Тогда средний арифметический прирост полезности для вершины u_{10} во всех 12-ти перестановках, после проведения всех необходимых вычислений, будет равняться 1,16(6).

Как видно, полный поочередный перебор всех $|V|!$ допустимых перестановок и вычисление значения вектора Шепли для каждой вершины графа займет полиномиальное время, что в реальных вычислительных системах для графов связей современных социальных сетей, скорее всего, недопустимо. С другой стороны, искомое итоговое значение центральности зависит не от очередности включения вершины u_{10} в какую либо конкретную коалицию, а от ее положения внутри графа по отношению к прямым контактам в сети (это u_7, u_8 и u_9) и от количества связей этих вершин внутри сформированной группы $\{u_7, u_8, u_9, u_{10}\}$. Размещение же в исследуемой сети всех остальных, не вошедших или пока не вошедших в коалицию восьми вершин ($u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_{11}, u_{12}$), в связи с включением вершины u_{10} , на прирост полезности не оказывает никакого влияния. Их собственная значимость - просто фон, на котором рассчитывается значимость u_{10} . С учетом сказанного, алгоритм вычисления для вершин графа связей их значений вектора Шепли на основе среднего вклада в коалиционную полезность можно значительно упростить, тем самым существенно ускорив время его работы, в том числе так, как показано в предыдущем разделе (5), (6). Теперь перебор всех $|V|!$ перестановок очередности вершин графа не потребуется.

Выполнение такого алгоритма расчета потребует машинного времени, линейно пропорционального общему количеству вершин и ребер анализируемого графа социальных связей. Полиномиальную сложность вычислений

$O \approx n^2$ алгоритм будет иметь только в том случае, когда средняя по сети центральность по степени c_{deg} близка к N – общему количеству вершин социального графа. Даже для таких случаев можно предложить оптимизированный алгоритм, но, так как социальные сети по своей структуре полносвязные и подобные случаи встречаются редко, то в настоящем исследовании мы этого делать не будем. Подводя итог сказанному, необходимо отметить, что простота реализации алгоритма и очень высокая скорость вычислений – вот основное и неоспоримое преимущество алгоритмов расчета оценки важности участников социальных сетей, проведенного на основе метрики центральности по степени или ее вариаций (k-степень и т.п.).

Одновременно отметим и ключевой недостаток, присущий метрикам центральности участников социальной сети на основе коалиционной степени, он проистекает из свойств базовой метрики – это игнорирование картины структурного устройства исследуемого графа связей. Так, например, две различные на первый взгляд (они действительно состоят из разных подмножеств вершин) коалиции S_a и S_b , приведенные на рис.6, насчитывая равное количество одинаково размещенных по отношению друг к другу вершин и равное количество связей с внешним окружением (fringe, бахрома, англ.), обладают и равной коалиционной центральностью по степени. Хотя, если присмотреться к структуре графа, становится очевидным, что у коалиции S_a заметно больший потенциал посреднической коммуникации с остальными вершинами графа, которые удалены от сформированной коалиции на расстояния с длиной пути более 1.



$$v(S_a) = 12 + 9 = 21$$

$$v(S_b) = 12 + 9 = 21$$

Рис. 6. Социальная сеть с двумя равными коалициями S_a и S_b

8. Введение качественных характеристик вершин

На примере флорентийских брачных союзов, рассмотренном выше, разберем задачу выявления наиболее важных вершин графа социальных связей, но с некоторыми дополнительными условиями, которые не имеют теоретико-графового значения и не связаны с топологией сети. Пусть пять (отобранных случайно) из олигархических семей имеют в своем распоряжении некий ключевой ресурс, важный для формируемой коалиции, без которого она будет несостоятельна: наличие представительства в городском совете, доступ к эксклюзивным рынкам и производствам, дипломатических контактов с другим государством, наличие флотилии и т.п. Введем вектор R и обозначим этот «ресурс» для данных семей как $R=1$, а для остальных как $R=0$. Предположим, что для достижения некоторой кооперативной цели важно будет наличие в формируемой коалиции (подмножестве вершин графа связей) как минимум двух семей, обладающих ресурсом $R=1$. Важным свойством так же, как и ранее останется количество связей формируемой коалиции.

Как изменится в такой ситуации процедура расчета значений вектора Шепли каждой флорентийской семьи? Она будет давать вклад более 0 в формируемую коалицию лишь в случае, если не менее двух из пяти обладающих свойством $R=1$ семьи уже вошли в группу ранее, либо если эта семья сама обладает заданной характеристикой и в коалиции на данный момент имеется не менее одной другой, такой же.

Для определения того, как поменяется значение вектора Шепли для семьи v с $R=0$, рассмотрим $15!$ допустимых перестановок на анализируемом графе социальных связей. Представляется очевидным, что в каждой отдельной перестановке важно будет положение семьи v и пяти семей с $R=1$. Всего эти шесть семей можно разместить в $15!$ перестановках $\binom{15}{6}$ способами, что составляет $\frac{15!}{6!(15-6)!}$ возможных вариантов.

При этом лишь в таких вариантах перестановок, где 2, 3, 4 либо 5 семей со свойством $R=1$ уже находятся внутри коалиции v , семья v будет давать в групповую центральность формируемой коалиции отличный от 0 вклад, пропорциональный количеству уникальных связей. То есть в $4 \times 5!$ случаях $\frac{15!}{6!(15-6)!}$ флорентийская семья v будет находиться в «правильном» положении

в отношении тех семей, которые обладают свойством $R=1$. При этом прочие семьи могут разместиться еще $(15-6)!$ допустимыми способами. Таким образом, всего можно насчитать $\frac{15!}{6!(15-6)!} \times 4 \times 5! \times (15-6)!$ случаев из $15!$, когда флорентийская семья v даст формируемой коалиции прирост полезности.

$$\frac{1}{15!} \times \frac{15!}{6!(15-6)!} \times 4 \times 5! \times (15-6)! = \frac{4 \times 5!}{6!} = \frac{4}{6} = \frac{2}{3} \quad \text{— доля перестановок, где}$$

вклад семьи с $R=0$ больше 0.

Таким образом, значение вектора Шепли для каждой из семей с $R=0$ составит долю $2/3$ от того значения, которое рассчитано нами ранее. Легко можно увидеть, что у семей с $R=1$ значение вектора Шепли составит $5/6$ от исходного, или на $1/5$ станет больше по сравнению с семьями, не имеющими в своем распоряжении ресурса R .

Приведенный выше теоретико-игровой подход к анализу социальных сетей на основе расчета вектора Шепли представляется достаточно гибким и интересным инструментом. Он позволяет использовать широкий спектр количественных (теоретико-графовых) и качественных характеристик исследуемого графа для вычисления их значимости.

9. Методика расчета и пример анализа групповой центральности участников террористического сообщества

Предложим для рассмотрения еще один пример того, как значение вектора Шепли позволяет оценивать полезность участников тех или иных социальных групп. Пример изображает анализ условной террористической сети, которая готовит преступление. Пусть спящая террористическая ячейка состоит из 5 членов, среди которых есть два профессиональных снайпера и один профессиональный подрывник. Сеть законспирирована и не все ее участники имеют прямой контакт друг с другом. Граф связей приведен на рис.7.

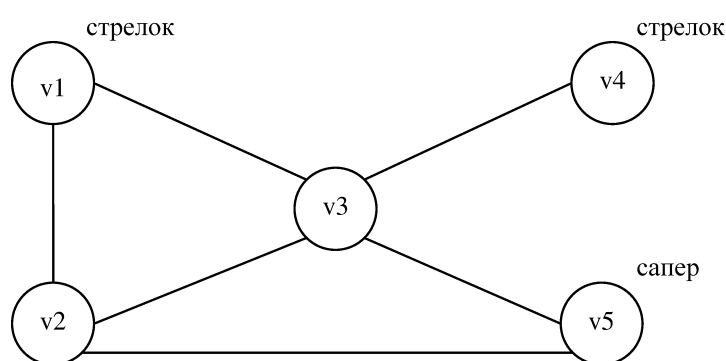


Рис.7. Условная террористическая сеть

Пусть для успешного совершения готовящегося террористического акта в число его исполнителей должны войти как минимум трое участников конспиративной сети. Среди них должно быть обязательно не менее одного снайпера, не менее одного подрывника, группа террористов, заданная подграфом, которая должна быть связана внутри сети, то есть в итоговом подграфе не должно быть изолированных (отдельно стоящих) вершин или изолированных кластеров из двух вершин.

Проанализируем, как меняется полезность террориста $v1$ при включении его в формируемую коалицию во всех допустимых перестановках очередности для заданной сети связи. Очевидно, что он обладает одним полезным свойством, а именно - является снайпером. При этом в обеспечении связности сети он роли не играет, поскольку в состоянии связать лишь террористов $v2$ и $v3$, которые и без того имеют прямой выход друг на друга. Всего допустимых перестановок очередности вхождения в коалицию $5! = 120$.

При вхождении $v1$ в пустую коалицию на первом месте по очередности (ни один другой террорист пока в нее не включен), такая коалиция состоит только из него одного $S = \{v1\}$ и она недостаточна для совершения готовящегося злодеяния, а, следовательно, и ее общая полезность равна 0 , т.е. коалиция несостоятельна. Общее количество перестановок, в которых $v1$ может войти в коалицию на первом месте $4! = 24$, то есть в 24 -х из 120 -ти возможных допустимых коалиций ценность $v1$ для террористической группы равна 0 , а, следовательно, и привносимый $v1$ вклад также нулевой.

При включении террориста $v1$ в коалицию на втором месте, ценность любой такой группы по-прежнему остается равной 0 , так как для осуществления теракта все еще необходим третий участник. Подобных перестановок снова $4! = 24$. Таким образом, уже в 48 из 120 допустимых коалиций, формируемых в конспиративной сети, $v1$ не привносит никакого вклада полезности, отличного от 0 .

Третье место (по очередности вхождения в террористическую группу) уже дает участнику $v1$ возможность осуществить прирост полезности. Примем его за единицу, т.к. группа, наконец, состоятельна для воплощения замысла, но лишь в том случае, если перед $v1$ в эту группу уже вошли террорист $v5$ (это единственный имеющийся в сети подрывник), а также террористы $v2$ или $v3$, каждый из которых способен обеспечить полноту связей формируемого подграфа. Подобных перестановок очередности 8 , они таковы: $\{v2, v5, v1, v3, v4\}$, $\{v2, v5, v1, v4, v3\}$, $\{v5, v2, v1, v3, v4\}$, $\{v5, v2, v1, v4, v3\}$, $\{v3, v5, v1, v2, v4\}$, $\{v3, v5, v1, v4, v2\}$, $\{v5, v3, v1, v2, v4\}$, $\{v5, v3, v1, v4, v2\}$. Коалиции в других 16 перестановках очередности (в которых $v1$ - снова третий по счету), обладают нулевой полезностью.

Четвертая позиция, по очереди включения террориста $v1$ в коалицию, будет давать отличный от нуля прирост общей полезности только в том случае, если до $v1$ в террористическую группу включить подрывника $v5$, при условии, что второй имеющийся снайпер $v4$ еще не вошел. Подобных перестановок немного, а именно $3! = 6$, в оставшихся 18 перестановках, где $v1$ на четвертом

месте, он не приносит сколько-нибудь ощутимого прироста общей полезности, поскольку достаточная коалиция уже состоялась, она связна и все необходимые роли укомплектованы. Пятое место уже никогда не даст $v1$ принести положительный прирост полезности по аналогичным причинам.

Таким образом, расчетное значение вектора Шепли для террориста $v1$ рассчитывается так: $\varphi_{v1} = (8+6)/5! = 14/120 \approx 0,12$. Для сравнения, у единственного подрывника $v5$, без которого замысел никак не осуществить, аналогичное значение будет равно $\varphi_{v5} = 0,5$. У участника сети $v2$ (который не обладает необходимыми коалиции специальными свойствами) имеется единственная возможность принести отличный от 0 вклад в полезность группы, но лишь на третьем месте и только в том случае, если в формируемую команду перед ним уже включены сапер $v5$ и стрелок $v1$. Тогда $v2$ выступает связующим элементом между этими участниками сформированной коалиции. Перестановок, которые бы удовлетворяли такому строгому условию мало, всего 4, и соответственно значение вектора Шепли для $v2$ мало, оно вычисляется так: $\varphi_{v2} = 4/5! = 4/120 \approx 0,03$. Любопытно, что для террориста $v3$, который не обладает необходимыми группе специальными характеристиками, но имеет самое большое количество соседей в социальной сети (что критически важно для обеспечения связной структуры формируемого подграфа) - значение вектора Шепли равняется $\varphi_{v3} = 26/5! \approx 0,22$. То есть его вклад в прирост полезности формируемой группы почти вдвое больше, чем у снайпера $v1$.

На примере видно, что вклад участников социальной сети в прирост полезности формируемой коалиции рассчитывался, исходя из двух типов характеристик:

- качественные характеристики участников сети, необходимые формируемому подмножеству для успешного достижения коллективной цели;
- топологические, теоретико-графовые свойства, отражающие способность участников подграфа к поддержанию связной структуры формируемой группы. В этом случае решающую роль играет значение метрики

центральности по степени участия в сети: чем больше связей он способен поддерживать, тем чаще он окажется полезен.

Подобные подходы весьма перспективны и при анализе информационных влияний в социальных сетях. Так, например, в работах А.Н. Рабчевского и соавторов [0, 0] вводится понятие «потенциального уровня влиятельности», который рассчитывается схожим образом, как свертка одной из метрик центральности (центральность по 2-степени, то есть по количеству вершин на расстоянии не более 2-х ребер от оцениваемой вершины) и зафиксированного уровня активности участника социальной сети. Такие комплексные метрики центральности можно развивать, принимая к учету, например, уровни доверия остальных пользователей к оцениваемому субъекту, его анонимность и / или принадлежность к официальному СМИ, политической партии и т.п.

Кроме того, можно учитывать информационный фон и распределение уже сформировавшихся мнений участников социальной сети относительно распространяемой информации в диапазоне: от полного принятия - до полного непринятия. В зависимости от содержания распространяемой информации (политической, экономической ситуаций и т.п.) эти распределения могут быть разными.

Примеры указаны на рис. 13.

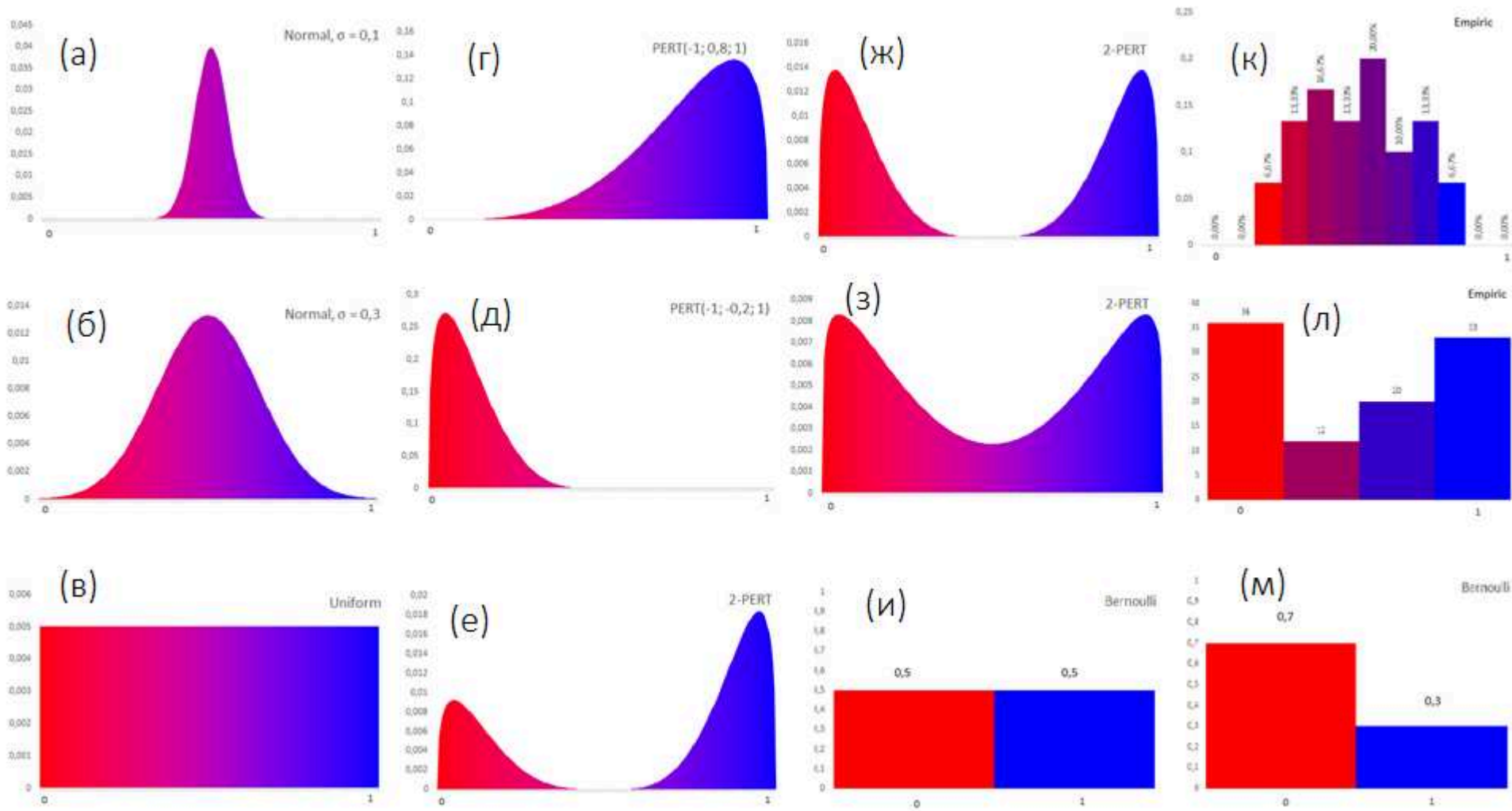


Рис. 13. Примеры распределения мнений участников социальной сети о распространяемой информации, где 0 – полное неприятие, 1 – полное принятие

Буквами «а» и «б» обозначены распределения, в которых большая часть участников информационного процесса относится к распространяемой информации нейтрально, радикальных позиций либо нет вообще («а»), либо количество их приверженцев ничтожно мало;

«в» – обозначение равномерного распределения, т.е. равное количество участников относится к распространяемой информации каждым возможным образом в спектре от 0 до 1;

«г», «д» – распределения со скосом в одну из сторон: либо большая часть участников поддерживает («г») распространяемую информацию, либо не поддерживает («д»);

«е», «ж», «з», «и», «м» – ситуации поляризованного общественного мнения: равнодушных мало («з»), либо нет («е», «ж», «и», «м»), при этом разные полярные мнения могут иметь равное количество сторонников («ж», «з», «и») или одна из сторон может превалировать («е», «м»);

«и», «к», «л», «м» – дискретные распределения, которые могут быть получены в результате опросов общественного мнения, предполагающих ограниченный спектр вариантов отношения к ситуации по тому или иному общественно-политическому вопросу. Распределение («к») – это голосование в различных штатах США за кандидатов от республиканской и демократической партий в 2020 году на выборах президента.

Распределения «и», «м» – по Бернулли – случаи радикально поляризованного общества, равнодушных и даже колеблющихся граждан нет.

Как эти распределения можно использовать при комплексной оценке влияния участника социальной сети? Необходимо выяснить к какой части спектра он сам относится по отношению к дискутируемому в сети общественно-политическому вопросу, а затем умножить на соответствующий коэффициент (полученный из распределения, подходящего к исследуемой ситуации информационного противоборства) его топографическую характеристику (избранную для проведения анализа метрику центральности).

10. Обобщенная форма центральности по степени и по близости на основе центральности распада

Центральности вершин графа по степени и по близости можно привести к единой обобщенной форме. Действительно, центральность по степени показывает сколько вершин находятся от данной на расстоянии 1, если рассчитать для всех них суммарное количество неповторяющихся вершин-соседей, получим количество вершин, находящихся от первой на расстоянии 2. В работе Zhao J. и его соавторов показан такой пример¹. Авторами вводится функция $g: R_{\geq 0} \mapsto R_{\geq 0}$. Эта функция может быть любой, ее форма не так важна. Главное требование заключается в том, что она всюду положительна и монотонно убывает в зависимости от длины кратчайшего пути r , соединяющего две вершины. Введем переменную, обозначающую количество уникальных вершин графа, располагающихся от вершины v на длине кратчайшего пути, не превышающем r , и обозначим ее как $N(v, r)$; в свою очередь, количество уникальных вершин, находящихся от v на расстоянии равном r – как $N_v(r)$. Почему акцентируется внимание на уникальности подсчитываемых вершин? Потому, что до каждой из них может вести несколько равных по протяженности кратчайших путей. Значение обобщенной центральности вычисляется согласно следующей формальной нотации:

$$c_v = \sum_r g(r) N_v(r) = \sum_r g(r) [N(v, r) - N(v, r-1)] \quad (10)$$

При $r=1$ результат расчета будет тождественен значению центральности по степени в тех же случаях, когда $r \in [2:d]$, где d – наибольший кратчайший путь (диаметр) исследуемого графа; обобщенная

¹ Zhao J., John C.S. Lui, Towsley D. Measuring and Maximizing Group Closeness Centrality over Disk-Resident Graphs // Proceedings of the 23rd International Conference on World Wide Web. Republic and Canton of Geneva, Switzerland. 2014. P. 689–694.

центральность будет принимать различные значения в зависимости от введенной функции $g(r)$ (степенная, логарифм, линейная и т.п.).

Рассмотрим такой вариант, когда $g(r)$ – это степенная функция вида δ^r , при условии, что $\delta \in (0:1)$, g удовлетворяет условию монотонного убывания и положительности на всем отрезке от 0 до d . Этот вид функции рассматривался в работе М. Джексона и А. Волински в качестве одной из метрик центральности, опирающейся на длины кратчайших путей, и ранее обозначен в таблице 1 как центральность распада (decay centrality).¹

$$c_v^{dec} = \sum_{u \neq v} \delta^{l(v,u)}, \quad (11)$$

где $l(v,u)$ – длина кратчайшего пути между вершинами v и u .

Степенная форма функции $g(r)$ не просто позволяет провести обобщение между центральностью по степени и центральностью по близости. Потенциально она полезна для моделирования важности участников социальных сетей как инициаторов распространения информационных сообщений. Коэффициент распада δ можно рассматривать как среднюю вероятность дальнейшего распространения информационного сообщения, который может зависеть от степени резонанса распространяемой информации, от активности пользователей и текущего информационного фона. При $\delta \rightarrow 0$ значимость вершин, находящихся в непосредственном соседстве с вершиной v (инцидентных ей), будет несопоставимо больше, чем значимость вершин, находящихся от вершины v на длине пути 2 и более. То есть расчетные значения c_v^{dec} будут в значительной мере коррелировать с соответствующими значениями вектора центральности по степени c_v^d , причем тем сильнее, чем ближе к 0 значение коэффициента δ (коэффициент распада). Такая модель может соответствовать случаю, когда распространяемое сообщение обладает небольшим резонансом (случаи

¹Jackson M.O., Wolinsky A. A Strategic Model of Social and Economic Networks // Journal of Economic Theory. 1996. Vol. 71. № 1. P. 44–74.

распределений (а) и (б) на рис. 13) и / или активность пользователей сети невелика. Одновременно с этим, при больших значениях (примерно в интервале $0,7 - 0,9$) расчетные значения метрики центральности c_v^{dec} будут давать результат, похожий на соответствующие значения метрики центральности по близости c_v^{cl} , особенно для таких графов, где невелико среднее расстояние между всеми парами вершин. В этом случае значимость соседей v - с увеличением расстояния до них - будет убывать по степенному закону, но не так существенно, как при маленьком δ (рис.13).

Подобная модель значимости вершин графа потенциально адекватна для случаев распространения информационных влияний, поскольку существуют экспериментальные подтверждения того, что в социальных коммуникациях (почтовые отправления на бумаге или онлайн, в программах-мессенджерах, в сетях мобильной связи, реальные контакты с близкими, друзьями и коллегами) средний кратчайший путь между всеми возможными парами участников - небольшой. Этот феномен известен как Теория маленького мира (Small world), а также как теория шести (по другим источникам - семи) рукопожатий. Имеется в виду, что любой человек на планете Земля, если рассматривать его, как вершину в социальном графе связан с Вами кратчайшим путем из рукопожатий длиной не более 6-7. Гипотеза, несомненно, нуждается в уточнении, поскольку от ее выдвижения прошло значительное время и население Земли увеличилось. В основополагающей работе на эту тему С. Милгрэм приводит результаты эксперимента, который он провел в США. Эксперимент показал, что обычные бумажные письма с указанием на конверте имени и штата проживания реального адресата, отправленные случайному человеку с объяснением сути эксперимента и с просьбой переслать письма тому, кто может знать этого человека, «находили» своего реального адресата после совершенных пересылок, в количестве от 2 до 10; среднее арифметическое значение кратчайшего пути равнялось 5 (для 25% писем из общего количества отправленных, которые нашли своих адресатов).

Возьмем одну из первых и одну из крупнейших социальных сетей Интернета, существующую в онлайн сервисе Facebook компании Meta. Принято считать, что на 2012-2013 годы пришелся пик пользовательской активности в этой сети. На тот момент кратчайший путь между каждой возможной парой участников социально-сетевому сервису Facebook составлял 4,75 ребер. Диаметр Facebook - между двумя наиболее отдаленными между собой вершинами - составлял 10 ребер. Этот показатель буквально совпадает с показателем, полученным в ходе эксперимента С. Милгрэма, проведенного еще в далеком 1967 г. Эти показатели пригодятся в дальнейшем для верификации полученных метрик центральности для искусственных сетей с подобными характеристиками, запомним их.

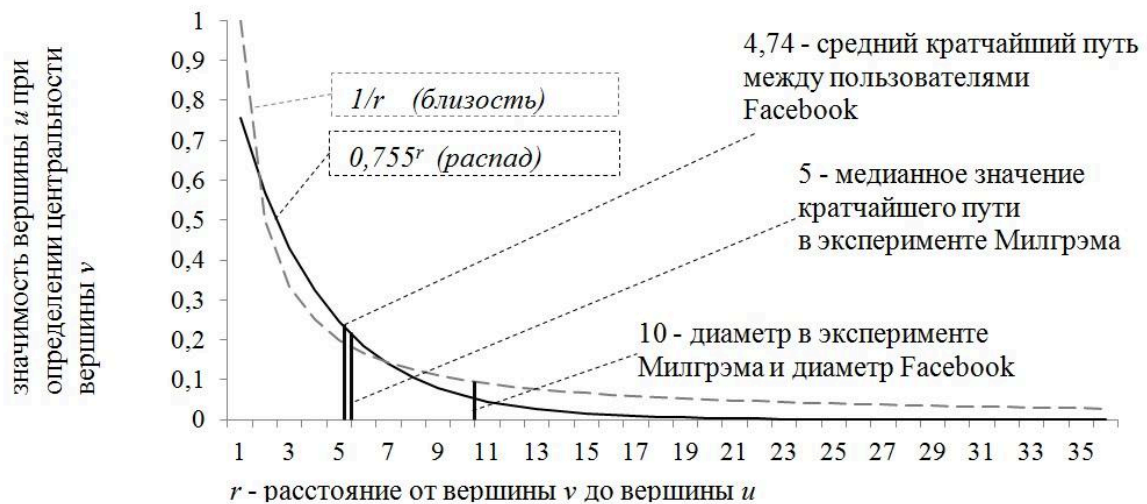


Рис.14. Значимость вершины u , удаленной от вершины v на расстояние r с расчетом центральности по близости и центральности распада

Как показано на рис.14, на участке $r \in [1:10]$ кривые, характеризующие значимость участников, удаленных от v на расстояние r , при расчете центральности по близости и центральности распада, ведут себя практически неразличимо. Однако именно центральность распада выбрана здесь в качестве основной, поскольку позволяет при манипулировании коэффициентом δ смоделировать распространение информации различной степени резонансности. Итак, предложим обобщенную форму центральности для

графов с небольшим средним кратчайшим путем на основе центральности распада Джексона-Волински, совместив тем самым результаты.¹

$$c_v^{dec} = \sum_r \delta^r N_v(r) = \sum_r \delta^r [N(v,r) - N(v,r-1)] \quad (12)$$

Полученные значения центральности вершин можно привести к единой размерности для любых графов, пронумеровав их по $\delta(V-1)$. Это предельно возможное значение данной метрики (тот редкий в природе случай, когда вершина v находится в непосредственном соседстве со всеми остальными $V-1$ вершинами):

$$c_v^{dec} = \sum_r \delta^r [N(v,r) - N(v,r-1)] / \delta(V-1) \quad (13)$$

Предложенная форма центральности достаточно универсальна, как отмечено выше. Ее можно подстраивать под конкретную ситуацию информационного противоборства, однако, она не лишена существенного недостатка. Основная проблема в применении подобной метрики связана с большой временной и пространственной сложностью ее расчета при использовании алгоритма BFS или алгоритма Дейкстры. В оперативной памяти вычислительного устройства придется хранить информацию обо всем анализируемом графе связей и обо всех уже обойденных кратчайших путях (пространственная избыточность). Кроме того, алгоритм потребует огромных временных издержек.

Решение задачи поиска всех кратчайших путей к единственной вершине графа алгоритмом поиска в ширину (breadth first search (BFS) algorithm) в случае, когда придется обойти все маршруты, повлечет вычислительную сложность, пропорциональную $O = (VE+V^2)$ операций, поскольку поиск

¹ Jackson M.O., Wolinsky A. A Strategic Model of Social and Economic Networks // Journal of Economic Theory. 1996. Vol. 71. № 1. P. 44–74; Zhao J., John C.S. Lui, Towsley D. Measuring and Maximizing Group Closeness Centrality over Disk-Resident Graphs // Proceedings of the 23rd International Conference on World Wide Web. Republic and Canton of Geneva, Switzerland. 2014. P. 689–694.

кратчайшего пути между парой вершин в наихудшем случае занимает $O = (E+V)$, где E – это общее количество ребер в графе связей. Алгоритм Дейкстры позволяет решить обозначенную задачу за $O = (E+V \times \log_2 V)$, что несомненно быстрее. Но для расчета метрики центральности для всего графа сложность алгоритмов BFS и Дейкстры возрастает еще в V раз до $O = V(ME+V^2)$ и $O = V(E+V \times \log_2 V)$, соответственно. Для больших графов это неприемлемо.

Вместе с тем эффективный метод, позволяющий вычислить приблизительное значение $N(v,r)$ на основе аппроксимации, существует и будет рассмотрен в следующем разделе.

11. Метод вычисления центральности распада на основе алгоритма Флажолле-Мартена

Алгоритм французских ученых Филиппа Флажолле и Найджела Мартена первоначально предложен авторами-разработчиками для расчета оценки количества неповторяющихся строк в крупномасштабных таблицах баз данных¹. В ряде работ, например, у Zhao J. показано, что он весьма легко и успешно адаптируется для аппроксимированного подсчета количества вершин в графе, которые удалены от вершины v на длину кратчайшего пути, не превышающую r , то есть для решения именно той задачи, которая рассмотрена в предыдущем разделе.² Вычислительная сложность такого алгоритма не велика и составляет лишь $O = (dE)$ операций, что гораздо быстрее, чем, например, $O = V(E+V \times \log_2 V)$ операций, за которые с поставленной задачей справляется алгоритм Дейкстры, поскольку общее количество ребер графа в наихудшем случае равняется V^2 (полносвязный граф). Но с другой стороны, в

¹ Flajolet P., Martin G.N. Probabilistic counting algorithms for data base applications // Journal of Computer and System Sciences. 1985. Vol. 31. № 2. P. 182–209

² Zhao J., John C.S. Lui, Towsley D. Measuring and Maximizing Group Closeness Centrality over Disk-Resident Graphs // Proceedings of the 23rd International Conference on World Wide Web. Republic and Canton of Geneva, Switzerland. 2014. P. 689–694.

таких графах маленькое значение диаметра, что напротив, снижает вычислительную сложность.

При инициализации алгоритма Флажолле-Мартена каждой отдельной вершине графа присваивается код $M(v,0)$, формируемый таким образом: с вероятностью $1/2$ в нулевой бит кодовой последовательности записывается значение 1, с вероятностью $1/4$ – единичное значение записывается в первый бит, $1/8$ – во второй, и т.д. Таким образом, в каждый i -й бит кода с вероятностью $p=2^{-(i+1)}$ записывается 1, и с вероятностью $q=1-p$ – записывается 0.

Длина кодовой строки у всех вершин одинаковая, для корректной отработки алгоритма она должна составлять не менее $\log_2 N$ бит. Это позволяет обнаруживать предельно возможное количество вершин на одинаковом удалении от v , так как бинарная строка длины $\log_2 N$ позволяет закодировать ровно $N-1$ десятичных чисел.

На каждой итерации r выполнения алгоритма кодовая строка каждой вершины $M(v,r)$ трансформируется путем логического сложения собственного значения на предыдущей итерации и значений кодовых строк вершин - непосредственных соседей, зафиксированных также на предыдущей итерации.

Последующие расчеты основываются на следующем положении: для того, чтобы получить в кодовой комбинации $M(v,r)$ определенное количество b единичных разрядов, идущих подряд перед первым разрядом с нулевым значением, потребуется количество итераций алгоритма, пропорциональное 2^b . Это в свою очередь позволяет сделать оценку количества вершин графа, которые находятся на расстоянии, не превышающем r от анализируемой вершины v .

То есть, для вершины v определяется значение b – ранг первого разряда в $M(v,0)$, в который записано значение 0. Затем определяется оценочное количество вершин, находящихся от v на расстоянии, не превышающем r , где

r – номер текущей итерации алгоритма, пропорционально 2^b и рассчитывается

следующим образом: $\hat{N}_v(r, v) = \frac{2^b}{0,77359}$, (14)

где 0,77359 – коэффициент поправки, эмпирически установленный Флажоле и Мартеном.

Псевдокод этого алгоритма, адаптированный для вычисления центральности распада, приведен на рисунке ниже.

Algorithm 1: алгоритм Флажолле-Мартена для расчета центральности вершин графа

Input: граф из N вершин $V\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$
 матрица сопряженности $g\{0,1\}^{N \times N}$
 коэффициент распада $\delta \leftarrow const(0 : 1)$
 Output: расчетные значения центральности распада $C^{dec}\{c_1^{dec}, c_2^{dec}, \dots, c_n^{dec}\}$

```

for  $v$  in  $V$  do
  //обнуление центральности вершины  $v$ 
   $c_v^{dec} \leftarrow 0$ ;
   $i \leftarrow 0$ ;
  // инициализация кодовой строки
  while  $i < \log_2 N$  do
     $M_{prev}(v)[i] \leftarrow 0$ ;
     $M_{prev}(v)[i] \leftarrow 1$  с вероятностью  $p=1/2^{i+1}$ 
     $i \leftarrow i + 1$ 
  end
   $b \leftarrow$  номер первого нулевого разряда в  $M_{prev}(v)$ ;
  // условное число соседей вершины на 0-й
  итерации
   $N_v(r) \leftarrow 2^b/0,77359$ ;
end
//флаг достижения максимального числа итераций
 $flag \leftarrow 0$ ;
 $r \leftarrow 0$ ;
Итерация алгоритма:
while  $flag = 0$  do
  // счетчик расстояния от вершины  $v$ 
   $r \leftarrow r + 1$ ;
  for  $v$  in  $V$  do
    // логическое ИЛИ кодовых строк вершины
     $v$  и ее соседей  $\{u|g(v,u)=1\}$ 
     $M_{cur}(v) \leftarrow M_{prev}(v) \oplus \{M_{prev}(u)|g(v,u) = 1\}$ ;
    // проверка на достижение максимального
    числа итераций:
    if  $M_{cur}(v) = M_{prev}(v)$  then
      |  $flag \leftarrow 1$ ;
    else
      |  $flag \leftarrow 0$ ;
    end
     $b \leftarrow$  номер первого нулевого разряда в
     $M_{cur}(v)$ 
    //расчетное число соседей вершины на
    расстоянии  $r$ 
     $N_v(r) \leftarrow 2^b/0,77359 - N_v(r)$ ;
    //значение центральности вершины  $v$  на
    текущей итерации
     $c_v^{dec} \leftarrow c_v^{dec} + N_v(r) * \delta^r$ ;
  end
  for  $v$  in  $V$  do
    |  $M_{prev}(v) \leftarrow M_{cur}(v)$ 
  end
end
end

```

Рис.14. Адаптированный алгоритм Флажолле-Мартена для расчета центральности распада вершин графа.

Предложенная форма центральности распада и сам алгоритм, рассмотренный в этом разделе, чрезвычайно напоминают то, каким образом информационные сообщения распространяются в социальных сетях. То есть, данная метрика позволяет оценивать потенциальную полезность участников социальных сетей как инициаторов распространения информационных влияний в ходе информационного противоборства. Она отражает особенность социальных сетей, заключающуюся в опосредованном информационном воздействии одного участника на прочих, которые не состоят с ним в друзьях, подписчиках (фолловерах), не обменивались с ним комментариями и не ставили лайки и т.п., в зависимости от разрешенных формальных действий, принятых в конкретной социальной сети. Интенсивность распространяемого влияния с возрастанием длины кратчайшего пути между пользователями сети падает по степенному закону, который рассмотренная форма центральности отражает.

12. Вычислительный эксперимент

Вычислительный эксперимент по расчету центральности распада на основе алгоритма Флажолле-Мартена проводился на случайных $G(N,p)$ -графах, состоящих из N вершин, между каждой допустимой парой вершин сформировано ребро с вероятностью p . Модель такого графа впервые предложена в работе Эрдаша и Реньи [0]. Для расчета значений центральности, из случайного графа, состоящего из $N = 500$ вершин, извлекался максимальный связный подграф, количество его вершин обозначено как N_c , коэффициент кластеризации подграфа – k_{clust} , длина среднего кратчайшего пути – \bar{l} и диаметр – d .

Для каждой вершины в полученных подграфах были рассчитаны значения центральности по близости c_v^{cl} и центральности распада c_v^{dec} . Коэффициент распада был принят за $\delta = 0,8$. Расчеты проводились на основе приведенного выше адаптированного алгоритма Флажолле-Мартена. Результаты выявили наличие сильной коррелированности векторов c_v^{dec} и c_v^{cl} (рис.15). Самая сильная коррелированность наблюдается в графах со средней длиной кратчайшего пути в интервале от 4 до 6 ребер и диаметром примерно 10 ребер, т.е. именно в тех графах, которые по своим параметрам похожи на социальные сети в реальном мире и в Интернете.

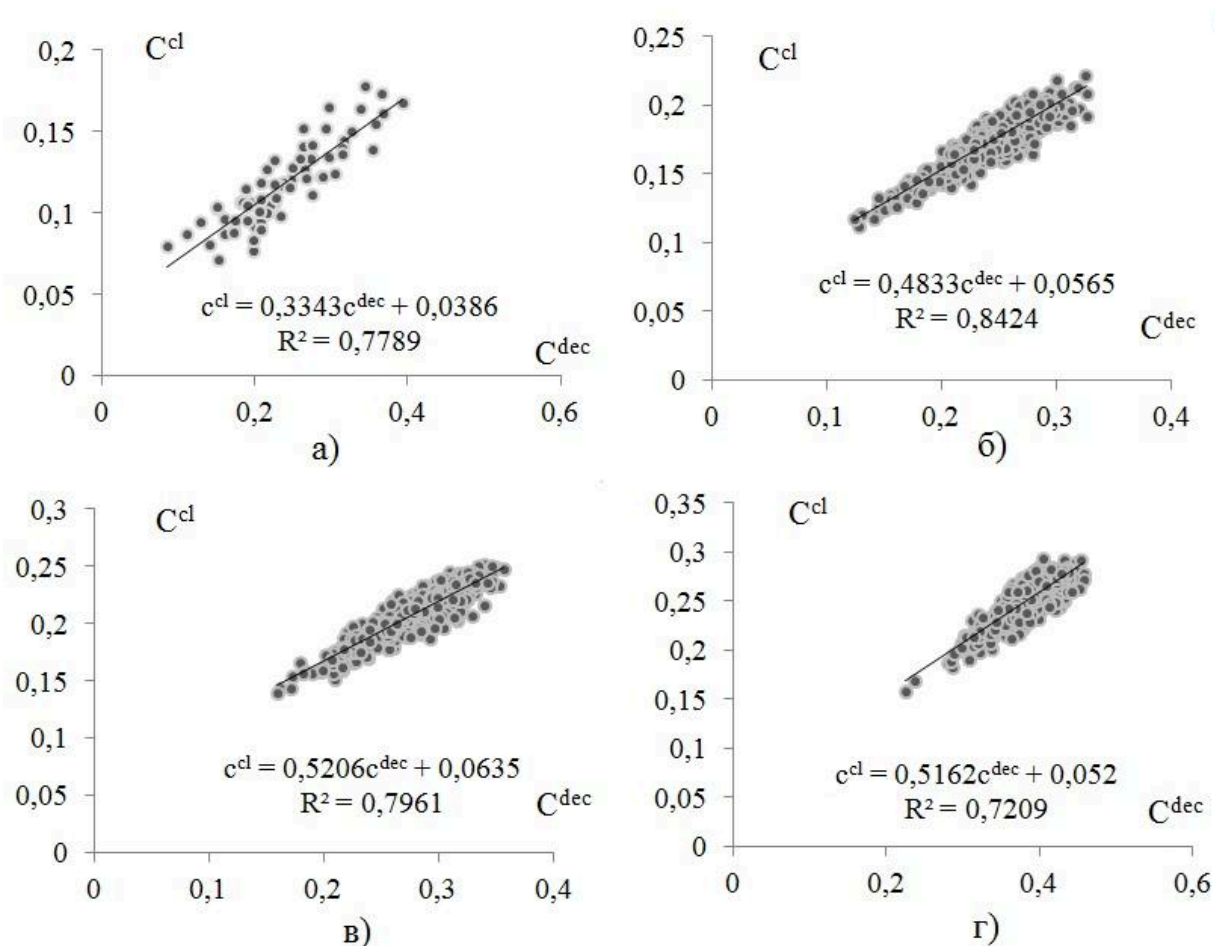


Рис.15. Диаграммы рассеяния центральности по близости (по оси y) и центральности распада (по оси x), с коэффициентом распада $\delta = 0,8$ для $G(n,p)$ -графов

- а) $N = 500$, $p = 0,002$, $N_c = 73$, $k_{clust} = 0$, $\lambda = 8.89$, $d = 22$;
- б) $N = 500$, $p = 0,005$, $N_c = 464$, $k_{clust} = 0,002$, $\lambda = 5.96$, $d = 13$;
- в) $N = 500$, $p = 0,0075$, $N_c = 485$, $k_{clust} = 0,003$, $\lambda = 4.87$, $d = 10$;
- г) $N = 500$, $p = 0,01$, $N_c = 498$, $k_{clust} = 0,006$, $\lambda = 4.09$, $d = 9$.

Аналогичным образом был проведен вычислительный эксперимент для социального графа, основанного на реальных данных, полученных из социальной сети Facebook. Эти данные получены авторами работы. В их основе лежат 10 пользовательских графов Facebook (ego network), каждый из которых состоит из друзей одного конкретного пользователя и связей между ними. Затем все 10 графов объединены на основе содержащихся в них общих друзей и связей между ними (рис. 16).

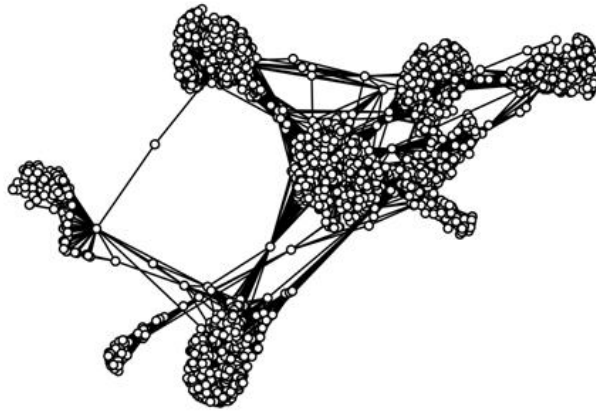


Рис.16. Объединенный граф, состоящий из 10 пользовательских подграфов социальной сети Facebook

Число вершин итогового графа $N = 4039$, граф связный, т.е. между каждой парой вершин имеется путь, число ребер графа насчитывает $E = 88234$. Этот реальный социальный граф отличается от рассмотренных выше случайных $G(n,p)$ -графов высоким коэффициентом кластеризации, которая в предыдущих примерах практически отсутствовала. Диаграмма разброса c_v^{dec} и c_v^{cl} изображена на рисунке 17.

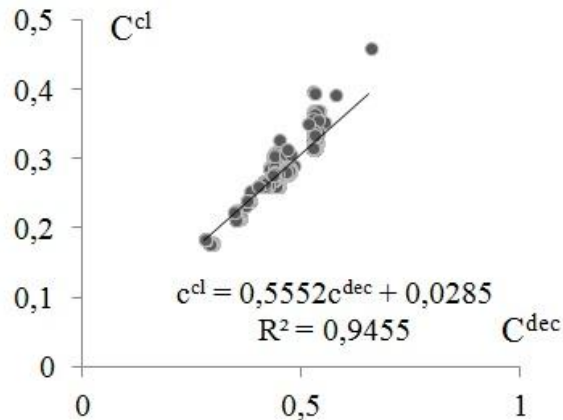


Рис.17. Диаграмма разброса центральности по близости c_v^{cl} (по оси y) и центральности распада c_v^{dec} (по оси x)

Коэффициент распада $\delta = 0,8$ для графа Facebook с параметрами: $N = 4039$, $p = 0,015$, $N_c = 4039$, $k_{clust} = 0.606$, $\bar{l} = 3.69$, $d = 8$.

Результаты расчета, в том числе на реальных данных сети Facebook, показывают высокую взаимозависимость между c_v^{dec} и c_v^{cl} , что позволяет сделать заключение: две этих метрики центральности отражают одну и ту же

характеристику вершин социального графа, связанную с длиной кратчайших путей. При этом центральность распада – это более гибкий инструмент, нежели центральность по близости. Она позволяет при анализе графа, манипулируя значением коэффициента распада δ , регулировать значимость вершин, находящихся на разном удалении от вершины v , тем самым объединяя центральность по степени и центральность по близости в разных пропорциях.

Предложенный метод расчета центральности распада в обобщенной форме на основе алгоритма Флажолле-Мартена позволяет добиться существенного выигрыша в скорости вычислений. По сравнению с алгоритмом Дейкстры, преимущество можно оценить как $(NE + N^2 \times \log_2 N) / dE$. В наихудшем случае (в больших графах с высокой плотностью связей, то есть $E \rightarrow N^2$), преимущество будет стремиться к N . В рассмотренном примере для Facebook выигрыш в скорости вычислений составил примерно 782 раза.

13. Центры управления в ситуациях информационного противоборства, их целеполагание и подходы к достижению целей

Механизмы расчетов чрезвычайно удобны для опосредованного распространения информационного влияния со стороны заинтересованных субъектов: физических лиц, объединений и организаций, которые будут Центрами управления информационным влиянием.

С точки зрения Центров, информационное противоборство заключается в манипулировании мнениями участников сети Facebook, путем оказания на них информационного и мотивирующего воздействий, а также в оказании структурного воздействия на саму социальную сеть, существующую в виде интернет-сервиса.

Такие виды управленческого воздействия выделены на основе классификации управления, принятой в теории организационных систем [0].

Информационное и мотивирующее воздействия осуществляются Центрами управления в отношении отдельных пользователей социальной сети, а также виртуальных сообществ пользователей. Далее опосредованное информационное воздействие осуществляется со стороны предвзятых или замотивированных к трансляции чужой точки зрения.

Что же касается структурных воздействий на социальную сеть, то их объектом могут являться связи, существующие между пользователями сети, а также сами пользователи. Суть структурных воздействий заключается в перманентном, временном или периодическом удалении из сети названных элементов.

Решения, принимаемые центрами в рамках информационного противоборства представляют собой кортежи, состоящие из: типа воздействия; подмножества вершин и ребер социального графа, на которые оказываются воздействия; ресурсов, затрачиваемых на воздействия.

С учетом такого подхода к пониманию информационного противоборства, с целью последующего построения его моделей, а также

принятия решений, можно выделить следующие классификационные основания для ситуаций информационного противоборства:

- цели информационного противоборства, преследуемые Центрами;
- единовременность или поочередность действий со стороны Центров управления.

Среди целей информационного противоборства, которые может преследовать Центр, в первую очередь, можно выделить цель максимизации количества участников сети, принявших точку зрения Центра. Данная цель достигается Центром путем максимизации собственного информационного влияния.

Вторая цель, самостоятельная, но не противоречащая первой обозначенной выше, - это минимизация количества участников сети, принявших противоположную точку зрения, ту, которой Центр противостоит. Такая цель достигается путем минимизации информационного влияния противоборствующего Центра.

Поскольку обе заявленные цели, на первый взгляд, непротиворечивы или, по крайней мере, могут взаимно дополнять друг друга, то комплексная цель, преследуемая Центром, может быть задана в качестве компромисса этих двух целей. Такой компромисс может быть задан системой неравенств или выпуклостью.

На рисунке представлена двухуровневая классификация ситуаций информационного противоборства. Основания классификации: 1) время принятия решений – одновременность / последовательность принятия решений Центрами); 2) приоритетные цели Центров – минимизация влияния противника либо максимизация собственного влияния.

На нижней части схемы (рис. 1) представлены некоторые математические концепции, которые потенциально подходят для поддержки принятия решений в ситуациях информационных противоборств в социальных сетях.

Так, например, концепция теоретико-игрового равновесия (равновесие по Д. Нэшу) описывает рациональный выбор Центров управления по инициализации информационных влияний. Причем, если в ситуации одновременного принятия решений Центрами может иметь место поиск решения в смешанных стратегиях, то в ситуации, когда центры принимают решение последовательно (первый Центр принимает решение по инициализации информационного влияния, отбирая участников сети для этой цели, когда других влияний еще нет, а второй Центр реагирует на решение, принятое первым) можно говорить о поиске равновесия Д. Нэша в чистых стратегиях, в данном случае - секвенциального равновесия.

«Упаковка ранца» в качестве концептуальной постановки задачи годится для любых ситуаций, когда требуется из имеющегося множества элементов отобрать некоторое подмножество, соблюдая при этом имеющиеся ресурсные ограничения и достигнув максимума суммарной полезности отобранного подмножества. В случае, если отбор в качестве инициатора информационного влияния того или иного участника социальной сети требует от Центра определенных ресурсных затрат, то решение задачи информационного противоборства будет лежать в том же поле решений, что и решение классической задачи об «упаковке ранца».



Рис. 18. Классификация ситуаций информационного противоборства и сопоставление известных концепций и моделей, потенциально полезных для принятия решений

Задача о размещении подразумевает большой класс задач по поиску оптимальных способов размещения в пространстве некоторых источников условного ресурса, так, чтобы обеспечить максимальную доступность этого ресурса его потребителям. Поскольку социальная сеть, представленная графом связей, является сложноорганизованным пространством, то в контексте ситуации информационного противоборства такая задача может решаться со множеством ее участников.

14. Максимизация конкурентного влияния в социальных сетях на основе игры Вороного

Как было продемонстрировано выше, социальные сети произвольной природы и структуры могут быть достаточно легко моделируемы при помощи математических теоретико-графовых моделей, вершины которых соотносятся с социальными объектами (не обязательно индивидуальными личностями), составляющими сеть, а ребра – с их взаимоотношениями (дружба, интимные отношения, совместная работа, переписка, финансовые отношения, контакты в сетях коммуникации и т.п.). Не секрет, что при принятии решений по различным вопросам людям свойственно прислушиваться к своему окружению. Например, при принятии решения о том, стать ли адептом какой-либо инновации (новая идея, новый товар или технология) или отвергнуть ее, человек, как правило, подвергается прямому или опосредованному, косвенному влиянию со стороны других участников социальной сети.

Процесс распространения информации в сети может быть искусственно инициирован. Сегодня мы ежедневно становимся свидетелями инспирированных информационных кампаний. Существует множество ситуаций, когда с целью обеспечить широкое и / или быстрое распространение инновации по сети, посредством так называемого сарафанного радио, субъекты, стоящие за продвигаемой информационной повесткой, формируют коалицию лидеров общественного мнения, чтобы затем мотивировать их и использовать в качестве источников распространения (инициаторов) информационного влияния и обеспечить дальнейшую эскалацию этого информационного влияния по социальной сети.

Смоделировать задачу максимизации влияния в социальной сети можно следующим образом: задать социальную сеть в виде графа и некоторую модель распространения влияния, тогда центру управления требуется определить к вершин графа таким образом, чтобы по результатам процесса распространения влияния ожидаемое количество подверженных этому влиянию участников сети было бы максимально возможным.

В настоящей работе рассматривается случай, когда в сети распространяются конкурирующие влияния. Действительно, если есть некая информационная повестка, выгодная некому Центру управления, легко предположить, что существуют конкурирующие Центры, которым выгодна повестка противоположного содержания. Можно привести массу примеров такого положения вещей из реального мира, когда новая модель автомобиля фирмы «А» конкурирует с новыми моделями фирм «Б», «В» и т.д. Призыв к участию в некотором движении конкурирует с предостережением от вступления в него, антигосударственная пропаганда конкурирует с государственной контрпропагандой (или наоборот) и т.п.

С точки зрения математики подобные задачи могут быть формализованы, как задачи оптимального размещения в пространстве. Для поиска решения в подобных задачах ключевую роль играет то, в каком именно пространстве распространяется влияние, и, соответственно, должны быть размещены источники этого влияния. Начнем с рассмотрения одномерного линейного пространства, для которого такие решения найдены, что будет показано в следующем разделе. В целом же, решение игры конкурентного распространения влияний в линейных пространствах будет структурно соответствовать диаграмме Вороного, впервые рассмотренной в работе выдающегося российского математика Г.Ф. Вороного.¹ Его работа, вошедшая в аналоги научной и учебной литературы, нашла массу применений не только в науке, но и технике.² Ознакомиться с процессом формирования диаграммы

¹ *Voronoi G.* Nouvelles applications des paramètres continus à la théorie des formes quadratiques // *J Reine Angew Math.* № 134. 1908. P. 198–287.

² *Aurenhammer F.* Voronoi Diagrams – A Survey of a Fundamental Geometric Data Structure // *ACM Computing Surveys.* 1991. Vol. 23. № 3. P. 345–405; *Okabe A., Boots B., Sugihara K.* Spatial Tessellations – Concepts and Applications of Voronoi Diagrams. Second edition. 2000; *Bouzy B., Métivier M., Pellier D.* (). MCTS Experiments on the Voronoi Game // *Advances in Computer Games. ACG. Lecture Notes in Computer Science.* 2011. Vol. 7168. Berlin.

Вороного можно, например, на сайте <https://cfbrasz.github.io/VoronoiColoring.html>¹.

Однако социальные сети, а, следовательно, и соответствующие им графы не являются линейными пространствами, а организованы сложным образом. Вместе с тем, каждая точка таких пространств, являющаяся вершиной графа, обладает рядом характеристик, отражающих ее положение в этом сложно устроенном пространстве. Такие характеристики относятся к метрикам центральности вершин в графах. В настоящей работе показано, что при конкурентном распространении влияний в социальных сетях можно предложить метрики центральности, позволяющие заинтересованным игрокам отбирать в графе вершины - инициаторы влияний таким образом, что получаемые решения будут максимально приближены к оптимальным решениям игры Вороного.

¹ URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-31866-5_9 (дата обращения: 29.04.2021).

15. Модели распространения влияния в линейном пространстве

Базовым примером стратегического теоретико-игрового взаимодействия центров управления по распространению информационного влияния является модель «линейного города», предложенная одновременно и независимо двумя учеными. В научной литературе модель носит имена обоих ученых – Хотеллинга-Доунса, изначально предназначенная для поиска в задаче оптимального решения размещения производств¹. В научной статье Торбенко А.М. приведена типология моделей на основе модели Хотеллинга-Доунса, а также рассмотрены основные свойства моделей, относимых к этому классу: высокая чувствительность к количеству конкурирующих сторон. В случае, когда конкурируют две стороны, возникает сближение их позиций вплоть до неразличимости, что рассматривалось, в частности, А. Доунсом при анализе политических обещаний демократической и республиканской партий США в ходе предвыборной кампании;

- при количестве конкурирующих сторон более двух в равновесном состоянии их позиции могут располагаться как симметрично, так и асимметрично;

- если количество конкурентов более чем в два раза превышает количество мод в функции распределения предпочтений объектов воздействия, то равновесного состояния получить не удастся. Например, в базовой модели линейного города присутствует одна мода распределения объектов воздействия, а с тремя конкурирующими сторонами равновесие в чистых стратегиях невозможно – всегда будет конкурирующая сторона, способная улучшить достигнутый результат путем смены размещения своей позиции в пространстве.

¹ *Hotelling H.* Stability in competition // *The Economic Journal*. 1929. Vol. 153. № 39. P. 41–57; *Downs A.* An Economic Theory of Political Action in a Democracy // *The Journal of Political Economy*. Vol. 65. № 2. 1957. P. 135–150.

В качестве обобщенного варианта модели Хотеллинга-Доунса может рассматриваться так называемая игра Вороного, описывающая геометрическую модель размещения точек на некоторой плоскости «Q» (в обобщенном случае – в n-мерном пространстве «Q»), где любая размещенная точка пространства «S» «захватывает» ту часть пространства «Q», которая ближе к ней, чем к любой другой размещенной точке «S».

Результат игры Вороного в случае оптимальных стратегий конкурирующих сторон по размещению своих точек в существенной степени зависит от того, проходит ли игра в один раунд или в несколько раундов, а также в еще большей степени от размерности пространства, на котором происходит игра, и ряда других характеристик этого пространства. Так, в работе S. Fekete и H. Meijer рассмотрен случай повторяющейся игры Вороного для двух игроков на линейном отрезке и на окружности, где доказано, что у второго игрока всегда есть выигрышная стратегия.¹

Рассмотрим модель, где поведение условных граждан в части выбора ими некоторой политической позиции детерминировано единственным параметром, а именно близостью источника пропаганды в пространстве. Таким образом, каждая политическая партия формирует лояльный электорат, располагающийся на всем доступном пространстве, – неохваченных граждан не остается. Поскольку выбор гражданами политической позиции происходит на основе некоторой метрики расстояния, то это замещение представляет собой диаграмму Вороного.²

Общий случай игры Вороного

Далее рассматривается задача о конкурентном размещении источников пропаганды, которая может быть обозначена как игра Вороного. Данный сюжет рассмотрен в работе S. Fekete и H. Meijer, в части, касающейся

¹ Fekete S.P., Meijer H. The one-round Voronoi game replayed // Workshop on Algorithms and Data Structures, Springer Lecture Notes in Computer Science. 2003. Vol. 2748. P. 150–161. URL: <https://arxiv.org/pdf/cs/0305016.pdf> (дата обращения: 26.04.2021).

² Aurenhammer F. Voronoi Diagrams – A Survey of a Fundamental Geometric Data Structure // ACM Computing Surveys. 1991. Vol. 23. № 3. P. 345–405.

выигрышной стратегии второго игрока. Здесь проведем обобщение стратегий игроков и рассмотрим отличия при игре на окружности и на линейном отрезке.

В игре участвуют два игрока, назовем их «Синий» и «Красный». Каждый из игроков размещает определенное количество источников пропаганды n в пространстве U . Поочередно размещаются по одному источнику, и первый ход принадлежит «Синему». После того, как все $2n$ источников размещены, выигрыши игроков рассчитываются на основании диаграммы Вороного из $2n$ точек. Выигрывает игрок, занявший большую часть пространства.

Формально, пусть $\{b_i\}_{i=1}^n$ и $\{r_i\}_{i=1}^n$ – размещения точек Синего («b») и Красного («r»). Тогда выигрыши равны:

$$\begin{aligned} \mathcal{B} &= |\{u \in U : \min_i d(u, b_i) < \min_i d(u, r_i)\}| \\ \mathcal{R} &= |\{u \in U : \min_i d(u, r_i) < \min_i d(u, b_i)\}|, \end{aligned} \quad (15)$$

где $d(u, b_i)$, $d(u, r_i)$ – меры расстояния;

$|\cdot|$ обозначает мощность множества.

Синий игрок выигрывает тогда, когда $\mathcal{B} > \mathcal{R}$, также как и Красный игрок выигрывает тогда, когда $\mathcal{R} > \mathcal{B}$. Игра заканчивается в ничью, если $\mathcal{B} = \mathcal{R}$.

Игра Вороного, в наибольшей степени соответствующая классической диаграмме Вороного, разворачивается в двумерной плоскости U на основе Евклидовой метрики расстояния. Однако решение такой игры остается актуальной научно-практической задачей с массой открытых вопросов о характеристиках стратегий игроков и складывающихся равновесиях, даже при игре в один раунд¹. Далее будет рассматриваться более простой случай – игра в одном измерении (на окружности или на линейном отрезке). Можно рассматривать такую постановку задачи в контексте размещения предприятий на автотрассе, опоясывающей континент (например, шоссе №1 в Австралии).

¹ Cheong O., Har-Peled S., Linial N., Matousek J.: The one-round Voronoi game // Discrete and Computational Geometry. № 31. 2004. P. 125–138.

Первый пример простейшей игры – на окружности. Очевидно, что в этом случае Красный игрок всегда имеет возможность свести игру к ничьей, размещая свои точки симметрично точкам Синего игрока. Однако у него имеется и выигрышная стратегия, работающая при количестве точек больше 1, которую рассмотрим ниже.

Игра на окружности

В игре два игрока: Синий (B) и Красный (R). У каждого $n > 1$ точек. Игроки поочередно размещают эти точки на окружности C. Первым свою (синюю) точку размещает Синий игрок, затем свою (красную) точку размещает Красный игрок. Затем Синий игрок размещает вторую синюю точку и т.д., пока все точки не размещены. Точки не могут размещаться в одном и том же месте, но могут находиться сколь угодно близко друг к другу.

Выигрыш каждого игрока рассчитывается согласно формуле на рис.15, как суммарная длина окружности, находящаяся ближе к его точкам, чем к точкам конкурента:

$$B = \{x \in C : \min_i d(x, b_i) < \min_i d(x, r_i)\} |$$

$$R = \{x \in C : \min_i d(x, r_i) < \min_i d(x, b_i)\} |, \quad (16)$$

Возникающий здесь вопрос можно сформулировать так: «Имеется ли у одного из игроков выигрышная стратегия? И если да, то какова она? Покажем, что у Красного всегда есть выигрышная стратегия.

Перед этим необходимо ввести еще некоторые определения. Зададим окружность как интервал $[0; 1]$, где точки 0 и 1 отождествлены. Дуги на окружности записываются как $[x; y]$ и откладываются по часовой стрелке от координаты x до координаты y, например, так: $[0,5; 0,6]$ или $[0,9; 0,1]$. Первая точка, размещаемая Синим игроком, всегда приходится на координату 0.

Ключевыми точками будем называть n точки, такие как:

$$u_i = \frac{i}{n}, \quad i = 0, 1, \dots, n-1.$$

Дугу между двумя последовательно (по часовой стрелке) размещенными точками обозначим как интервал. Внутри интервала точек нет. Интервал

будем называть монохромным, если ограничивающие его точки одного цвета, и бихромным, если эти точки разного цвета. Синий интервал – это монохромный интервал между синими точками, красный интервал – между красными. Интервал считается ключевым интервалом, если обе ограничивающие его точки – ключевые. Общая длина синих и красных интервалов: B_m и R_m , соответственно.

Поскольку все бихромные интервалы по итогам игры делятся строго пополам между Синим и Красным игроками, формула будет следующая:

$$\mathcal{R} - \mathcal{B} = R_m - B_m \quad (17)$$

Важное следствие заключается в том, что Красный выигрывает только в случае, когда $R_m > B_m$. Именно на достижение этой кондиции и направлена выигрышная стратегия Красного игрока. Общее описание стратегии можно найти в работе X. Ана и др.¹

Стратегия ключевых точек Красного игрока

Фаза 1: Если на окружности имеется хотя бы 1 незанятая ключевая точка, то Красный делает свой ход в любую незанятую ключевую точку.

Если все ключевые точки заняты, начинается Фаза 2.

Фаза 2: Если это не последний ход Красного игрока, то на окружности имеется как минимум один синий интервал (поскольку синих точек на окружности выставлено на одну больше, чем красных). Красный игрок размещает свою точку, разбивая самый большой из синих интервалов, тем самым создавая два бихромных интервала, никак не влияющих на результат игры.

Если Синий игрок разместил свою последнюю точку, Фаза 2 закончена и начинается Фаза 3.

Фаза 3: Последний ход Красного. Возможны 2 ситуации:

¹ Ahn H., Cheng S., Cheong O., Golin M. Competitive facility location along a highway // Proceedings of Computing and Combinatorics: 7th Annual International Conference. 2001. Guilin. P. 237–246.

i) На окружности имеется более одного синего интервала. Тогда Красный игрок разбивает наибольший из них, размещая там свою точку. Эта ситуация возможна, если Синий игрок сыграл нерационально и на окружности имеется красный ключевой интервал, что согласно формуле (17) дает Красному игроку победу, поскольку ни один из интервалов Синего игрока в конце игры ключевым являться не может, а значит $R_m - B_m > 0$.

Лемма 1. Наличие более одного синего интервала на окружности влечет наличие хотя бы одного красного ключевого интервала, а также означает то, что имеющиеся синие интервалы не ключевые.

Доказательство.

После Фазы 1 все красные интервалы – ключевые (либо их нет), так как Красный игрок делал ходы только в ключевые точки. В Фазе 2 Красный игрок не делал ходов в красные и бирюзовые интервалы, то есть если красные интервалы имеются к наступлению Фазы 3, то они обязательно ключевые.

Сколько может быть синих ключевых интервалов после Фазы 1 при рациональной игре Синего игрока? Во-первых, их обязательно меньше, чем $\frac{n}{2}$, так как все ходы Красного приходятся на ключевые точки. Во-вторых, по отношению к числу красных интервалов, их либо столько же (при четном n и при $n=1$), либо на 1 больше (при нечетном n , которое больше 1). И в том и в другом случае в Фазе 2 Красный игрок делает свои ходы, разбивая самые крупные синие интервалы, а поскольку ключевые интервалы крупнее других, то именно их и уничтожит Красный игрок в Фазе 2, потому что на это у него хватит ходов до наступления Фазы 3.

Вместе с тем, так как имеется более одного синего интервала, то как минимум один свой ход Синий игрок сделал либо в уже имевшийся синий интервал, либо в бирюзовый интервал, но не в интервал Красного, который, как показано выше, обязательно ключевой. Описанное развитие игры приведено на рисунке 19.

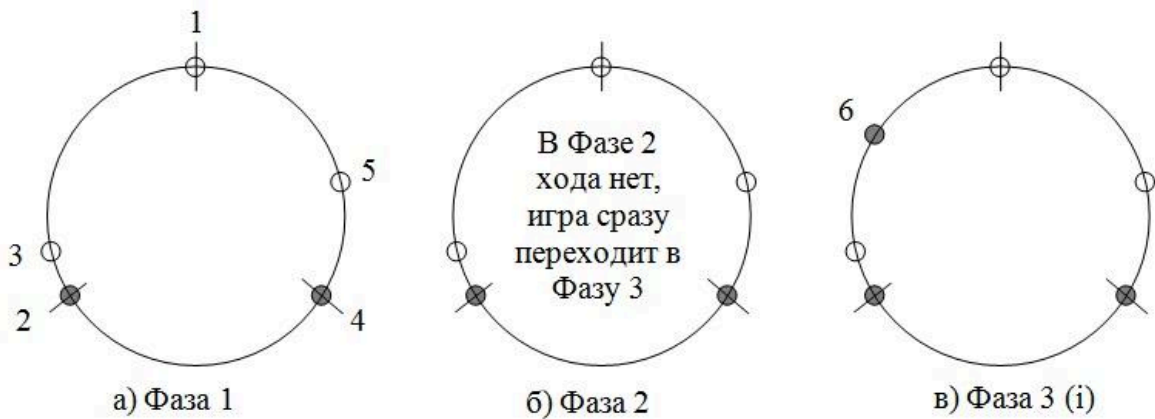


Рис.19. Игра Вороного на окружности

Пример 1. У каждого игрока 3 точки, красные точки обозначены серым цветом; а) сделав третий ход, Синий игрок сыграл нерационально, не заняв ключевой точки, завершение Фазы 1; б) на Фазе 2 наступает последний ход Красного игрока, соответственно, игра переходит в Фазу 3; в) Красный игрок разбивает самый крупный из синих интервалов, при том, что на окружности имеется ключевой красный интервал, б – победный ход Красного игрока.

ii) На окружности имеется только один синий интервал длины l . После игры Красного в Фазе 2 этот интервал не может быть ключевым интервалом, то есть его длина $l < \frac{1}{n}$. При этом на окружности имеется ключевой биромный интервал. Именно в нем Красный размещает свою точку таким образом, чтобы расстояние от нее до синей точки было бы меньше, чем $\frac{1}{n} - l$, то есть

составляло бы $\frac{1}{n} - l - \alpha$, при любом $\alpha > 0$. В этом случае, согласно (3),

выигрыш Красного является $R_m - V_m = \alpha$.

Лемма 2.

В случае наличия ровно одного синего интервала, не являющегося ключевым, обязательно существует ключевой биромный интервал.

Доказательство.

Поскольку синий интервал ровно один, а синих точек на окружности n , что на одну больше, чем красных $n-1$, то все остальные интервалы бихромные, красных интервалов нет.

Из сыгранных $2n-1$ точек, n точки – ключевые, а значит, существует $n-1$ точки, которые размещены внутри n ключевых интервалов. Из чего следует, что имеется один неразбитый ключевой интервал, и поскольку он не синий, то он - бихромный.

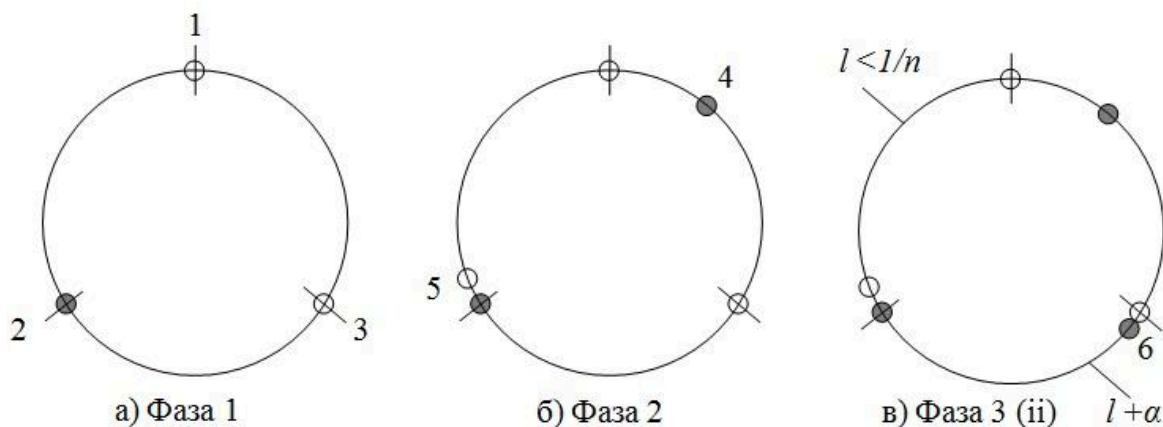


Рис.20. Игра Вороного на окружности

Пример 2. У каждого игрока 3 точки, красные точки обозначены серым цветом. а) сделав третий ход, Синий игрок сыграл рационально, заняв последнюю ключевую точку, завершение Фазы 1; б) на Фазе 2 красный разбивает единственный ключевой синий интервал и синий делает последний ход (точка 5), игра переходит в Фазу 3; в) 6 – победный ход Красного игрока, который создает красный интервал, на α длиннее синего интервала l .

На основании изложенного, можно рассмотреть и стратегию Синего игрока, позволяющую минимизировать размер проигрыша, либо воспользовавшись ошибкой конкурента, одержать победу. Во многом она схожа со стратегией ключевых точек Красного игрока, рассмотренной выше, поэтому приведем ее без разъяснений о смысле действий Синего.

Стратегия ключевых точек Синего игрока

Фаза 1: Первый ход делается Синим в произвольную точку, которая становится первой ключевой точкой. Далее, если на окружности имеется хотя

бы 1 незанятая ключевая точка, то Синий делает свой ход в любую незанятую ключевую точку.

Если все ключевые точки заняты, начинается Фаза 2.

Фаза 2: Возможны две ситуации:

(i) Если на окружности имеется хотя бы один красный интервал, то Синий делает ход, разбивая самый крупный красный интервал.

(ii) Если на окружности нет красных интервалов, то Синий делает свой ход в самый крупный бирюзовый интервал максимально близко к красной точке. Тем самым создается синий интервал длины $l < \frac{l}{n}$. Параметром l Синий

регулирует пространство для маневра, доступное красному, поскольку $\frac{l}{n} - l -$ это максимально возможный выигрыш, к которому Красный может приблизиться, рациональным образом сделав свой следующий ход.

Здесь важно отметить, что описанные стратегии ключевых точек работают на непрерывном пространстве S , где при любом малом расстоянии между двумя точками на i -м ходе, на следующем ходе может образоваться пара точек с еще меньшим расстоянием между ними. В дискретном пространстве, состоящем из конечного числа точек, будут происходить либо ничьи, либо появляться коллизии, связанные с появлением точек, равноудаленных от синих и красных, то есть находящихся под одновременным влиянием игроков.

Вариант игры на линейном отрезке

Приведенные стратегии ключевых точек легко адаптируются к игре на линейном отрезке. Основное отличие состоит в том, что появляются граничные интервалы, находящиеся слева и справа линейного отрезка. Их появление вносит изменение в расположение ключевых точек.

$$u_i = \frac{l}{2n} + \frac{i}{n}, \quad i = 0, 1, \dots, n-1.$$

Ключевые точки u_0 и u_{n-1} отделяют граничные интервалы.

В основной стратегии игроков такие же, как и в случае с окружностью: занять свободные ключевые точки в Фазе 1, разбивать наиболее крупные интервалы друг друга в Фазе 2, а если таких нет, то создавать как можно большие собственные интервалы из ключевых бихромных интервалов (граничных интервалов, принадлежащих конкуренту).

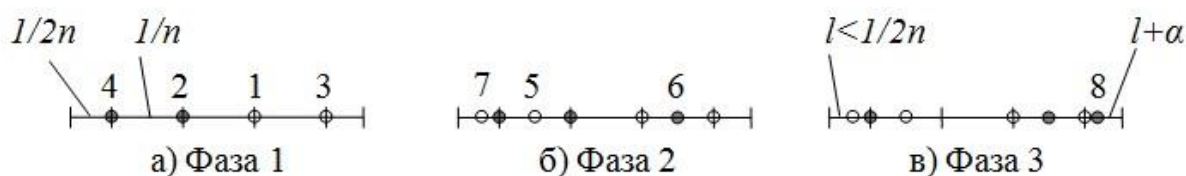


Рис.21. Игры Вороного на линейном отрезке

Пример 3. У каждого игрока 4 точки, красные точки обозначены серым цветом. а) Сделав четвертый ход, Красный игрок занял последнюю ключевую точку, завершение Фазы 1; б) на Фазе 2 игроки разбивают ключевые интервалы друг друга (точки 5 и 6) и синий делает последний ход (точка 7), игра переходит в Фазу 3; в) 8 – победный ход Красного, создает граничный красный интервал, который на α длиннее граничного синего интервала l .

Важное отличие между линейным отрезком и окружностью проявляется при игре в один раунд. В этом случае стратегия Синего игрока – занять все ключевые точки. На окружности эта стратегия приводит к ничьей, а на линейном отрезке к победе Синего с минимальным перевесом, величину которого регулирует Красный.

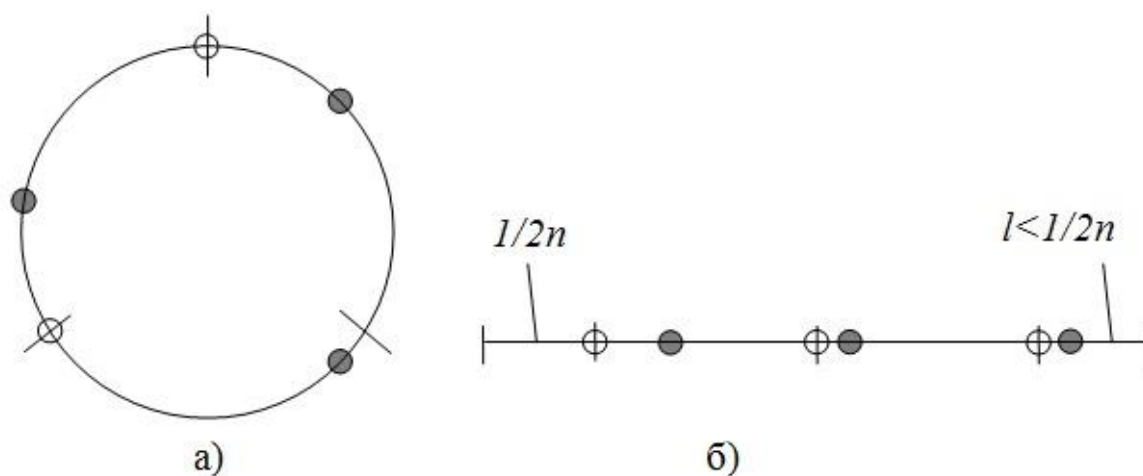


Рис 22. Игра в один раунд на окружности и на линейном отрезке

В случае (а) игра заканчивается ничьей, на линейном отрезке (б) – победой Синего игрока с перевесом $\alpha = 1/2n - l$.

Рассмотренные стратегии игроков по конкурентному размещению предприятий в одномерном пространстве являются решением игры Вороного. У Красного игрока всегда есть возможность выиграть независимо от действий Синего игрока как на окружности, так и на линейном отрезке. Исключением является вариант игры, разворачивающийся в один раунд, в котором на окружности ничья неизбежна, а на линейном отрезке победу одерживает Синий игрок. Во всех других случаях Красный игрок выигрывает, но с очень небольшим перевесом, и величину этого перевеса Синий способен сделать предельно малой.

При игре Вороного на окружности в один раунд – при рациональной игре и с равным количеством точек игроков – неизбежно происходит ничья. Легко убедиться, что при игре в один раунд на линейном отрезке, модель сводится к модели Хотеллинга с той разницей, что точки двух игроков не могут располагаться в одном и том же месте.¹ То есть Красный игрок, наоборот, проигрывает при рациональной игре, но с перевесом, стремящимся к нулю. Однако в случае перевеса в одну точку, при произвольном количестве n у первого игрока и рациональной игре на линейном отрезке, второй игрок всякий раз будет выигрывать часть пространства, которая стремится к $1/2n$. Если невозможно расположить точки в центре симметрии в любом симметричном пространстве игры Вороного – произойдет ничья. Наилучшим ответом второго игрока на любую стратегию первого будет симметричное размещение своих точек.

Если количество точек игроков не равно, то игрок с большим количеством точек, делающий ход последним, может выиграть с

¹ Cheong O., Har-Peled S., Linial N., Matousek J. The one-round Voronoi game // Discrete and Computational Geometry. 2004. Vol. 31. №1. P. 125–138.

существенным перевесом. Несложно убедиться, что при количестве точек второго игрока $|S_2|$, вдвое превышающем количество точек $|S_1|$ первого, второй выигрывает практически 100% пространства.

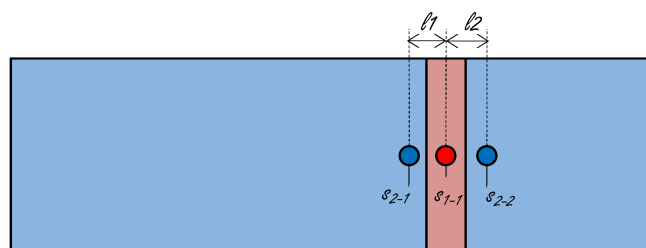


Рис.23. Пример победы Синего игрока

Размещение точек второго игрока s_{2-1} и s_{2-2} вокруг единственной точки первого игрока s_{1-1} таким образом показывает, что второй игрок выигрывает практически все пространство при условии, что $l_1=l_2 \rightarrow 0$.

Возможна ли экстраполяция результатов одномерной игры на игру Вороного в n -мерном пространстве? Или необходимо пространство, устроенное нелинейным образом? Эти вопросы остаются открытыми. Каков бы ни был ответ на него, представляется, что он будет связан с тем, каким образом задать ключевые точки в имеющемся пространстве.

Как уже отмечалось, социальные сети относятся к случаям сложно организованного, асимметричного и, кроме того, нелинейного пространства. Решения подобной игры в общем виде, пригодного для произвольного социального графа, сегодня не найдено, однако, некоторые свойства возникающих равновесий и механизмы выработки стратегий игроков поддаются формулировке и описанию.

16. Механизм формирования диаграммы Вороного на множестве вершин социального графа

Введем некоторые обозначения: $G(V, E)$ – граф, отображающий социальную сеть (социальный граф), $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множество вершин графа, E – множество ребер.

В социальном графе присутствует $m \geq 2$ подмножеств вершин $\{S_1, S_2 \dots S_m\} \subset V$, каждое из которых – инициатор влияния своего типа. Эти

подмножества не пересекаются, то есть, любая вершина u , входящая в любое из подмножеств, не входит ни в одно другое, $\forall u \in S_i: u \notin S_{-i}$.

Предложим следующий механизм формирования диаграммы Вороного. Влияние вершины $u \in S_i$ на вершину $v \in V, v \notin \{S\}$ задается как:

$$\varphi(v, u) = \rho^{l_{v,u}},$$

где: $\rho \in [0; 1]$ – коэффициент затухания влияния;

$l_{v,u}$ – кратчайший путь от v до u .

Тогда совокупное влияние одного из подмножеств S_i на v :

$$\varphi(v, S_i) = \sum_{u \in S_i} \rho^{l_{v,u}}$$

Итоговая принадлежность v к одному из n влияний определяется тем, какое из влияний на v наибольшее:

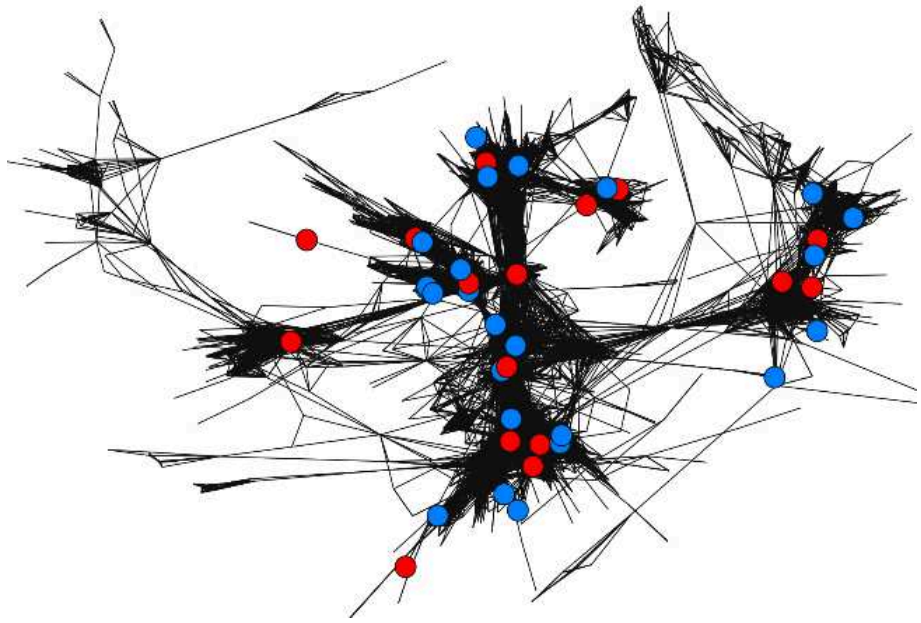
$$\omega(v) = \underset{i}{\operatorname{argmax}}(\varphi(v, S_i)) = \underset{i}{\operatorname{argmax}} \sum_{u \in S_i} \rho^{l_{v,u}}$$

При равных значениях $\varphi(v, S_i)$ и $\varphi(v, S_j)$, $i \neq j$ принадлежность вершины v к одному из этих влияний задается случайным образом. Изначально, чем больше свободных вершин принадлежит к k -му влиянию, тем большее значение принимает функция полезности этого влияния:

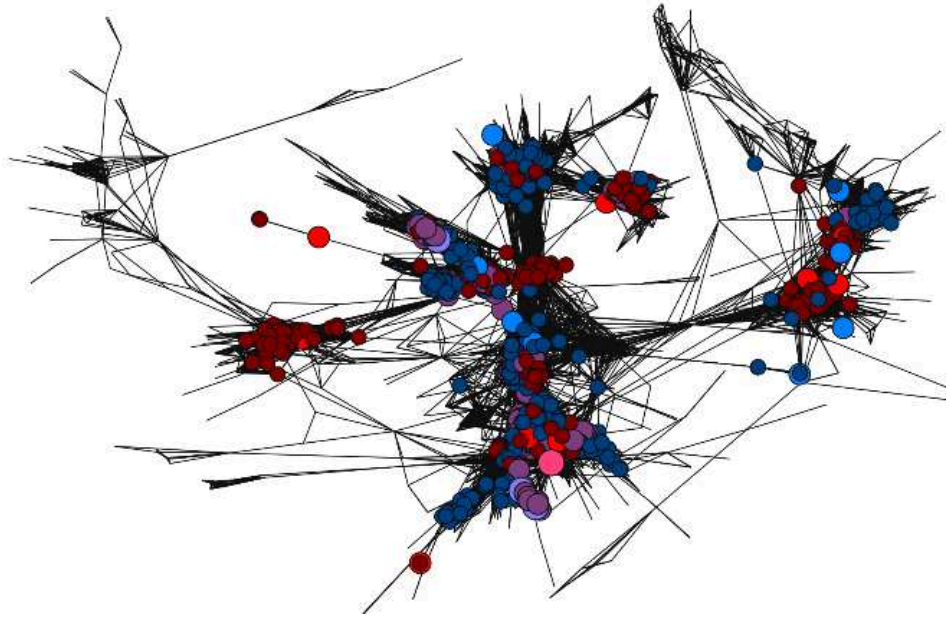
$$W(S_k) = |v \in V: \omega(v) = k| = \left| v \in V: \underset{i}{\operatorname{argmax}} \sum_{u \in S_i} \rho^{l_{v,u}} = k \right| \quad (18)$$

Алгоритм вычисления $\omega(v): v \in V, v \notin \{S_1, S_2 \dots S_m\}$ итеративен по длине кратчайшего пути l , изменяющейся от 1 до диаметра d графа, $l \in [1; d]$. На каждом шаге вычисляются $\varphi_l(v, S_i)$.

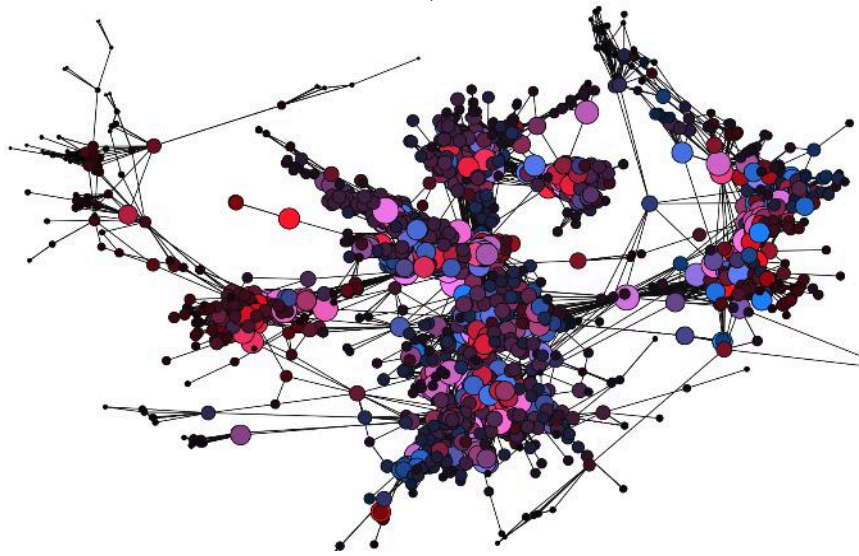
По результатам расчетов можно продемонстрировать динамику взаимного противоборства k и S влияний.



a)



b)



c)

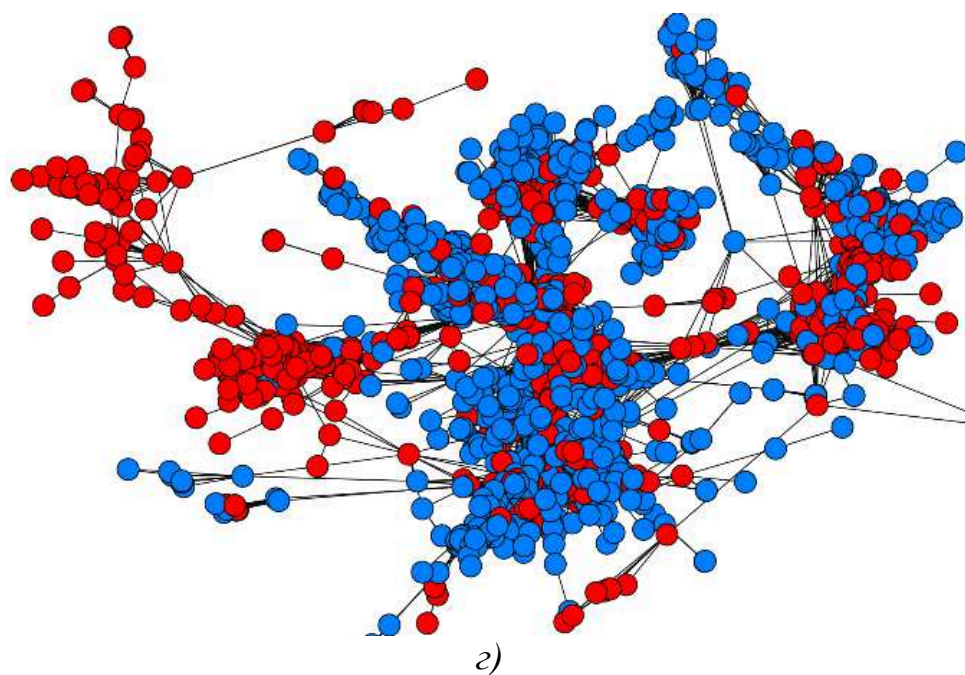


Рис.24. Динамика противоборства k и S влияний.

Таким образом, полученная на рисунке «г» принадлежность вершин к двум имеющимся в социальном графе влияниям, является, по сути, диаграммой Вороного, построенной на социальном графе.

17. «Конкурентные» метрики центральности

Итак, какие же точки сложно-структурированного дискретного пространства, заданного социо-графом, следует отбирать Центрам управления в качестве инициаторов для увеличения своего выигрыша?

Наиболее очевиден и понятен результат информационного влияния с такой метрикой центральности, отбираемой в качестве инициатора вершин, как центральность по близости. Действительно, чем ближе источник пропаганды ко всей целевой аудитории, тем больше шанс, что он будет услышан.

Для конкурентного случая, имеющего место в информационном противоборстве за мнения участников социальных сетей, можно выдвинуть собственный адаптированный вариант метрики центральности, опирающийся на длины кратчайших путей, при этом в основе лежит гипотеза о том, на сколько вершины близки к источникам влияния одного типа, настолько они менее подвержены противоположному влиянию. Тогда, если решение принимает второй Центр управления («синий»), а подмножество «красных» вершин – инициаторов известно и размещено на социо-графе как S_{Red} , то оценить контр-центральность по близости вершины v второй игрок может, например, так:

$$c_{ccl}(v) = (|v: v \in V \setminus (S_{Red})| - 1) \left(\frac{1}{\sum_{u \in (V \setminus S_{Red})} l_{u,v}} - \frac{1}{\sum_{u \in S_{Red}} l_{u,v}} \right) \quad (19)$$

Возможны и другие варианты.

Бесспорен также факт, что для Центра управления, делающего ход вторым номером, важно не только получить малую сумму расстояний от собственных вершин-инициаторов до вершин-объектов влияния, но и попытаться, кроме того, перекрыть кратчайшие пути от инициаторов влияния первого игрока, то есть отсечь каналы распространения информации противника. Здесь придется обратиться к центральности по промежуточности и попытаться предложить ее контр-центральный вариант.

Для конкурентного случая важно не общее количество кратчайших путей, проходящих через вершину социо-графа, но количество тех путей, которые соединяют вершины–инициаторы влияния противника и других участников соцсети. Контр-центральность по промежуточности или изолирующая центральность может быть рассчитана по следующему выражению:

$$c_{bet}(v) = \sum_{u \in (V \setminus \{v, S_{Red}\})} \frac{\sigma_{u, S_{Red}}(v)}{\sigma_{u, S_{Red}}} * \frac{1}{(|V \setminus S_{Red}| - 1)} \quad (20)$$

18. Основные результаты. Влияние конкурентных центральностей по близости и по промежуточности на эффективность стратегии второго игрока

Для оценки предложенных метрик контр-центральности, как факторов эффективности стратегии второго центра управления, проведена серия имитационных вычислительных экспериментов.

Серия состояла из 10 000 имитаций конкурентного распространения информационных влияний в модельных социо-графах. Коэффициент затухания ρ информационного влияния обоих противоборствующих центров выбран 0,5. Можно сказать, что распространяемая информация актуальна, отчасти резонансна, но не инфобомба. В качестве среды распространения влияний был взят граф, состоящий из 10 эго-графов Facebook. Подмножества вершин-инициаторов первого «красного» и второго «синего» влияний отбирались при помощи генератора случайных чисел и насчитывали случайное количество – от 10 до 30 – элементов.

При помощи корреляционного анализа оценивались взаимозависимости следующих показателей:

$|S_{Red}|$ – мощность подмножества источников «красного» влияния;

$|S_{Blue}|$ – мощность подмножества источников «синего» влияния;

W_{Red} – мощность подмножества вершин, поддавшихся «красному» влиянию;

W_{Blue} – мощность подмножества вершин, поддавшихся «синему» влиянию;

$c_{cl}(S_{Red})$ – групповая центральность по близости подмножества вершин инициаторов «красного» влияния;

$c_{cl}(S_{Blue})$ – групповая центральность по близости подмножества вершин инициаторов «синего» влияния;

$c_{cbet}(S_{Blue})$ – групповая контр-центральность по промежуточности (изолирующая центральность) подмножества вершин-инициаторов «синего» влияния;

$c_{ccl}(S_{Blue})$ – групповая контр-центральность по близости подмножества вершин-инициаторов «синего» влияния.

Таблица 3

Матрица парных коэффициентов корреляции для показателей конкурентного влияния в социальном графе

	$ S_{Red} $	$ S_{Blue} $	W_{Red}	W_{Blue}	$c_{cl}(S_{Red})$	$c_{cl}(S_{Blue})$	$c_{cbet}(S_{Blue})$	$c_{ccl}(S_{Blue})$
$ S_{Red} $	1							
$ S_{Blue} $	0,021	1						
W_{Red}	0,513	0,675	1					
W_{Blue}	-0,52	0,683	0,991	1				
$c_{cl}(S_{Red})$	0,884	0,161	0,442	0,437	1			
$c_{cl}(S_{Blue})$	0,163	0,892	0,643	0,663	0,341	1		
$c_{cbet}(S_{Blue})$	0,602	0,55	0,784	0,772	-0,53	0,449	1	
$c_{ccl}(S_{Blue})$	0,611	0,664	-0,95	0,934	0,545	0,596	0,809	1

Результаты эксперимента в виде парных коэффициентов корреляции Пирсона приведены в таблице 3. Очевидно, что основные результаты информационной кампании, которые преследует «синий» Центр управления в рамках информационного противоборства с «красным» – это 1) максимизация

результатирующей мощности подмножества вершин, поддавшихся «синему» информационному влиянию; 2) минимизация результатирующей мощности подмножества вершин, поддавшихся «красному» информационному влиянию.

Какие факторы в наибольшей мере определяют достижение требуемых Центру результатов? Для ответа на этот вопрос был выбран инструмент корреляционного анализа, использовался парный коэффициент корреляции Пирсона. Выбор обусловлен тем, что исследуемые характеристики заданы параметрически и нормированы.

Проведенный корреляционный анализ показал, что на результатирующую мощность подмножества синих вершин существенное воздействие оказывают следующие факторы (в порядке возрастания значения коэффициента корреляции по модулю): $c_{cl}(S_{Red})$, $r = -0,43$; $|S_{Red}|$, $r = -0,5$; $c_{cl}(S_{Blue})$, $r = 0,66$; $|S_{Blue}|$, $r = 0,68$; $c_{cb}(S_{Blue})$, $r = 0,77$; $c_{ccl}(S_{Blue})$, $r = 0,93$. Среди прочих показателей конкурентная центральность по близости и изолирующая центральность занимают два первых места. Дальнейший анализ выявил, что в свою очередь, на результатирующую мощность подмножества красных вершин оказывают существенное воздействие такие факторы, как: $c_{cl}(S_{Blue})$, $r = -0,64$; $|S_{Blue}|$, $r = -0,67$; $c_{cbet}(S_{Blue})$, $r = -0,78$; $c_{ccl}(S_{Blue})$, $r = -0,9$ (в порядке возрастания модуля коэффициента корреляции).

Таким образом, авторские метрики контр-центральности, имеющие место в случае конкурентного распространения влияний, в ситуациях информационного противоборства в соцсетях, а именно: конкурентной центральности по близости (контр-центральность по близости) и изолирующей центральности (контр-центральность по промежуточности), которые показывают существенную взаимосвязь с результатами, получаемыми в ходе имитационного эксперимента вторым Центром принятия решений («синим»).

В качестве дальнейшего развития полученного результата актуальным представляется поиск и разработка эффективных методов и алгоритмов вычисления предложенных метрик аппроксимируемыми алгоритмами.

Заключение

Подводя итог приведенным в работе рассуждениям о конкурентном распространении информационного влияния в ситуациях информационного противоборства, следует остановиться на основных полученных результатах.

Во-первых, необходимо констатировать, что процессы информационного противоборства сегодня значительно активизировались, и основным его объектом стало индивидуальное сознание людей, образующее массовое сознание общества.

Во-вторых, возрастающую роль в информационном влиянии на мнения и настроения граждан оказывают социальные сетевые сервисы Интернета, в которых люди обмениваются мнениями, влияют на точки зрения друг друга по различным общественно-политическим вопросам.

В-третьих, комплексный подход к анализу влияния в социальных сетях, сочетающий использование аппарата теории графов и аппарата теории игр, позволяет описать процессы инициализации и распространения таких влияний. А для того, чтобы оценивать важность отдельных участников социальных сетей и их коалиций, в качестве инициаторов информационных влияний выступает широкий спектр метрик центральности, известных в прикладном направлении теории графов, как социально-сетевой анализ.

В-четвертых, по своему смыслу и содержанию результаты конкурентного распространения информационных влияний в социальных сетях в значительной мере напоминают так называемую диаграмму Вороного, развернутую правда не в линейном, а в сложно устроенном пространстве социального графа.

В-пятых, результаты имитационного моделирования конкурентного распространения информационных влияний в ходе информационного противоборства в социальных сетях показали, что традиционные метрики центральности не в полной мере позволяют осуществлять отбор наиболее влиятельных участников сети для инициализации распространения информации, поскольку они не учитывают размещение в социальной сети

известных участников конкурирующего влияния. В результате рассмотрены «конкурентные» метрики центральности по близости и по промежуточности. Показано, что конкурентная центральность по близости позволяет определять участников сети, которые могут увеличить охват аудитории, подвергнутой «полезному» влиянию. Конкурентная центральность по близости так же, как и конкурентная центральность по промежуточности, позволяет отобрать участников сети, которые могут снизить уровень «вредного» (конкурирующего) влияния.

Список литературы:

Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами. Изд. 2-е. Москва. 2014. С. 261.

Гриняев С. Н. Поле битвы - киберпространство. Теория, приемы, средства, методы и системы ведения информационной войны. Москва, 2004. С. 426 .

Ефимов Е.Г., Небыков И.А. Социальные группы в структуре социальных сетей (на примере сети «Одноклассники») // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. Тамбов: Грамота. 2014. [№ 5 (43)]. С. 64.

Манойло А. В. Объекты и субъекты информационного противоборства // Пси-Фактор [Электронный ресурс]. 2003. URL:<http://psyfactor.org/lib/psywar24.htm> (дата обращения: 20.10.2021).

Рабчевский А.Н., Рабчевский Е.А. Оценка потенциального уровня информационного влияния пользователей в социальных сетях // Информационные системы и технологии. 2022. № 1 (129). С. 114-122.

Торбенко А.М. Модели линейного города: обзор и типология // Журнал новой экономической ассоциации. 2015. № 1 (25). Р. 12–38.

Шиллер В.В., Шелудков Н.Н. Российские социальные сети как потенциальная угроза национальной безопасности России (на примере сайтов «Одноклассники» и «ВКонтакте») // Вестник Кемеровского государственного университета. 2013. № 1 (53). С. 124.

Adamic L.A. The Small World Web // Proceedings of the International Conference on Theory and Practice of Digital Libraries. Springer Berlin Heidelberg. 1999. P. 443-452.

Ahn H., Cheng S., Cheong O., Golin M. Competitive facility location along a highway // Proceedings of Computing and Combinatorics : 7th Annual International Conference. COCOON 2001. Guilin. China. 2001. P. 237–246.

Ahn H., Cheng S., Cheong O., Golin M., van Oostrom R.: Competitive facility location along a highway // Computing and Combinatorics: 7th Annual International Conference. COCOON 2001. Guilin, China. 2001. P. 237–246.

Anderson S.P. Equilibrium existence in a linear model of spatial competition // *Economica*. 1988. Vol. 55. № 220. P. 479–491.

Aurenhammer F. Voronoi Diagrams – A Survey of a Fundamental Geometric Data Structure // ACM Computing Surveys. 1991. Vol. 23. № 3. P. 345–405.

Backstrom L., Boldiy P., Rosay M., Ugander J., Vignay S. Four Degrees of Separation. 2012. Cornell University Library. URL: <https://arxiv.org/abs/1111.4570> (дата обращения: 10.10.2021).

Banerjee A., Chandrasekhar A.G., Duflo E., Jackson M.O. The Diffusion of Microfinance // *Science*. 2013. №. 341 P. 363–340. DOI:10.1126/science.1236498.

Bouzy B., Métivier M., Pellier D. (). MCTS Experiments on the Voronoi Game // *Advances in Computer Games. ACG. Lecture Notes in Computer Science*. 2011. Vol. 7168. Springer, Berlin, Heidelberg. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-31866-5_9 (дата обращения: 29.04.2021).

Brandes U. A faster algorithm for betweenness centrality // *Journal of Mathematical Sociology*. 2001. P. 163–177.

Burnap P., Williams M., Sloan L., Rana O., Housley W., Edwards A., Knight V.A., Procter R. & Voss A. Tweeting the terror: modelling the social media reaction to the Woolwich terrorist attack. *Social Network Analysis and Mining*. 2014. № 206. P. 1–14.

Cannarella J., Spechler J.A. Epidemiological modeling of online social network dynamics. Cornell University Library. 2014. URL: <https://arxiv.org/abs/1401.4208> (дата обращения: 09.10.2021).

Catanese S., De Meo P., Ferrara E., Fiumara G. Analyzing the Facebook friendship graph // *CEUR Workshop Proceedings*. 2010. P.1419.

Cheong O., Har-Peled S., Linial N., Matousek J.: The one-round Voronoi game // *Discrete and Computational Geometry*. № 31. 2004. P. 125–138.

Damjanovic Dragan Z. Types of information warfare and examples of malicious programs of information warfare // *Vojnotehnički glasnik*. Vol. 65. № 4. 2017. P. 1044–1059.

- DoD Directive S-3600.1. Information Operations (U). December 9. 1996.
- DoD Directive TS-3600.1. Information Warfare (U). December 21. 1992.
- Downs A.* An Economic Theory of Political Action in a Democracy // The Journal of Political Economy. Vol. 65. № 2. 1957. P. 135–150.
- Eaton C.B., Lipsey R.G.* The Principle of Minimum Differentiation Reconsidered: Some New Developments in the Theory of Spatial Competition // The Review of Economic Studies. Vol. 42. №. 1. 1975. P. 27–49.
- Eiselt H.A., Laporte G., Thisse J.F.* Competitive location models: A framework and bibliography // Transportation Science. 1993. Vol. 27. № 1. P. 44–54.
- Elzinga J., Hearn D.W.* The minimum covering sphere problem // Management Science. 1972. Vol. 19. № 1. P. 96–104.
- Erdos P., Renyi A.* On Random Graphs I. // Publicationes Mathematicae. 1959. Vol. 6. P. 290–297.
- Everett M. G. & Borgatti S. P.* The centrality of groups and classes // The Journal of Mathematical Sociology. 1999. P. 181–201
URL: <https://doi.org/10.1080/0022250X.1999.9990219> (дата обращения: 25.04.2021).
- Fekete S.P., Meijer H.* The one-round Voronoi game replayed // Workshop on Algorithms and Data Structures, Springer Lecture Notes in Computer Science. 2003. Vol. 2748. P. 150–161. URL: <https://arxiv.org/pdf/cs/0305016.pdf> (дата обращения: 26.04.2021).
- Flajolet P., Martin G.N.* Probabilistic counting algorithms for data base applications // Journal of Computer and System Sciences. 1985. Vol. 31. № 2. P. 182–209
- Francis R.L., McGinnis F.Jr., White J.A.* Facility Layout and Location // An analytical approach. Prentice-Hall Inc. 1991. P. 592.
- Freeman L.* A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness // Sociometry. 1977. Vol. 40. № 1. P. 35–41.
- Freeman L.C.* Centrality in social networks: Conceptual clarification // Social Networks. 1978. №1. P. 215–239.
- Hotelling H.* Stability in competition // The Economic Journal. 1929. Vol. 153. № 39. P. 41–57.

Intelligence Warning Terminology. Washington, DC. October, 2001 URL: https://itlaw.wikia.org/wiki/Intelligence_Warning_Terminology (дата обращения: 15.10.2021).

Jackson M.O. Social and Economic Networks. Princeton University Press. 2008. P. 520.

Jackson M.O., Wolinsky A. A Strategic Model of Social and Economic Networks // Journal of Economic Theory. 1996. Vol. 71. № 1. P. 44–74.

Johnson D. B. Efficient algorithms for shortest paths in sparse networks // Journal of the ACM. 1977. Vol. 24. № 1. P. 1–13.

Kang U., Papadimitriou S., Sun J., Tong H. Centralities in Large Networks: Algorithms and Observations // Proceedings of the 2011 SIAM International Conference on Data Mining. 2011. P. 119-130.

Kempe D., Kleinberg J., Tardos E.: Maximizing the spread of influence in a social network // KDD. 2003. P. 137–146.

Leonhard R.R. The Art of Maneuver: Maneuver Warfare and AirLandBattle. Novato, CA. 2008.

Libicki M. What Is Information Warfare. National Defense University. Washington, DC. 1995. URL: <http://doc/pdf?AD=ADA367662> (дата обращения: 19.04.2021).

McAuley J., Leskovec J. Learning to Discover Social Circles in Ego Networks // Proceedings of the Advances in Neural Information Processing Systems 25. 2012. PP. 548–556.

Michalak T., Moretti S., Narayanam R., Skibski O. A New Approach to Measure Social Capital Using Game-Theoretic Techniques, Newsletter of the ACM Special Interest Group on E-commerce (ACM SIGecom Exchanges). Vol. 14. V. 1. 2015. P. 95-100.

Michalak T., Rahwan T., Skibski O., Wooldridge M. Defeating Terrorist Networks with Game Theory // Intelligent Systems. Institute of Electrical and Electronics Engineers. Vol. 30. №. 1. 2015. P. 53-61.

Michalak T., Szczepanski P.L., Rahwan T. Efficient Algorithms for Game-Theoretic Betweenness Centrality // Journal of Artificial Intelligence. Vol. 231. 2016. P. 39-63.

Milgram S. The Small-World Problem // Psychology Today. 1967. № 1. P. 60–67.

Molander R. C., Peter A., Wilson B., Mussington D. Strategic Information Warfare Rising. Santa Monica, Calif. 1998. URL: https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR964.html (дата обращения: 10.03.2022).

Okabe A., Boots B., Sugihara K. Spatial Tessellations – Concepts and Applications of Voronoi Diagrams. Second edition. 2000

Palmer C.R, Phillip B. G., Faloutsos C. ANF: a fast and scalable tool for data mining in massive graphs. Proceedings of the eighth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. 2002. P. 81–90

Palmer C.R., Gibbons P.B., Faloutsos C. ANF: A Fast and Scalable Tool for Data Mining in Massive Graphs // Proceedings of the Eighth ACM SIGKDD international Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 2002. P. 81–90.

Rabchevsky A.N., Yasnitsky L.N., Zayakin V.S. Comparison of methods for identifying user roles in online social networks // Прикладная математика и вопросы управления. 2021. № 2. С. 93-111.

Rafael A., Giménez J.M. A connectivity game for graphs. Mathematical Methods of Operations Research. Vol. 60. № 3. 2004. P. 453–470.

Reisman W.M. & Antoniou C.T. The Laws of War: A Comprehensive Collection of Primary Documents on International Laws Governing Armed Conflict. New York. 1994.

Roger C. Molander, Peter A. Wilson, B. David Mussington, Richard Mesic. Strategic Information Warfare Rising. URL: https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR964.html 1998 (дата обращения: 22.10.2021).

Rona T. P. Weapon Systems and Information War. Boeing Aerospace Co. Seattle. Washington, D.C. 1976.

Schwartau W. Information Warfare: Chaos on the Electronic Superhighway. New York. 1994.

Szafranski C. R. When waves collide. Essay contest on the Revolution in Military Affairs. Joint Force Quarterly. 1995.

The Evolution of Untethered Communications // National Academy Press. Washington, D.C. 1997. P. 204.

Tobin R.L., Friesz T.L., Miller T. Existence theory for spatially competitive network facility location models // Annals of Operations Research. 1989. Vol.18. № 1. P. 267–276.

Tsvetovat M., Kouznetsov A. Social Network Analysis for Startups. *O'Reilly Media Inc.* 2011. P. 192.

Voronoi G. Nouvelles applications des paramètres continus à la théorie des formes quadratiques // J Reine Angew Math. № 134. 1908. P. 198–287.

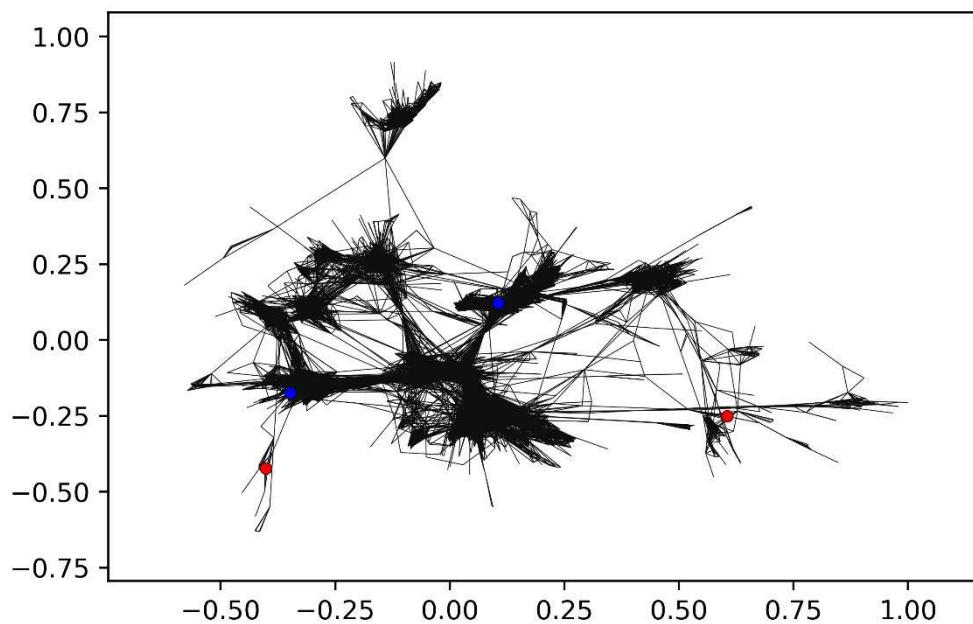
Zhao J., John C.S. Lui, Towsley D., Guan X.H. Measuring and Maximizing Group Closeness Centrality over Disk-Resident Graphs // Proceedings of the 23rd International Conference on World Wide Web. Republic and Canton of Geneva, Switzerland. 2014. P. 689–694.

Приложение

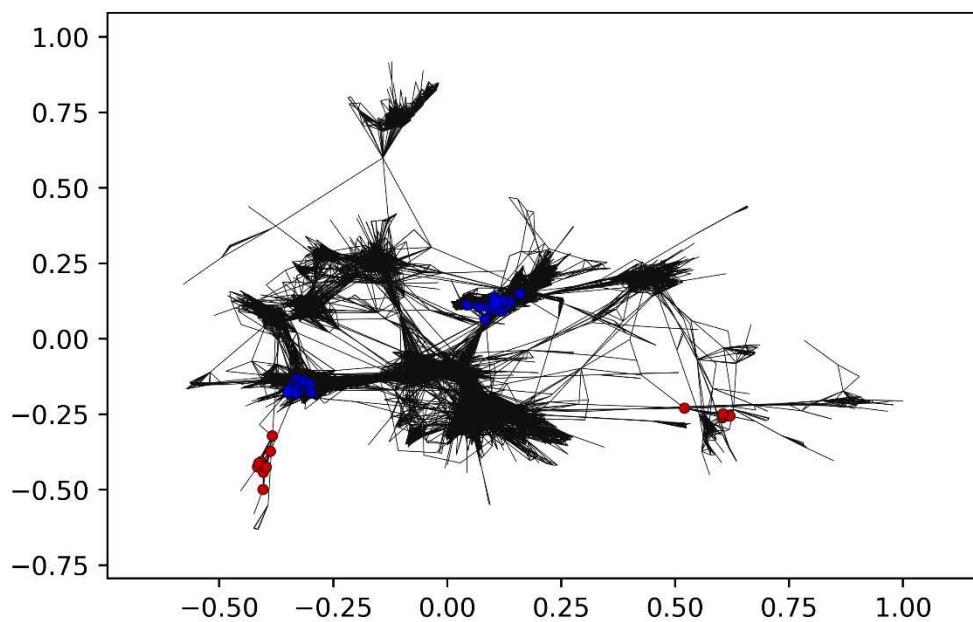
Пример результатов имитационного моделирования конкурирующих информационных влияний

Конкурирующие влияния:
А – красные

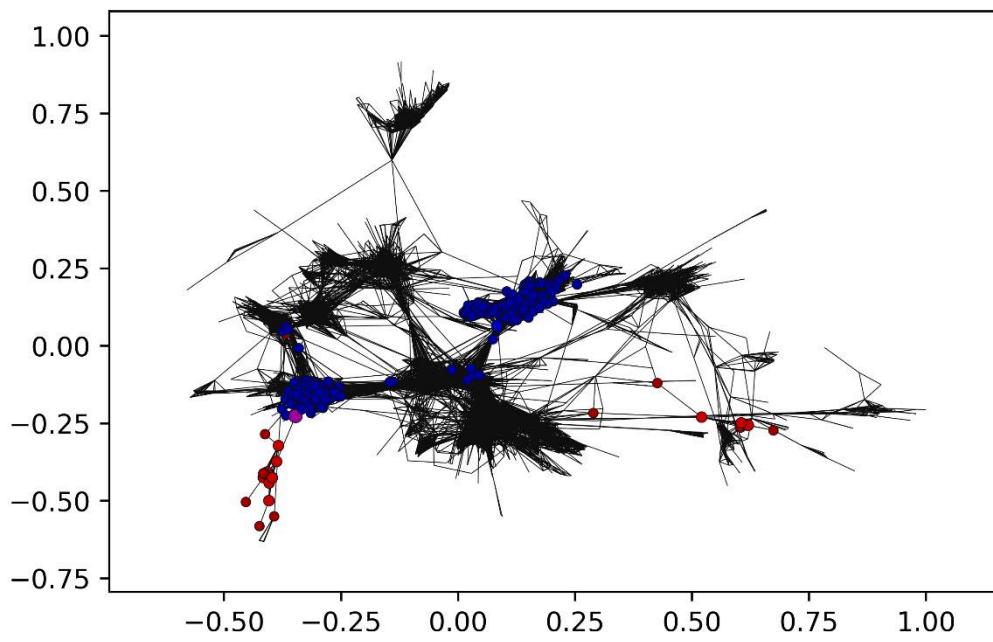
В - синие



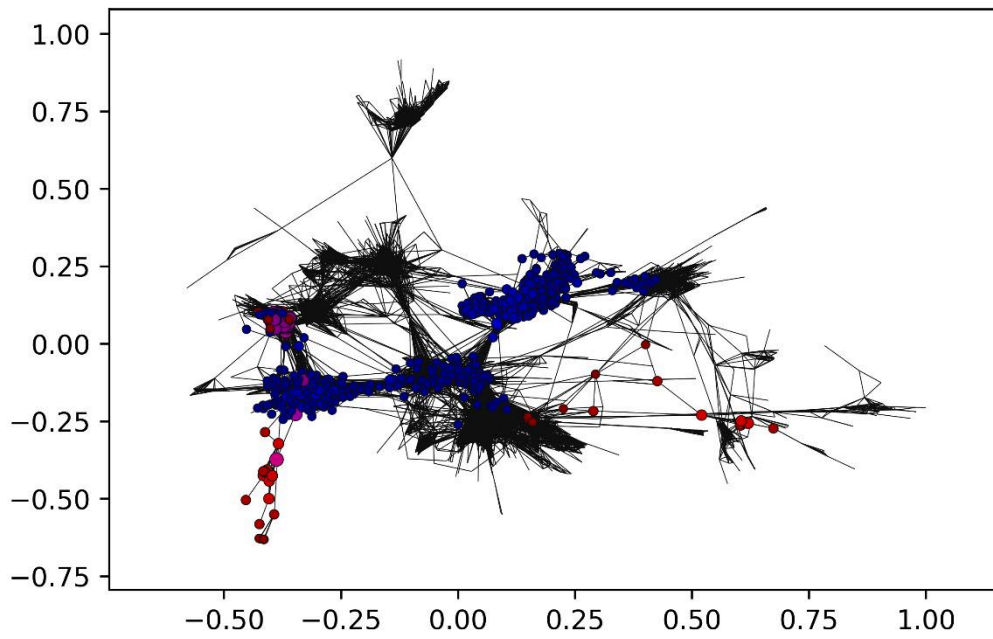
Шаг 1. Инициация участников сети – источников влияния обоих типов



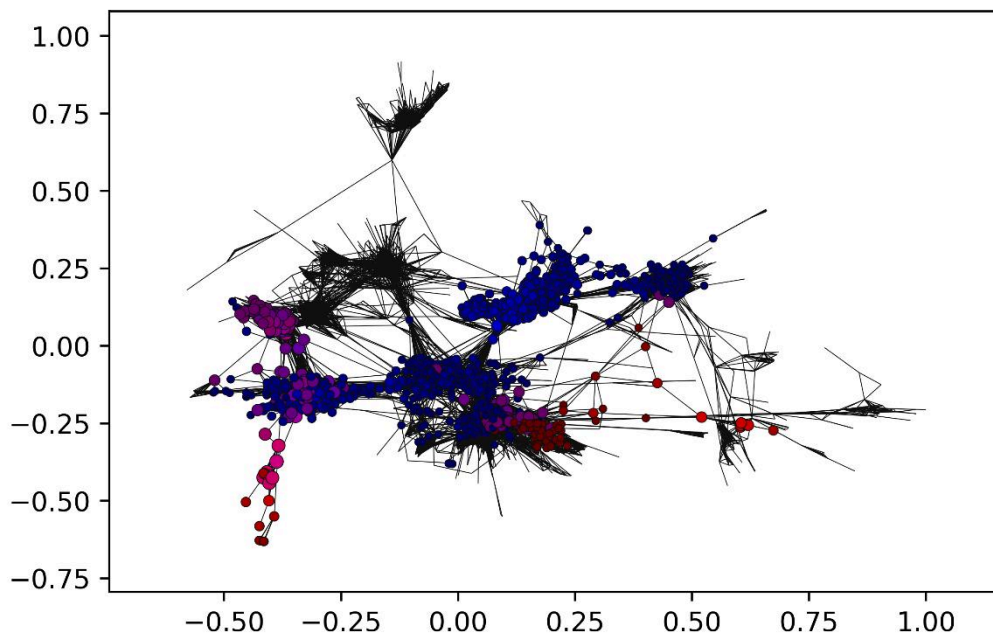
Шаг 2. Влияние на ближайших соседей



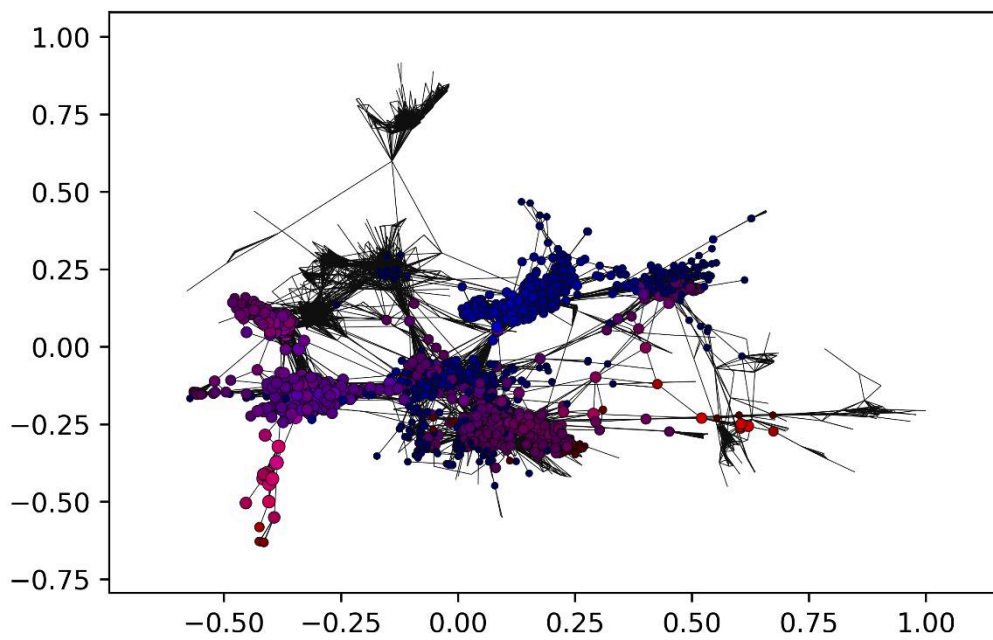
Шаг 3. Влияние на соседей с длиной связывающего маршрута - 2



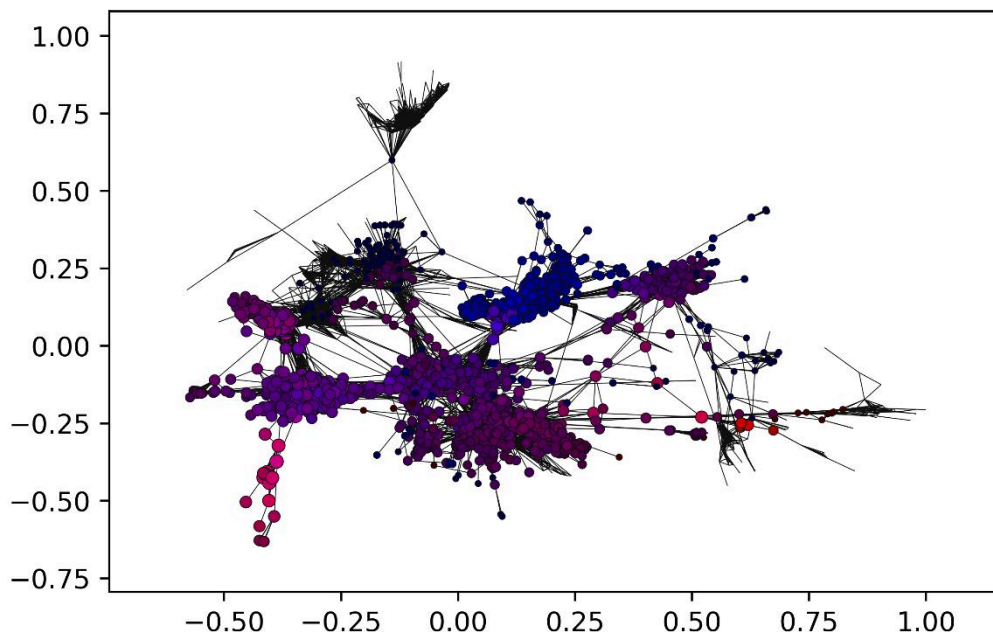
Шаг 4. Влияние на соседей с длиной связывающего маршрута - 3



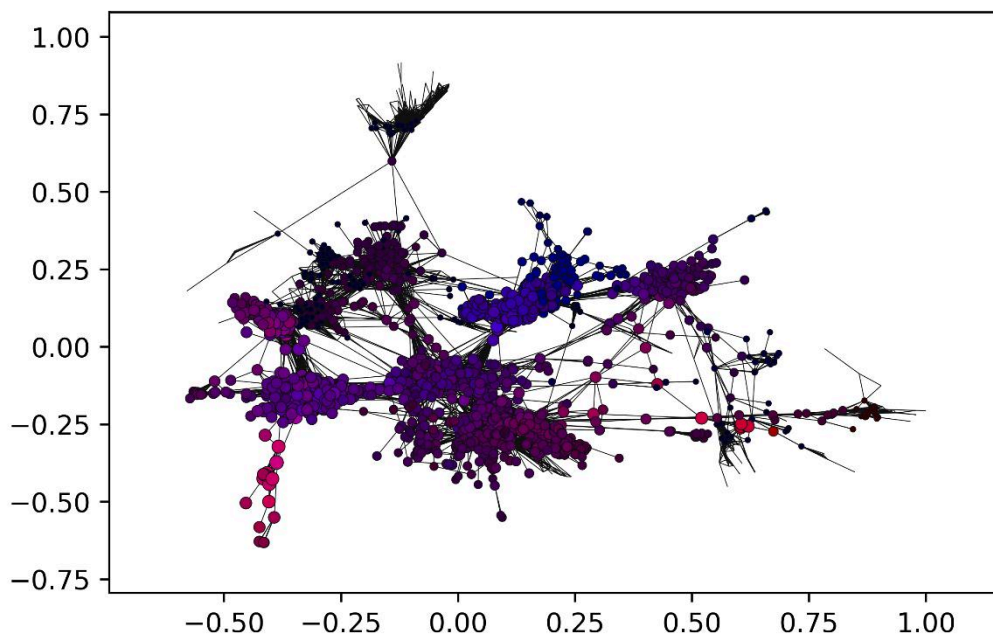
Шаг 5. Влияние на соседей с длиной связывающего маршрута – 4



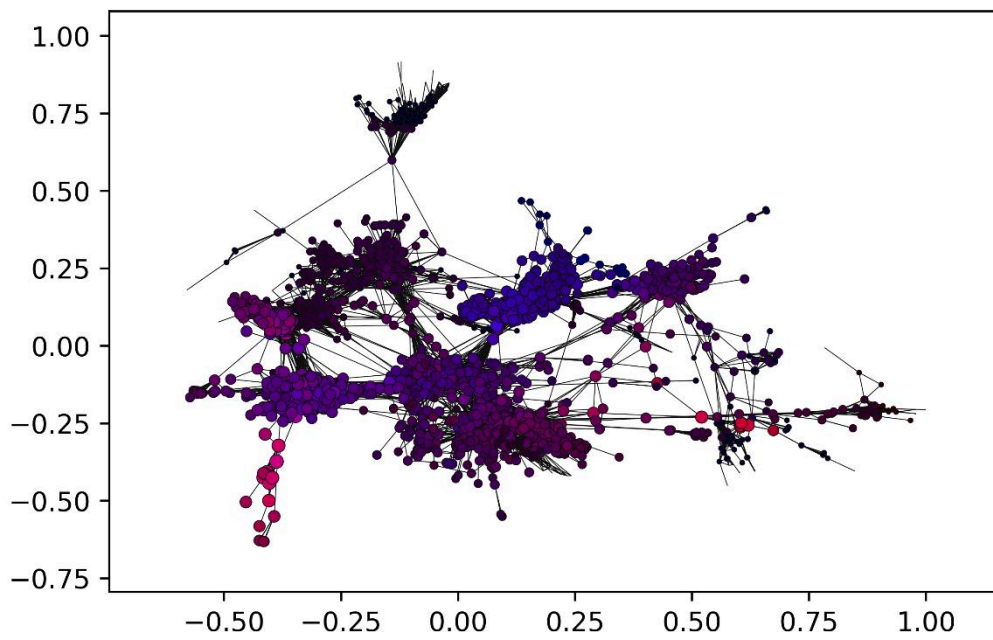
Шаг 6. Влияние на соседей с длиной связывающего маршрута – 5



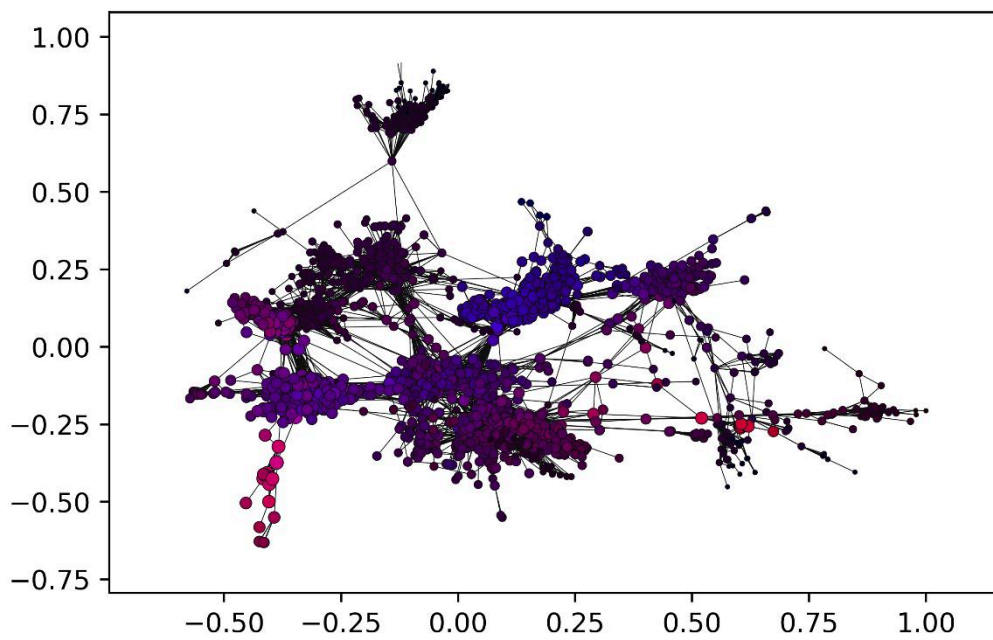
Шаг 7. Влияние на соседей с длиной связывающего маршрута - 6



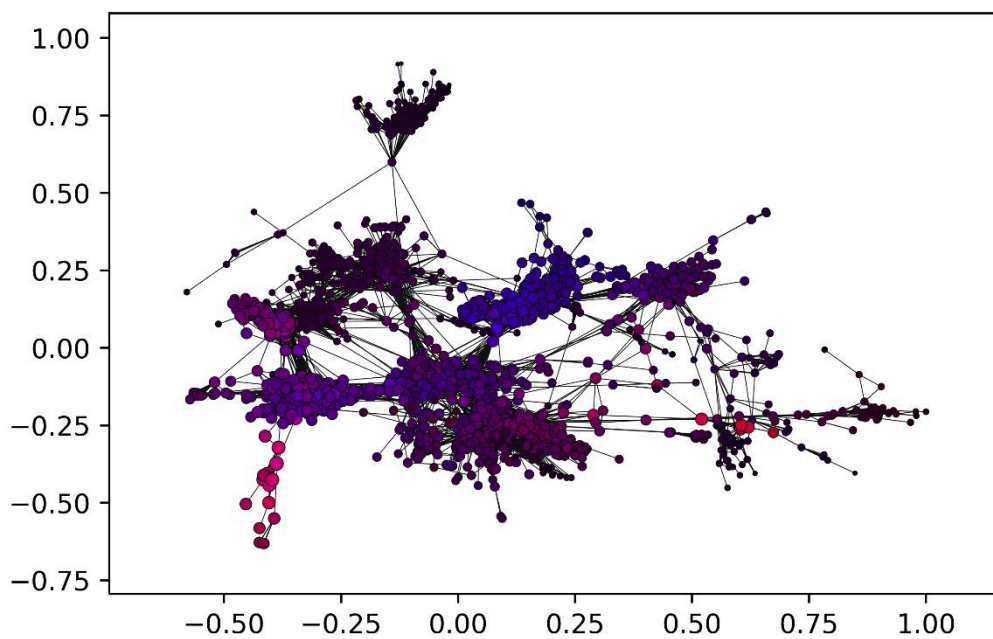
Шаг 8. Влияние на соседей с длиной связывающего маршрута - 7



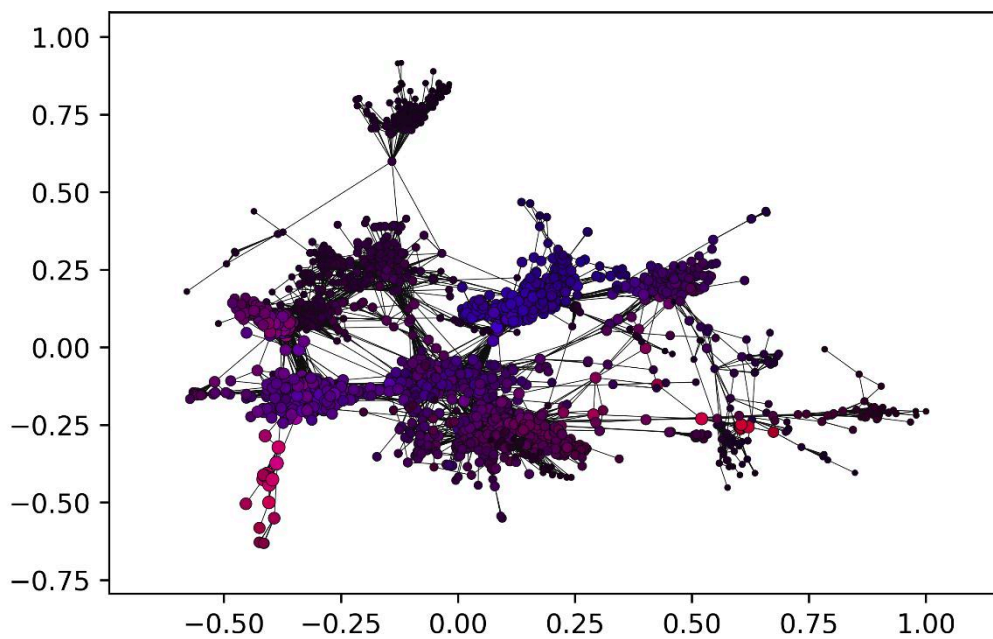
Шаг 9. Влияние на соседей с длиной связывающего маршрута – 8



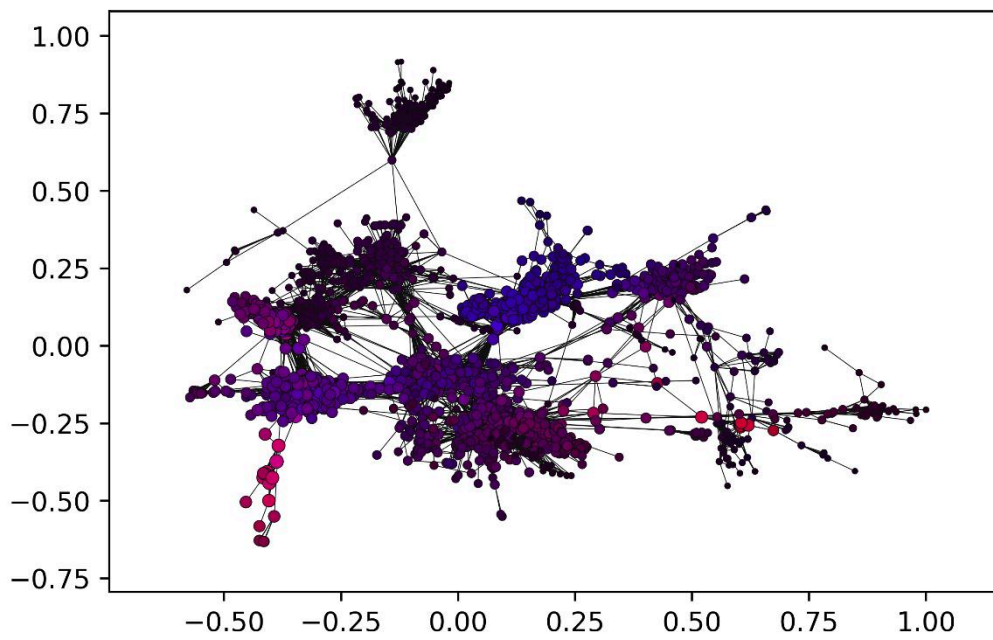
Шаг 10. Влияние на соседей с длиной связывающего маршрута - 9



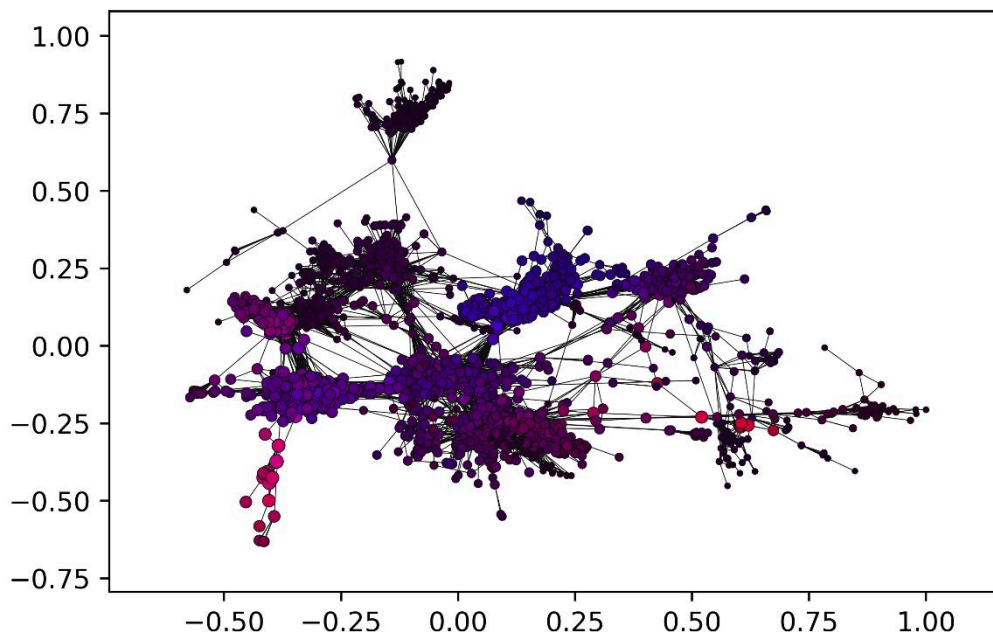
Шаг 11. Влияние на соседей с длиной связывающего маршрута - 10



Шаг 12. Влияние на соседей с длиной связывающего маршрута - 11



Шаг 13. Влияние на соседей с длиной связывающего маршрута - 12



Шаг 14. Влияние на соседей с длиной связывающего маршрута – 13. Имитация закончена, диаметр социальной сети равный 13 полностью обойден алгоритмом, итоговая подверженность влияниям А и В на рисунке