

ВВЕДЕНИЕ

I СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ КСПД

1. Обзор предметной области – коммуникационных сетей передачи данных (КСПД) современных предприятий, классификация сетевых топологий, обзор беспроводных сетей
2. Постановка проблемы отсутствия системного подхода в построении КСПД
3. Современное состояние проблемы, использование беспроводных технологий на предприятиях, обзор существующих методик построения КСПД
4. Выводы

II ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1. Постановка задачи построения сети с учетом системного подхода
2. Системная модель
3. Общая методика решения задачи
4. Выводы

III АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ КСПД

1. Описание алгоритма на основе кластеризации узлов на матрице смежности с применением алгоритма Дейкстры
2. Улучшение алгоритма (добавление эвристик, методов нейронных сетей)
3. Методика принятия решения об относительной важности критериев
4. Выводы

IV ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ

1. Программное обеспечение для решения задачи построения сети
2. Ряд тестовых примеров
3. Сравнение времени выполнения, точности с другими алгоритмами
4. Выводы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований

Современные предприятия представляют собой сложные, территориально распределенные объединения цехов, производственных участков, а также различных вспомогательных объектов. Все объекты производства нуждаются в качественном обеспечении связью.

На данный момент известно множество методик и алгоритмов построения топологий каналов связи с заданными характеристиками и отвечающими ряду критериев. Такие методы позволяют строить линии связи и выбирать узловое оборудование, отвечающее существующим стандартам связи.

Однако, в связи с совершенствованием сетевых технологий, возникает адекватная потребность в совершенствовании методик разработки сетей. Одновременно с технологиями, совершенствуется и сетевое оборудование, что влечет проблему создания новых алгоритмов выбора узловых компонентов и установки их в сеть. Кроме этого, совершенствуются и сами каналы связи – если раньше использовались только проводные *компоненты*, то сейчас широко внедряются беспроводные технологии, например, для управления движущимися объектами.

Одной из задач, возникающих при планировании таких систем, является задача оптимального размещения оборудования, позволяющего объединять территориальные компьютерные сети (ТКС). При этом должны выполняться условия корректного функционирования построенной сети, а также соблюдаться ряд критериев, связанных с дальнейшим ее использованием, реструктуризацией или расширением.

Качество работы сетевой инфраструктуры является основополагающим звеном в процессе функционирования современного предприятия. Существующие алгоритмы не в состоянии построить сеть, отвечающую

современным нововведениям и с учетом вышеназванных внедряемых технологий.

В настоящее время существует актуальная задача по разработке алгоритмов и методик, а также систем поддержки принятия решений (СППР) при построении коммуникационных сетей предприятий, обеспечивающих основу для эффективного управления подразделениями, филиалами, а также подвижными объектами.

Цель работы

Целью работы является разработка методов, моделей и алгоритмов построения коммуникационных сетей с учетом современных особенностей их развития.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд основополагающих задач:

1. Провести системный анализ и выявить особенности существующих коммуникационных сетей передачи данных (КСПД)
2. Описать существующие методы построения КСПД
3. Произвести постановку задачи построения КСПД
4. Построить графоаналитическую модель системы критериев и подзадач
5. Разработать алгоритм и программное обеспечение на его основе
6. Оценить эффективность предложенного алгоритма, провести его сравнение с существующими алгоритмами

Методы исследований

Все исследования данной диссертационной работы были выполнены с применением методов системного анализа, кластерного анализа, контент-анализа, теории графов.

Научная новизна состоит в разработке методики проектирования КСПД с учетом использования проводных и беспроводных компонентов

1. Поставлена и решена многокритериальная задача поиска и выделения решений с учетом совокупности стандартных критериев – стоимости, длины сетевых сегментов и трудно-формализуемых критериев – эргономичности, масштабируемости.
2. Описан алгоритм, распределяющий сетевое оборудование с учетом пространственных ограничений
3. Разработано программное обеспечение (СППР) для решения поставленной задачи
4. Разработаны методики проектирования ТКС с учетом использования проводных и беспроводных компонентов

Практическая значимость работы заключается в возможности применения полученных алгоритмов для расчета топологий новых квази-оптимальных ТКС, либо реконструкции существующих.

Апробация работы. Основные положения работы и результаты исследований докладывались и обсуждались на конференциях:

Публикации: по теме диссертационной работы опубликовано _ печатных работ, из них:

1 Системный анализ локальных сетей

1.1 Анализ проблем при построении компьютерных сетей

Территориальная компьютерная сеть (ТКС) - глобальная, региональная или корпоративная - представляет собой ассоциацию территориально рассредоточенных вычислительных комплексов (ВК) различного типа и назначения, взаимодействующих друг с другом через коммуникационную подсеть - сеть передачи данных (СПД) - с целью предоставления пользователям, независимо от их месторасположения, услуг по хранению, передаче и обработке информации, а также обеспечения доступа к информационным и вычислительным ресурсам компьютерной сети.[ссылка]

Общеизвестно деление сетей на локальные и глобальные. Это деление, кроме всего прочего, подразумевает и вполне определенный уровень детализации при рассмотрении сетей каждого типа как систем. С одной стороны, рассмотрение на «глобальном» уровне позволяет игнорировать процессы, происходящие в локальных сетях, соединенных в глобальную сеть, считая их точечными узлами, обладающими какими-то характеристиками. С другой стороны, на рассмотрение на «локальном» минимальное влияние оказывают параметры соединения рассматриваемой системы с глобальной сетью [В.А.Дружинин, ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ПОЛЕЗНОСТИ]

В ряде работ рассматриваются методы решения задач размещения объектов с предпочтениями клиентов [Климентова К.Б., ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАЗМЕЩЕНИЯ С ПРЕДПОЧТЕНИЯМИ КЛИЕНТОВ] с применением...

В частности, в работе [Штовба С.Д., РАЗМЕЩЕНИЕ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ БЕСПРОВОДНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ] разработан эвристический подход решения задачи размещения базовых станций беспроводных сетей на основе муравьиных алгоритмов оптимизации. Здесь также заранее известны места предварительного размещения станций (с предпочтениями клиентов). Однако размещенные базовые станции не соединяются общей топологией.

Кроме этого, еще одно важное допущение в этой работе заключается в том, что рассматривается равнинная местность с малой плотностью объектов-ограничений.

Несомненный интерес представляют алгоритмы построения минимального остовного дерева и дерева Штейнера применительно к задаче минимизации сетевых сегментов.

Е. Гилберт и Х. Поллак высказали предположение о том, что отношение длины кратчайшего дерева Штейнера к длине минимального остовного дерева равно, самое меньшее, $\sqrt{3}/2$, т.е. дерево Штейнера не более чем на 13,4% короче минимального остовного дерева. Это отношение $\sqrt{3}/2$ возникает в простом примере, когда три исходные точки являются вершинами равностороннего треугольника.

В работе [СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ТЕОРЕТИКО-ГРАФОВЫЕ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ] Забержинского Б.Э. были рассмотрены алгоритмы построения оптимального дерева Штейнера для решения задачи оптимизации газораспределительных сетей. Была рассмотрена графовая модель системы, использован алгоритм покоординатного спуска для поиска связывающей сети.

Проблемам оптимального проектирования структур сетей связи посвящены работы Р. Бесслера и А. Дойча [1]. Российские ученые Г. Артамонов и В. Тюрин [2] рассмотрели в своих трудах вопросы анализа и синтеза структур сетей передачи информации методами теории графов.

Эвристические методы синтеза топологии сети по заданному местоположению узлов рассмотрены в работах Лазарева В.Г.[3], Янбых Г.Ф. [4], Лукьянова В.С.[5]. Методам автоматизированного проектирования систем связи посвящены исследования Мясникова В.А., Мельникова Ю.Н., Абросимова Л.И.[6], Советова Б.Я., Яковлева С.А. [7].

В работе Кривоносова Д.М.[8] были рассмотрены вопросы размещения проводных структурных компонентов сетей в пространстве, а также проведена оптимизация количества и местоположения сетевого оборудования. Кроме этого, представлена модель расчёта оптимального

количества и мест расположения источников технологических сигналов в сети.

В работах [Галямов, Краснов...]

Однако в данных работах присутствует ряд **недостатков**:

1. принципиально рассматриваются **только проводные** сети и **топологии** связи таких сетей
2. не учтены часто применяемые при практическом построении сетей критерии расширяемости, масштабируемости, эргономичности и т.д.
3. рассмотрены частные решения задачи размещения, без учета системности
4. существующие точные алгоритмы "ломаются" при больших количествах узлов сети.
5. В связи с совершенствованием сетевых технологий, возникает адекватная потребность в совершенствовании методик разработки сетей. Одновременно с технологиями, совершенствуется и сетевое оборудование, что влечет проблему создания новых алгоритмов выбора узловых компонентов и установки их в сеть. Кроме этого, совершенствуются и сами каналы связи – если раньше использовались только проводные *компоненты*, то сейчас широко внедряются беспроводные технологии, например, для управления движущимися объектами.

На данный момент **не составляет труда решить задачу построения сети по одному из описанных критериев. Но в совокупности все критерии придают сложность задаче и требуют системного подхода в рассмотрении и в разработке методологических и алгоритмических решений на основе современных системно-аналитических методов.**

Любую **СПД ТКС** можно рассмотреть с точки зрения системы, основными составляющими которой будут являться:

- 1) оконечные точки (терминалы)
- 2) узлы сети (активное сетевое оборудование)
- 3) сеть передачи данных (СПД)
- 4) здания, сооружения, помещения и их планы
- 5) стоимостная оценка элементов системы

Общая проблема проектирования СПД ТКС формулируется следующим образом. Заданы (известны):

- места возможного размещения узлов коммутации СПД (маршрутизаторов);
- количество и существенные характеристики абонентских ВК (в том числе локальных и корпоративных сетей), подключаемых к каждому коммутатору;
- примерная (ожидаемая) интенсивность трафика между коммутаторами;
- доступная номенклатура аппаратных средств (маршрутизаторы, модемы, адаптеры и т.д.) и их технические характеристики;
- доступные каналы связи между возможными пунктами размещения коммутаторов и их характеристики.

Необходимо определить:

- **количество узлов коммутации СПД и места их размещения;**
- совокупность протоколов, которые будут поддерживаться в СПД, а также, если это необходимо, параметры протоколов (в частности, размер пакета);
- типы и модели коммутаторов;
- **топологию СПД** (т.е. какие узлы коммутации будут непосредственно соединены каналами передачи данных из числа доступных);
- **тип и параметры каждого канала передачи данных и аппаратуры**, устанавливаемой на нем, определяющие его стоимостные характеристики и пропускную способность;
- основные маршруты передачи данных между узлами СПД.

При этом необходимо обеспечить:

- совместимость всех компонентов аппаратуры по стандартам, интерфейсам и протоколам;
- согласованность взаимодействий по протоколам всех компонентов СПД и поддержку необходимых протоколов передачи данных (как

сетевого, канального, физического уровней, так и протоколов обмена информацией между УК о конфигурации сети);

- эффективное подключение всех существующих абонентских ВК к СПД, а также необходимый резерв по подключениям (на перспективу).

Основные критерии оценки проекта СПД:

- стоимостные характеристики, включающие капитальные затраты на оборудование узлов коммутации и линий связи, а также подключение или прокладку линий связи, и эксплуатационные расходы (стоимость аренды каналов связи); в качестве интегральной характеристики может быть взята приведенная стоимость;
- ожидаемые временные характеристики передачи данных по сети
- среднее и максимальное время задержки сообщений и пакетов в СПД, определяющее время реакции (обслуживания запросов абонентов).

Кроме этих важнейших характеристик, которые могут быть вычислены и оценены для каждого конкретного проекта, важными являются также следующие трудноформализуемые (и потому трудноизмеримые, но вполне идентифицируемые) качественные показатели:

- **надежность** передачи данных, определяемая надежностью аппаратуры КПД и УК, а также программного обеспечения УК, надежностью линий связи, используемыми протоколами, наличием в топологии сети дополнительных путей передачи данных, низкими вероятностями блокировок и получения отказов в обслуживании и др.;
- **масштабируемость** СПД;
- общая **производительность** и пропускная способность СПД;
- возможность организации эффективного администрирования сети;
- степень эффективности процессов эксплуатации и технического сопровождения аппаратно-программных средств фирмами производителями, провайдерами сетевых услуг и услуг связи;
- ориентация на определенные классы аппаратных и программных средств.

Проектировщик стремится также учесть и будущую динамику развития сети, относительно которой у него обычно есть определенные представления

и наметки (поэтапность ввода СПД в эксплуатацию, удовлетворение будущих информационных потребностей пользователей и т.д.).

Таким образом, проблема проектирования СПД ЛВС является многокритериальной проблемой, для которой характерны комплексный характер, противоречивость и плохая формализуемость совокупности требований, предъявляемых к СПД. Для решения такой сложной проблемы необходимы методы и средства проектирования, которые позволяли бы проводить оптимизацию проекта при учете (максимально возможном в реальных ситуациях) всех важнейших критериев оценки качества проектируемой сети, всех основных особенностей современных компьютерных сетей и требований, предъявляемых к ним (в том числе – многочисленных плохо формализуемых требований), которые давали бы возможность учитывать и использовать все особенности и условия реализации конкретного проекта. Все это неизбежно приводит к необходимости использования в процессе выработки проектных решений человеко-машинных технологий оптимизации проектирования.

Контент-анализ существующих источников [.....] показал, что **в настоящее время в качестве критериев при проектировании ЛВС с использованием автоматизированных систем учитываются только стоимость, надежность и производительность локальной сети.** Помимо этих основополагающих критериев, **еще не были рассмотрены пространственные ограничения на расположение кабеля, оборудования, а также масштабируемость ЛВС,** что существенно ограничивает функционал систем проектирования локальных сетей. Такие критерии и ограничения можно представить в виде задачи по оптимизации сети.

Классификация сетевых топологий

Основные топологии физической организации сетей:

1. шина
2. кольцо
3. звезда

Кроме этого, существует также ряд производных топологий:

1. ячеистая
2. дерево
3. утолщенное дерево
4. полносвязная

Первоначально сети строились на основе шинной топологии (рис.#), т.е узлы подключались непосредственно к общей среде передачи данных. Недостатки такой технологии очевидны:

1. обрыв кабеля блокирует работу сети
2. с ростом количества узлов уменьшается производительность сети

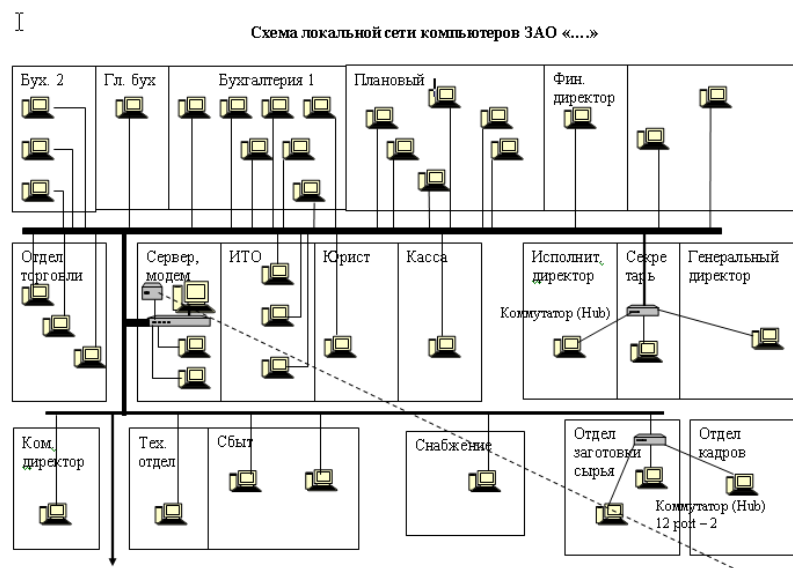


Рис. Пример шинной топологии

Задачу по оптимизации кабельных трасс можно решить при помощи дерева Штейнера с манхеттенской метрикой.

Дальнейшее распространение получили сети с кольцевой и звездообразной топологиями.

Кольцевая топология показана на рис. #, в основу ее работы также заложены алгоритмы пересылки данных через общую среду передачи. Вследствие

малой распространенности таких сетей, нет работ по оптимизации их топологий. Недостатки кольцевой топологии:

1. стоимость
2. выход из строя узла (рабочей станции) блокирует работу сети

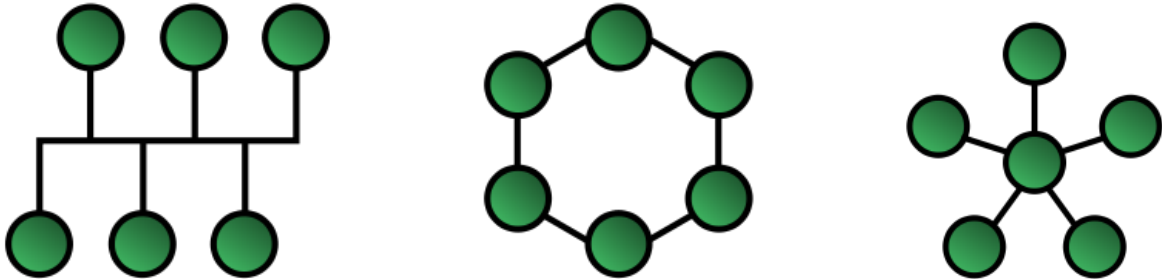


Рис # Примеры шинной, кольцеобразной и звездообразной топологии

Звездообразная топология позволяет объединять узлы при помощи коммутационного оборудования, таким образом, исключая общую среду передачи(рис. #)

Такая топология отчасти лишена недостатков предыдущих двух, однако имеет свои:

1. высокая стоимость за счет большого количества реберных (кабельных) соединений
2. единичные точки отказа в виде точек распределения (коммутаторов)
3. частичная потеря производительности сети при ее расширении

Современные сети масштаба предприятия не строятся с применением только одной из вышеперечисленных топологий, в них используются многоуровневые модели топологий:

1. дерево – топология, полученная при комбинировании топологий шина и звезда.



Рис. # Топологии дерево и утолщенное дерево

2. утолщенное дерево – связи становятся более “утолщенными” по мере приближения к корню дерева. Очень хорошо масштабируется
3. полносвязная – каждый из узлов соединен со всеми остальными узлами сети. Такую топологию отличает высокая отказоустойчивость и сложность реализации.
4. ячеистая – получается при удалении связей из полносвязной. Здесь избыточность строится только в тех точках, где это необходимо, таким образом, повышая отказоустойчивость без существенного удорожания

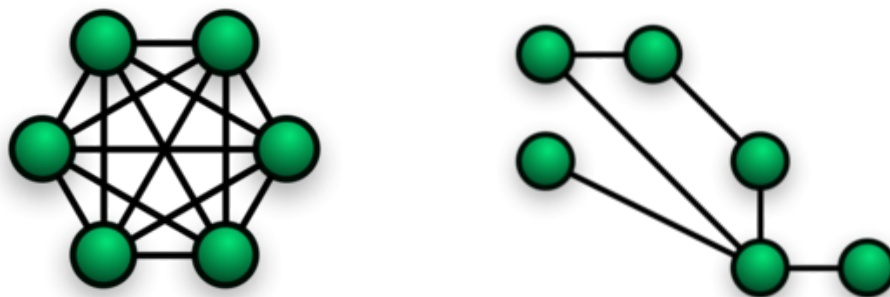
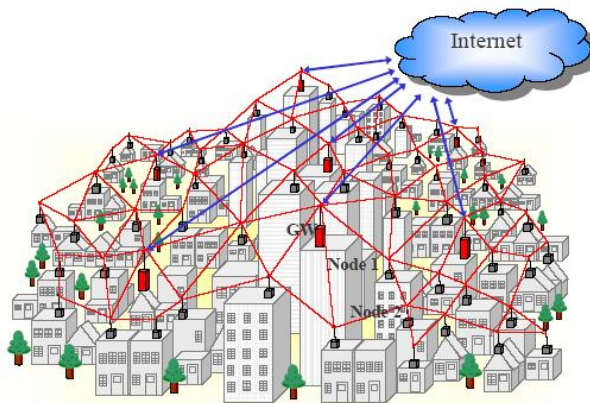


Рис # полносвязная и ячеистая(mesh) топологии



Mesh-сети – новая тенденция в развитии беспроводных сетей, имеющая как преимущества, так и недостатки. Образуются они по децентрализованному принципу, т.е. все точки в mesh-сети – равноправны, а сеть в общем имеет ячеистую структуру. Каждая ячейка связана как минимум с двумя другими, гораздо реже - только с одной.

Для чего это может быть нужно?

1. Для создания сети, устойчивой к отключению/потере ее элементов (стабильность);

2. Для сплошного покрытия WiFi на большой площади (сеть офиса/ предприятия, городская муниципальная сеть, сети для обеспечения общественной безопасности (милиция, пожарные службы) и т.п.;
3. Для создания масштабируемой и при этом самоорганизовывающейся сети. Т.е. подключение новых абонентов, новых точек, увеличение покрытия – и при этом минимум вмешательства в настройки (mesh-сеть настроит маршруты сама).

Преимущества mesh-сетей

- Минимум администрирования;
- Стабильность;
- Очень простое расширение сети.

Недостатки.

- Нет гарантий качественной связи.
- Потери на маршруте (сигнал может пройти через несколько точек), а значит – нет гарантий хорошей скорости.

Простейшей реализацией mesh-сети для WiFi является WDS сеть. Отметим, что для развертывания необходимо, чтобы все оборудование поддерживало один и тот же ключ и метод шифрования, а также частоту.

Сети современных предприятий строятся с использованием трехуровневой модели сети (топология дерево, утолщенное дерево) , состоящей из уровней ядра, распределения и доступа (рис.#) .

Уровень ядра как правило отвечает за быструю пересылку данных и представляет собой основу сетевой инфраструктуры. Уровень распределения является связующим звеном между уровнем доступа и ядра и предназначен для маршрутизации трафика. Уровень доступа предназначен для подключения узлов сети. За счет правильного выбора оборудования можно добиться максимального масштабирования сети без потери производительности.

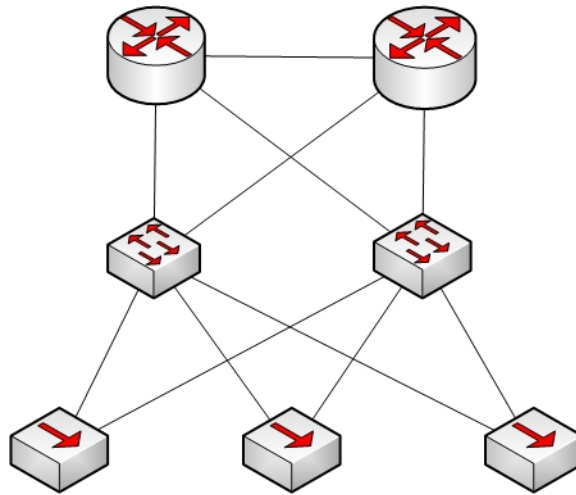


Рис # 3х уровневая модель сети

Такой подход лишен недостатков

1. единичных точек отказа оборудования
2. производительности, масштабирования
3. стоимости обслуживания сети
4. управляемости сети

1.3 Современное состояние проблемы, использование беспроводных технологий на предприятиях

На современных нефтеперерабатывающих предприятиях в настоящее время начинается внедрение беспроводных инфраструктур связи для решения таких задач, как:

1. разведка сырья
2. мониторинг всех стадий технологических процессов в системах сбора и подготовки нефти
3. установка оборудования в условиях дефицита места

Важнейшим преимуществом установки беспроводного оборудования по сравнению с проводным, является стоимостной фактор. Необходимость обеспечить качественный мониторинг с минимальными затратами на построение сети является актуальной задачей. При таком способе построения исключаются дорогостоящие этапы разработки и прокладки кабеля, установки кабель-каналов и т.д.

Зачастую построение кабельной инфраструктуры не имеет смысла из-за дефицита места – например на морских платформах, в цехах предприятий и т.п. Единственной реальной альтернативой здесь может служить лишь беспроводная сеть связи.

В масштабах предприятия беспроводная сеть может объединить в себе:

- системы управления производственными процессами
- системы мониторинга
- системы безопасности, видеонаблюдения
- измерительные устройства
- исполнительные механизмы
- аналитические центры обработки данных

С применением беспроводных сетей для мониторинга производственных процессов обслуживающий персонал не привязывается к конкретному рабочему месту и обладает мобильностью. Для устойчивой работы всей беспроводной инфраструктуры необходимо расставить оборудование с учетом различной пропускной способности объектов предприятия и произвести контрольный замер уровня сигнала.

Кроме этого, актуальной задачей для ряда предприятий выступает задача по усилению внешних сигналов (сотовая связь).

При этом несомненный интерес представляет **задача объединения проводных и беспроводных сетей одной единой сетевой топологией с учетом ряда критериев и подзадач.**

Все ТКС современных предприятий можно классифицировать по размеру (количество узлов) или территории охвата(?)

По количеству узлов ТКС бывают:

1. Сверхмалые (до 10) – участок, цех
2. Малые (до 50) – блок цехов
3. Средние (до 500) – здание
4. Большие (до 1500) – блок зданий
5. Сверхбольшие (от 1500) – район

При этом для сетей различного масштаба используются различные группы критериев. Например, для сверхмалых сетей главенствующим критерием является стоимость, а для сверхбольших – надежность и масштабируемость.

Кроме этого, зачастую используются беспроводные технологии для обеспечения мобильности узлов сети. Примерами сфер применений таких технологий могут являться:

1. в первую очередь это автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУТП), где радио-доступ позволяет оператору или технологу непрерывно контролировать производственный процесс из любого места на предприятии.
2. беспроводные датчики на нефтяных скважинах, беспроводные уровнемеры на резервуарах

Существует два варианта использования беспроводной связи: фиксированный — точки обмена информацией установлены стационарно(точка-точка), а связь между ними — беспроводная, и мобильный — переносимые устройства, имеющие отношение к

транспортной инфраструктуре предприятия, или даже мини-датчики на подвижных частях оборудования(точка-многоточка).

Для беспроводных сетей необходимо решить задачу оптимального размещения базовых радиопередатчиков (на рис 0 цветом обозначены пересечения зон сигналов от различных беспроводных передатчиков), а для проводных сетей – задачу оптимального размещения активного и пассивного сетевого оборудования.

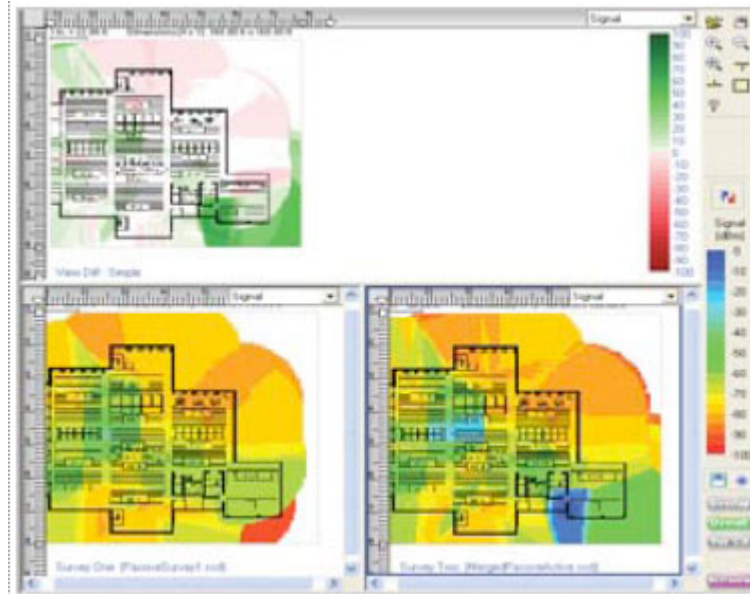


рис 0

Практически все современные предприятия имеют свой парк компьютеров, что соответственно влечет проблему их корректного объединения в локальную вычислительную сеть.

В Рассмотренных работах.....

В некоторых работах (Кривоносов) используются алгоритмы для поиска оптимального размещения абонента

Таким образом, в настоящий момент еще не достаточно развиты методики и алгоритмы расчета топологий сетей промышленных предприятий. Рассматриваемая проблема является актуальной научной задачей.

В рамках описываемой задачи присутствуют 2 разновидности рассматриваемой проблемы:

1. **построение новой сети с нуля**
2. **реконструкция существующей сети**

Построение сети с чистого листа зачастую проще реконструкции существующей, при прочих равных условиях.

Иногда нецелесообразно прокладывать сеть заново, а достаточно реконструировать ее на основе уже существующей.

При определенном масштабе сети, ее реконструкция может стать существенной проблемой для предприятия – как в экономическом, так и в техническом смысле. Ручные методы составления планов могут затянуть данный процесс на неопределенное время и принести убыток предприятию в виде простоя и высокой стоимости проекта. Ручное составление чертежей, проектной документации, прокладки трасс отнимает достаточно времени, а риск ошибки может зациклить данные операции.

Рассмотрим структурированные кабельные системы (СКС). СКС являются основой любой промышленной сети, строятся по определенным стандартам и имеют гарантийный срок эксплуатации. Основным достоинством является универсальность таких сетей.

Кабельные системы являются частью инфраструктуры зданий. Стандарты предусматривают возможность эксплуатации структурированных кабельных систем (СКС) в течение десяти-пятнадцати лет без замены. Развитие информационных технологий, приводит к экспоненциальному росту трафика в локальных сетях, что сокращает срок службы кабельных систем.

Помочь в решении могут САПР, разработанные специально для СКС.

Если говорить об автоматизированном проектировании сетей, то среди проблем, выявленных при проектировании современных СКС можно выделить:

1. Процесс проектирования требует определенного уровня знаний в соответствующей области и навыка составления проектов
2. Слабо автоматизированы программные средства, **топология сети составляется вручную**, без применения расчетных алгоритмов

3. Не учитываются критерии для составления плана сети, внешние факторы (помехи, наводки и т.д.)

4. Используются только проводные технологии коммутации сетей

Таким образом, САПР СКС в большинстве своем сочетают функции автоматизированной подготовки отчетности с графическим представлением планов сетей. Как правило, расчетные механизмы используются в них для подведения итогов отчетности.

СКС можно условно разделить на 3 составляющие – горизонтальную подсистему, вертикальную подсистему и кампус (объединение сетей зданий)

Выводы к главе I:

1. Рассмотрена проблема отсутствия системного подхода в существующих методиках построения ТКС
2. Выявлены критерии, отсутствующие в похожих постановках задач данной области
3. Произведена классификация топологий современных ТКС
4. Рассмотрено современное состояние проблемы, ее применимость в промышленности
5. Произведена идентификация задачи составления методики и алгоритмов расчета топологий проводных и беспроводных сетей передачи данных.

II ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

2.1 Постановка задачи, описание критериев и ограничений

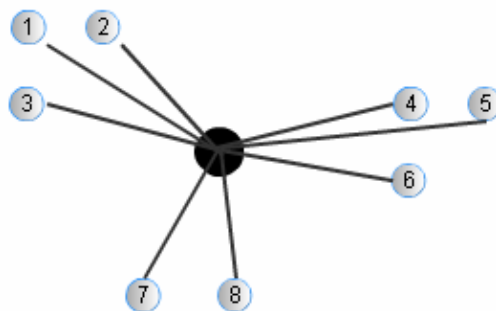
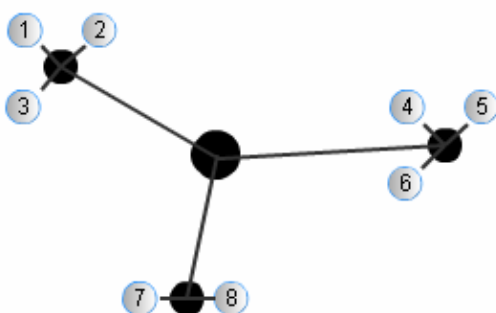
Пусть известны

- размещение абонентов (терминалов)
- номенклатура и характеристики узлов связи (оборудования)

Необходимо описать сеть, отвечающую поставленным условиям (задачам, критериям и подзадачам).

Необходимо определить топологию сети:

- количество узлов связи
- размещение узлов связи
- размещение линий связи



Методика проектирования квази-оптимальной сети предполагает решение ряда задач:

- Определение количества узлов
- Расположение узловых центров
- Выбор узлового оборудования
- Учет критериев, их ранжирование
- Учет подзадач, их ранжирование

Задача определения количества узлов предполагает поиск необходимого количества узловых элементов, достаточного для обслуживания некоторого участка терминалов (абонентов).

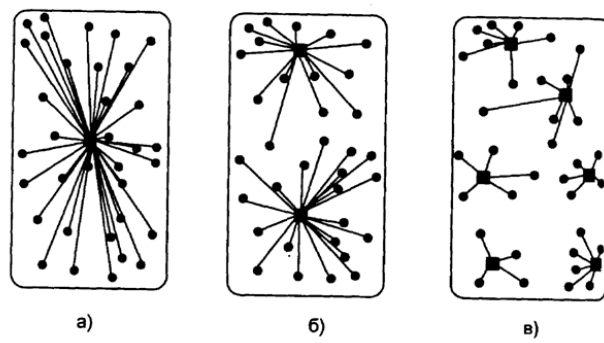


Рис.1

С ростом числа узлов (обслуживающих центров) повышается скорость передачи от центров конечным абонентам и затраты, связанные с такой доставкой, также уменьшаются.(рис.2а) Но, увеличиваются затраты на содержание всех обслуживающих центров. Соответственно, чем меньше узлов, тем меньше затраты на их содержание и больше расходы на доставку конечным терминалам.

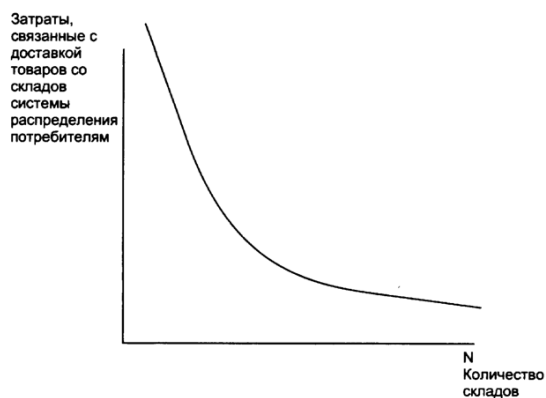


Рис 2

Задача определения местоположения узлов на обслуживаемой территории связывает между собой все критерии (рис.3) – поскольку от ее решения напрямую зависят итоговая стоимость проекта и его эргономика.

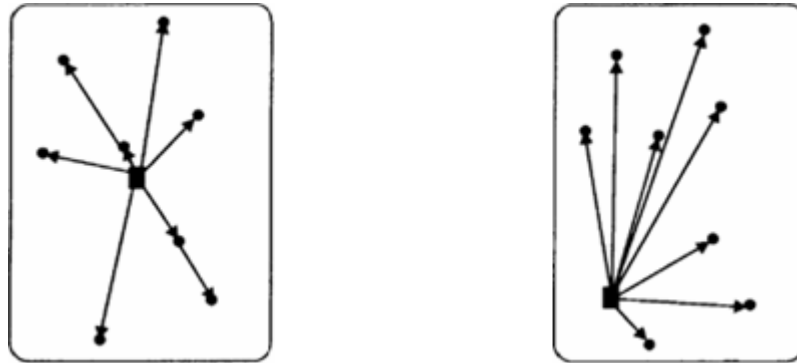


Рис.3

Выбор узлового оборудования также является ключевой задачей, от решения которой зависит в основном стоимостной критерий, а также ряд параметров сети (масштабируемость, расширяемость, безопасность...). Рис.4

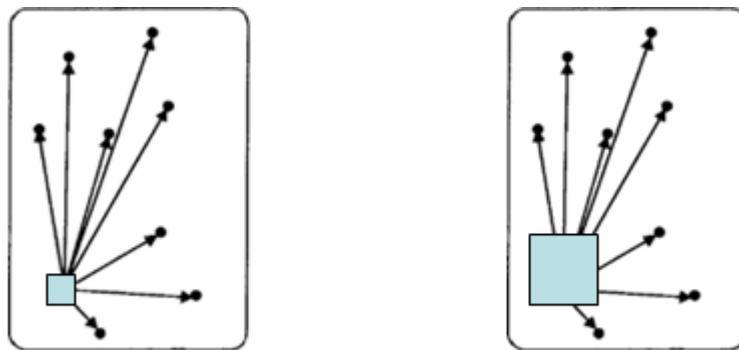


Рис. 4

Выделим основные **критерии** сети современного предприятия:

- Стоимость
- Эргономика

Критерий стоимости является классическим для задач подобного рода и на данный момент существует множество готовых алгоритмов определения топологии сети с минимальной стоимостью вложений.

Эргономический критерий важен как для небольших сетей с точки зрения эстетики, так и для промышленных – с точки зрения безопасности использования.

На рис. 5 показаны 2 варианта решения построения сети (б - по критерию эргономики, в - по критерию стоимости). В процессе поиска решений может возникнуть ситуация, когда по стоимостному критерию решение (б) будет слишком дорогим, а решение (в) – не удовлетворит критерию эргономики.

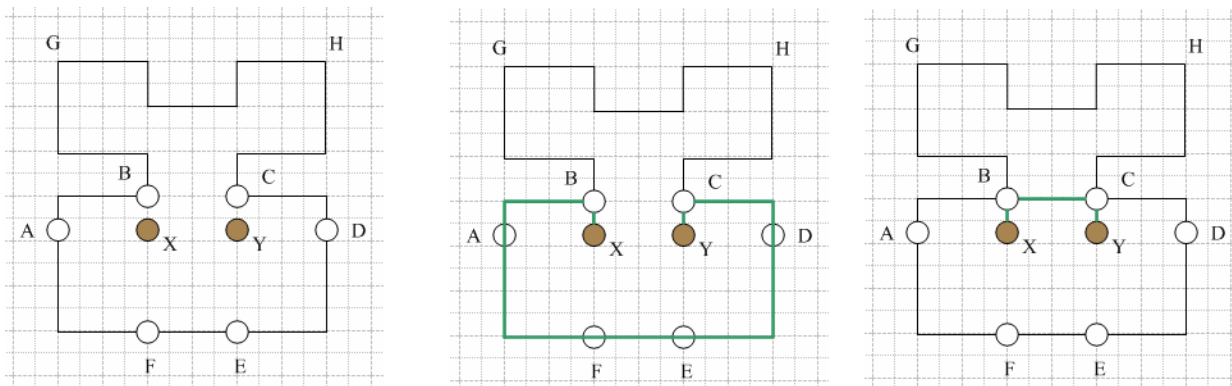


Рис 5

Выделим основные **подзадачи** (обособлены от критериев ввиду их высокой трудно-формализуемости):

- Отказоустойчивость
- Расширяемость
- Масштабируемость
- Производительность
 - пропускная способность
 - средняя скорость передачи
- Безопасность
- Готовность
- Управляемость

Рост любой ТКС обуславливает сложность ее **дальнейшей технической поддержки и масштабирования**. На рис 6 показана экспоненциальная зависимость комплексного обслуживания ТКС (времени модернизации существующей сети, затрат на обслуживание) от количества ее узлов. (добавить шкалу)



рис 6

Таких проблем удастся избежать, если на стадии разработки структуры сети в нее была заложена избыточность и если сеть строилась на основе многоуровневой модели – уровень ядра, уровень распределения, уровень доступа. Но иногда данный подход является слишком дорогостоящим для небольших сетей.

Для этого, на этапе разработки необходимо знать, на сколько сеть будет расширяться в дальнейшем.

Например, на рис 7 показана существующая сеть из 2 терминалов и одного узла. Требуется подключить третий терминал к сети. Принципиально здесь два варианта решения – объединение в сети при помощи физической линии связи, либо замена узлового оборудования и обеспечение доступа в сеть через беспроводной доступ. В случае (б) критерий эргономика не играет роли, поэтому задача решается по оставшимся критериям. В случае (в) мы не можем проложить физическую линию из-за ряда эстетических (эргономических) ограничений, поэтому решение будет проигрывать по критерию стоимости (при условии, что беспроводное оборудование дороже проводного), но выигрывать по эргономическим требованиям.

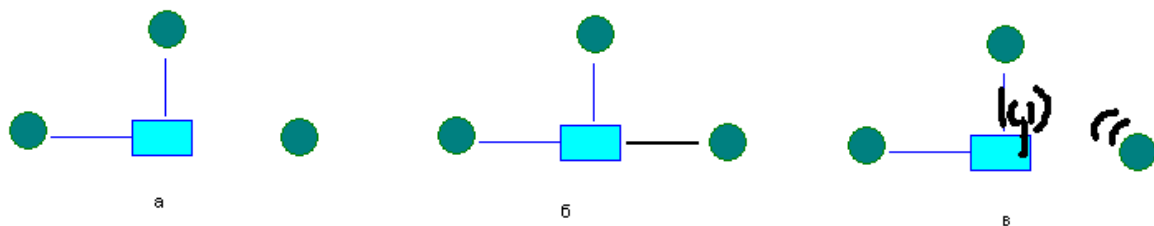


рис 7

Для принятия решения необходимо располагать информацией об относительной важности критериев. Такую информацию могут предоставить ЛПР – либо методом прямого опроса, либо на основании ранее решенных похожих задач. Для каждой отдельно взятой задачи относительная важность критериев может варьироваться.

Но можно также возложить задачу принятия решения на нейросетевые алгоритмы. Необходимо создать такую нейросетевую структуру, которая позволит на основании имеющейся первоначальной информации о важности критериев и в условиях изменяющейся обстановки делать вывод о том, какой из критериев более важен в том или ином случае. Все оценки экспертов могут послужить в качестве обучающей выборки для этой нейросети. После обучения нейросети возможно сделать несколько готовых шаблонов (паттернов) весов для каждого конкретного рассматриваемого случая сетевой инфраструктуры.

Упростить задачу можно, если аппроксимировать площадь покрытия беспроводной сети до круга, усложнить – наоборот, использовать сложную фигуру площади покрытия с учетом направленности антенн и т.д.

2.2 Системная модель

Наглядно модель из приведенных ниже критериев и подзадач можно сформировать в виде графа связности (окружностями обозначены критерии, квадратами – подзадачи, ромбами – параметры, линиями – связи между элементами, толщина линий показывает величину связности)

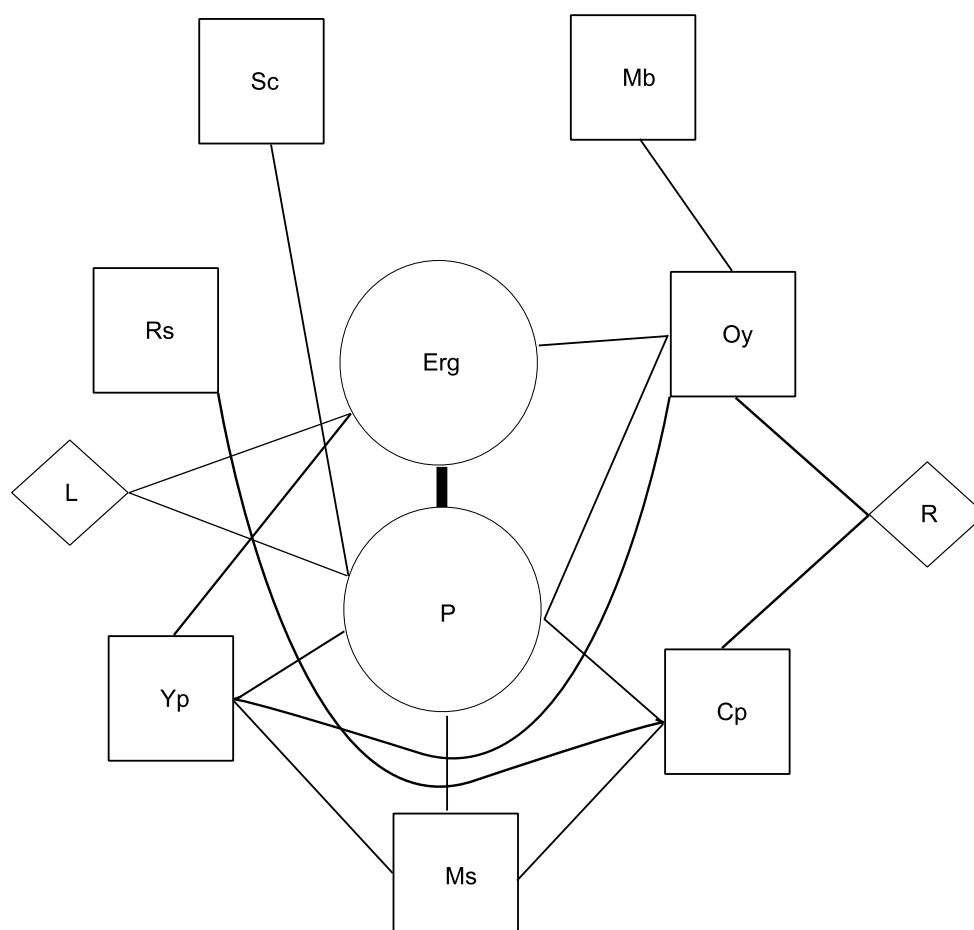


Рис. Модель системы в виде графа

На рис обозначены стоимость как P, эргономика – Erg, Sc – безопасность, Mb – мобильность, Rs – расширяемость, Oy – отказоустойчивость, Yp –

управляемость, C_p – производительность, M_s – масштабируемость, L – длина линий связи, R – стоимость оборудования

Все компоненты этой модели взаимосвязаны между собой, изменение одного из параметров влечет за собой изменение других.

Существует множество точек зрения, какие из критериев, подзадач или параметров являются главенствующими по отношению к остальным. Зачастую постановка задачи производится с противопоставленными критериями – например, получить максимальную прибыль при минимальных затратах. В нашей задаче сдерживающими являются 2 основных критерия – эргономика и стоимость. Остальные 7 подзадач являются опциональными для большинства сетей (однако, для сети службы безопасности главенствующим фактором станет безопасность, а для сети центров обработки данных – производительность и масштабируемость)

Изначально имеется карта с нанесенными отрезками АВ (стенами помещений) и установленными точками – абонентами.

Обозначим абонентов как $A(x,y)$, абоненты располагаются в двумерном пространстве. Обозначим i как точку доступа (распределения) с центром в точке $i(x,y)$ с радиусом $r \in (r_{\min}, R_{\max})$. Абонент A находится в области точки распределения, если $R(A-i) < R_{\max}$.

Чем ближе $A(x,y)$ к границе R_{\max} , тем меньше скорость передачи данных v этим абонентом до точки i . Абонент обладает мобильностью $M=W$ (в рамках размеров области).

Точка доступа i принадлежит множеству точек доступа I ($i \in I$), коммутационное оборудование $e \in E$.

$i(e)$ соединены при помощи L ($L < L_{\max}$) и образуют граф $G(I,L)$ ($G(E,L)$)

Необходимо найти такой граф G , в котором:

Стоимость $P \rightarrow \min$

Эргономика $Erg \rightarrow \max$

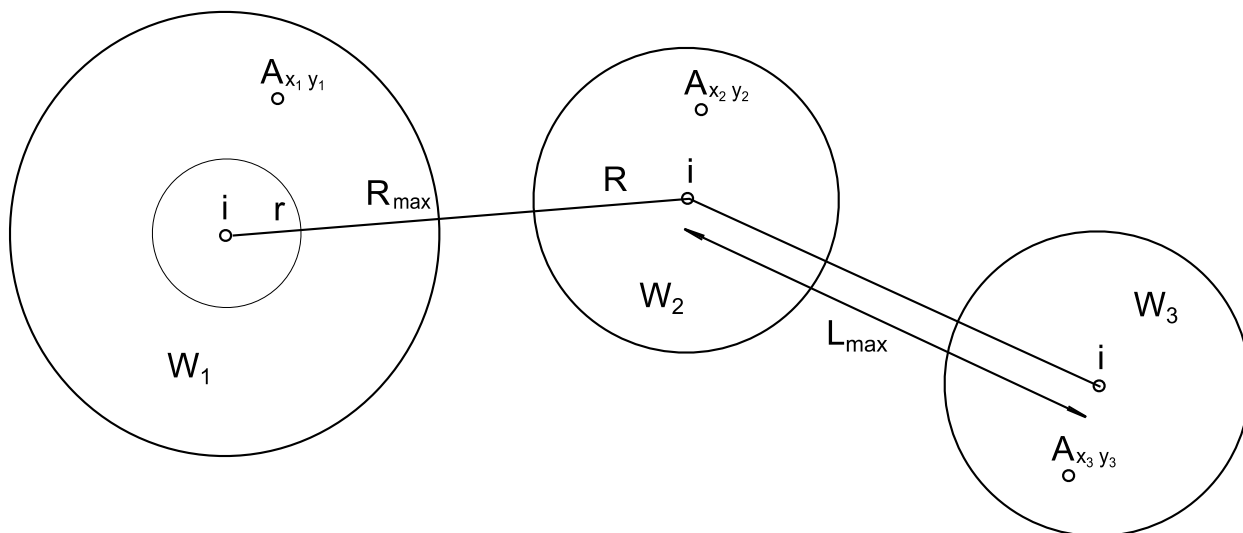


Рис. Пояснительный рисунок к условию задачи

Причем i обладает способностью подключить d абонентов, точек доступа I или другого коммутационного оборудования e . Кроме этого, i имеет стоимость P_i и производительность Cp_i

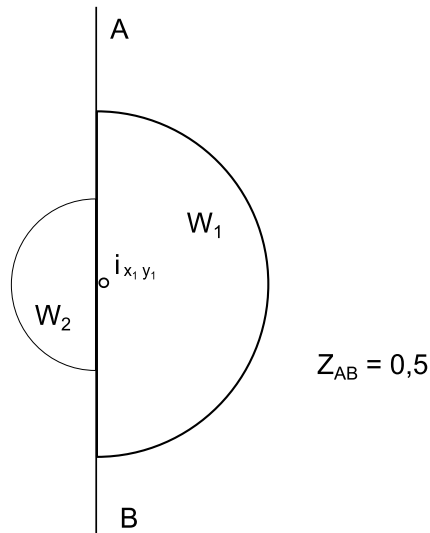
Рассмотрим основные критерии задачи. Их два – стоимость и эргономика. Стоимость традиционно необходимо свести к минимуму, но с учетом расстановки объектов (их максимально приемлемой эргономики).

Общая стоимость складывается из стоимостей отдельных объектов (оборудования, линий связи).

$$\sum P_{I, S, L} \rightarrow \min$$

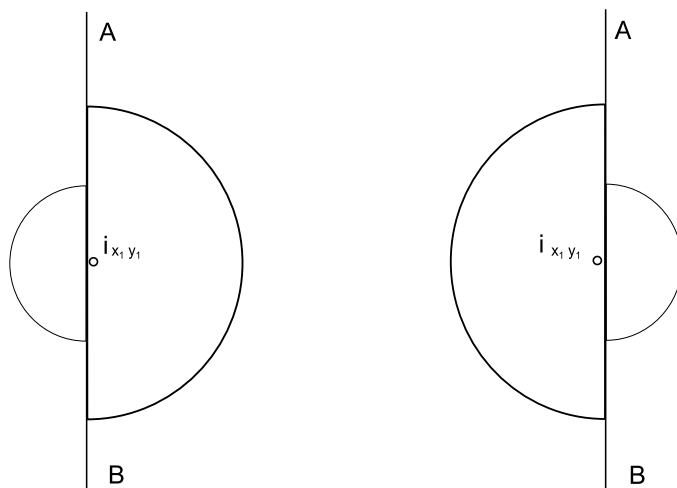
Эргономический критерий представляет собой **свод правил** по размещению объектов относительно друг друга:

1. Отрезки АВ с коэффициентом затухания Z сигнала, проходящего через них:

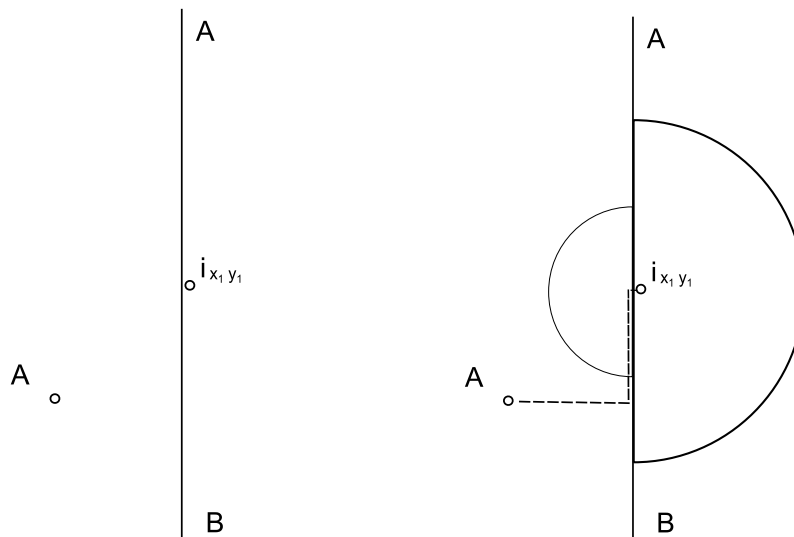


Источник сигнала находится в точке i . Сигнал создает область W_1 и проходя через AB , затухая, создает W_2

2. Точка $i(x, y) \notin AB$, поэтому принципиально существуют 2 варианта размещения точки i относительно AB :



3. Линия связи L располагается вдоль существующих AB , если необходимо соединить абонента A и коммутационное оборудование e (или i), то L будет проходить перпендикулярно AB (используется манхэттенская метрика).



* Примечание

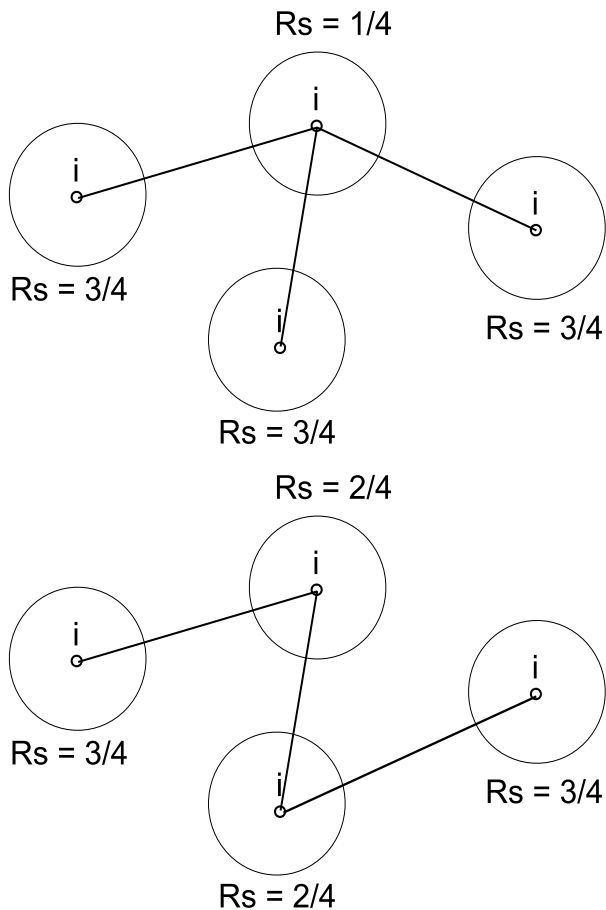
- Не допускается соединять абонентов между собой
- Допускается соединять абонентов и оборудование проводными или беспроводными линиями связи при соблюдении основных критериев и решении подзадач

Выделим отдельные **подзадачи-характеристики** сети:

1. Производительность C_p характеризуется тремя основными характеристиками: временем реакции, пропускной способностью и задержкой передачи. Примем как константу по видам оборудования (точки доступа, коммутационное оборудование). Для точки доступа будем считать производительность обратно пропорциональной радиусу ее действия r

2. Расширяемость сети R_s – способность добавлять новые элементы (оборудование, линии связи, абоненты) – возможность подключить N новых абонентов

Пример. Допустим, точка i способна подключить 4 абонентов. В схемах с различной топологий, приведенных на рис. расширяемость обеих сетей одинакова:



$$R_{S_{\text{общ}}} = \sum R_{S_i}$$

$$R_{S_{\text{общ}}} = 62,5\%$$

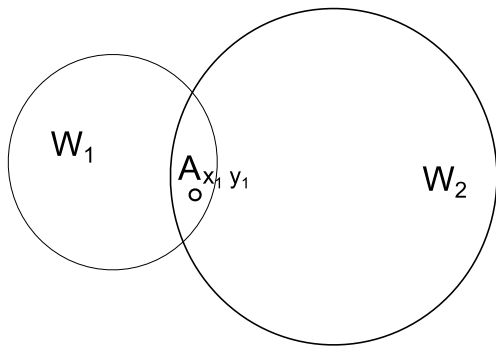
3. Отказоустойчивость O_u – способность сети сохранять свою работоспособность после отказа одного или нескольких компонентов. Напрямую связана с резервированием. Вероятность безотказной работы резервированной сети рассчитывается по формуле

$$P(t)_p = 1 - [1 - P(t)]^{m+1}$$

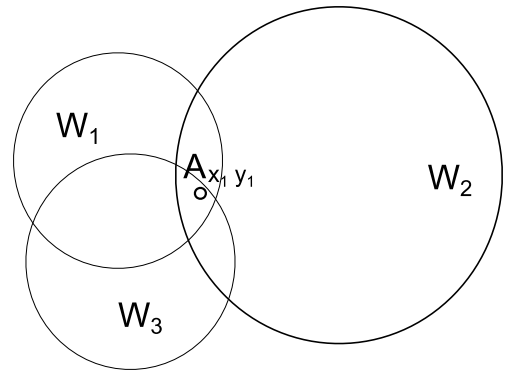
где $P(t)$ – вероятность безотказной работы нерезервированной системы,
 m – кратность резервирования

Пример.

Абонент А принадлежит одновременно нескольким пересекающимся множествам W :



$$m = 1, P(t) = 0,5, P(t)_p = 0,75$$



$$m = 2, P(t) = 0,5, P(t)_p = 0,875$$

*Примечание. Вероятность безотказной работы системы увеличивается с увеличением кратности резервирования, но с увеличением кратности возрастает стоимость, что также необходимо учитывать.

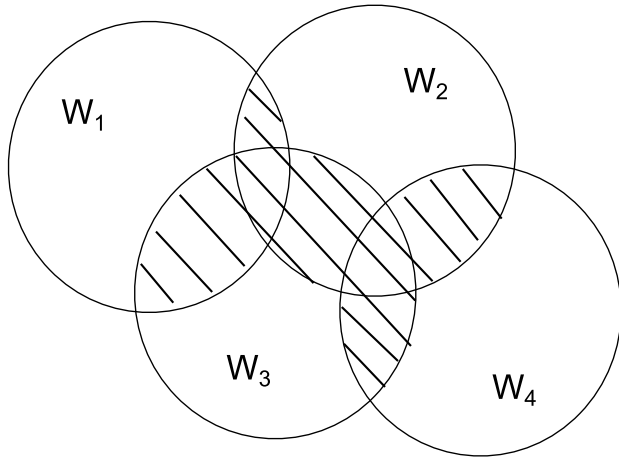
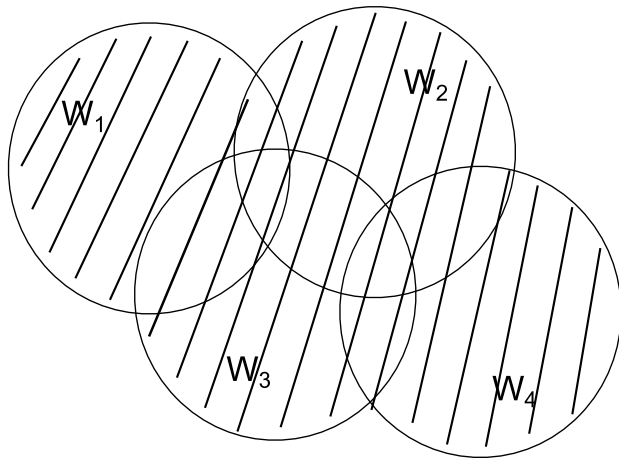
4. Мобильность абонентов Mb

Способность А перемещаться в рамках множеств W. Будем рассматривать два варианта мобильности – полную и отказоустойчивую. Полная мобильность (рис.А) предполагает передвижение А в рамках всей сети

$$W_U = W_1 \cup W_2 \cup W_3 \cup W_4$$

Отказоустойчивая мобильность (рис.Б) – передвижение А в рамках областей, обладающих кратностью резервирования m и более

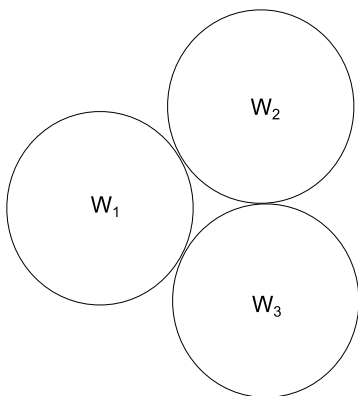
$$W_{\cap} = W_1 \cap W_2 \cap W_3 \cap W_4$$



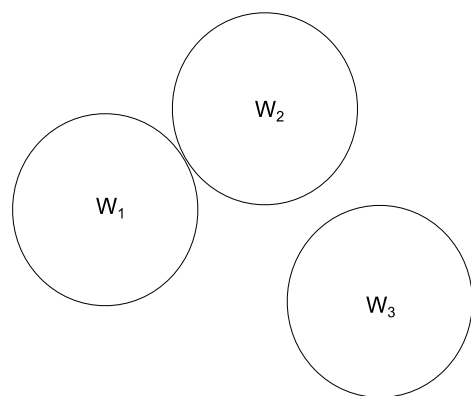
А) полная мобильность

Б) отказоустойчивая мобильность

Мобильность в общем случае будем рассчитывать как отношение W_U к общей площади покрытия сети с учетом количества объединяющихся W (полная мобильность) или пересекающихся W (отказоустойчивая).



А)



Б)

Для А: $Mb = W_U / 3 = 100\%$

Для В: $Mb = W_U / 2 = 66.7\%$

5. Масштабируемость M_s

Под масштабируемостью будем понимать расширяемость сети без внесения изменений в центральный узел (узлы)

Пример.

Точка i обладает расширяемостью: $R_s(i) = 4$, а оборудование e : $R_s(e)=52$

Поскольку производительность для всех видов оборудования одинакова (см. подзадачу 1), следовательно чем больше расширяемость для данного элемента сети, тем выше его масштабируемость.

*Примечание

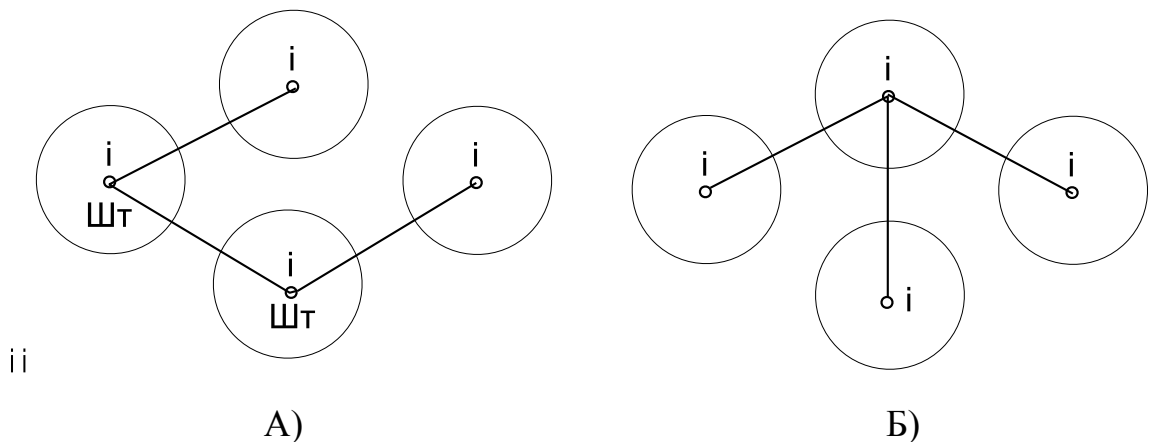
С ростом расширяемости оборудования увеличивается его стоимость (линейно)

6. Управляемость U_p

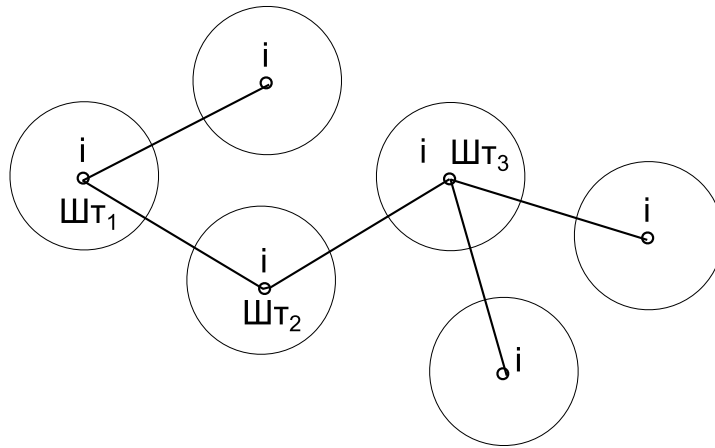
Наличие выделенного централизованного узла – e , при условии что количество шарнирных точек ШТ при обходе графа G в глубину, меньше или равно N

Пример.

1) При условии что ШТ=0 сеть на рис А является неуправляемой, а сеть на рис Б – управляемой, при ШТ = 1 обе сети являются управляемыми (в сети А имеются 2 шарнирные точки – при обходе графа в глубину выделяется только одна из них)



2) На рис показана управляемая сеть при ШТ ≤ 2 . При этом вершиной графа G может служить ШТ₁ или ШТ₃



7. Безопасность Sc

Безопасность в нашем случае – константа, напрямую зависящая от стоимости оборудования (функционал этого оборудования). Будем считать что при $R \rightarrow \min$, $Sc \rightarrow \min$. Однако, стремясь минимизировать стоимость сети, необходимо предусмотреть вопросы, связанные с ее безопасностью.

3. Общая методика решения задачи

В зависимости от степени неопределенности задачи можно выделить ряд методов, предлагаемых для их решения (в порядке возрастания неопределенности)

1. методы перебора
2. статистические, математические методы
3. методы динамического программирования
4. методы поиска решений на графах
5. эвристические методы (произвольная выборка, градиентный спуск, имитация отжига)

6. методы экспертных оценок

Рассмотрим каждый из подходов более подробно.

Методы полного перебора относятся к классу методов поиска решения с исчерпыванием всевозможных вариантов. Если пространство решений очень велико, то полный перебор может не дать результатов в течение достаточно большого интервала времени. Практическая ценность данного метода сводится к нулю (если количество комбинаций решений велико), поэтому рассмотрим его модификацию.

Поиск с возвратом — общий метод нахождения решений задачи, в которой требуется **полный перебор** всех возможных вариантов в некотором множестве M . Как правило, позволяет решать задачи, в которых ставятся вопросы: «Перечислите все возможные варианты ...», «Сколько существует способов ...»

Незначительные модификации метода поиска с возвратом, связанные с представлением данных или особенностями реализации, имеют и иные названия: метод ветвей и границ, поиск в глубину, метод проб и ошибок и т. д. Поиск с возвратом практически одновременно и независимо был изобретен многими исследователями ещё до его формального описания.

Классическим примером использования алгоритма поиска с возвратом является задача о восьми ферзях. Её формулировка такова: «Расставить на стандартной 64-клеточной шахматной доске 8 ферзей так, чтобы ни один из них не находился под боем другого». Сперва на доску ставят одного ферзя, а потом пытаются поставить каждого следующего ферзя так, чтобы его не били уже установленные ферзи. Если на очередном шаге такую установку сделать нельзя — возвращаются на шаг назад и пытаются поставить ранее установленного ферзя на другое место.

Метод поиска с возвратом является универсальным. Достаточно легко проектировать и программировать алгоритмы решения задач с использованием этого метода. Однако **время нахождения решения может быть очень велико даже при небольших размерностях задачи** (количестве исходных данных), причём настолько велико (может составлять годы или даже века), что **о практическом применении не может быть и речи.**

Поэтому при проектировании таких алгоритмов, обязательно нужно теоретически оценивать время их работы на конкретных данных. Существуют также задачи выбора, для решения которых можно построить уникальные, «быстрые» алгоритмы, позволяющие быстро получить решение даже при больших размерностях задачи. Метод поиска с возвратом в таких задачах применять неэффективно.

При реализации такого поиска при выборе правила определяется точка возврата, т. е. если дальнейший поиск в выбранном направлении приведет к сложностям или будет бесперспективным, то осуществляется переход к точке возврата, пройденной на ранних этапах поиска. Далее применяется другое правило, и процесс поиска продолжается. Здесь все неудачные итерации, приведшие к тупиковой ситуации, забываются, как только применяется новое правило, и переходят к другому направлению поиска. Такой метод поиска с возвратом называется *хронологическим возвратом*. Он часто малоэффективен, т. к. не запоминает неудачные состояния и шаги поиска, встретившиеся на некотором пути. Многие из них впоследствии окажут свое отрицательное влияние при реализации других путей. Т. о. много полезной информации отбрасывается и не используется при анализе дальнейших направлений поиска. Необходимо анализировать шаги вывода, приведшие к тупиковым ситуациям и ошибкам. Для этого надо запоминать шаги вывода. Кроме того, возвращаться надо не к точке возврата, предшествующей данному состоянию, а к состоянию, которое вызвало неудачный ход поиска.

Статистические методы дают наиболее точное решение в большинстве случаев. Однако время поиска такого решения возрастает экспоненциально в зависимости от количества исходных данных. Поэтому данный класс методов более подробно рассматривать не будем.

Динамическое программирование в теории управления и теории вычислительных систем — способ решения сложных задач путём разбиения их на более простые подзадачи.

Ключевая идея в динамическом программировании достаточно проста. Как правило, чтобы решить поставленную задачу, требуется решить отдельные части задачи (подзадачи), после чего объединить решения подзадач в одно общее решение. Часто многие из этих подзадач одинаковы. Подход динамического программирования состоит в том, чтобы решить каждую подзадачу только один раз, сократив тем самым количество вычислений. Это особенно полезно в случаях, когда число повторяющихся подзадач экспоненциально велико.

Метод *динамического программирования сверху* — это простое запоминание результатов решения тех подзадач, которые могут повторно встретиться в дальнейшем. *Динамическое программирование снизу* включает в себя **п е р е ф о р м у л и р о в а н и е** сложной задачи в виде рекурсивной последовательности более простых подзадач.

Динамическое программирование обычно придерживается двух подходов к решению задач:

- **нисходящее динамическое программирование:** задача разбивается на подзадачи меньшего размера, они решаются и затем комбинируются для решения исходной задачи. Используется запоминание для решений часто встречающихся подзадач.
- **восходящее динамическое программирование:** все подзадачи, которые впоследствии понадобятся для решения исходной задачи просчитываются заранее и затем используются для построения решения исходной задачи. Этот способ лучше нисходящего программирования в смысле размера необходимого стека и количества вызова функций, но иногда бывает нелегко заранее выяснить, решение каких подзадач нам потребуется в дальнейшем.

Известны сериальное и несериальное динамическое программирование (НСДП), которое в настоящее время слабо известно, хотя было открыто в 1960-х годах.

Обычное динамическое программирование является частным случаем несериального динамического программирования, когда граф взаимосвязей переменных — просто путь. НСДП, являясь естественным и общим методом для учета структуры задачи оптимизации, рассматривает множество ограничений и/или целевую функцию как рекурсивно вычислимую функцию. Это позволяет находить решение поэтапно, на каждом из этапов используя информацию, полученную на предыдущих этапах, причём эффективность этого алгоритма прямо зависит от структуры графа взаимосвязей переменных. Если этот граф достаточно разрежен, то объём вычислений на каждом этапе может сохраняться в разумных пределах.

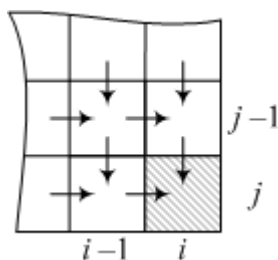
Одним из основных свойств задач, решаемых с помощью динамического программирования, является аддитивность. Неаддитивные задачи решаются другими методами. Например, многие задачи по оптимизации инвестиций компании являются неаддитивными и решаются с помощью сравнения стоимости компании при проведении инвестиций и без них.

Пример

Дано прямоугольное поле размером $n \times m$ клеток. Можно совершать шаги длиной в одну клетку вправо, вниз или по диагонали вправо-вниз. В каждой клетке записано некоторое натуральное число. Необходимо попасть из верхней левой клетки в правую нижнюю. Вес маршрута вычисляется как сумма чисел со всех посещенных клеток. Необходимо найти маршрут с минимальным весом.

Для всех таких задач характерным является то, что каждый отдельный маршрут не может пройти два или более раз по одной и той же клетке.

В некоторую клетку с координатами (i, j) можно прийти только сверху или слева, то есть из клеток с координатами $(i - 1, j)$ и $(i, j - 1)$:



Таким образом, для клетки (i, j) число маршрутов $A[i][j]$ будет равно

$A[i - 1][j] + A[i][j - 1]$, то есть задача сводится к двум подзадачам. В данной реализации используется два параметра — i и j — поэтому применительно к данной задаче мы говорим о двумерном динамическом программировании.

Теперь мы можем пройти последовательно по строкам (или по столбцам) массива A , находя число маршрутов для текущей клетки по приведенной выше формуле. Предварительно в $A[0][0]$ необходимо поместить число 1.

В клетку с координатами (i, j) мы можем попасть из клеток с координатами $(i - 1, j)$, $(i, j - 1)$ и $(i - 1, j - 1)$. Допустим, что для каждой из этих трех клеток мы уже нашли маршрут минимального веса, а сами веса поместили в $W[i - 1][j]$, $W[i][j - 1]$, $W[i - 1][j - 1]$. Чтобы найти минимальный вес для (i, j) , необходимо выбрать минимальный из весов $W[i - 1][j]$, $W[i][j - 1]$, $W[i - 1][j - 1]$ и прибавить к нему число, записанное в текущей клетке:

$$W[i][j] = \min(W[i-1][j], W[i][j-1], W[i-1][j-1]) + A[i][j];$$

Данная задача осложнена тем, что необходимо найти не только минимальный вес, но и сам маршрут. Поэтому в другой массив мы дополнительно для каждой клетки будем записывать, с какой стороны в нее надо попасть.

На следующем рисунке приведен пример исходных данных и одного из шагов алгоритма.

2	7	3	3	6
12	4	1	9	1
1	5	2	5	4

2	→	9	→	12	→	15	→	21
↓		↓		↓				
14		13		13				

В каждую из уже пройденных клеток ведет ровно одна стрелка. Эта стрелка показывает, с какой стороны необходимо прийти в эту клетку, чтобы получить минимальный вес, записанный в клетке.

После прохождения всего массива необходимо будет проследить сам маршрут из последней клетки, следуя по стрелкам в обратную сторону.

Методы поиска решений на графах

- Неинформированные методы
- Информированные методы

- **Методы поиска кратчайшего пути**
- **Методы поиска множества кратчайших путей**
- **Методы нахождения минимального остовного дерева**

Неинформированные методы - используется стратегия поиска решений в пространстве состояний, в которой не используется дополнительная информация о состояниях, кроме той, которая представлена в определении задачи. Всё, на что способен метод неинформированного поиска, — выработать приемников и отличать целевое состояние от нецелевого. Используются следующие алгоритмы поиска: Поиск в ширину, Поиск по критерию стоимости, Поиск в глубину, Двухнаправленный поиск.

Информированные методы - используется стратегия поиска решений в пространстве состояний, в которой используются знания, относящиеся к конкретной задаче. Информированные методы обычно обеспечивают более эффективный поиск по сравнению с неинформированными методами.

Информация о конкретной задаче формулируется в виде *эвристической функции*. Эвристическая функция на каждом шаге перебора оценивает альтернативы на основании дополнительной информации с целью принятия решения о том, в каком направлении следует продолжать перебор

Используются следующие алгоритмы поиска: Поиск по первому наилучшему совпадению, Алгоритм поиска A^*

A^* (рис. #) пошагово просматривает все пути, ведущие от начальной вершины в конечную, пока не найдёт минимальный. Как и все **информированные алгоритмы поиска**, он просматривает сначала те маршруты, которые «кажутся» ведущими к цели. От жадного алгоритма (который тоже является алгоритмом поиска по первому лучшему совпадению) его отличает то, что при выборе вершины он учитывает, помимо прочего, *весь* пройденный до неё путь (составляющая $g(x)$ — это стоимость пути от начальной вершины, а не от предыдущей, как в жадном алгоритме). В начале работы просматриваются узлы, смежные с начальным; выбирается тот

из них, который имеет минимальное значение $f(x)$, после чего этот узел раскрывается. На каждом этапе алгоритм оперирует с множеством путей из начальной точки до всех ещё не раскрытых (листовых) вершин графа («множеством частных решений»), которое размещается в очереди с приоритетом. Приоритет пути определяется по значению $f(x) = g(x) + h(x)$. Алгоритм продолжает свою работу до тех пор, пока значение $f(x)$ целевой вершины не окажется меньшим, чем любое значение в очереди (либо пока всё дерево не будет просмотрено). Из множественных решений выбирается решение с наименьшей стоимостью.



рис. #. Иллюстрация работы алгоритма A*

Методы поиска кратчайшего пути – применяются для поиска кратчайших путей между двумя выбранными вершинами взвешенного графа

Используются алгоритмы: Алгоритм Дейкстры, Алгоритм Беллмана — Форда, Алгоритм Левита

Методы поиска множества кратчайших путей – используются для поиска кратчайших путей между всеми вершинами взвешенного графа.

Используются алгоритмы: Алгоритм Флойда — Уоршелла, Алгоритм Джонсона

Минимальное остовное дерево - это покрывающее дерево графа, имеющее минимальный возможный вес, где под весом дерева понимается сумма весов входящих в него рёбер.(рис. #)

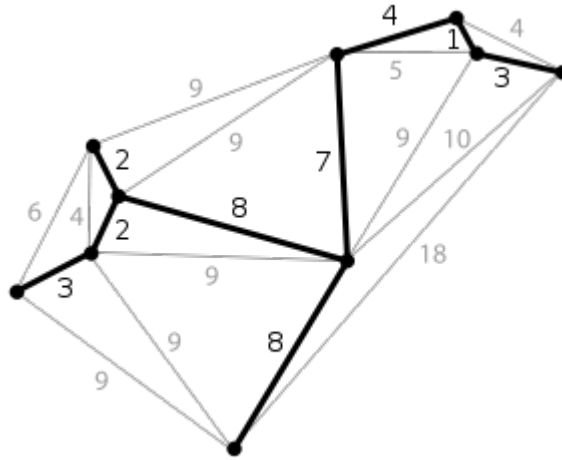


Рис. # Минимальное остовное дерево взвешенного графа

Используются алгоритмы: Алгоритм Борувки, Алгоритм Прима, Алгоритм Крускала

На задачу о нахождении минимального остовного дерева похожа задача о дереве Штейнера. В ней задано несколько точек на плоскости и требуется проложить между ними граф путей, так, чтобы минимизировать сумму длин путей. Главное отличие от задачи о минимальном остовном дереве при этом заключается в том, что разрешается добавлять дополнительные точки ветвления с целью ещё сильнее уменьшить сумму длин рёбер.

Эвристический алгоритм — это алгоритм решения задачи, правильность которого для всех возможных случаев не доказана, но про который известно, что он даёт достаточно хорошее решение в большинстве случаев. В действительности может быть даже известно (то есть доказано) то, что эвристический алгоритм формально неверен. Его всё равно можно применять, если при этом он даёт неверный результат только в отдельных, достаточно редких и хорошо выделяемых случаях, или же даёт неточный, но всё же приемлемый результат.

Проще говоря, эвристика — это не полностью математически обоснованный (или даже «не совсем корректный»), но при этом практически полезный алгоритм.

Важно понимать, что эвристика, в отличие от корректного алгоритма решения задачи, обладает следующими особенностями:

- Она не гарантирует нахождение лучшего решения.
- Она не гарантирует нахождение решения, даже если оно заведомо существует (возможен «пропуск цели»).
- Она может дать неверное решение в некоторых случаях.

Эвристические алгоритмы широко применяются для решения задач высокой вычислительной сложности (задачи, принадлежащие классу NP), то есть вместо полного перебора вариантов, занимающего существенное время, а иногда технически невозможного, применяется значительно более быстрый, но недостаточно обоснованный теоретически, алгоритм. В областях искусственного интеллекта, таких, как распознавание образов, эвристические алгоритмы широко применяются также и по причине отсутствия общего решения поставленной задачи. Различные эвристические подходы применяются в антивирусных программах, компьютерных играх и т. д. Например, программы, играющие в шахматы, проводят середину игры, основываясь, преимущественно, на эвристических алгоритмах (в дебюте может использоваться база данных, в эндшпиле — таблицы Налимова, но в миттельшпиле часто количество возможных ходов исключает полный перебор, а точных алгоритмов правильной игры не существует).

Эвристические методы основаны на интеллектуальном поиске стратегий компьютерного решения проблемы с использованием нескольких альтернативных подходов.

Возможность (допустимость) использования эвристик для решения каждой конкретной задачи определяется соотношением затраты на решение задачи точным и эвристическим методом, ценой ошибки и статистическими параметрами эвристики. Кроме того, важным является наличие или отсутствие на выходе «фильтра здравого смысла» — оценки результата человеком.

Предлагаемая методика решения задачи заключается в следующем.

Представим карту территории, будущий план сети в виде графовой структуры с расставленным оборудованием в виде узлов и соединительными линиями в виде ребер. Такую карту (матрицу смежности) стоит алгоритм инициализации, последовательно описывая все вершины и ребра. Сразу после инициализации происходит расстановка весов ребер (например при помощи алгоритма Дейкстры).

Степень детализации карты влияет на скорость и точность получаемого решения. Т.е. если наложить на карту сетку с наименьшим шагом, то получим точное решение, за большее время выполнения.

После этого, можно произвести кластеризацию для всех вершин графа и получить конечные кластеры. Затем, найти центры этих кластеров и соединить их между собой в соответствии с топологией, указанной в условии задачи.

Второй подход основан на мультиагентировании (описан в главе 3), что позволяет производить распределенное решение задачи. Распараллеливание вычислений сокращает общее время работы алгоритма.

Общий вид алгоритма показан на рис. #

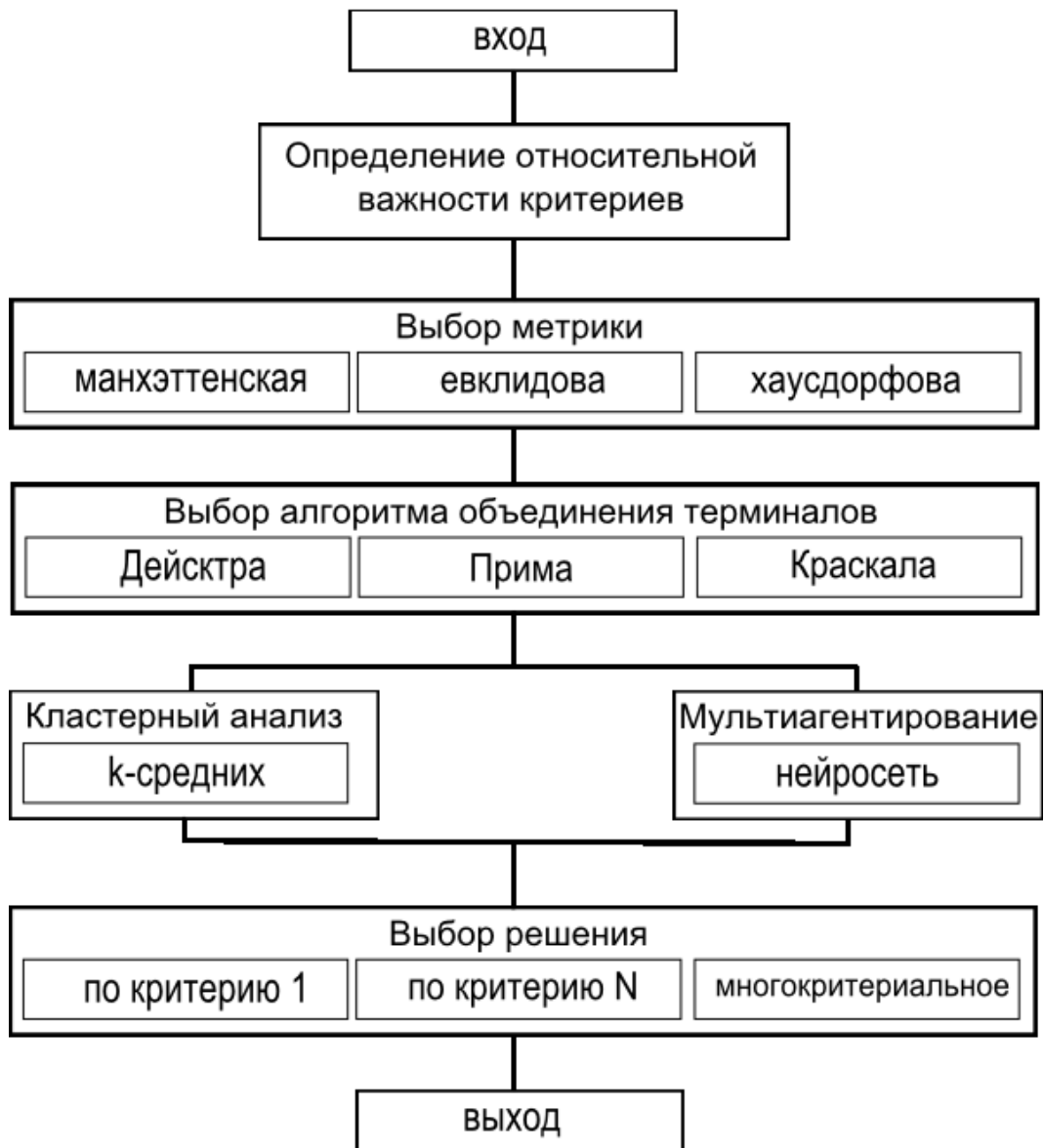


Рис. # Общий ход работы алгоритма

Методы поиска решений на графах, а также методы кластеризации используются внутри методов динамического программирования (как общего подхода). Эвристические методы используются для уточнения условий задачи (эргономики и др.)

Выводы к главе II:

1. Сформулированы и выделены основные критерии и подзадачи, на их основе построена системная модель
2. Произведена постановка задачи с учетом системности подхода к рассмотрению проблем построения алгоритмов в данной области
3. Приведены варианты методик применительно к решению поставленной задачи, из которых выбраны эвристические методы поиска на графах
4. Предложена методика решения задачи, а также обобщен алгоритм получения проектного решения

III АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ КСПД

Вводная часть

Предполагаемые алгоритмы и походы решения задачи:

1. Алгоритм муравья (поиск оптимальных путей на основе **агентирования**)
2. Алгоритмы поиска кратчайшего пути на графах (алг. Дейкстры, Прима-Краскала, Кратчайшего связующего дерева, Алгоритм A*, Алгоритм Jump Point Search)
3. Алгоритмы кластеризации (k-means)
4. Нейросетевые алгоритмы, использующие модели систем с агентами
5. Алгоритмы генерации решений на основе цепочек Маркова
6. Экспертная система для поиска решений
7. Релаксационные методы
8. Эвристические алгоритмы (**метод отжига**)
9. Методы перебора (в том числе и полного перебора)

Подход, основанный на мультиагентировании

Рассмотрим подход, основанный на модели систем с агентами (рис 8 – стрелкой обозначено направление агента). Агент видит только часть карты в одном направлении и изменяет окружающую среду в соответствии с заложенными алгоритмами.



Рис 8

Агент будет выступать в качестве подвижного по карте объекта, который имеет предустановленный набор действий (переместиться влево, переместиться прямо.... выбрать оборудование, оценить возможность подключения, осуществить подключение, разорвать подключение..... и т.д.) и в зависимости от состояния окружающей среды производит их (рис 9). После выполнения действия окружающая среда изменяется и процесс повторяется заново (агент постоянно движется согласно алгоритму обхода)

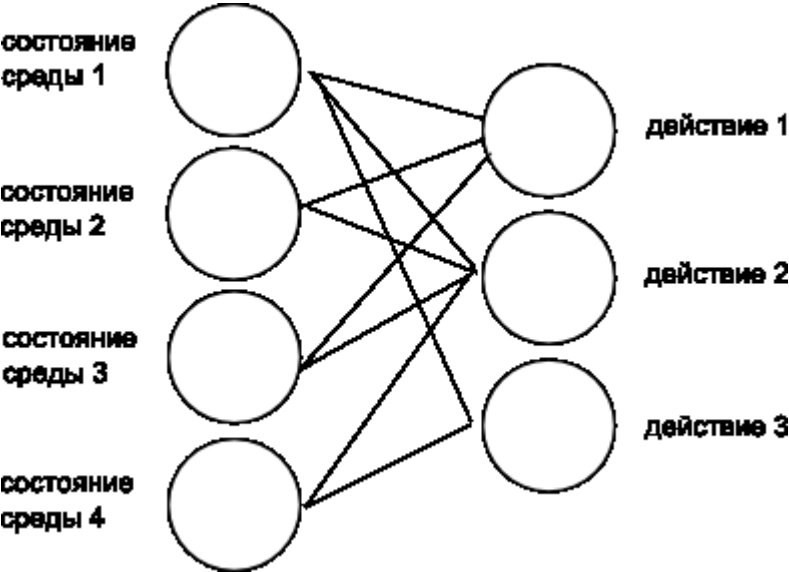


Рис 9

Такая нейросетевая структура не обязательно должна быть полносвязной – в ней можно заложить связь определенных действий с определенными

состояниями среды. Алгоритм может задавать веса для определенных действий в определенных условиях.

Траектория, направление движения агента, алгоритм обхода объектов заложены в алгоритме обхода. Предварительно составляется карта (граф) с минимальными весами. Такой граф можно рассчитать при помощи алгоритма муравья, где для каждого пути рассчитывается вероятность его выбора, но также можно воспользоваться алгоритмами поиска кратчайшего пути в графе, такими как: алгоритм Дейкстры, Беллмана-Форда и другими.

Для больших схем можно использовать мультиагентирование – т.е. запускать на карту несколько агентов, но предварительно предусмотреть влияние работы одних агентов на работу других.

Алгоритмы кластеризации используются для объединения группы схожих объектов (абонентов, оборудования, линий связи) для корректного размещения на карте с учетом критериев и ограничений. Это позволит объединять несколько абонентов при помощи специального узлового оборудования, а также несколько линий связи в одну общую, подстраиваясь под выбранные критерии. В качестве метрики выбирается наименьшее расстояние между крайними точками кластеров (в работе использован видоизмененный алгоритм кластеризации k-средних)

Общую оценку работе всех алгоритмов дает экспертная система (ЭС) для поиска решений. Этот завершающий этап подводит итог работы, оценивает **возможность и стоимость** улучшения, а также дает рекомендации по целесообразности дальнейшего (повторного) запуска алгоритмов расчета. ЭС аккумулирует базу готовых решений, из которых в дальнейшем производится выбор с учетом конкретной постановки ограничений. Такая методика позволяет сократить время поиска решения, выдавая готовый результат с приемлемыми допусками. Имея в базе определенный набор решений, можно генерировать из них другие варианты, что также сокращает время расчета сети.

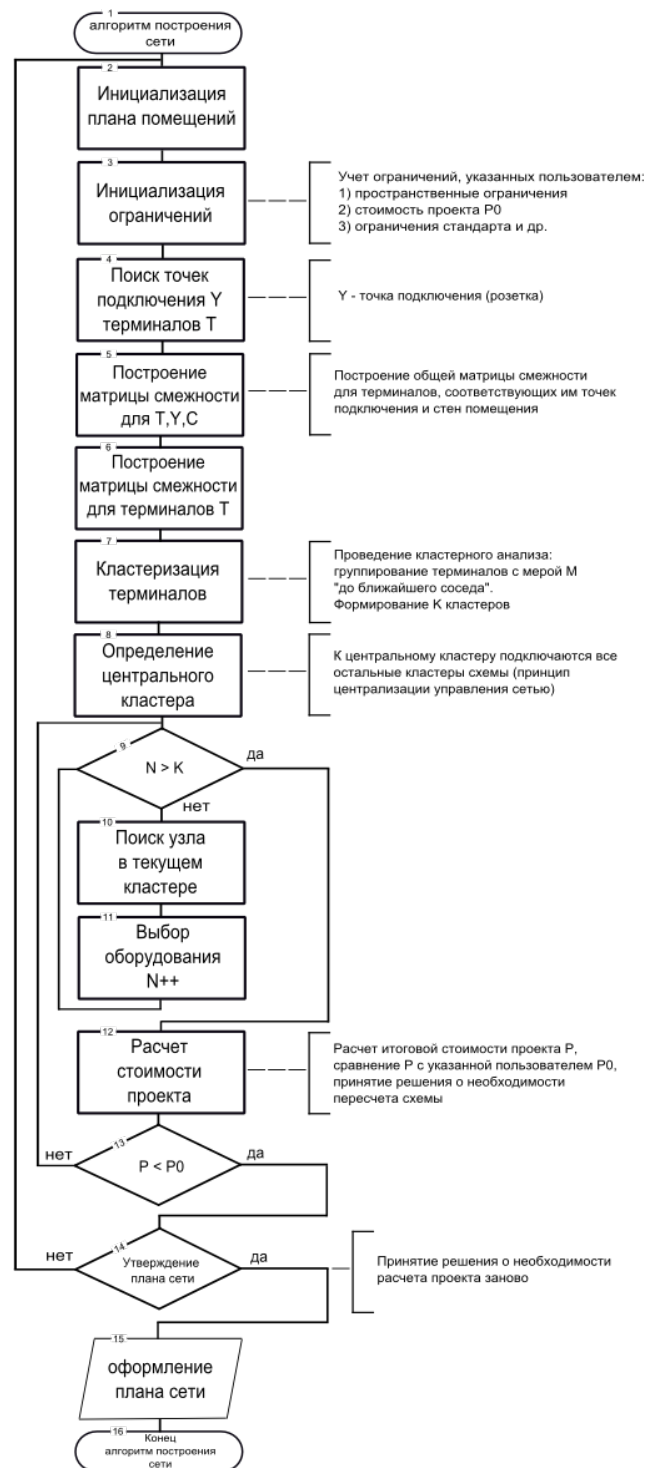
Подход, основанный на кластеризации

На первых этапах работы алгоритма происходит учет пространственных ограничений и строится матрица смежности для всех объектов карты. Используя алгоритм Дейкстры, построим матрицу смежности для поиска наименее удаленных терминалов T . Дальнейший поиск и выделение кластеров производится по матрице терминалов. На этапе кластеризации терминалов расстояние между кластерами определяется как расстояние до ближайшего соседа:

$$q_{min}(w_l, w_m) = \min d(x_i, x_j) \quad (1)$$

На последующих этапах происходит выделение узлов в каждом из кластеров, при этом соблюдается правило минимизации сетевых сегментов как между узлами, так и между узлом и терминалом.

На окончательном шаге из множества всех полученных решений выбирается одно наиболее



оптимальное по критерию стоимости.

В ходе разработки данного алгоритма были сделаны следующие допущения:

1. Активное оборудование расположено на рабочих местах,
2. Отсутствует оценка эффективности такого размещения

Полученный алгоритм относится к классу алгоритмов, имеющих экспоненциальную сложность – время обработки увеличивается экспоненциально в зависимости от количества терминалов сети.

Данный алгоритм является жадным – т.е. принимает локально оптимальные решения на каждом из шагов. Как следует из [Т. Кормен, Ч. Лейзер - Алгоритмы. Построение и анализ, с. 336], **такой тип алгоритмов может быть применен в 2х случаях:**

- 1) известно, что **последовательность локально оптимальных решений** дает **глобально оптимальное решение** – принцип жадного выбора
- 2) известно, что **оптимальное решение всей задачи содержит в себе оптимальные решения подзадач** – принцип оптимальности для подзадач

Таким образом, еще одной проблемой является доказательство правильности применения жадного алгоритма.

Выбор алгоритма

Задача поиска кратчайшего пути в графе является NP полной задачей. Поскольку в рамках данной задачи нам не обязательно искать оптимальное решение, мы можем использовать эвристические алгоритмы для получения решения за приемлемое время. Однако, иногда возникает необходимость получения решения, близкого к оптимальному. В этом случае мы бы использовали аппроксимирующие алгоритмы. Наилучшего результата можно достигнуть путем использования обоих типов алгоритмов с дальнейшим

выбором того из них, который даст наиболее точное приближение за приемлемое время.

3.1 Алгоритмы, основанные на кластеризации

3.1.1 Алгоритмы поиска кратчайшего расстояния

Одна из проблем проектирования оптимальных сетей – это нахождение кратчайшего пути. Кратчайший путь рассматривается при помощи некоторого математического объекта, называемого графом.

Существуют следующие наиболее известные алгоритмы нахождения кратчайшего пути в графе:

- алгоритм Дейкстры (используется для нахождения оптимального маршрута между двумя вершинами);
- алгоритм Флойда (для нахождения оптимального маршрута между всеми парами вершин);
- алгоритм Йена (для нахождения k -оптимальных маршрутов между двумя вершинами).
- Поиск в ширину
- Поиск в глубину
- алгоритм A^*
- алгоритм поиска наилучшего совпадения
- алгоритм поиска по контрольным точкам
- волновой алгоритм

Для решения подзадачи нахождения кратчайшего пути между двумя вершинами в связанном графе, применим алгоритм Дейкстры.

В простейшем случае, когда для поиска вершины с минимальным $d[v]$ просматривается все множество вершин, а для хранения величин d — массив, время работы алгоритма есть $O(n^2 + m)$. Основной цикл выполняется порядка n раз, в каждом из них на нахождение минимума тратится порядка n операций, плюс количество релаксаций (смен меток), которое не превосходит количества ребер в исходном графе.

3.1.2 Алгоритм поиска точек подключения

В описанной модели осуществлять подключение нового узла к сети возможно через оконечную точку. Расстояние от терминала до оконечной точки должно быть минимальным.

Алгоритм определения местоположения оконечной точки следующий. Около каждого терминала последовательно описываются квадраты. Стороны квадратов последовательно увеличиваются от 1 до M единиц (M – максимальная длина сегмента). Как только квадрат пересечет ограничительную линию (стену) одной из своих сторон, подсчитывается количество точек соприкосновения. Из этих точек по т. Пифагора рассчитывается наикратчайшее расстояние до узла сети. Наикратчайший отрезок пересекает стену в единственной точке. Эта точка и является точкой подключений (розеткой). Если точек получается несколько, то выбирается та из них, которая выше и левее относительно остальных

Наглядно это представлено на рисунке 3.1 (исходный вариант). Жирной точкой обозначен терминал, цифрами “1” обозначены варианты расположения точек подключения.

0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	●	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 3.1 – исходное положение терминала и варианты точек коммутации

В этом примере, для каждой из 9 получившихся точек рассчитывается длина сегмента, связывающего эту точку с терминалом сети. Расчет производится по т. Пифагора.

Евклидова дистанция между двумя точками x и y — это наименьшее расстояние между ними. В двух- или трёхмерном случае — это прямая, соединяющая данные точки. Общей формулой для n -мерного случая (n переменных) является:

$$dist = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (3.1)$$

Последовательно увеличивая стороны квадрата, найдем точки его пересечения со стеной помещения (рис. 3.2). Здесь “1” обозначен квадрат со стороной, равной 4 единицам, цифрами “2” – точки пересечения этого квадрата и стены помещения. Описанный алгоритм поиска точек подключения показан на рис. 3.3.

0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0

Рисунок 3.2 – Результат пересечения квадрата и стены помещения

В цикле радиусов происходит поиск пересечения воображаемого квадрата и стены помещения. После того, как точки пересечения найдены, производится расчет расстояний от искомого терминала до них по формуле

3.1 (цикл пересечений на рис. 3.3). В итоге выбирается одна точка подключения, расстояние до которой минимально.

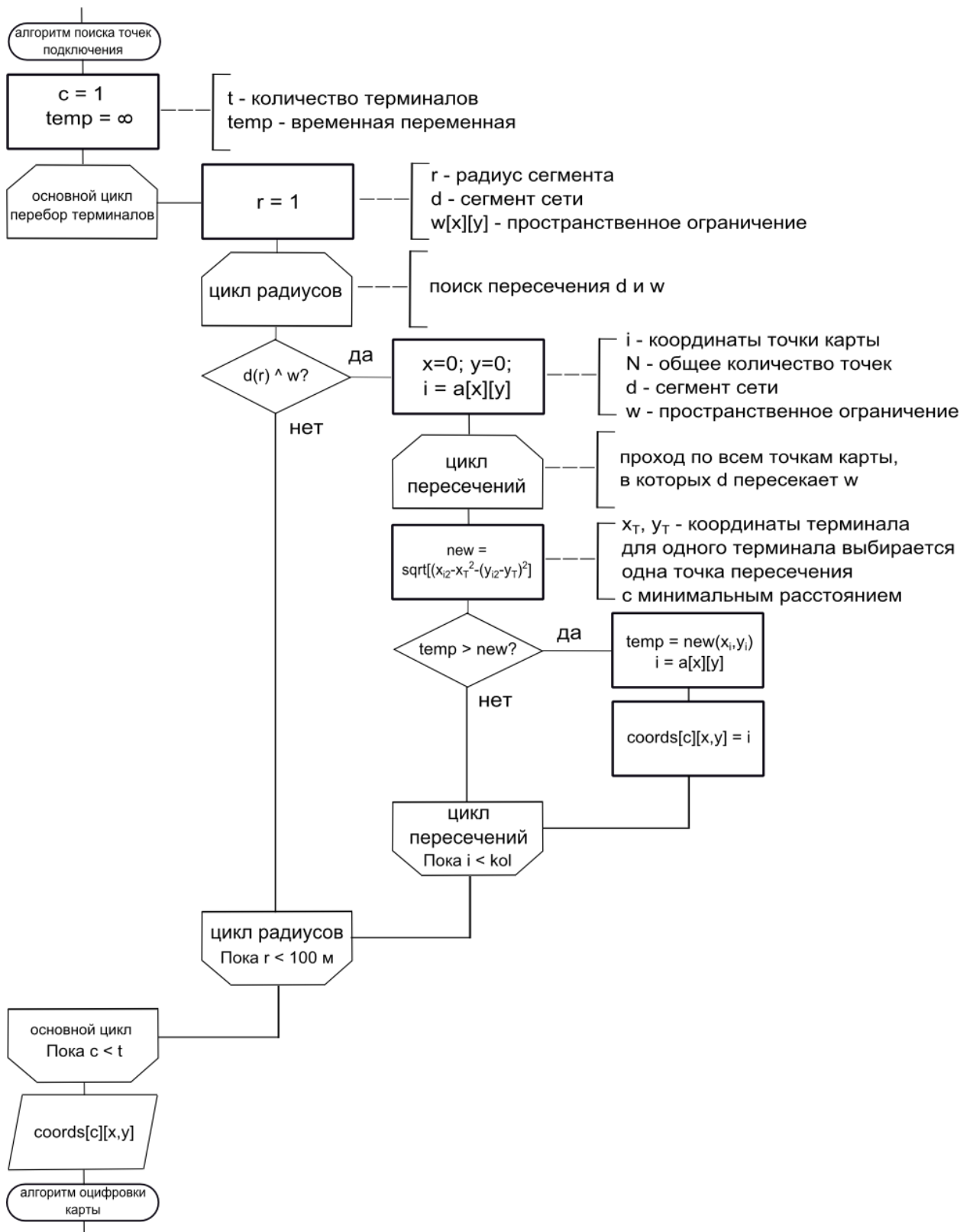


Рисунок 3.3 – Методика поиска точек подключения

3.1.3 Методика оцифровки карты

Необходимость построения матрицы смежности для поставленной задачи обусловлена применением алгоритмов, которые позволяют существенно экономить процессорное время в сравнении с полным перебором. Методика оцифровки карты показана на рисунке 3.4.

Формирование матрицы смежности согласно алгоритму, показанному на рис. 3.4 происходит в четыре этапа:

- 1) прохождение карты по горизонтали, расчет горизонтальных расстояний между идентифицируемыми точками (метками)
- 2) прохождение карты по вертикали, расчет вертикальных расстояний между метками
- 3) соответствие между вертикальными и горизонтальными номерами меток
- 4) симметрия матрицы относительно главной диагонали

Во вложенном цикле (см. рис. 3.4) вначале производится соответствие между вертикальными и горизонтальными номерами меток, а затем рассчитывается расстояние, которое заносится в основную матрицу смежности.

Полученная общая матрица смежности подается на вход следующего алгоритма, который по ней составляет матрицу смежности для терминалов. Поскольку размеры матрицы терминалов гораздо меньше размеров основной матрицы, сокращается время работы алгоритма полного прохода по матрице.

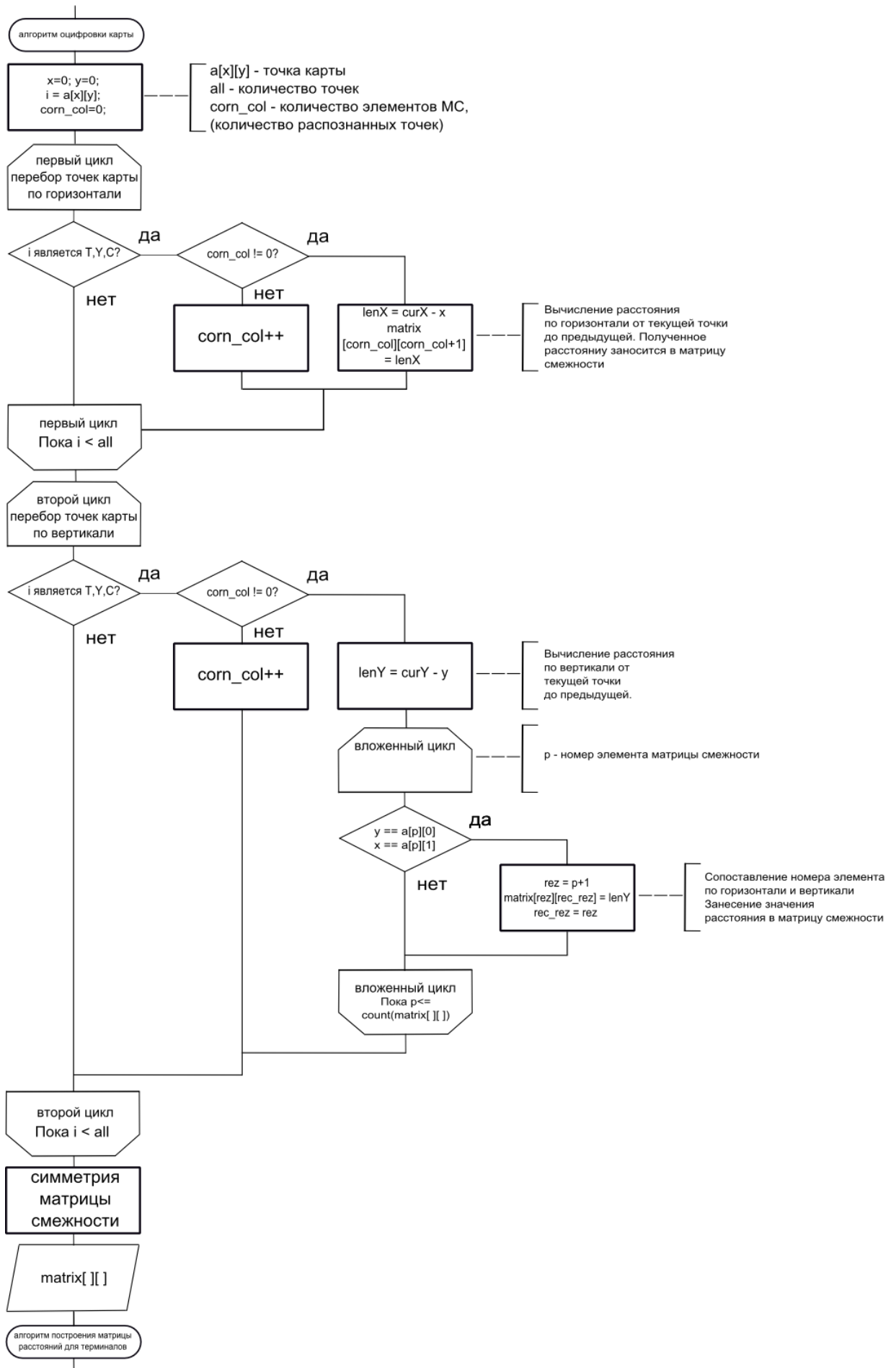


Рисунок 3.4 – Методика оцифровки карты

3.1.4. Выбор метрики

Существуют 2 группы методов объединения объектов в кластеры – дивизимные и агломеративные. Дивизимные методы предполагают, что первоначально все объекты принадлежат одному кластеру, который на последующих шагах делится на меньшие кластеры, в результате образуется последовательность расщепляющих групп. Агломеративные методы характеризуются последовательным объединением исходных элементов и соответствующим уменьшением числа кластеров. Принцип работы этих методов приведен на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – А) Схема работы методов кластеризации

Б) Дендрограмма процесса слияния

Для построения кластеров был выбран иерархический агломеративный метод. В классическом варианте агломеративный метод выглядит так: в начале работы алгоритма все объекты являются отдельными кластерами. На первом шаге наиболее похожие объекты объединяются в кластер. На последующих шагах объединение продолжается до тех пор, пока все объекты не будут составлять один кластер. Схематично такой метод показан на рисунке 3.5(Б). Сначала в кластер объединяются объекты 10, 11, 12, 13, при этом значение метрики эквивалентно 5 единицам. После этого, происходит объединение объектов 4,5,6,7,8,9. При метрике, равной 85 единицам, объединяются все объекты.

Узловым моментом в кластерном анализе считается выбор метрики (или меры близости объектов), от которого решающим образом зависит

окончательный вариант разбиения объектов на группы при заданном алгоритме разбиения. В качестве меры может быть использовано **евклидово** расстояние, **манхэттенское** расстояние, и др.

Другой важной величиной в кластерном анализе является расстояние между целыми группами объектов – кластерами. Пусть w_i — i -я группа (класс, кластер) объектов, N_i — число объектов, образующих группу w_i , вектор μ_i — среднее арифметическое объектов, входящих в w_i (другими словами μ_i — “центр тяжести” i -й группы), а $q(w_l, w_m)$ — расстояние между группами w_l и w_m

Различные способы определения расстояния между кластерами w_l и w_m (1 — по центрам тяжести, 2 — по ближайшим объектам, 3 — по самым удаленным друг от друга объектам) приведены на рисунке 3.7.

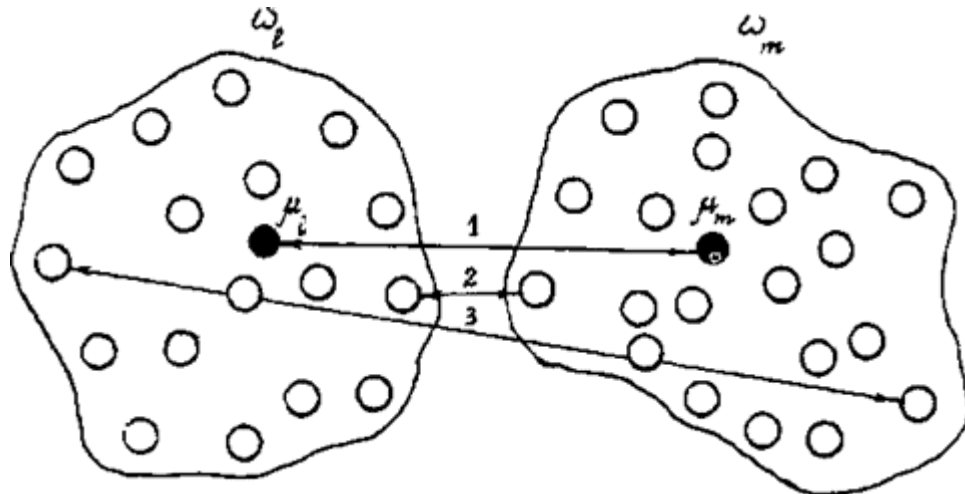


Рисунок 3.7 – Варианты определения расстояния между кластерами

Расстояние ближайшего соседа есть расстояние между ближайшими объектами кластеров:

$$q_{\min}(w_1, w_m) = \min_{x_i \in w_1, x_j \in w_m} d(x_i, x_j) \quad (3.2)$$

Расстояние дальнего соседа — расстояние между самыми дальними объектами кластеров:

$$q_{\max}(w_1, w_m) = \max_{x_i \in w_1, x_j \in w_m} d(x_i, x_j) \quad (3.3)$$

Расстояние центров тяжести равно расстоянию между центральными точками кластеров:

$$q(w_1, w_m) = d(\mu_1, \mu_m) \quad (3.4)$$

Обобщенное (по Колмогорову) расстояние между кластерами, или обобщенное K -расстояние, вычисляется по формуле

$$q_{\tau}^{(K)}(w_1, w_m) = \left[\frac{1}{N_1 N_m} \sum_{x_i \in w_1} \sum_{x_j \in w_m} d^{\tau}(x_i, x_j) \right]^{\frac{1}{\tau}} \quad (3.5)$$

В частности, при $\tau = \mu$ и при $\tau = -\mu$ имеем

$$q_{\infty}^{(K)}(w_1, w_m) = q_{\max}(w_1, w_m) \quad (3.6)$$

$$q_{-\infty}^{(K)}(w_1, w_m) = q_{\min}(w_1, w_m) \quad (3.7)$$

Применительно к нашей задаче, в качестве меры было выбрано максимальное расстояние N между сегментами сети. В качестве межкластерного было использовано расстояние между центрами тяжести.

3.1.5 Алгоритм объединения узлов сети в кластеры

Для всех пар точек сети (являющихся компьютерами) построим матрицу расстояний. Она представляет собой квадратную матрицу размерности $C \times C$, где C – количество конечных точек сети (терминалов). На пересечении строк и столбцов находятся наикратчайшие расстояния между парами терминалов сети, полученные при использовании алгоритма Дейкстры. Такой алгоритм приведен на рисунке 3.8.

Алгоритм построения матрицы расстояний для терминалов использует номера терминалов из основной матрицы смежности для точек подключения, стен и терминалов.

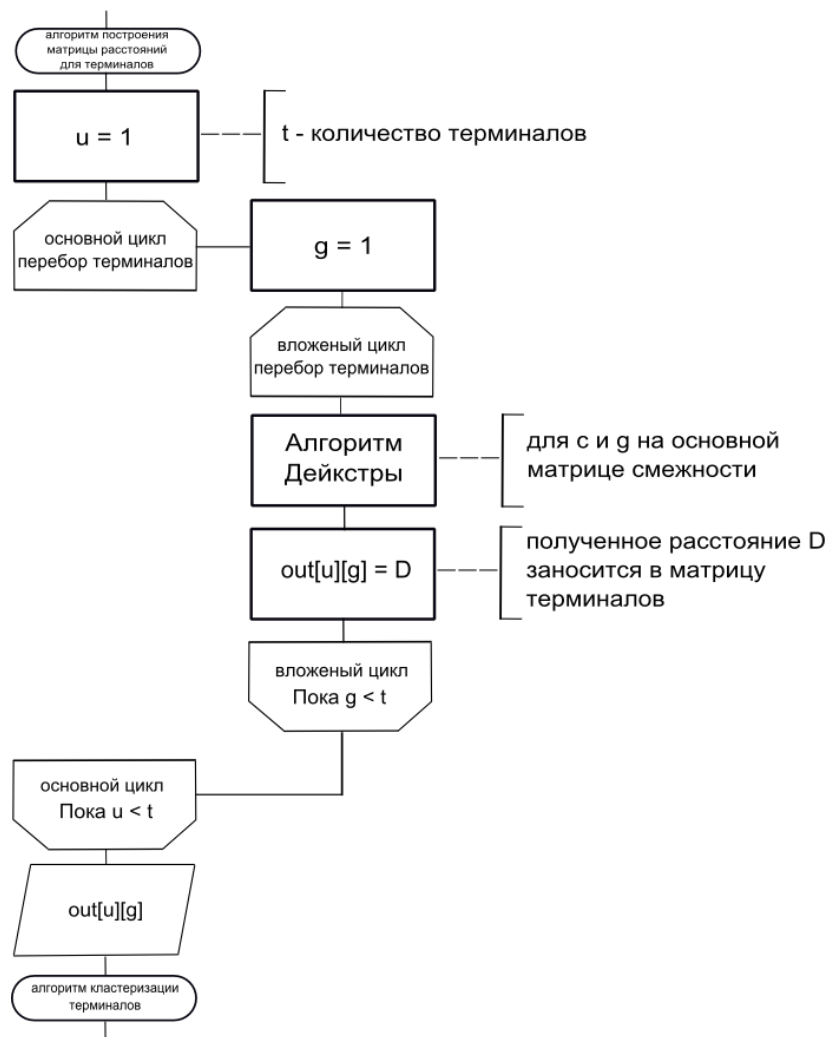


Рисунок 3.8 – Методика построения матрицы расстояний между терминалами

Из полученной матрицы будем последовательно извлекать все значения, начиная с наименьшего, и до максимального значения меры M . Эти значения упорядочим по возрастанию, присвоим им номера терминалов из матрицы расстояний. Формирование кластеров происходит по следующим правилам. Первый кластер будет создан из первой пары терминалов, т.к. расстояние между ними минимально. Если следующая пара терминалов содержит элемент из уже существующего кластера, то элемент текущей пары, который не содержится ни в одном из других кластеров, присоединится к этому кластеру. Иначе, если пара терминалов содержит элементы, не принадлежащие ни одному из кластеров, то эта пара и создаст новый кластер. Алгоритм кластеризации терминалов показан на рисунке 3.9.

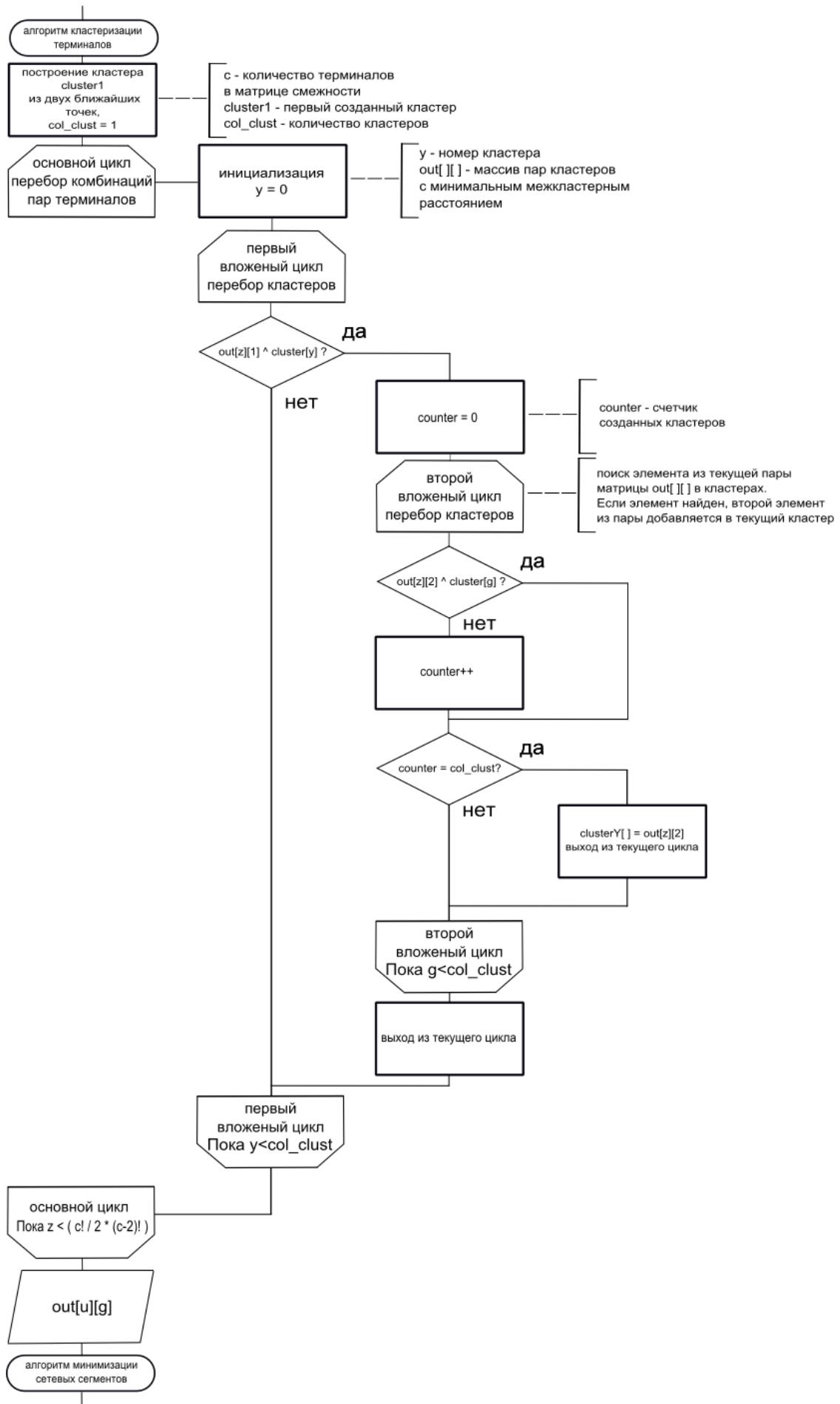


Рисунок 3.9 – Алгоритм кластеризации терминалов

3.1.6 Алгоритм минимизации сетевых сегментов

После предварительного формирования кластеров производится расчет минимального расстояния между всеми парами кластеров. При этом используется алгоритм ближайшего соседа. Наглядно все пары кластеров представляют собой полносвязный граф.

Для подсчета количества комбинаций используется формула (3.8). Число сочетаний из n по k равно биномиальному коэффициенту

$$\binom{n}{k} = C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (3.8)$$

Расстояние между кластерами рассчитывается с использованием алгоритма Дейкстры. Кластер, сумма расстояний от которого до всех остальных кластеров минимальна, будет являться центральным. К нему будут присоединены все остальные кластеры.

3.1.7 Алгоритм поиска центрального кластера

- 1) [Фиксируем кластер i
- 2) Выбираем минимальное общее межкластерное расстояние для i
- 3) Если выбранное межкластерное расстояние меньше значения переменной \min , то присваиваем переменной \min значение из п.2
- 4) Если $i < K$ (кол-во кластеров), то i увеличиваем на 1, возврат на п. 1., иначе переход к п.5
- 5) Значение \min соответствует кластеру i с минимальным межкластерным расстоянием. Следовательно, i – искомый центральный кластер.]

Соединим все узлы одной линией по периметру, получим произвольную фигуру F . Будем считать, что центр тяжести такой фигуры будет являться центральной точкой центрального кластера. Для поиска центра тяжести существует несколько подходов: интегрирование, эксперимент - взвешивание тела, а также метод расчета, основанный на разбиении сложной фигуры на множество простых. Воспользуемся последним из них.

Тело разбивается на конечное число частей, для каждой из которых положение центра тяжести C и площадь S известны. Как известно, если тело имеет плоскость, ось или центр симметрии, то его центр тяжести лежит соответственно в плоскости симметрии, оси симметрии или в центре симметрии.

Например, проекцию тела на плоскость xOy (рисунок 3.10) можно представить в виде двух плоских фигур с площадями S_1 и S_2 ($S = S_1 + S_2$). Центры тяжести этих фигур находятся в точках $C_1(x_1, y_1)$ и $C_2(x_2, y_2)$. Тогда координаты центра тяжести тела равны

$$x_c = \frac{x_1 \cdot S_1 + x_2 \cdot S_2}{S_1 + S_2},$$

$$y_c = \frac{y_1 \cdot S_1 + y_2 \cdot S_2}{S_1 + S_2}.$$

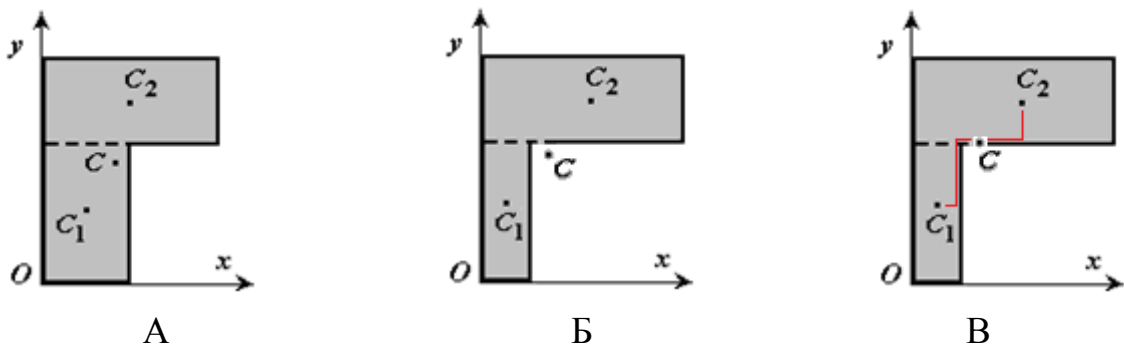


Рисунок 3.10 – Определение центра тяжести произвольной фигуры

При этом возможны ситуации, когда центр тяжести лежит вне фигуры, рис. 3.10 (Б). В таких случаях будем устанавливать точку C на ближайшую (по Евклидовой метрике) грань фигуры (рис. 3.10 (В)).

После того, как определен центральный кластер, необходимо найти узел внутри него, который наименее удален от других кластеров. Методология поиска представлена в виде псевдокода:

- 1) Фиксируем точку i центрального кластера
- 2) Фиксируем кластер j
- 3) Ищем минимальное расстояние от фиксированной точки i до всех точек кластера j
- 4) Суммируем полученные расстояния, заносим в переменную $sum[i][j]$
- 5) Если $j < K$ (кол-во кластеров), то j увеличиваем на 1, возврат на п. 2., иначе переход к п.7

- 6) Если $i < T$ (кол-во терминалов в центральном кластере), то i увеличиваем на 1, возврат на п. 1., иначе переход к п.7
- 7) Находим минимум из всех $sum[i]/[j]$. Отсюда следует, что i – основной узел центрального кластера.

Таким образом, получаем одну точку внутри каждого кластера, которая наименее удалена от центральной. Эта точка является узлом для кластера.

Если расстояние между кластерами превышает фиксированную меру M , установленную ограничениями, то необходимо установить дополнительное связующее звено. Его местоположение в одномерном пространстве будет определяться формулой:

$$X = q_{min}(w_l, w_m) / M \quad (3.9)$$

3.1.8 Алгоритм построения сети

Описанные выше алгоритмы, составляют основу ключевого алгоритма построения квази-оптимальной сети – рисунок 3.10.

На этапе инициализации ограничений формируются такие критерии как

- стоимость P_0
- эргономика (пространственные ограничения)
- предпочтения проектировщика (масштабируемость, расширяемость, мобильность и др.)

Выбор оборудования производится по количеству портов, необходимых для подключения всех терминалов текущего кластера.

Предложенная методология имеет ряд принципиальных ограничений:

- 1.Полученный алгоритм относится к классу алгоритмов, имеющих экспоненциальную сложность – время обработки увеличивается экспоненциально в зависимости от количества терминалов сети.
- 2.Узловые точки располагаются на матрице смежности (заранее predetermined)
- 3.Полученное решение оптимально по критериям стоимости и эргономики и не учитывает другие немаловажные критерии: расширяемость, масштабируемость, отказоустойчивость, мобильность терминалов
- 4.Выбор узловых точек происходит на основе количества подключаемых терминалов, без включения в них дополнительных параметров, увеличивающих длину сегмента, скорость передачи

3.1.9 Эвристики

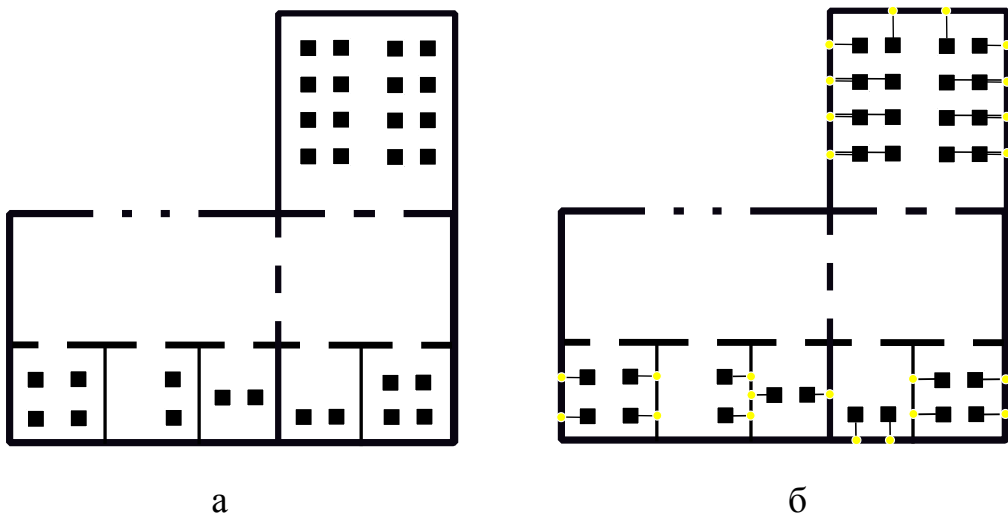
Для уменьшения вариантов перебора конечных решений в существующую методику можно добавить некоторые эвристические элементы. Такой алгоритм не имеет строгого обоснования, но дает приемлемое решение в большинстве случаев. Кроме этого, **методология, основанная на применении эвристического алгоритма, не дает точного решения, но дает существенный прирост по скорости поиска решений.** В некоторых случаях, эвристики могут дать неверное решение, поэтому нужна адекватная оценка цены затрат на решение и цены ошибок.

Эвристиками для данной постановки задачи могут являться:

1. Подключение оконечных терминалов наикратчайшим способом
2. Построение сетей заведомо известных топологий (звезда, дерево, кольцо), а также их комбинаций
3. Центральный узел располагать как можно ближе к центру сети
4. Узлы размещать в заранее определенных местах
5. Выбор ЛПР в отношении ранжирования критериев

3.2 Улучшенный алгоритм поиска решения

Рассмотрим пошагово ход работы улучшенного алгоритма на плане здания произвольной формы (рис 3.11, вид сверху, жирными точками выделены терминалы).



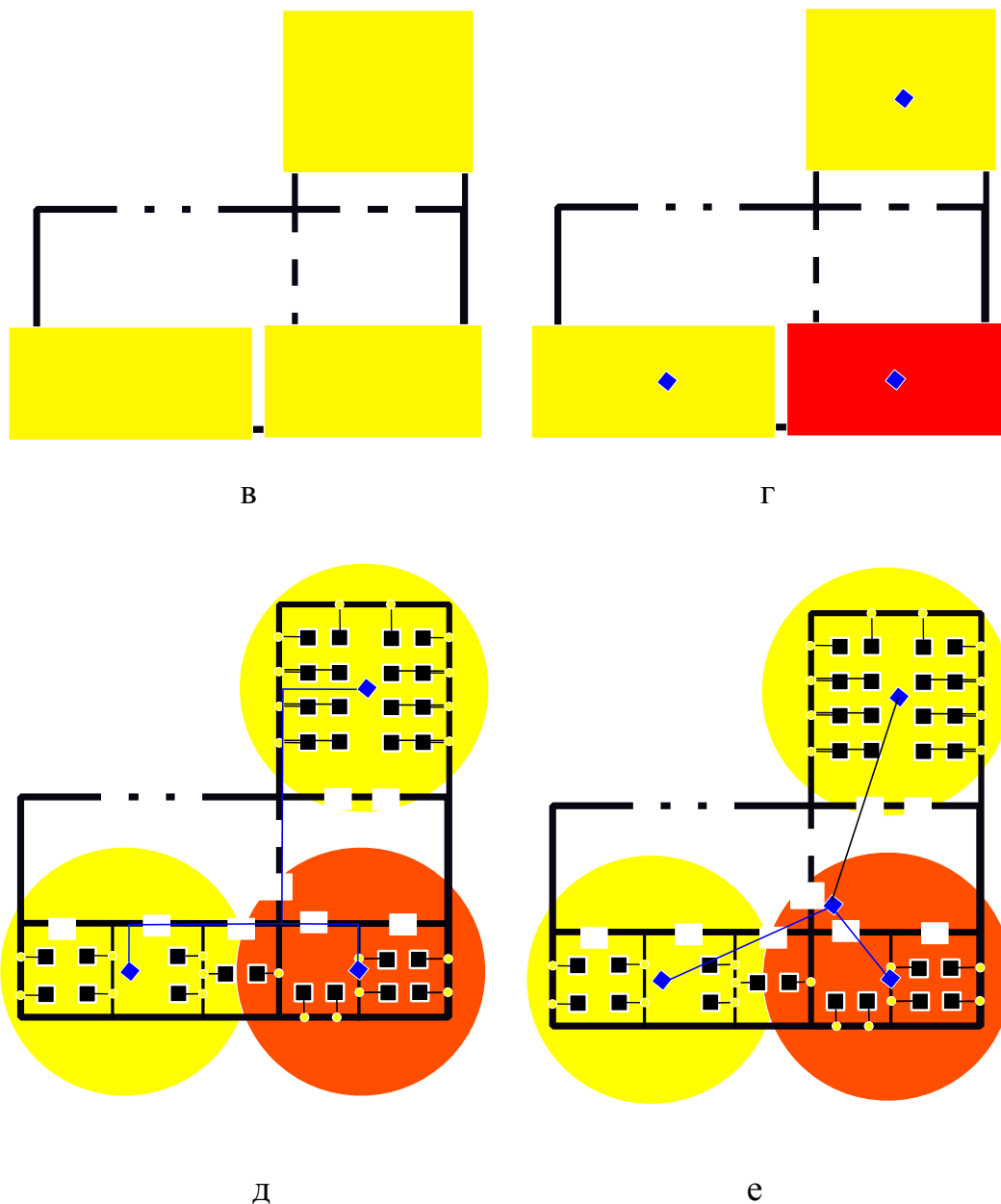


Рисунок 3.11 – Укрупненный ход работы улучшенного алгоритма построения

На первом шаге инициализируется карта и ограничения (пространственные, ограничения применяемых стандартов, пользовательские ограничения). Далее происходит расчет точек подключения (описано в разделе 3.1.2), при этом выбирается евклидова метрика. После этого карта оцифровывается в 2 этапа:

1) строится общая матрица смежности для терминалов, точек подключения и ограничений.

2) на основе общей матрицы строится матрица терминалов с применением алгоритма Дейкстры.

Затем с применением агломеративного кластерного анализа рассчитывается количество и состав конечных кластеров. В качестве метрики межкластерного расстояния выбирается расстояние между центрами кластеров. На следующем шаге выбирается центральный кластер как наименее удаленный от остальных. К центральному кластеру подключаются все оставшиеся кластеры (принцип централизованности управления). В кластерах выбирается центральная точка (центр тяжести), к ней подключаются узлы текущего кластера проводной либо беспроводной связью. На рис. 3.11-Д показан окончательный вариант построенной сети с использованием манхэттенской метрики.

На рис. 3.11-Е показан альтернативный вариант соединения центров кластеров с применением евклидовой метрики. Таким образом получаем сеть минимальной длины, соответственно и минимальной стоимости. Однако практического применения сетевая структура, построенная таким образом, иметь не будет.

3.3 Методика поиска решения многокритериальной задачи

Рассмотрим 2 варианта:

- 1) все критерии равноправны
- 2) некоторые из критериев доминируют над другими

Полученные решения оцениваются по каждому критерию по условной шкале, от 0 до N (при необходимости, градуировку шкалы можно изменить). Рассмотрим пример. На рис. 2 показаны исходные точки X, Y, Z и возможные точки их подключения. Необходимо объединить их единой сетью, используя дополнительное активное оборудование (точка S), а также выбрать месторасположение этой точки. Рассматриваются критерии: общая длина сети, эргономика, масштабируемость.

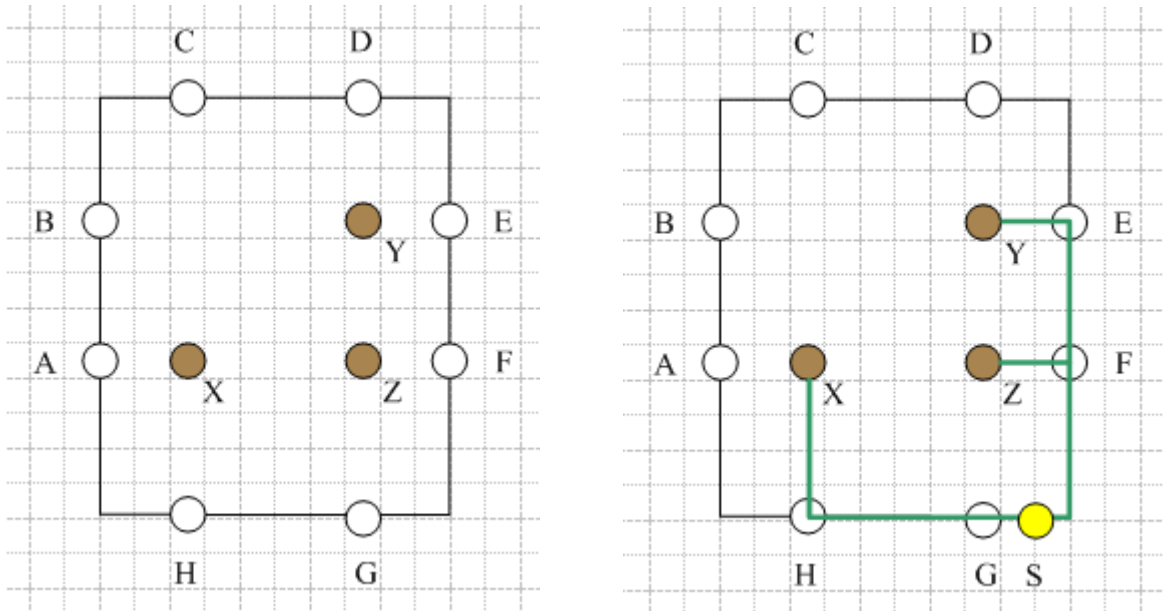


Рис. 2 – (а - исходные данные для подключения двух точек, б – 1е решение)

Пусть в результате получено M решений, рассмотрим 3 из них (рис.2б, рис. 3).

Полученные результаты сведем в табл. 2.

Эргономика рассчитывается как отношение участка сети от искомой точки до точки подключения к общей длине сети. Масштабируемость во всех решениях принимается равной 0 (выбор оборудования не производится, поэтому для всех решений оборудование одинаково)

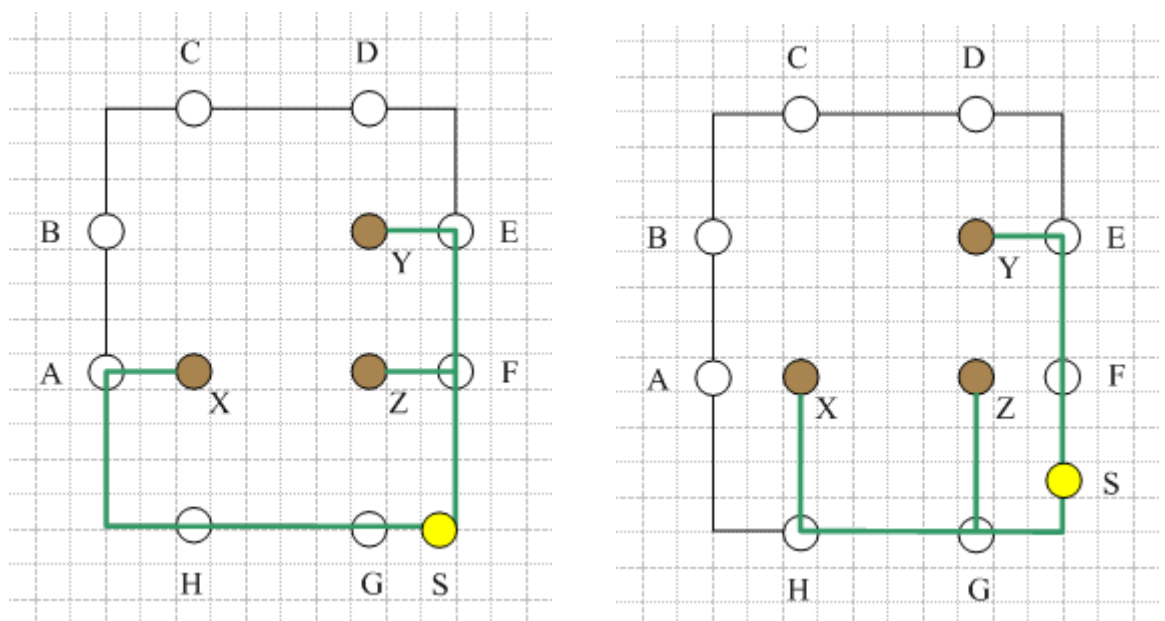


Рис. 3 – (а – 2е решение, б – 3е решение)

Таблица 2. Сравнение решений

№ Решения	Длина сети	Эргономика	Масштабируемость	Итого
1	30	6/30	0	
2	34	6/34	0	
3	30	10/30	0	

Основная проблема в случае равноправия – **сравнение разнородных критериев**. Необходима единая шкала для однозначности выбора решения. **Второй вариант – сведение всех критериев к одному, например, стоимости**. Как следствие, легко выбрать наиболее подходящее решение.

В рассматриваемом примере основополагающим критерием является эргономика, поэтому очевидным выбором будет решение 2. Несмотря на то, что длина сети, а следовательно, и итоговая стоимость в данном случае будут выше, чем в остальных, удобство работы все же остается на первом месте.

Иерархия критериев

Все критерии и получаемые решения можно свести к иерархии (рис.4).

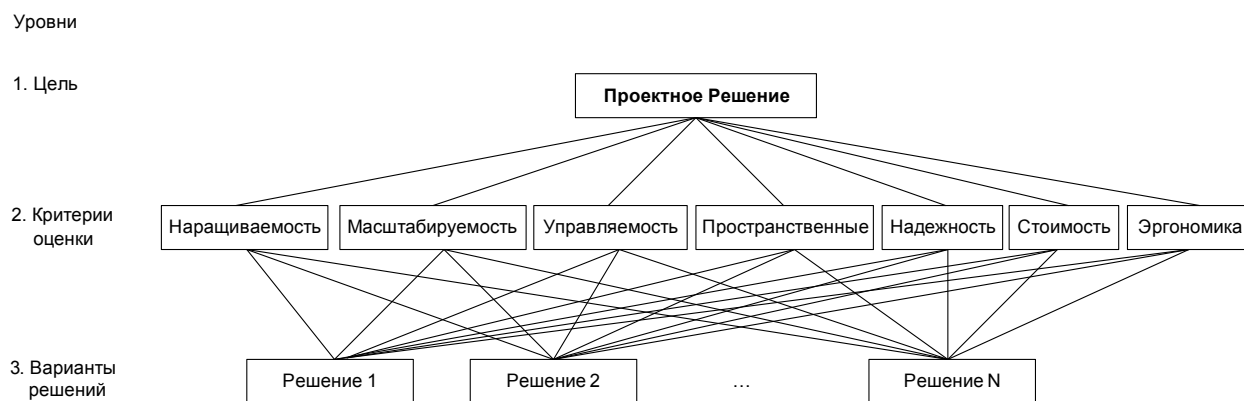


Рис. 4 – Выбор решения

Представленная иерархия является полностью связной. Решение представляет собой вектор $\{K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7\}$, полученный с использованием критериев K . Однако выбор конкретного варианта решения зависит от предпочтений лица принимающего решение (ЛПР). К примеру, для первого

ЛПР важнее получить надежную, управляемую сеть, а для второго – более эргономичную, но дешевую.

Выбор шкалы

Для того чтобы произвести оценку критериев и выбрать единую шкалу необходимо произвести ряд измерений. С целью повышения качества обучения можно использовать нейросети(?).

Первоначально мы не можем точно определить шкалу для критериев. Если мы введем коэффициент-константу, который будет жестко фиксировать значение единичной длины, то для различных проектов получим одну шкалу и сможем сравнивать полученные решения по определенному критерию.

Одна из проблем состоит в определении значения (процентного соотношения) коэффициента-константы.

Выводы к главе III:

1. Полученный улучшенный алгоритм позволяет рассчитывать топологию сети из исходных данных - плана здания и расставленных на плане терминалов.
2. Скорость работы алгоритма не зависит от сложности формы здания, однако зависит от количества терминалов - т.е. алгоритм является экспоненциальным по сложности.
3. Алгоритм является жадным, т.е. принимает локально оптимальные решения, но это обстоятельство не препятствует расчету квази-оптимальной сети, поскольку доказано что в рамках данной задачи последовательность локально оптимальных решений дает глобально оптимальное решение.
4. Рассмотрена методика сведения многокритериальной задачи к единственному главному критерию.

IV ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ

1. Программное обеспечение для решения задачи построения сети