

Никонов Юрий Викторович, Чураков Вадим Сергеевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ОНЛАЙН (ОБЗОР ИНОСТРАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ)

Исследование временных моделей социальных сетей, их характерных особенностей значимо и с теоретических, и с чисто практических позиций (неслучайно появился новый термин - "сетевые революции"). Для объяснения наблюдаемых временно-топологических корреляций перспективны разработки адаптивных моделей сети, использование их квантовоподобных (КП) свойств. Несмотря на технические трудности, ожидается введение в широкую практику квантовых сетей. Моделирование временной структуры социальных сетей - это эффективный инструмент для прикладных междисциплинарных исследований.

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2012/9/43.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2012. № 9 (64). С. 150-156. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2012/9/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

общую сумму 17169 рублей 23 копейки, которые он похитил. После чего Филонская и Орловский с места совершения преступления скрылись, а похищенными деньгами распорядились по своему усмотрению.

Третий случай произошел в июне 2011 г. В дневное время Орловский по предварительному сговору с Золотаревым с целью совершения тайного хищения чужого имущества пришли к дому Винокурова, расположенному по адресу: Тамбовская обл., г. Жердевка, пер. Майский, д. 6. Реализуя свой преступный умысел, Золотарев через не запертую на замок входную дверь незаконно проник в жилище Винокурова, а Орловский остался около жилища с целью возможного отвлечения внимания хозяев жилища и предупреждения Золотарева в случае их появления. Золотарев, незаконно находясь в доме Винокурова, нашел в шкафу сумочку, в ней были денежные средства в сумме 6000 рублей, которые он похитил. После чего Золотарев и Орловский с места совершения преступления скрылись, а похищенными деньгами распорядились по своему усмотрению [7].

Приведенная в криминалистической характеристике система данных является общей и позволяет лишь в целом определить направления расследования конкретной кражи.

Список литературы

1. Гаврилин Ю. В., Шурухов Н. Г. Криминалистика: методика расследования отдельных видов преступлений. М.: Юрист, 2004. 468 с.
2. Герасимов И. Ф., Драпкин Л. Я. Криминалистика: учеб. для ВУЗов. М.: Высшая школа, 1994. 528 с.
3. Ищенко Е. П., Топорков А. А. Криминалистика: учебник. М.: КОНТРАКТ; ИНФРА-М, 2006. 748 с.
4. Каневский Л. А. Расследование и профилактика преступлений: учеб. пособие. М.: Юрид. лит., 2002. 110 с.
5. Машин А. П. Квартирные кражи // Человек и закон. 2001. № 10. С. 65-70.
6. Уголовное дело № 1-45 / 2011 г. // Архив суда Жердевского района Тамбовской области.
7. Уголовное дело № 1-53 / 2011 г. // Архив суда Жердевского района Тамбовской области.
8. Шурухов Н. Г. Криминалистика: учебное пособие. М.: Юрист, 2006. 639 с.
9. Шурухов Н. Г. Расследование краж: учеб. пособие. М.: Юрист, 2003. 112 с.
10. Яблоков Н. П. Криминалистика: учеб. для ВУЗов. М.: ЛексЭст, 2003. 376 с.

УДК 519.17:[004.77:316.35]

Социологические науки

Исследование временных моделей социальных сетей, их характерных особенностей значимо и с теоретических, и с чисто практических позиций (неслучайно появился новый термин - «сетевые революции»). Для объяснения наблюдаемых временно-топологических корреляций перспективны разработки адаптивных моделей сети, использование их квантовоподобных (КП) свойств. Несмотря на технические трудности, ожидается введение в широкую практику квантовых сетей. Моделирование временной структуры социальных сетей - это эффективный инструмент для прикладных междисциплинарных исследований.

Ключевые слова и фразы: временные модели социальных сетей; временно-топологические корреляции; «сетевые революции»; квантовые свойства; междисциплинарные исследования.

Юрий Викторович Никонов

ФГУЗ МСЧ № 59 ФМБА России, г. Заречный Пензенской области

nikyuv@yandex.ru

Вадим Сергеевич Чураков, к. филос. н.

Кафедра «Естественнонаучные и гуманитарные дисциплины»

Волгодонский институт сервиса (филиал) Южно-Российского университета экономики и сервиса

v.s.chur@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ОНЛАЙН (ОБЗОР ИНОСТРАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ)[©]

Введение. Представляемая работа - аналитический обзор современной англоязычной литературы по заявленной в статье «Темпоральность в онлайн-социальных сетях» [3] теме и продолжение предыдущих работ по теме «Применение междисциплинарного подхода к изучению социальных сетей онлайн» [4-6]. Исследование временных моделей социальных сетей, их характерных особенностей значимо и с теоретических, и с чисто практических позиций (неслучайно появился новый термин - «сетевые революции»). Динамика потоков информации, передаваемых через социальные онлайн-сети, электронные письма, звонки мобильного телефона, все больше привлекает внимание исследователей [35-37; 95; 96]. Сверхактуальным стало изучение современных механизмов массовой мобилизации людей, стоящих за «Occupy Wall Street»,

протестными движениями «арабской весны» или российской «белой зимы» - *Twitter, Facebook*, русскоязычные «В контакте» и другие интернет-сервисы. Временной подход к моделированию сетей обычно основывается на теории графов. Социальная сеть может быть представлена как граф с конечным множеством вершин (агентов модели, соединенных ребрами, которые отражают взаимодействие агентов) [26; 27; 44; 52; 67; 84; 96]. Топология сети, временная структура активности ребер в моделях отражает динамику передачи информации в онлайн-социальных сетях

Во многих случаях ребра, соединяющие вершины модели, не являются активными постоянно, непрерывно. Нередко ребра модели активны в течение незначительных промежутков времени. Например, в коммуникативных сетях электронной почты, звонков мобильных телефонов ребра представляют последовательности кратковременных контактов, длительностью которых можно пренебречь [46]. В рамках теории графов возможно моделирование и нетривиальных, неклассических - квантовых и квантовоподобных (КП) - свойств социальных сетей. Причем КП свойства имеют два источника - топология собственно сети [34; 76; 93; 94; 101] и КП свойства психики людей, взаимодействующих через эту сеть [1; 2; 7; 47; 99; 102]. Временные сети, временные социальные сети - всегда предмет междисциплинарных исследований. В науке о временных сетях складывается собственная, не всегда «устоявшаяся», отличная от применяемой в исследовании статических сетей, терминология - **d-графы** (т.е. *динамические графы*), *временные графы*, *развивающиеся графы*, *изменяющиеся во времени графы*, *соединенные временными отношениями графы*, *временная длина пути* и т.д. [12; 31; 35; 37; 54; 67].

При моделировании социальных сетей как графов можно оценить, как влияет одна часть сети на другую, какие вершины играют главные роли в изменении системы и т.д. [12; 13; 15; 18; 20; 55; 67]. Модель может быть более реалистичной, если она включает дополнительные иерархические уровни и детали, например, вероятностные веса ребер во взвешенных сетях [7; 49; 72] или положение вершины в пространственных сетях [11; 14].

В статических сетях, ориентированных или неориентированных, если узел А непосредственно связан с узлом В, и В непосредственно связан с С, то А косвенно связан с С через В. Однако, во временных сетях, если ребро (А, В) является активным только в более поздний момент времени, чем ребро (В, С), то А и С остаются разъединенными. Таким образом, фактор времени может иметь существенное значение в моделировании даже простейших связей узлов и их корреляций в динамических системах. Первостепенную важность для моделирования может иметь наличие пульсирующего прерывисто во времени функционирующего ребра [20]. Вершины модели также могут быть активными непостоянно, периодически, но обычно это отражено в функционировании ребер. В то же время динамика системы может быть смоделирована и как ветвящийся процесс [65], что имеет место во многих сетевых моделях. Это и распространение инфекционных болезней [98], и математически схожим с эпидемиями «заразных» болезней распространением по социальным сетям призывов к тем или иным действиям, новых идей, слухов и т.д. [27; 100]. С другой стороны, временной подход к моделированию оптимален не всегда. Если темп изменений динамической системы в сети слишком быстр по сравнению с темпом изменения сетевой инфраструктуры, тогда нет никакой необходимости моделировать инфраструктуру как временную сеть. Наглядный пример - сеть Интернета, в котором информационные пакеты данных перемещаются намного быстрее, чем изменяется топология самой сети [37].

Существуют различные типы временных сетей. Для временного подхода к моделированию сетей хорошо подходят базы данных онлайн-коммуникации (контакт двух человек, последовательные контакты между двумя пользователями сети - «лицом к лицу») [22; 41; 80; 105]. Такие базы данных часто представлены в виде списков сообщений от одного человека другому с учетом времени контакта или в диалоге между двумя людьми в пределах определенного временного интервала. Первый тип содержит сети электронных писем [40; 69], текстовые сообщения мобильного телефона [24; 53], «мгновенные» сообщения на онлайн-форумах [43; 56]. Телефонные звонки, контакты, естественно, не мгновенны, имеют определенную продолжительность, однако, во многих случаях продолжительностью вызовов-контактов можно пренебречь и учитывать их как мгновенные.

Другой тип временной сети: один источник - многие реципиенты информации. Например - радиопередача (в том числе и через Интернет), когда информация передается любому, имеющему техническую возможность для ее приема [37]. Еще один тип распространения информации между людьми, моделирование которого полезно с учетом временного подхода к сети - распространение информации о событиях в блогах [103] или микроблогах [56].

Проведенные Либен-Новеллом и Клайнбергом исследования электронных писем, когда письма передаются по цепочке агентов - промежуточная форма информационной передачи между вышеупомянутыми типами передачи информации [62].

Во временном графе пути распространения информации обычно определены как последовательности контактов с «неуменьшающимися» временами. Действительно, время, прошедшее после какого-то события, например, контакта в социальной сети, может только нарастать. Важно уметь определять набор вершин модели, которые могут быть достигнуты в процессе распространения информации с учетом определенного времени их достижения - «достижимость» [37]. Например, набор вершин модели, которые могут в принципе подвергнуться заражению компьютерным вирусом за определенный интервал времени.

Фундаментальное понятие временного графа было введено в исследованиях распределенных вычислений. Существуют различные типы распределенных вычислительных систем, но они все состоят из независимых вычислительных единиц, соединенных в сеть [28]. Центральная проблема в этой области - отслеживание

давности информации. Может использоваться вариант, когда вершины в процессе контакта обновляют информацию друг друга. Важный показатель - полная «скорость» временной сети, то есть показатель того, как быстро вершины могут «в среднем» передать что-то вдоль последовательности контактов. Некоторые авторы говорят о «расстоянии» и «длине» как времени, измеренном, например, в секундах и днях. Коссинетс и др., например [51], определяют «расстояние» между двумя вершинами как самую короткую продолжительность времени достижения контакта.

Литературы по статическим графам значительно больше, чем по временным графам по естественной причине: обычно статические графы легче проанализировать, особенно аналитически. Но ситуация меняется. Подход к анализу временных графов должен учитывать и топологические, и временные свойства сети [66]. Самый простой путь к этому состоит в том, чтобы накопить данные о контактах за некоторое время, чтобы сформировать ребра. Например, исследователи разделяли время на сегменты (временные интервалы) и изучали структуру контактов по этим сегментам [81]. Подобный подход оптимален в случаях, когда топологические аспекты сети более важны, чем временные [37].

Исследователями разработан целый ряд моделей временных сетей. Так, модель стохастического формирования пары впервые была применена для сетей сексуальных контактов в Интернете [79; 80]. Подобные модели применяются и в других областях человеческой деятельности. Представляют интерес «динамические случайные модели графа с памятью», достаточно давно предложенные Т. С. Туровой [97], использующая структура которых удобна для проведения аналитических вычислений [87; 88].

Структура модели в виде временных показательных случайных графов представлена, например, в [49], где учитывается вероятность контактов, которые происходят между парой вершин в данном интервале времени. Точно так же как у его статического аналога, у временного показательного случайного графа есть связь с моделью Изинга [38]. Модель в виде временного показательного случайного графа может использоваться как порождающая модель для построения структуры последовательности контактов социальных сетей. Нельзя не отметить рандомизированные эталонные модели [52], модели, отражающие типичные циркадные и еженедельные ритмы деятельности человека [41; 59], рандомизированные контакты с дистанционным управлением (см. Карзай и др. [45]).

Для моделирования социальных сетей Стеле, Баррет и Бьянкони [91; 92] использовали структуру, в которой ребра представляют некоторые изменяющиеся социальные связи (например, в контактах типа «лицом к лицу»). Их подход базируется на учете ожидаемых изменений числа людей в группах. Иллюстрация подхода: «чем дольше агент взаимодействует с группой, тем меньше вероятность его ухода из нее; чем больше агент изолирован, тем менее вероятно продолжение его взаимодействия с группой».

На свойствах временных графов основаны модели распространения компьютерных или биологических вирусов, новостей, слухов, которые передаются через физические контакты, интернет-контакты или социальные сети. Для модели важна структура сообщества, корреляции между силами связи внутри сообществ, их топология [63; 68; 72; 104; 105; 108; 109]. В статичных сетях процесс передачи «инфекции», в конечном счете, «заразит» все вершины, которые в принципе могут быть достигнуты из первоначального источника, и, таким образом, определяющий фактор в этом контексте - скорость распространения «инфекционного» агента. В модели с временным измерением зараженные люди могут выздоравливать и становиться невосприимчивыми к инфекции (прямая аналогия с распространением идеологий). Структура сети в этом случае зависит от взаимодействия между двумя показателями (скорости заражения и скорости восстановления - «выздоровления»). Есть и более сложные версии модели, где невосприимчивость к «заражению» не является постоянной, и люди могут снова становиться восприимчивыми к заражению через некоторый интервал времени. Применение таких моделей к статическим сетям эквивалентно предположению, что все взаимодействия между вершинами однородны во времени. Однако в действительности обычно это не так. Есть увеличивающийся корпус данных по очень большой разнородности временных свойств социальных взаимодействий - обычные пульсирующие, прерывистые коммуникации, осуществляющиеся через электронную и физическую почту [39; 91], мобильные телефонные звонки и текстовые сообщения [22; 24; 40; 45]. Добавляют временной неоднородности социальным сетям ежедневные и циркадные ритмы человека [18; 39; 45; 50; 53; 69].

Динамика человеческого общения почти всегда пульсирующая, поэтому практически всегда отличается от распределения Пуассона. Мин, Гох и Васкес [64] изучили модель с закономерными распределениями межсобытийных временных интервалов, в которой структура сети рассматривается как древовидная. Эмпирические доказательства для иного, чем Пуассоновское, распространения динамики было проведено, в частности, Ирибарреном и Моро [39]. Они выполнили эксперимент, где свыше 30000 человек отправляли текстовые послания по электронной почте. Было установлено, что за медленную динамику распространения информации в сети ответственен большой разброс во временах отклика-ответа. В их эксперименте подписчики на информационный бюллетень онлайн вознаграждались за то, что рекомендовали эту подписку через электронную почту своим друзьям. Традиционные аналитические эпидемические модели потерпели неудачу в предсказании скорости и динамики числа людей, получивших и отправивших подобное сообщение. Однако наблюдаемая медленная динамика была хорошо описана *немарковской ветвящейся моделью*.

Карзай и др. [45] обеспечили дальнейшее понимание влияния временной разнородности на динамику распространения информации, исследуя поведение моделей. Моделировалась динамика реальных звонков мобильных телефонов и сообщений электронной почты с учетом их временной и структурной неоднородности [24]. Роха и др. не обнаружили замедления эпидемического распространения информации в их базе

данных с неоднородной временной структурой [79; 80] сексуальных контактов в Интернете. Мирителло и др. [65] использовали записи телефонных разговоров мобильных телефонов (9 миллиардов звонков 20 миллионов пользователей) в своих исследованиях по моделированию распространения информации и обнаружили их несоответствие распределению Пуассона [45].

Наконец, эффект, подобный замедлению распространения информации в неоднородных во времени сетях человеческого общения, наблюдался и у муравьев. В [17] временные сети были построены на основании 30-минутных видеозаписей муравьев в 6 колониях, отслеживающих все контакты между отдельными муравьями. Были найдены существенные отличия от данных кинетической модели, где муравьев рассматривали как частицы идеального газа, которые беспорядочно сталкиваются и изменяют направление движения. Интересна работа по моделированию Кампа [42], где автор предлагает структуру, годную для моделирования распространения информации и реального процесса распространения инфекции во временных сетях. В статистической теории сети [87] есть методы, использующие топологию сети, чтобы идентифицировать ключевые цели для проведения прививок. Ли и др. [61] предложили схему прививок с учетом времени. Временная структура становится особо важной для моделирования, если в сети имеются неоднородности структуры и корреляции последовательностей контактов между вершинами. Для моделирования подобных сетей иногда создают модели с КП свойствами (например, со свойством «запутанности») [23; 50; 75], интерференции [85], квантовыми статистиками [21; 34].

Квантовоподобные сети

Существует ряд сетей и систем, в которых нарушаются классические законы вероятности. Например, к ним относятся контекстуально-зависимые адаптивные системы [21; 31; 32; 66; 70; 77; 105]. Так, авторы статьи [10] представили новую математическую формулу для вычисления вероятности в таких системах с помощью понятия *адаптивной динамики* и *квантовой теории информации*. А в статье [9] авторы находят эквивалентность между квантовым и классическим описанием ряда сетевых топологий, которым соответствуют энтропия фон Неймана (квантовое описание) и энтропия Шеннона (классическое описание). Целый ряд работ посвящен проблеме энтропии социальных сетей [9; 74; 106; 107]. В сложной сети различные группы узлов могут существовать в течение разного количества времени (иметь различный «возраст»), что имеет большое значение для выявления эволюционной истории сети [16; 29; 33; 95].

Теория информации Шеннона и классическая теория вероятности игнорируют семантические аспекты информации. Такая стратегия вполне успешна в описании передачи информации, поэтому стала основой теории современной телекоммуникации и технологии передачи в сети. Внедрение *Web 2.0* существенно изменяет способы общения в сети [62]. *Facebook* стал точкой сборки в повседневной жизни многих людей, соединяя их в сообщества, решающие общие проблемы и выполняющие некоторые задачи. Новости и комментарии о стихийных бедствиях (например, связанных с цунами) и политических событиях (например, антиправительственных протестах) в *Twitter* [56; 84] передаются быстрее, чем в традиционных СМИ (в которых они блокируются либо задерживаются). В результате, на первый план выходит *социальный аспект передаваемой информации*. Семантический и человеческий фактор становится настолько важным, что им уже нельзя пренебречь [8; 51; 62; 82].

Динамичные социальные сети слишком сложны, чтобы их могла описать любая классическая вероятностная модель. Есть существенное различие между передачей социальной информации и передачей физической информации. Передача информации от узла к узлу в социальной сети - проявление социального взаимодействия [25]. Последние годы масса исследований проводилась для того, чтобы обнаружить в сетях мезоскопические структуры в виде взаимодействующих сообществ, кластеров, образующихся при передаче информации в социальных сетях в тех случаях, когда мысли, чувства или действия человека разделяются множеством других людей [11; 26; 62; 65; 78; 89; 90; 93; 105]. Многие недавние исследования посвящены передаче социально-значимой информации в социальных сетях [10; 12; 13]. Имеет значение контекстуальное интерпретирование информации. Ценность информации может резко изменяться и может в большой степени зависеть от того, насколько люди доверяют каналам передачи информации и как их используют [55; 57].

Квантовые сети

С помощью квантовых процессов возможно моделирование КП - квантовоподобных процессов (в том числе - характеристик социальных сетей), которые описываются тождественными математическими закономерностями. Пока для этого используют «обычные» компьютеры, но идет работа над компьютерами квантовыми, которые предназначены и для моделирования иных квантовых и КП состояний [10; 46; 75; 84; 100]. Модели сложных квантовых систем обычно основаны на теории графов [34]. Создание квантовой сети - фундаментальная цель квантовой информатики. Квантовые сети составлены из квантовых узлов, которые могут соединяться между собой классическими или квантовыми коммуникациями [19; 48; 50]. Разработано несколько схем, использующих запутанность квантовых коммуникаций, такие как телепортация и квантовая криптография (которая позволяет вести действительно безопасную коммуникацию). Когда узлы заключены в небольшой пространственной области, построение квантовой сети становится тривиальной задачей. Однако из-за быстрого нарастания декогеренции коммуникационное расстояние строго ограничено, и коммуникация на больших расстояниях становится невозможной. Становятся необходимы квантовые ретрансляторы. Если узлы удалены на расстояния порядка сотен километров, то это налагает сильные ограничения на параметры квантовой сети [83; 86].

Есть ряд предложений по технологиям квантовых сетей [50; 58; 60; 75; 76], основанных на потребности в ретрансляторах, необходимых для их устойчивого функционирования [106]. Чтобы построить некоторые типы квантовых сетей, используют протоколы квантовой перколяции [23; 73]. Так, квантовая версия алгоритма *PageRank* имеет нетривиальные свойства и значительно выигрывает относительно классической версии. Однако в настоящее время исследования проведены только с маленькими сетями. Вычисления с квантовым *PageRank* в больших сетях со всеми свойствами сложной реальной сети [71] пока не проводились.

Юлай Грейсманн и Ристо Миккулайнен с факультета компьютерных наук Университета штата Техас (США) построили искусственную нейронную сеть под названием *DISCERN*, которая умеет запоминать и пересказывать истории. Авторы обучили ее и затем смоделировали несколько гипотетических нейродисфункций, предположительно ответственных за развитие шизофрении, сравнивая произведенные эффекты с реальными отклонениями, наблюдаемыми в группе больных шизофренией [36]. Не исключено, что подобные дисфункции будут возникать в бурно развивающихся социальных сетях с семантическими свойствами.

Закключение. Исследование временных сетей, их характерных особенностей, их динамики - все еще довольно молодая область, и в ней много нерешенных вопросов. В настоящее время разработано не очень много порождающих моделей временных социальных сетей, учитывающих нетривиальное распределение времени межконтактных интервалов, пульсирующую динамику, циркадные и еженедельные ритмы контактов. В некотором смысле, недавние исследования временных сетей иногда входят в противоречие с более ранними работами над сложными сетями [36; 67]. Разные динамические системы по-разному чувствительны к временным параметрам. Примером такой динамической системы является распространение информации в социальных сетях, которое чувствительно к таким временным характеристикам как «вспышки» деятельности и временной порядок событий. Для объяснения наблюдаемых временно-топологических корреляций перспективны разработки адаптивных моделей сети [32], использование их КП свойств. Несмотря на технические трудности, ожидается введение в широкую практику квантовых сетей [48]. Моделирование временной структуры социальных сетей - эффективный инструмент для прикладных междисциплинарных исследований.

Список литературы

1. Данилевский И. В. Структуры коллективного бессознательного: квантовоподобная социальная реальность. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: КомКнига, 2005. 376 с.
2. Менский М. Б. Сознание и квантовая механика: жизнь в параллельных мирах (чудеса сознания - из квантовой реальности). Фрязино: Век 2, 2011. 320 с.
3. Никонов Ю. А. Темпоральность в онлайн-социальных сетях // Время и информация (время в информатике / виртуальной реальности и в информационных процессах: философский, теоретический и практический аспекты): сб. научн. тр. / под ред. В. С. Чуракова. Новочеркасск: НОК, 2011. Вып. 8. С. 131-143.
4. Никонов Ю. В., Гусев Н. И., Чураков В. С. Современные технологии моделирования социальных сетей онлайн (обзор иностранных исследований) // Гуманитарные и социально-экономические науки. 2012. № 5.
5. Никонов Ю. В., Гусев Н. И., Чураков В. С. Элементы теории Лефевра и фазовые переходы в онлайн-социальных сетях // Гуманитарные и социально-экономические науки. 2011. № 6.
6. Никонов Ю. В., Чураков В. С. Когнитивное моделирование на основе рефлексивных игр Лефевра в онлайн-социальных сетях // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'11»: в 4-х т. М.: Физматлит, 2011. Т. II.
7. Супрун А. Н., Янова Н. Г., Носов К. А. Метапсихология: Релятивистская психология. Квантовая психология. Психология креативности. Изд. 3-е. М.: ЛЕНАНД, 2010. 512 с.
8. Ahn Y., Bagrow J., Lehmann S. Link Communities Reveal Multiscale Complexity in Networks // Nature. 2010. № 466. P. 761-764.
9. Anand K., Bianconi G., Severini S. The Shannon and the Von Neumann Entropy of Random Networks with Heterogeneous Expected Degree. 2010. ArXiv: 1011.1565v2.
10. Asano M., Basieva I., Khrennikov A., Ohya M., Yamato I. A General Quantum Information Model for the Contextual Dependent Systems Breaking the Classical Probability Law. 2011. ArXiv: 1105.4769v1.
11. Bagrow J., Wang D., Barabasi A.-L. Collective Response of Human Populations to Large-Scale Emergencies. 2011. LoS One 6:3. P. 1-8.
12. Barrat A., Barthélemy M., Vespignani A. Dynamical Processes on Complex Networks. Cambridge University Press, 2008.
13. Barrat J., Bianconi G. Dynamical and Bursty Interactions in Social Networks // Phys. Rev. 2010. E 8. P. 035101.
14. Barthélemy M. Spatial Networks // Physics Reports. 2011. № 499. P. 1-101.
15. Basu P., Bar-Noy A., Ramanathan R., Johnson M. Modeling and Analysis of Time-Varying Graphs. 2010. ArXiv: 1012.0260.
16. Bianconi G., Pin P., Marsili M. Assessing the Relevance of Node Features for Network Structure // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2009. № 106. P. 11433-11438.
17. Blonder B., Dornhaus A. Time-Ordered Networks Reveal Limitations to Information Flow in Ant Colonies. PLoS One. 2011. 6:e20298.
18. Braha D., Bar-Yam Y. Time-Dependent Complex Networks: Dynamic Centrality, Dynamic Motifs, and Cycles of Social Interaction // Adaptive Networks: Theory, Models and Applications / ed. by T. Gross, H. Sayama. Springer, Dordrecht, 2008. P. 39-50.
19. Cabello A., Danielsen L., Lopez-Tarrida A., Portillo J. Quantum Social Networks. 2011. ArXiv: 1112.0617v1.
20. Casteigts A., Flocchini P., Quattrociocchi W., Santoro N. Time-Varying Graphs and Dynamic Networks. 2010. ArXiv: 1012.0009.
21. Castellano C., Fortunato S., Loreto V. Statistical Physics of Social Dynamics // Rev. Mod. Phys. 2009. № 81. P. 591-646.

22. **Cattuto C. et al.** Dynamics of Person-to-Person Interactions from Distributed RFID Sensor Networks. *PLoS One*. 2010. 5:e11596.
23. **Cuquet M., Calsamiglia J.** Limited-Path-Length Entanglement Percolation in Quantum Complex Networks // *Phys. Rev.* 2011. A 83. P. 032319.
24. **Eagle N., Pentland A., Lazer D.** Inferring Social Network Structure Using Mobile Phone Data // *Proceedings of National Academy of Sciences*. 2009. № 106 (36). P. 15274-15278.
25. **Easley D., Kleinberg J.** *Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World*. Cambridge University Press, 2010.
26. **Fortunato S.** Community Detection in Graphs // *Physics Reports*. 2010. № 486. P. 75-174.
27. **Gautreau A., Barrat A., Barthelemy M.** Microdynamics in Stationary Complex Networks // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2009. № 106. P. 8847- 8852.
28. **Ghosh S.** *Distributed Systems: an Algorithmic Approach*. Chapman & Hall CRC, 2007.
29. **Ghoshal G., Barabási A.-L.** Ranking Stability and Super-Stable Nodes in Complex Networks // *Nature Communications*. 2011. № 2. P. 1-7.
30. **Goncalves B., Perra N., Vespignani A.** Validation of Dunbar's Number in Twitter Conversations. 2011. ArXiv: 1105.5170v2.
31. **Grindrod P., Parsons M., Higham D., Estrada E.** Communicability across Evolving Networks // *Phys. Rev.* 2011. E 81. P. 046120.
32. **Gross T., Blasius B.** Adaptive Coevolutionary Networks: a review // *J. Roy. Soc. Interface*. 2008. № 5. P. 259-271.
33. **Guimei Zh. et al.** Uncovering Evolutionary Ages of Nodes in Complex Networks. 2011. ArXiv: 1107.1938v1.
34. **Harrison J., Keating J., Robbins J.** Quantum Statistics on Graphs. 2011. ArXiv: 1101.1535v1.
35. **Hil S., Braha D.** Dynamic Model of Time-Dependent Complex Networks // *Phys. Rev. E*. 2010. № 82. P. 046105.
36. **Hoffman R.** Using Computational Patients to Evaluate Illness Mechanisms in Schizophrenia // *Biological Psychiatry*. 2011. V. 69. I. 10. P. 997-1005.
37. **Holme P., Saramaki J.** Temporal Networks. 2011. ArXiv: 1108.1780v1.
38. **Hooyberghsa H. et al.** Using Model for Distribution Networks. 2011. ArXiv: 1105.5329v1.
39. **Iribarren J., Moro E.** Impact of Human Activity Patterns on the Dynamics of Information Diffusion // *Phys. Rev. Lett.* 2009. № 103. P. 038702.
40. **Isella L. et al.** What's in a Crowd? Analysis of Faceto-Face Behavioral Networks // *Journal of Theoretical Biology*. 2011. № 271. P. 166-180.
41. **Jo H.-H., Karsai M., Kertesz J., Kaski K.** Circadian Pattern and Burstiness in Human Communication Activity. 2011. ArXiv: 1101.0377.
42. **Kamp C.** Untangling the Interplay between Epidemic Spread and Transmission Network Dynamics. *PLoS Comp. Biol.* 2010. 6:e1000984.
43. **Kan A. et al.** A Time Decoupling Approach for Studying Forum Dynamics. 2012. ArXiv: 1201.2277v1.
44. **Karimi F., Holme P.** Threshold Model of Cascades in Temporal Networks. 2012. ArXiv: 1207.1206v1.
45. **Karsai M. et al.** Small but Slow World: How Network Topology and Burstiness Slow Down Spreading // *Phys. Rev.* 2011. E. 83. P. 025102.
46. **Karsai M., Kaski K., Kertesz J.** Correlated Dynamics in Egocentric Communication Networks. 2012. ArXiv: 1202.3062v1.
47. **Khrennikov A.** Quantum-Like Cognition from Multiplicity of Time Scales in the Brain // *NeuroQuantology*. 2008. № 4. P. 333-348.
48. **Kimble H.** The Quantum Internet // *Nature*. 2008. № 453. P. 1023.
49. **Kolar M., Song L., Ahmed A., Xing E.** Estimating Time-Varying Networks // *Annals of Applied Statistics*. 2010. № 4. P. 94-123.
50. **Korepin V., Xu Y.** Entanglement in Valence-Bond-Solid States // *International Journal of Modern Physics B*. 2010. № 24. P. 1361-1440.
51. **Kossinets G., Kleinberg J., Watts D.** The Structure of Information Pathways in a Social Communication Network // *Proc. 14th ACM SIGKDD Intl. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining*. 2008. P. 435-443.
52. **Kostakos V.** Temporal Graphs // *Physica A*. 2009. № 388. P. 1007-1023.
53. **Kovanen L. et al.** Temporal Motifs in Time-Dependent Networks. 2011. ArXiv: 1107.5646.
54. **Kuhn F., Oshman R.** Dynamic Networks: Models and Algorithms // *ACM SIGACT News*. 2011. № 42. P. 82-96.
55. **Kuwata Y.** Decomposition Algorithm for Global Reachability Analysis on a Time-Varying Graph with an Application to Planetary Exploration // *International Conference on Intelligent Robots and Systems*. 2009.
56. **Kwak H., Lee C., Park H., Moon S.** What is Twitter, a Social Network or a News Media? // *Proceedings of the 19th International World Wide Web Conference*. 2010.
57. **Lahiri M., Berger-Wolf T.** Mining Periodic Behavior in Dynamic Social Networks // *Eighth IEEE International Conference on Data Mining*. 2008.
58. **Lauritzen B. et al.** Approaches for a Quantum Memory at Telecommunication Wavelengths // *Phys. Rev. A*. 2011. № 83. P. 12318.
59. **Lauritzen B. et al.** Telecommunication-Wavelength Solid-State Memory at the Single Photon Level // *Phys. Rev. Lett.* 2010. № 104. P. 080502.
60. **Lee S., Rocha L., Liljeros F., Holme P.** Exploiting Temporal Network Structures of Human Interaction to Effectively Immunize Populations. 2010. ArXiv: 1011.3928.
61. **Liben-Nowell D., Kleinberg J.** Tracing Information Flow on a Global Scale Using Internet Chain-Letter Data // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2008. № 105. P. 4633-4638.
62. **Liljeros F. et al.** The Web of Human Sexual Contacts // *Nature*. 2001. № 411. P. 907-908.
63. **Marceau V. et al.** Adaptive Networks: Coevolution of Disease and Topology. 2010. ArXiv: 1005.1299v1.
64. **Min B., Goh K.-I., Vazquez A.** Spreading Dynamics Following Bursty Human Activity Patterns. 2010. ArXiv: 1006.2643.

65. **Miritello G., Moro E., Lara R.** The Dynamical Strength of Social Ties in Information Spreading // *Phys. Rev. E*. 2011. № 83. P. 045102.
66. **Mucha P. et al.** Community Structure in Time-Dependent, Multiscale, and Multiplex Networks // *Science*. 2010. № 328. P. 876-878.
67. **Newman M.** *Networks: an introduction*. Oxford University Press, 2010.
68. **Onnela J.-P. et al.** Structure and Ties Strengths in Mobile Communication Networks // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2007. № 104. P. 7332.
69. **Pan R., Saramaki J.** Path Lengths, Correlations, and Centrality in Temporal Networks. 2011. ArXiv: 1101.5913.
70. **Panisson A. et al.** On the Dynamics of Human Proximity for Data Diffusion in Ad-Hoc Networks to Appear in Ad-Hoc Networks. 2011. ArXiv: 1106.5992v1.
71. **Paparo G., Martin-Delgado M.** Google in a Quantum Network. 2011. ArXiv: 1112.2079v1.
72. **Park Y., Moore C., Bader J.** Dynamic Networks from Hierarchical Bayesian Graph Clustering. *PLoS One*. 2010. 5:e8118.
73. **Parshani R. et al.** Dynamic Networks and Directed Percolation // *Europhys. Lett.* 2009. № 90. P. 38004.
74. **Passerini Fi., Severini S.** The von Neumann Entropy of Networks. 2012. ArXiv: 0812.2597v2.
75. **Perseguers S. et al.** Entanglement Distribution in Pure-State Quantum Networks // *Phys. Rev. A*. 2008. № 77. P. 022308.
76. **Perseguers S., Lewenstein M., Acín A., Cirac J.** Quantum Random Networks // *Nature Physics*. 2010. DOI 10.1038/NPHYS1665.
77. **Prokopenko M.** *Advances in Applied Self-Organizing Systems*. 1st ed. 2008. XII+376 p.
78. **Przytycka T., Slonim M.** Toward the Dynamic Interaction: It's about Time // *Briefings in Bioinformatics*. 2010. № 11. P. 15-29.
79. **Rocha L., Decuyper A., Blondel V. D.** Epidemics on a Stochastic Model of Temporal Network. 2012. ArXiv: 1204.5241.
80. **Rocha L., Liljeros F., Holme P.** Simulated Epidemics in an Empirical Spatiotemporal Network of Sexual Contacts. *PLoS Comp. Biol.* 2011. 7:e1001109.
81. **Rosvall M., Bergstrom C.** Mapping Change in Large Networks. *PLoS One*. 2010. 5:e8694.
82. **Rybski D. et al.** Scaling Laws of Human Interaction Activity // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2009. № 106. P. 12640-12645.
83. **Sangouard N., Simon Ch., Riedmatten H. de, Gisin N.** Quantum Repeaters Based on Atomic Ensembles and Linear Optics // *Rev. Mod. Phys.* 2010. № 83. P. 3380.
84. **Santoro N. et al.** Time-Varying Graphs and Social Network Analysis: Temporal Indicators and Metrics. 2011. ArXiv: 1102.0629.
85. **Shuai X. et al.** Does Quantum Interference Exist in Twitter? 2011. ArXiv: 1107.0681v1.
86. **Simon C. et al.** Quantum Memories: a review based on the European Integrated Project "Qubit Applications (QAP)" // *The European Physical Journal. D* 58. P. 1-22.
87. **Snijders T., Bunt G. van de, Steglich C.** Introduction to Stochastic Actor-Based Models for Network Dynamics // *Social Networks*. 2010. № 32. P. 44-60.
88. **Snijders T., Koskinen J., Schweinberger M.** Maximum Likelihood Estimation for Social Network Dynamics // *The Annals of Applied Statistics*. 2010. № 4. P. 567-588.
89. **Song C., Koren T., Wang P., Barabási A.-L.** Modelling the Scaling Properties of Human Mobility // *Nature Physics (Advanced Online Publications)*. 2010. № 7. P. 713.
90. **Song C., Qu Z., Blumm N., Barabási A.-L.** Limits of Predictability in Human Mobility // *Science*. 2010. № 327. P. 1018-1021.
91. **Stehle J.** Simulation of an SEIR Infectious Disease Model on the Dynamic Contact Network of Conference Attendees // *BMC Medicine*. 2011. № 9. P. 87.
92. **Stehle J., Barrat A., Bianconi G.** Dynamical and Bursty Interactions in Social Networks // *Phys. Rev. E*. 2010. № 81. P. 035101.
93. **Takaguchi T.** Predictability of Conversation Patterns. 2011. ArXiv: 1104.5344.
94. **Takaguchi T. et al.** Importance of Individual Events in Temporal Networks. 2012. ArXiv: 1205.4808v1.
95. **Tang J.** Small-World in Time-Varying Graphs // *Phys. Rev. E*. 2010. № 81. P. 055101.
96. **Tang J., Musolesi M., Mascolo C., Latora V.** Temporal Distance Metrics for Social Network Analysis // *Proceedings of the 2nd ACM SIGCOMM Workshop on Online Social Networks*. 2009.
97. **Turova T.** Dynamical Random Graphs with Memory // *Phys. Rev.* 2002. E. 65. P. 066102.
98. **Ueno T., Masuda N.** Controlling Nosocomial Infection Based on Structure of Hospital Social Networks // *J. Theor. Biol.* 2008. № 254. P. 655-666.
99. **Valencia M., Martinerie J., Dupont S., Chavez M.** Dynamic Small-World Behavior in Functional Brain Networks Unveiled by an Event-Related Networks Approach // *Phys. Rev. E*. 2008. № 77. P. 050905.
100. **Wang Y., Xiao G., Liu J.** Dynamics of Competing Ideas in Complex Social Systems. 2011. ArXiv: 1112.5534v1.
101. **Wiersma D.** Random Quantum Networks // *Science*. 2010. № 327. P. 1333.
102. **Wright R.** Statistical Structures Underlying Quantum Mechanics and Social Science. 2003. ArXiv: quant-ph/0307234.
103. **Yukie S. et al.** Empirical Analysis of Collective Human Behavior for Extraordinary Events in Blogosphere. 2011. ArXiv: 1107.4730v1.
104. **Zhao K. et al.** Modeling Emerging Coalitions in the Context of Inter-organizational Networks: a Case Study of Humanitarian Coordination // *International Journal of Intelligent Control and Systems Research*. 2009. № 14-1. P. 97-103.
105. **Zhao K., Bianconi G.** Social Interactions Model and Adaptability of Human Behavior // *Front. Physio.* 2011. № 2. P. 101.
106. **Zhao K., Halu A., Severini S., Bianconi G.** Entropy Rate of Nonequilibrium Growing Networks // *Phys. Rev.* 2011. E 84. P. 066113.
107. **Zhao K., Karsai M., Bianconi G.** Entropy of Dynamical Social Networks. *PLoS One*. 2011. 6(12):e28116.
108. **Zhao K., Kumar A., Harrison T., Yen J.** Analyzing the Resilience of Complex Supply Network Topologies against Random and Targeted Disruptions // *IEEE Systems Journal*. 2011. № 5-1. P. 28-39.
109. **Zhao K., Stehlé J., Bianconi G., Barrat A.** Social Network Dynamics of Face-to-Face Interactions // *Phys. Rev.* 2010. E 83. P. 056109.