

Определение структуры элиты в виртуальных мультиплексных социальных системах по методу обобщённого К-ядра.

Резюме:

Элиты – подгруппы индивидов в рамках сообщества, у которых есть возможности и средства, чтобы оказывать влияние на сообщества, контролировать и формировать их. Члены элит, как правило, индивиды с большим количеством связей, что позволяет им распространять своё внимание, а также, накапливать, обрабатывать и распространять информацию. Мы утверждаем, что элиты образованы не только индивидами с большим количеством связей, но также посредниками, которые соединяют центры со сплочёнными и структурированными подгруппами элит в ядре социальной сети. С данной целью мы представляем здесь обобщение алгоритма К-ядра, который позволяет идентифицировать социальное ядро, образованное как центральными, так и связующими звеньями. Мы показываем состоятельность представлений о сетях виртуального мира, определяемых самой игрой MMOG, из которой мы получаем полную информацию о различных социальных сетях. Используя эту мультиплексную структуру, мы видим, что центральные звенья обобщённого К-ядра соответствуют заметно вовлечённым в социальные процессы игрокам, согласно многим индикаторам, которые имеет место в игре. Кроме того, благодаря стратегии комбинированного рассмотрения К-ядра и ранее описанного М-ядра, можно удовлетворительно идентифицировать в качестве модулей обобщённого К-ядра элиты различных «рас». Представляющие интерес внезапные скачки в составе ядер элиты рассмотрены на глубинном уровне. Как мы показали, надёжное определение состава элиты невозможно при традиционном подходе К-ядра. Предлагаемый метод может быть полезен для ряда общих применений, таких как выявление сообществ.

Введение

Почти повсеместно, во всех цивилизациях и во все эпохи общество структурируется таким образом, что небольшая группа индивидов располагает средствами для влияния на всё общество в большой пропорции, формировать и структурировать его, управлять им. Эти избранные меньшинства образуют *элиты*. Определение и описание элиты – очень многоплановая и широко обсуждаемая задача [1–5]. Необходимо рассмотреть благосостояние, опыт, известность, влияние на других индивидов, роль в сообществах, клубах, собраниях, и др. В любом случае элиты нужно рассматривать не сами по себе, а только в контексте социальных систем, которые являются наложением различных изменяющихся во времени социальных сетей, так называемых, *мультиплексных сетей (MPN)* [6–8]. Данные сети иллюстрируют различные типы взаимодействия индивидов, такие как общение, торговля, дружба, агрессия и другие, см. Рис. №. 1а. Разумеется, элита определяется её положением в таких сетях MPN. Действительно, можно принять, что элита характеризуется большим *числом связей* [9] в различных сетях в составе MPN, которая позволяет им распространять своё влияние на большое количество других индивидов. Большое число связей наряду со стратегическим положением в MPN также

позволяет им собирать, обрабатывать и распространять важную для них информацию [10]. С этой точки зрения, элиты являются ядрами сообществ, которые, в определённой степени, определяют геометрию всех социальных взаимодействий в социальной системе [9]. Также интуитивно ясно, что элиты представляют собой совокупность индивидов, не просто с большим числом связей, но также плотно связанных между собой (*сплочённую подгруппу*). Элиты содержат *концентраторов* (центральные звенья сети) и, возможно, других индивидов, играющих определённую функциональную роль в структуре элиты. Кроме того, отношения между членами элиты носят не случайный характер: они определены одновременно на разных уровнях, от личных и коммерческих взаимодействий до информационного обмена. Сплочённость такой группы достигается взаимодействием между членами элиты как напрямую, так и через связующие звенья, которые, не имея большого количества связей сами по себе, обеспечивают и координируют отношения между членами элиты с большим числом связей [11]. Мы будем называть такие связующие звенья *посредниками*.

Из рассмотренного выше возникает вопрос, можно ли выявить членов элиты MPN по одним только геометрическим признакам. Идентификация сплочённых подгрупп в ядре социальных сетей проводится на протяжении десятилетий и включает разложение K-ядра на составляющие [12–14], выявление клики [15, 16], или анализ «клуба богачей» [17], наряду с другими методами идентификации сплочённых подгрупп [18, 19]. В общем, такие схемы разложения на составляющие основаны на изучении организации концентраторов. Однако, для того, чтобы адекватно описать организацию социальной системы, необходимо рассмотреть и другие определения «ядра», учитывающие другие *функциональные* свойства связей с узлами, помимо их количества. В нашем рассмотрении, определение концентратора следует включить в определение ядра. Главная задача данной работы – предложить алгоритм обобщения K-ядра, который учитывает «функциональность» посредников, и, таким образом, позволяет выявить ядра, которые образованы как концентраторами, так и их посредниками. *Обобщённое* K-ядро получено итерационным методом, который инспирирован как так называемой K-этажеркой (K-scaffold) [20, 21], так и методом K-ядра [12, 14]. Обобщённое K-ядро (G_K -ядро) является максимальным индуцируемым подграфом с узлами, имеющими значение, равное или большее K, либо связывают такие узлы. Как мы покажем, метод G_K -ядра обособляет элиты значительно надёжнее, чем традиционный метод K-ядер. Кроме того, как мы вскоре увидим, K-ядра и G_K -ядра заметно отличаются по составу и архитектуре.

Количественная оценка структурных шаблонов в реальной социальной системе, как правило, трудно и даже невозможно из-за недостаточности данных и из-за факторов, которые не поддаются экспериментальному контролю. Виртуальные сообщества, такие как, например, формируемые в массовых сетевых играх (MMOG) [22] дают великолепную возможность избежать данных трудностей и впервые получить полное количественное и эмпирическое понимание социальных систем при контролируемых условиях. Файлы журналов событий данных игр обеспечивают полные наборы данных, где записываются практически все действия и взаимодействия всех аватаров (персонажей) игры. MMOG являются уникальной средой для тестирования количественных гипотез и

формулирования принципиально новых вопросов к социальным системам. Данные могут дать ответы на вопросы с беспрецедентной точностью для социальных наук. В данной работе мы будем использовать данные об обществе участников ММОГ игры «Pardus» (<http://www.pardus.at>) [23], сетевой игры со свободным доступом и игровым сообществом, которое в настоящий момент насчитывает 420 000 человек. В данной игре игроки живут в виртуальной, фантастической вселенной, где они взаимодействуют с другими игроками множеством различных способов для достижения поставленных ими самими задач. Ряд социальных сетей можно извлечь из игры Pardus для получения первого понимания MPN игроков в целом. Данная MPN образована изменяющимися во времени сетями для общения, дружбы, вражды, атаки и мести. Данные сети тесно связаны и влияют друг на друга, что систематически выявляется и характеризуется количественно в работах [7, 23–28]. Здесь мы сосредоточим внимание на сетях, которые характеризуют *взаимодействие*, а именно, сетях дружбы (F), общения (C) и торговли (T). Наша социальная система, таким образом, получена из MPN:

$$M(t) = M(V, E_F \times E_C \times E_T, t),$$

где E_F , E_C и E_T – наборы связующих линий, которые характеризуют дружбу, обмен информацией и коммерческое взаимодействие, соответственно

Чтобы гарантировать релевантность результатов, мы сделали выборку игроков, отсеяв неактивных. В частности, мы построили сети, начиная от наиболее активных игроков игровой вселенной «Artemis», которая дала нам набор в 2000–2500 игроков.

Априори не ясно, какой тип связей MPN и какая комбинация связей наиболее значима при выявлении элиты. Связь между двумя индивидами может сигнализировать о случайном взаимодействии, однако если связующая линия общения дублируется линией торговли, это может быть сигналом более плотных взаимоотношения между ними. Для этой цели мы вывели ещё четыре сети, показывающие *пересечения* уровней MPN, см. Рис. № 1 а, с и методы. В данных сетях связующая линия появляется только при наличии двух или трёх уровней MPN. Для двух графов пересекающихся графов мы формально запишем:

$$G_{FC} = G_F \cap G_C, \quad G_{FT} = G_F \cap G_T, \quad G_{CT} = G_C \cap G_T$$

и

$$G_{FCT} = G_F \cap G_C \cap G_T$$

Связи в этих сетях, зачастую называемые *множественными* [29], кодируют плотное взаимодействие, так как они объединяют игроков, связанных более чем одним типов взаимодействия. Самые прочные в этом смысле связи находятся в графе G_{FCT} , который мы относим к структурированной магистрали мультиплексной системы. Выявление структур элиты и организации ядра основано 3 сетями MPN и графами 4 видов их пересечений.

Организация ядра G будет однозначно выявлена путём вычислением последовательности G_k -ядер, так называемое G_k -разложение, которое представляет собой разложение на сети по принципу матрёшки.

$$\dots \subseteq G_k(G) \subseteq G_{k-1}(G) \subseteq \dots G_2(G) \subseteq G.$$

Поведение этой последовательности вложенных уровней сетей (рассматриваемое либо с точки зрения статистических свойств графов, либо исходя из социального состава) очень важно для выявления организации и структуры элиты в нашей виртуальной социальной системе. В сравнении в традиционным методом К-ядра, мы увидим, что G_k -ядро даёт гораздо более подробную картину вложенных структур сообщества. Данные об игре «Pardus» позволили нам протестировать и сравнить качество выявленного ядра и увидеть, в какой степени оно соответствует свойствам, которые ожидаются от элиты. Мы зафиксировали благосостояние каждого игрока, его лидирующая роль в локальных организованных структурах и важность его лидерской позиции, представленная как «степень глобального лидерства». Локальные организованные структуры это клубы, общества и политические партии, в которые объединяются игроки. Нам известно, кто из игроков играет роль лидера в такой локальной организации, этот игрок может быть президентом, казначеем или владельцем тех или иных активов. «Степень глобального лидерства» присваивается каждому игроку (и видима всем остальным). Она растёт при выполнении специальных заданий (миссий). Такая степень является индикатором потенциального влияния игрока и его решений на «фракцию», которой которой он принадлежит. «Фракция» соответствует государству в реальном мире. В своём текущем состоянии игровая вселенная включает три фракции, которые являются политически независимыми друг от друга и управляются каждая своей элитой.

Следует отметить важность представленных здесь данных. Поскольку нет формального/геометрического определения элиты в данном мультиплексном сообществе, мы использовали средние позиции индикаторов социальной значимости различных подграфов выделенного ядра. Мы проверили позиции геометрически изолированных наборов узлов на показатели социальной значимости, используемые для всех изучаемых индивидов. Однако, элита – не разрозненный список наиболее преуспевших индивидов, а сплочённая социальная структура. Следовательно, следовало бы применить к значимым нулевым моделям строгие индикаторы статистической значимости. Это, без сомнений, представляет большой интерес, но выходит за рамки настоящей статьи. Вместо этого мы использовали позиции значимости, сравнив их с результатами, полученными из модели К-ядра. Данная модель является стандартным механизмом выделения ядра, изначально разработанным для выделения подструктур сети, оказывающих наибольшее влияние на других индивидов в изучаемом сообществе.

Обсуждение

Целью данного исследования было использование картографического метода, чтобы выявить элиту в социальной системе. Мы определяем элиту не только как набор индивидов, объединённых большим количеством связей с обществом, но также объединённых со своими соединительными звеньями в рамках сети, которая иллюстрирует множественные взаимоотношения, такие как личные, коммуникативные и торговые. Такие элиты, предпочтительно, стратегически локализованы в ядре мультиплексной системы, которая определена сообществом. Для идентификации ядер

элит мы предлагаем алгоритм, аналогичный традиционному алгоритму «К-ядра», но приводящий к совершенно другим композициям в результирующем ядре. Мы назвали его «обобщённым К-ядром». В качестве тестовой системы мы рассматривали сообщество игроков MMOG Pardus, которая не только включает различные социальные взаимодействия [7, 23–27], но также включает количественную информацию о таких взаимодействиях индивидов с сообществом, как лидерство, благосостояние, социальный статус в плане прочих навыков, в которых, как полагается, члены элиты показывают особенно высокие результаты. Как мы полагаем, структуры формируются посредством ядер, которые соединены либо напрямую, либо через посредников, как правила, на глубоких уровнях ядра (большая К). Ядра данных подсистем показывают наиболее высокие уровни социальной значимости, что особенно справедливо для магистрали сети, а также для сетей, образуемых при пересечении двух уровней, особенно, на уровне дружбы и коммуникаций, а также в дружбе и торговле. Кроме того мы могли бы показать, что посредники в рамках G_K -ядра показывают гораздо худшие характеристики, чем концентраторы, тем не менее, собранные нами данные указывают на то, что посредники превосходят индивидов, не входящих в состав G_K -ядра, в социальном аспекте (по степени вовлечённости). Таким образом, посредники образуют что-то вроде «вторичной» элиты в системе, получая преимущественные знания о нижележащих социальных связях. В плане расового состава и структуры сообщества, входящего в состав ядра, мы наблюдали комбинированную стратегию, включающую использование ранее описанного М-ядра и G_K -ядра, давая чёткое представление о количестве блоков, находящихся в распоряжении элит трёх рас, представленных в игре, обеспечивая таким образом новые возможности для изучения сообщества, локализованного в ядре сети. Реорганизация расового состава ядер происходит резкими скачками, что является следствием столкновения блоков с разным уровнем К. Для всего выполненного анализа следует обратить внимание на низкие характеристики К-ядра, в сравнении с G_K -ядром. Наконец, мы отметили, что несмотря на свою низкую среднюю степень вовлечённости, все изучаемые сети проявляют значительную тенденцию к образованию блоков, которую мы приписываем процессу обособления по трое, которая, вероятно, является основной движущей силой в динамике формирования социальной сети [7, 30–33].

Представленные результаты предполагают, что вторичные графики, изолированные посредством G_K -ядра, в настоящий момент служат способом взаимодействия элит и определяют связующие подгруппы. Более общими словами, при дальнейших действиях выявляется роль посредников в передаче потока информации по сетям и их предположительно важная роль в динамических процессах всей сети. Разумно будет предположить, что комбинация незначительного числа количества связей в общем и выполняемой данными звеньями роли мостов между блоками может определить их доминирующую роль в рамках всей сети. Предлагаемый метод может применяться в более широком аспекте для визуализации сетей и как алгоритм для обнаружения сообществ.

Введение

Сообщества можно рассматривать как совокупность индивидов, которые взаимодействуют через *мультиплексную сеть (multiplex network, MPN)*, например, при наложении нескольких социальных сетей, определяемых одним и тем же набором узлов (индивидов) [1], [2]. Различные типы сетей соответствуют различным типам социальных взаимодействий. Например, социальная подсеть в составе MPN состоит из звеньев, которые обмениваются информацией посредством электронной почты, телефонных звонков или писем. Другая подсеть – торговая, где индивиды обмениваются товарами и услугами, в обмен на другие товары, деньги, либо (изредка) безвозмездно. Каждое из данных действий требует начального действия от одного из участников обмена, *отправителя*, и цель данного действия – *получателя*. Действия могут (не всегда) быть взаимными, так что сеть состоит из направленных и дающих преимущества тем или иным индивидам подсетей. MPN это весьма нетривиальный и динамично развивающийся объект. Различные подсети в составе MPN не независимы, а, напротив, оказывают сильное влияние друг на друга посредством *взаимодействия «сеть-сеть»*. Для понимания системных свойств сообществ очень важно выявлять и количественно определять организующие принципы, стоящие за такими взаимодействиями MPN – пример *коэволюционных* структур: с одной стороны, действия индивидов формируют и определяют геометрию сети, а с другой, сама геометрия сети ограничивает и во многом определяет действия, которые могут иметь место в сети MPN. MPN невозможно рассматривать в целом из-за высоких требований к синхронизации данных. Несмотря на эти трудности, *макроскопический* анализ MPN стал традицией в социологических исследованиях [1], [3] – [5]. В таких макроскопических исследованиях недавно наметились значительные достижения в количественном понимании массовых социальных сетей, имеющих место, например, в сотовой связи [6] – [8], международной торговле [9], [10], электронной почте [11], системе финансовых задолженностей [12] и сети финансовых потоков [13]. Интеграция различных динамических сетей в рамках всего общества, тем не менее, находится за рамками любых реально доступных источников данных. Однако, растущее количество доступных электронных источников, накапливаемых людьми на протяжении жизни, понемногу меняет эту ситуацию. Сетевые источники вбирают в себя всё больше информации о жизни и поведении людей [14], [15]. В частности, источником, где доступны *обобщённые* поведенческие данные, – массовые сетевые игры (ММОГ). В ММОГ сотни тысяч игроков встречаются в «виртуальной жизни», где их действия легко поддаются изучению [16]. Игроки стремятся преуспеть в этой «жизни» экономическим путём и, зачастую, путём интеграции в различные типы социальных сетей. Явления дружбы и вражды в таких игровых социальных сетях изначально изучались по отдельности [17], [18]. Сети [2], созданные для торговли, агрессии и наказания, дополняют наш анализ. Приведены данные о первых измерениях взаимного влияния в рамках данных сетей.

В настоящем исследовании мы сосредоточили внимание не на всей сети MPN в целом, а на динамике (действиях), которые имеет место между их звеньями. Мы изучили последовательность действия игроков в виртуальной вселенной ММОГ. Поведенческие данные доступны в масштабах всего сообщества, однако собрать данные на таком уровне практически невозможно. Уникальные данные по сетевой игре Pardus [19] позволяют однозначно оценить действия всех игроков в течение длительных периодов времени. Мы сосредоточили внимание на восьми типах действий, которые мы преобразовали в 8-буквенный код. Этот код действий отдельных игроков затем анализировался стандартным методом временных рядов, который многократно использовался в исследованиях, например, при анализе ДНК [20] – [22].

Обсуждение

Анализ последовательности поведения людей, записываемый средствами массовой сетевой игры (ММОГ) показывает, что общение является доминирующим занятием игроков, следующими являются агрессия и торговля. Общение игроков происходит на порядок чаще, чем атаки и продажи, что показывает важность обмена информацией между людьми. Возможно частное рассмотрение собирательных временных рядов, отражающих действия людей конкретного типа (N_{ν}) по простой усреднённой реверсивной логарифмически нормальной модели. На уровне индивида мы можем выявлять организационные шаблоны общепольного поведения. Коэффициенты перехода действий индивидов показывают, что положительные поступки в значительной степени вызывают положительные *реакции*. С другой стороны, отрицательные поступки имеют высокую тенденцию не к отражению, а к повторению, что показывает побуждающую природу отрицательных поступков. Однако если мы рассмотрим отдельно реакцию на отрицательные поступки, мы обнаружим, что негативная реакция весьма утрирована. Вероятность совершения отрицательного поступка, приблизительно, в 10 раз выше, если человек стал объектом другого отрицательного поступка в прошлом, нежели если он стал объектом положительного поступка. Акт общения, как было обнаружено, является в значительной степени взаимным, переходящим по своей природе. Анализ бинарных временных рядов игроков (добро-зло) показал, что почти все игроки ведут себя «хорошо» почти всё время. Отрицательные поступки в значительной степени уравновешены положительными. Игроки с высокой долей отрицательных поступков, как правило, имеют значительно более короткую «жизнь». Это может быть так по двум причинам: во-первых, они преследуются другими игроками и отказываются от дальнейшей игры, во-вторых, поскольку они не способны поддерживать общественную жизнь и выходят из игры из-за одиночества и разочарования. Мы интерпретируем данные результаты как эмпирическое доказательство самоорганизации, ведущей к взаимным добрым поступкам в рамках человеческого общества. Следует отметить, что игра даёт возможность совершать отрицательные поступки, как и положительные, по решению игроков.

Поведение является весьма постоянным в рамках добра и зла, как видно по показателю масштабирования ($\alpha \sim 0,87$) среднеквадратичного смещения линий миров добра и зла. Такое высокое постоянство означает, что добрые и злые поступки совершаются в блоках. Подобные высокие показатели постоянства получены в более раннем изучении поведения людей [28]. Меньший показатель ($\alpha \sim 0,59$) получен для временных рядов «действие-результат-действие».

Наконец, мы разложили последовательности поведения индивидов на частные последовательности (длиной 1–6) и интерпретировали их как аналог слова в поведении. В плане ранга слова мы обнаружили значения около 100 по закону Ципфа. Для менее частотных слов показатель распределения ранга принимает меньшие значения около $k \sim -1,5$. Далее, для вероятности появления слова мы вычислили избыточность n -кортежа Шеннона, приводящую к довольно высоким значениям в сравнении с ДНК- последовательностью [20]–[22]. Это отражает преимущество общения над остальными действиями. Избыточность n -кортежа, разумеется, не постоянна, что подчёркивает нетривиальность статистики структуры поведения.