

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию
Хитрой Виталии Андреевны на тему:
«Теоретико-игровые меры центральности в сетях и приложения»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика

Актуальность темы исследования.

Диссертационная работа Хитрой В.А. посвящена изучению сетей и новых подходов к определению центральности вершин, в основе которых лежат теоретико-игровые методы и решения (глава 1) и метод потенциалов при последовательной подаче тока в узлы электрической цепи (глава 2). Методы определения центральности узлов и выявление наиболее влиятельных узлов в сети, несомненно, являются **актуальными** и имеют важное прикладное значение при моделировании социальных, биологических, транспортных и информационных сетей. В социальных сетях такие узлы чаще всего подвергаются внешнему воздействию с целью распространения информации и воздействия на членов сети через них. В транспортных и информационных сетях вершины с наибольшей центральностью требуют внимания для оптимизации потоков в таких сетях. Молекулы органических веществ изучаются с точки зрения теории графов, что позволяет моделировать новые вещества. Автором продемонстрировано приложение теоретических результатов при моделировании транспортной сети г. Петрозаводска, причем, это исследование поддержано грантом РФФИ совместно с Фондом венчурных инвестиций Республики Карелия.

Содержание работы.

Объем диссертационной работы – 129 страниц на русском языке, она состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 78 наименований. **Первая глава** посвящена описанию теоретико-игрового подхода к определению центральности вершин графа, основанного на числе появлений вершин в путях. Здесь в основе определения лежит вектор Майерсона, который был предложен как решение кооперативной игры, разыгрываемой на сети. Приведены формулы, позволяющие вычислить число появлений вершины в простых путях длины 2 и 3 через матрицу смежности. Вводится понятие интегральной центральности. Приводится аксиоматика данной меры центральности. В главе 1 предложена модификация значения Майерсона для вершин неориентированного графа с учетом циклов. Рассмотрены частные случаи графов, приведены уточняющие формулы.

Во второй главе описывается метод ранжирования вершин графа, основанный на определении значений абсолютных потенциалов узлов электрической цепи, имеющей такую же сетевую структуру. Приводится описание двухэтапной процедуры ранжирования вершин графа со взвешенными ребрами. На первом этапе вершины ранжируются на основании абсолютных потенциалов при последовательной подаче тока во все узлы цепи, этот метод является необходимым этапом при решении разных задач электротехники и электроники. На втором этапе строится турнирная таблица и проводится окончательное ранжирование вершин

графа по сумме найденных рангов. Рассмотрены частные случаи графов: клика, граф-звезда, двойная звезда и двудольный граф, для которых получены уточняющие результаты. Для графа со взвешенными ребрами и вершинами предлагается процедура ранжирования, основанная на суммарной работе, необходимой для переноса заряда между узлами электрической цепи. Получены аналитические формулы для вычисления значений суммарной работы, совершаемой в вершинах графа-звезды, клики и полного двудольного графа.

В **третьей главе** содержатся примеры использования теоретических результатов диссертационной работы на практике. Здесь подробно описывается эксперимент по построению модели транспортной сети г. Петрозаводска, для которой определяются центральные транспортные узлы города. В этой же главе определяются меры центральности станций Петербургского метрополитена, состоящего из 72 станций.

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна.

В диссертационной работе предложены новые методы определения центральности вершин ориентированных и неориентированных графов, а также метод оценки центральности вершин графа со взвешенными вершинами на основе теории распространения тока в электрической цепи. Предложенный автором метод определения меры центральности вершин ориентированного графа имеет в основе своей значение Майерсона, предложенное ранее для кооперативных игр на сетях. В работе также предлагается новый метод ранжирования вершин графа, основанный на введенном понятии интегральной центральности, которая вычисляется как значение определенного интеграла от функции дележа в кооперативной игре, где характеристическая функция определяется через суммарное число появления вершин в подграфе, соответствующем коалиции. Теоретические результаты уточнены для специальных графов – звезды, двудольного графа, цепи.

Теоретическая и практическая значимость.

Диссертационная работа В.А. Хитрой представляет интерес как с теоретической, так и с практической точки зрения. Теоретическую значимость работы представляют новые методы определения центральности вершин графов (ориентированных и неориентированных, а также со взвешенными вершинами). Автор использует теоретико-игровые модели и модель распространения тока по электрической цепи для определения мер центральности. Все предложенные методы являются новыми и представляют большой интерес для исследователей, изучающих реальные сети в разных предметных областях. Предложенные меры центральности являются **инструментом для практиков**, изучающих структуру реальных сетей. Вершины с наибольшей центральностью можно считать наиболее важными, ведь через них, например, можно наиболее эффективно распространять информацию в социальных сетях. Пример вычисления центральности станций Петербургского метрополитена показывает, что не только станции пересечения линий метрополитена обладают высокой центральностью. Эту информацию можно использовать для размещения рекламы или повышения внимания для обеспечения безопасности движения.

Степень обоснованности научных положений.

Результаты работы В.А. Хитрой были доложены на многих российских и международных конференциях, семинарах ИПМИ КарНЦ РАН. Основные результаты диссертации опубликованы в трех статьях в ведущих научных журналах из списка ВАК, часть из них проиндексирована в наукометрических базах Scopus или Web of Science CC. Всего имеется семь публикаций по теме исследования. Содержание диссертации соответствует специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

Замечания к диссертационной работе.

Имеются следующие замечания и вопросы к диссертационной работе В.А. Хитрой:

1. На стр. 15 приводится «свойство коллективной разумности», которое в литературе обычно называется «свойством коллективной или групповой рациональности».
2. В формуле (2.2) используется обратная матрица Лапласа. Всегда ли она существует? Не нужно ли делать дополнительных предположений?
3. Можно ли теоретически сравнить предложенные меры центральности с уже имеющимися, по крайней мере, для некоторых специальных графов?
4. Мне понравился пример с Петербургским метрополитеном, поскольку предложенная мера центральности выявила наиболее центральные станции, из которых не все являются станциями пересадки с одной линии метро на другую. Можно ли дать объяснение, почему станция «Лиговский проспект» имеет высокую центральность? Было бы интересно провести подобные эксперименты с другими метрополитенами мира. Какую вычислительную сложность имеет этот алгоритм определения центральности вершин?
5. Есть недостатки в оформлении работы, например, иногда ссылки на формулы даются без круглых скобок, определения и следствия не нумеруются. На стр. 34 есть «Теорема 1'». Для теорем нумерация одноуровневая, а для утверждений и примеров двухуровневая. Хорошо было бы иметь общий подход к нумерации теорем, определений, утверждений.

Указанные замечания не носят принципиальный характер и не влияют на общее положительное впечатление от работы. Она написана хорошим математическим языком, все утверждения аккуратно доказаны. Работа содержит важные теоретические результаты, изложенные в первой и второй главах, а также имеет множество приложений, о которых сказано во введении. Одним из таких приложений является моделирование транспортной системы города с целью нахождения проблемных участков и проведение имитационного моделирования для решения транспортных проблем города. Считаю, что диссертационное исследование В.А. Хитрой представляет собой законченное научное исследование, содержащие важные результаты, которое может быть развито автором в дальнейшем.

Заключение.

Диссертация Хитрой Виталии Андреевны на тему: «Теоретико-игровые меры центральности в сетях и приложения» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 №11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Хитрая Виталия Андреевна

заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не установлены.

Член диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
профессор Кафедры математической теории игр
и статистических решений,
Санкт-Петербургский государственный университет



Е.М. Парилина
23.06.2024