

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт вычислительной математики и
математической геофизики Сибирского
отделения Российской академии наук

Академик РАН

Б.Г. Михайленко



31

03

2014 г

ОТЗЫВ

Ведущей организации о диссертации **АСТРАКОВА Сергея Николаевича** **“Методы поиска эффективных решений в распределенных системах”**, представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в технике, экологии и экономике).

Распределённые системы, для которых отношения местоположения и связи между элементами играют существенную роль с точки зрения функционирования системы, широко применяются в энергетике, в транспортных перевозках, при планировании и прогнозировании финансовых операций, а также при организации работы больших информационных баз данных. Для таких систем характерно распределение функций или ресурсов между множеством элементов (узлов) и отсутствие единого управляющего центра. По этой причине выход из строя отдельных узлов (или отклонение в режиме работы) не приводит к остановке всей системы и, во многих случаях, влечет перестройку системы в новое стабильное состояние. Распределенные методы организации и управления системы способны сделать ее надежной и предсказуемой.

Диссертация Астракова С.Н. посвящена исследованию *распределенных ресурсных систем*, определяемых на графах и гиперграфах, которые допускают широкое многообразие структурных связей. В работе создан аппарат для описания широкого класса распределенных систем и предложены методы нахождения равновесных решений. Главной особенностью рассмотренных систем является возможность для всех элементов независимо оценивать свое текущее состояние и переходить в новое более предпочтительное состояние. Актуальность темы исследования связана с возможными приложениями рассматриваемых моделей в технологических областях, социальных сферах и информационно-вычислительных технологиях.

Диссертация состоит из введения, шести глав, библиографического списка и трех приложений. Остановимся подробно на результатах диссертации.

Во введении автор дает краткое обоснование темы исследований, отмечается актуальность и значимость решаемых проблем. Основная часть введения посвящена обзору результатов, постановке задач и формулировкам основных результатов. Введение дает достаточно полное представление о содержании глав диссертации.

В первой главе рассматриваются способы задания системных объектов и методы системного анализа. Предложены графические представления распределенных ресурсных систем и даны основные определения, которые используются в последующих главах. Наиболее важным является определение распределенной ресурсной системы и способ задания ее состояний. Показано, что предложенная методика позволяет решать задачи конфликтного характера, реализуя интересы и стратегии любого количества независимых участников системы.

Во второй главе исследована динамика состояний ресурсных систем, изменяющихся в течение дискретного времени. Динамика системы определяется последовательностью состояний, которые являются результатом выбора каждым элементом своих предпочтений. Способ реализации предпочтений при помощи системы оценочных функций является новым, хотя и использует стандартную схему Курно (новое условно равновесное решение принимается на основании распределения предыдущего шага). Следует отметить, что в главе рассмотрены различные классы оценочных функций, которые отражают характер взаимодействий между элементами. К основным результатам следует отнести доказательства ряда теорем об условиях существования и единственности равновесных состояний. Созданы итерационные вычислительные алгоритмы для определения предельных решений. Найден явный аналитический вид равновесных решений в зависимости от исходных данных системы.

В третьей главе исследованы ресурсные системы со структурой групповые взаимодействия. Рассмотрены четыре модели, в которых каждый элемент имеет возможность оставлять часть ресурса на своем индивидуальном поле, а оставшуюся часть «передавать» на одно общее поле. Кроме того, рассмотрена модель с двумя общими полями взаимодействия. Для всех случаев найдены условия существования равновесных состояний и условия сходимости произвольного состояния систем к единственному равновесному решению. Проведены оценки скорости сходимости итерационных алгоритмов. Отметим высокую степень сложности моделей, заданных даже на простейших гиперграфах. Доказанные результаты показывают, что условия устойчивости всех элементов сложной системы являются достаточно жесткими, так как могут испытывать одновременное ресурсное влияние со стороны многих других элементов. По нашему мнению, с помощью предложенных методов можно моделировать отдельные механизмы в экономических процессах для того, чтобы избежать возможных кризисных явлений.

В четвертой главе рассмотрены математические модели распределений одного заданного материального ресурса между участниками системы, которые наделены некоторыми «заслугами» или рейтингом. При помощи оценочного равновесного метода представлены различные способы «справедливого» распределения ресурса. Показано, как при помощи оценочных критериев можно получать известные (например, пропорциональное распределение) или другие новые распределения. Во второй части главы 4 рассмотрены распределительные модели страховых операций, в которых планируется заданная функциональная «стратегия» компании, учитывающая взаимные интересы страховщиков и компании. Аналогичные принципы и распределительные алгоритмы вполне допустимы при разработке тарифных планов, требующих аргументированного обоснования.

Пятая глава посвящена разработке оптимальных моделей круговых покрытий плоскости. Задача о покрытии заданной области кругами соответствует задаче мониторинга этой области с помощью беспроводных сенсорных сетей. Каждому сенсору сети сопоставляется круг в пространстве, в котором сенсор способен выполнять контрольные действия по приему или передаче сигнала. При этом эффективность покрытия определяется отношением суммарной площади кругов к площади области. Результаты исследований сенсорных сетей широко востребованы в высокотехнологичных производственных областях. Важнейшим результатом данной главы является оригинальная классификация регулярных покрытий плоскости. Корректность и однозначность системы обозначений классификации основана на выборе минимального фрагмента регулярного покрытия. По обозначению конкретного класса покрытия можно определить его сложность и восстановить геометрическую структуру. Отметим также, что в данной главе исследованы новые классы регулярных покрытий кругами двух и трех различных размеров. Подробно рассмотрены модели треугольной и квадратной структур и определены оптимальные параметры для каждого из рассмотренных классов.

В **шестой главе** рассматриваются модели регулярных покрытий полосы постоянной ширины кругами, число различных размеров которых заранее определено. Ранее подобные задачи не решались. При исследовании данной проблемы приходится дополнительно учитывать граничные эффекты. Для моделей покрытий полосы кругами одного радиуса были построены многослойные покрытия с любым количеством слоев. Следующая группа задач связана с покрытиями полосы кругами двух и трех разных размеров. Построены многопараметрические функционалы плотности для различных классов покрытий и определены их глобальные экстремумы. Найдены наилучшие структуры и оптимальные соотношения для размеров разных кругов.

В последующих разделах главы 6 решается задача нахождения наименее плотного покрытия полосы *внешним* образом. Это означает, что по некоторым причинам «недоступности», мы не можем располагать сенсорные устройства внутри области, но при этом должны контролировать всю эту область. Такая постановка проблемы также является новой. Она является весьма актуальной при мониторинге опасных или зараженных участков. Результаты исследований по этому направлению представлены в виде описания и расчетов для конкретных эффективных моделей. В общем случае, многие модели круговых покрытий полосы, полученные в работе, могут быть использованы при мониторинге протяженных объектов: дорог, государственных границ и других коммуникационных сооружений.

В **заключении** приведены основные результаты, выносимые на защиту.

- Разработаны принципы моделирования распределенных ресурсных систем на графах и создан математический аппарат для описания таких систем. Доказан ряд теорем об условиях существования и единственности равновесных состояний; определен аналитический вид предельных и равновесных состояний для различных классов *динамических ресурсных систем*.
- Разработаны итерационные вычислительные алгоритмы поиска равновесных состояний в распределенных ресурсных системах, позволяющие делать рас-

четы и проводить численные эксперименты при различных условиях *развития* системы.

- Приведены содержательные примеры из разных областей деятельности, отражающие возможности предлагаемой равновесной методики для принятия рациональных решений (конкурентные взаимодействия, обслуживание коммуникационных сетей, модели системы страхования).
- Определены оптимальные модели мониторинга плоских областей сенсорными сетями, допускающие сенсоры двух и трех радиусов действия. Получены обобщенные модели треугольной (серия А) и квадратной (серия В) структур.
- Разработан приближенный способ расчета оптимального количества сенсорных датчиков для мониторинга ограниченных областей на основе Моделей А-2 и В-2 с учетом стоимостных и затратных характеристик.
- Для различных классов покрытий полосы найдены наиболее эффективные модели внутреннего и внешнего мониторинга.
- Разработана универсальная классификация регулярных покрытий, позволяющая группировать модели по уровню сложности.
- Определен аналитический вид точной нижней оценки плотности d_2 покрытия кругами двух различных видов, уточняющий известный результат Фежеса Тота (G.Fejes Toth, 1995).
- Создан Комплекс программ для определения равновесных состояний в распределенных ресурсных системах (Свидетельство о государственной регистрации в Федеральной службе по интеллектуальной собственности №2013611966 от 11.02.2013).

Представленная диссертация является самостоятельной и законченной научно-исследовательской работой, подводящей итог многолетним и плодотворным исследованиям соискателя. Полученные в диссертации результаты можно квалифицировать как новое крупное научное достижение в области разработки методов исследования распределенных систем и геометрической теории регулярных круговых покрытий. В своей работе автор реализовал множество новых конструктивных решений, а также продемонстрировал знание современных методов исследования системного анализа и теории управления. Все основные результаты снабжены доказательствами и необходимыми расчетами, достоверность которых не вызывает сомнений. Теоретические положения диссертации и выводы могут быть использованы при дальнейших исследованиях в ИВМ и МГ СО РАН, ИМ им. Соболева СО РАН, ИПУ им. Трапезникова РАН. Методика поиска эффективных решений в распределенных системах и алгоритмы вычислений могут быть использованы для прикладных разработок в КТИ ВТ СО РАН.

По работе сделаны следующие замечания.

1. Автор преувеличивает возможности практического применения результатов диссертационного исследования в части проектирования беспроводных сенсорных сетей, особенно при мониторинге больших областей (не периметра). Во-первых, в большинстве случаев радиус действия сенсора, определяемый мощностью приемно-передающего устройства, меняется дискретно, выбором одного из предопределяемых уровней сигнала. Во-вторых, нежелателен большой разброс по

времени жизни сенсоров, определяемом опять-таки уровнем сигнала и интенсивностью работы сенсора (частотой передачи сообщений). В этих условиях существенная разница радиусов сама по себе нежелательна, а об учете интенсивности работы сенсоров вообще нет речи.

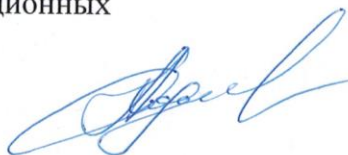
2. Рассматривая задачу покрытия области беспроводной связью необходимо учитывать и проблему интерференции сигнала, что накладывает на модели дополнительные ограничения, в том числе структурные.
3. Для более объективной оценки качества решения задачи об оптимальном обслуживании коммуникационной сети было бы желательно рассмотрение если и не реального примера, то примера существенно большей размерности, хотя бы в несколько десятков узлов.

Указанные замечания не являются существенными по отношению к общему положительному впечатлению о диссертации. Диссертация, несомненно, выполнена на высоком научном уровне, ее основные положения опубликованы в рецензируемых журналах, автореферат полно и правильно отражает ее содержание.

Диссертационная работа **Астракова Сергея Николаевича «Методы поиска эффективных решений в распределенных системах»** соответствует требованиям, предъявляемым Положением о присуждении ученых степеней к докторским диссертациям по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в технике, экологии и экономике), а ее автор несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

Отзыв заслушан и одобрен на заседании объединенного семинара ИВМиМГ, НГУ и СибГУТИ «Моделирование инфо-коммуникационных систем» 11 марта 2014 года, протокол № 8/2014.

Заведующий лабораторией Моделирования
динамических процессов в информационных
сетях, д.т.н., с.н.с.



А.С. Родионов

Ученый секретарь семинара «Моделирование
инфо-коммуникационных систем», к.ф.-м.н.



Г.А. Омарова