

ISSN 1561-5359

Національна академія наук України  
Інститут проблем штучного інтелекту

# ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ

4'2007

Национальная академия наук Украины  
Институт проблем искусственного интеллекта

# ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЕКТ

4'2007

National Academy of Sciences of Ukraine  
Institute of Artificial Intelligence

# ARTIFICIAL INTELLIGENCE

4'2007



ІІІІ МОН і НАН України «Наука і освіта»

**Головний редактор**

**Анатолій Іванович Шевченко,**  
чл.-кор. НАН України, професор, доктор технічних наук, доктор богослов'я,  
директор Інституту проблем штучного інтелекту

**Редакційна колегія**

**Л.А. Білозерський,** к.т.н.  
**С.М. Вороний,** к.т.н.  
**В.П. Гладун,** професор, д.т.н.  
**Ю.І. Журавльов,** академік РАН (Москва)  
**І.А. Каляєв,** професор, д.т.н. (Таганрог)  
**Ю.В. Капітонова,** професор, д.ф.-м.н.  
**І.М. Коваленко,** академік НАНУ  
**Ю.В. Крак,** д.ф.-м.н., професор  
**Роман Куц,** професор, Сельський університет (Нью-Гейвен, США)  
**С.В. Мащенко,** к.т.н.  
**К.М. Нюнькін,** к.ф.-м.н.  
**Ю.І. Самойленко,** чл.-кор. НАНУ  
**В.І. Скурихін,** академік НАНУ  
**В.М. Ткаченко,** с.н.с., д.т.н.  
**В.І. Черній,** професор, д.мед.н.  
**А.О. Чикрій,** чл.-кор. НАНУ  
**В.Ю. Шелепов,** д.ф.-м.н.  
**А.П. Шпак,** академік НАНУ

**Відповідальний редактор**

**С.Б. Іванова,** заступник директора  
Інституту проблем штучного інтелекту

**Відповідальний секретар**

**І.С. Сальников,** кандидат технічних наук,  
вчений секретар Інституту проблем штучного інтелекту

---

**Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 1803 від 20.11.1995 р., ISSN 1561-5359**  
*Журнал «Штучний інтелект» внесено до переліку журналів ВАК України, у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів кандидата й доктора наук за спеціальностями «Фізико-математичні науки» та «Технічні науки»*

*Рекомендовано до друку вченою радою Інституту проблем штучного інтелекту  
МОН і НАН України. Протокол № 8 від 06 серпня 2007 р.  
Електронна версія попередніх номерів знаходиться на web-сервері інституту (м. Донецьк)  
<http://www.iai.donetsk.ua>*

<i>Коломыс Е.Н.</i> Алгоритмы аппроксимации динамических характеристик объектов управления в режиме нормальной работы объекта .....	455
<i>Литвинская О.С., Сальников И.И.</i> Принятие решения при выборе варианта реализации алгоритмов последовательной обработки данных в условиях неоднородности параметров .....	465
<i>Назарова И.А.</i> Экспоненциальные методы решения линейной задачи Коши с альтернативными способами оценки локальной погрешности для массивно-параллельных компьютерных систем .....	474
<i>Ольшевский А.И.</i> Алгоритмы построения маршрута при групповой рассылке сетевых пакетов данных дистанционного обучения на базе ДонГИИИ .....	483
<i>Прокопчук Ю.А.</i> Консилиум интеллектуальных систем .....	491
<i>Чернухин Ю.В., Гузик В.Ф., Поленов М.Ю.</i> Организация поддержки импорта внешних программных моделей виртуальной среды VTB .....	497

## РАЗДЕЛ 9

### Моделирование объектов и процессов

<i>Безруков М.В., Брюханова Н.В.</i> О моделировании слабоструктурированных проблем в сфере малого бизнеса .....	504
<i>Горелова Г.В., Горелова И.С.</i> О возможности формализации проблемных ситуаций в социальной среде на основе теоретико-игрового и когнитивного подходов .....	513
<i>Грибова В.В., Черкезишвили Н.Н.</i> Метод автоматической генерации контекстно-зависимой помощи, основанный на задачах пользователя .....	524
<i>Кобозева А.А.</i> Связь свойств стеганографического алгоритма и используемой им области контейнера для погружения секретной информации .....	531
<i>Лямина М.А.</i> Факторный анализ в системе оценочных и сравнительных показателей ипотечного рынка .....	539
<i>Мазурок Т.Л.</i> Интеллектуальная генерация интегрированных обучающих курсов .....	546
<i>Миненко А.С.</i> Приближенный анализ конвективной пространственной нестационарной задачи Стефана .....	553
<i>Снитюк В.Е.</i> Программирование жизненного цикла сложных систем в условиях неопределенности .....	562
<i>Чипига А.Ф., Петров Ю.Ю., Овчаренко А.В.</i> Анализ основных направлений повышения эффективности генетических алгоритмов .....	568

## РАЗДЕЛ 10

### Нейросетевые технологии

<i>Гамбарова Е.М.</i> Практические аспекты обучения нейронных классификаторов для распознавания объектов на космических снимках высокого разрешения .....	574
<i>Гудаев О.А.</i> Сегментация аффинных проекций маркеров ARGET робототехнической системой .....	580



УДК 681.03.06

А.И. Ольшевский

Донецкий государственный институт искусственного интеллекта, Украина  
info@iai.donetsk.ua

## Алгоритмы построения маршрута при групповой рассылке сетевых пакетов данных дистанционного обучения на базе ДонГИИИ

В статье рассматривается интеллектуальная система проектирования маршрутов с целью оптимизации топологии сети передачи данных в классе древовидных структур. Предлагаемые в работе алгоритмы построения маршрута позволят существенно сократить экономические затраты и повысить эффективность передачи данных.

### Введение

Информационные сети (ИС) представляют собой развивающуюся отрасль автоматизированной технологии процессов ввода, передачи, обработки информации.

В своем развитии ИС прошли несколько этапов. Известная с давних времен система почтовой связи является прообразом некоторых современных ИС и определяет первый этап их становления. С появлением возможности передачи информации по проводным линиям с помощью электричества начался новый этап развития ИС: возникли телеграф, а впоследствии телефон. Очередной этап связан с появлением беспроводной связи и таких средств передачи информации, как радио, телевидение. И уже в наши дни появились сети ЭВМ, глобальная сеть Internet.

В настоящее время ИС бурно развиваются. Увеличиваются территории, охватываемые ими, объемы информации, улучшается качество обслуживания, повышается эффективность их функционирования. Современный этап в развитии ИС заключается в практической реализации научных разработок, всего того, что создано в науке о передаче и обработке информации.

С появлением коммутируемых сетей появилась проблема маршрутизации в них. Эта проблема существует во многих распределенных вычислительных сетях. В качестве примера можно привести видеоконференции, телевещание, рассылку файлов пользователям внутри предприятия и телеконференции пользователей, а также дистанционное обучение.

Наиболее эффективным и перспективным методом обучения в настоящее время является дистанционное обучение (ДО). Широкое распространение персональных компьютеров, а также активное развитие глобальных сетей, в частности, сети Интернет, позволило упростить процесс обучения, сделать его более доступным.

Дистанционное образование становится единственной реальной возможностью учиться в индивидуальном режиме, независимо от места и времени; получать



образование непрерывно и по индивидуальной траектории, в соответствии с высокими принципами открытого образования, и призвано реализовать права человека на непрерывное образование и получение информации [1].

Ввиду того, что глобальные сети не являются стабильными, то есть их структура, количество участников постоянно меняется, то при организации групповой доставки информации (доставки одной и той же информации одновременно нескольким адресатам) необходимо оптимизировать структуру и маршрут прохождения сетевых пакетов данных. Критериями оптимальности могут выступать время доставки пакета, длина маршрута, то есть цена передачи данных. Эффективный роутинг сообщений в сети является одним из факторов, сильно влияющих на эффективность всей сети.

## Алгоритмы структурного синтеза сети обучения

В западной печати проблемы оптимизации сетей обсуждаются и ищутся пути их решения уже достаточно давно, начиная с 60-х годов. Задача нахождения оптимального маршрута в несколько точек сети, получившая название Multiple Destination Routing (MDR), является одной из важнейших задач нахождения пути для многопользовательских сетей. Доказано, что эта задача является NP-полной (Nondeterministic Polynomial), т.е. решается при помощи полного перебора. Если количество участников сети порядка миллионов, то эта задача является неразрешимой. Для решения проблемы применяют различные субоптимальные и эвристические методы. Суть данной работы состоит в рассмотрении наиболее эффективных подходов в решении этой задачи.

Задача нахождения оптимального решения задачи MDR без дополнительных условий является эквивалентом хорошо известной задачи дерева Штейнера (ST – Steiner Tree problem). Задача Штейнера известна как самая простейшая задача нахождения роутинга (маршрута) в сетях.

Интеллектуальная система проектирования информационных сетей дистанционного обучения использует различные алгоритмы нахождения маршрута, в том числе и с помощью задачи Штейнера, которая заключается в нахождении наикратчайшего дерева  $T$ , которое покрывает заданное подмножество  $P \subset X$  вершин графа  $G$ . В нашем случае вершины графа – это узлы, граф  $G$  – начальная сеть ДО, а дерево  $T$  – результат проектирования топологии сети [2], [3].

Для задачи ST (ST – Steiner Tree) также было доказано, что она является NP-полной. Среди множества эвристических алгоритмов, описанных в литературе, можно выделить два класса. Один основан на алгоритме нахождения минимального стягивающего дерева (MST – Minimum Spanning Tree алгоритмы). Другой класс основан на классическом подходе нахождения кратчайшего маршрута «от точки к точке» или алгоритме построения леса (Forest Build Tree – FBT).

Два алгоритма, KMB (Kou, Markowsky, Berman) и RS (Rayward-Smith), известны как самые типичные в этих двух классах. Оба эти алгоритма имеют низкую производительность, но дают решение, близкое к оптимальному.

Производительность RS алгоритма в среднем лучше из-за того, что в нем в рассмотрение берутся и узлы, не принадлежащие к множеству узлов назначения. Недостаток RS алгоритма в том, что требуются большие вычислительные затраты. Для получения опорной точки Штейнера требуется перебор всех возможных деревьев.

## Алгоритм FBT (Forest Build Tree)

Пусть  $F$  – множество деревьев (называемое лесом в графе),  $F = \{T_1, T_2, \dots, T_{|F|-1}\}$ , где  $|F|$  означает мощность множества  $F$  (количество деревьев в лесу). Каждое дерево  $T_i = (V_i, E_i)$  состоит из набора вершин  $V_i$  и дуг  $E_i$ . Вначале лес  $F$  состоит из деревьев только с одной исходной вершиной  $s$  и вершинами назначения в  $D$ . Определим FBT алгоритм следующим образом:

- выберем два дерева  $T_1$  и  $T_2$  в лесу  $F$ ;
- объединим  $T_1$  и  $T_2$  в новое дерево  $T'$ ;
- удалим  $T_1$  и  $T_2$  из леса и вставим туда новое дерево  $T'$ ;
- будем повторять вышеописанные шаги до тех пор, пока не выполнится условие  $|F|=1$ , т.е. пока лес не превратится в дерево.

Очевидно, что лес  $F$  превратится в дерево, которое соединяет исходную вершину  $s$  со всеми вершинами назначения. В алгоритме осталось уточнить только две вещи: первое – это как выбирать два дерева  $T_1$  и  $T_2$  из леса, а второе – каким образом объединять эти деревья [4].

В алгоритме RS  $T_1$  и  $T_2$  – два ближайших дерева к потенциальной точке Штейнера  $v$  с минимальным значением функции  $f$  (вершины, которые лежат вне множества  $D$  и включены в оптимальное решение, называются вершинами Штейнера). Два дерева объединяются через вершину  $v$  по минимальному маршруту. Функция  $f$  описывается следующим образом:

$$f(v) = \min_{\substack{S \subseteq F, |S| > 1 \\ \forall v \in V}} \left\{ \frac{1}{|S|-1} \sum_{T \in S} \text{стоимость}(v, T) \right\}. \quad (1)$$

Из (1) можно видеть, что существует проблема выбора всех возможных комбинаций деревьев. Полный перебор ведет к медленной работе алгоритма. В проведенных тестах мы не перебирали все возможные комбинации  $|S|$  деревьев из  $F$ . Вместо перебора мы случайным образом выбрали  $|S|$  разных деревьев достаточное количество раз для каждого подмножества  $F$  заданного размера,  $1 < |S| \leq |F|$ .

Простейшая реализация алгоритма FBT была предложена Фукуокой (Fukuoka) и Одой (Oda). В этой реализации дерево  $T_1$  всегда выбирается таким образом, чтобы оно содержало исходную вершину  $s$ , а дерево  $T_2$  выбирается так, чтобы оно содержало одну из вершин назначения и имело наибольшее количество связей за минимальную цену с деревом  $T_1$ . Дерево  $T_1$  присоединяется к дереву  $T_2$  по минимальному пути. Далее мы будем ссылаться на этот алгоритм как алгоритм Фукуоки – Ода (FO алгоритм). FO алгоритм не принимает во внимание потенциальные вершины Штейнера. Таким образом производительность этого алгоритма не такая высокая, как у RS алгоритма в среднем.

## Два новых алгоритма типа FBT

Цель этих алгоритмов – выбрать дерево  $T_1$ , содержащее исходную вершину, как и в алгоритме FO, и дерево  $T_2$  таким образом, чтобы цена маршрута была минимальной. Эти алгоритмы также будут всегда несколько производительней алгоритмов FO ценой небольшого увеличения вычислений. Ниже следует описание первого из алгоритмов:



**Шаг 1:** строим начальный лес  $F = \{T_s, T_1, \dots, T_{|F|-1}\}$ ,  $|F| = |D| + 1$ ,  $T_s = (V_s, E_s) = (\{s\}, \emptyset)$  и  $T_i = (\{d_i, 0\}, d_i \in D, i = 1, 2, \dots, |D|)$ . Найдем кратчайший маршрут  $P(u, T)$  между  $u \in V$  и  $T \in F$ . Положим  $C(u, T)$  равным стоимости маршрута  $P(u, T)$ .

**Шаг 2:** пусть  $T_1$  и  $T_2$  будут деревьями, которые имеют деревья минимальной стоимости с  $T_s$  и  $T_s \cup T_1$  соответственно. Пусть  $C(T_1, T_s)$  и  $C(T_2, T_s \cup T_1)$  будут стоимостями маршрутов  $P(T_1, T_s)$  и  $P(T_2, T_s \cup T_1)$  соответственно. Здесь  $T_s \cup T_1$  означает дерево, которое объединяет дерево  $T_s$  с  $T_1$  по кратчайшему маршруту  $P(T_1, T_s)$ .

**Шаг 3:** посчитаем  $C(T_2, T_s)$  и  $C(T_1, T_s \cup T_2)$ . Тогда если  $C(T_2, T_s) + C(T_1, T_s \cup T_2) < C(T_1, T_s) + C(T_2, T_s \cup T_1)$ , положим  $T = T_2$ , иначе положим  $T = T_1$ .

**Шаг 4:** объединим деревья  $T_s$  и  $T$  в одно дерево  $T_s \leftarrow T_s \cup T$ . Удалим  $T$  из леса  $F$ .

**Шаг 5:** если  $|F| = 1$ , то конец алгоритма. Иначе для каждой  $u \in V - V_s$  посчитаем  $P(u, T_s)$  и  $C(u, T_s)$ , вернемся к шагу 2.

В этом алгоритме дерево  $T_i (i = 1, 2, \dots, |F| - 1)$  в действительности содержит только одну вершину назначения в  $D$ . Нужно отметить, что FO алгоритм всегда выбирает  $T = T_1$  на шаге 3.

Полная стоимость по алгоритму FBT1 всегда меньше, чем стоимость по алгоритму FO [4].

В нашем втором алгоритме (FBT2) вместо только рассмотрения  $T_2$  в качестве возможной замены для  $T_1$ , мы выбираем дерево  $T_v$  такое, что полная стоимость соединения  $T_s$  и  $T_v$ , впоследствии  $T_1$ , минимальна для двух удачных шагов алгоритма (т.о. после второго шага выбирается минимальная стоимость). В алгоритме FBT2 3-й шаг следует заменить на следующий:

**Шаг 3':** Находим  $T_v \in F - T_s - T_1$  таким образом, чтобы  $C(T_v, T_s) + C(T_1, T_s \cup T_v) = \min_{T \in F - T_s - T_1} (C(T, T_s) + C(T_1, T_s \cup T))$ . Тогда, если  $C(T_v, T_s) + C(T_1, T_s \cup T_v) < C(T_1, T_s) + C(T_2, T_s \cup T_1)$ , выбираем  $T = T_v$ . Иначе выбираем  $T = T_1$ .

Алгоритм FBT2 гарантирует, что выбор  $T$  будет наиболее дешевым на основе двух удачных шагов, за которые объединяются  $T_1$  и  $T$ . Результаты моделирования показывают, что алгоритм FBT2 превосходит алгоритм FBT1, а значит, и FO [4].

Для создания программной реализации был выбран язык объектно-ориентированного программирования Delphi. Пакет Delphi позволяет быстро сформировать начальную версию прикладной программы для среды Windows и предоставляет все ресурсы, необходимые для создания полнофункциональных рабочих программ [5].

Система предоставляет три возможности ввода исходных данных о клиентах и серверах:

- ввод данных из ранее сформированного файла;
- импорт данных из текстового файла;
- ввод данных графическим способом.

Вывод можно разделить на следующие части:

- вывод результатов синтеза в файл в виде матрицы достижимости;

- вывод качественных оценок синтезированной древовидной структуры на экран дисплея;
- система графического отображения структуры сети на дисплей или принтер с автоматическим определением коэффициента масштабирования.

Исходными данными для программы является набор обучаемых (рабочих станций), их производительность и тип линий связи, используемых для их соединения для задач структурного синтеза сетей и набор точек на плоскости для задачи нахождения кратчайшего стягивающего дерева Штейнера. Каждый обучаемый является независимым объектом, описываемым следующей структурой:

```

Type
SourceNodes = Record
  h :Integer; // информационный поток в узле
  x,y :Integer; // координаты обучаемого
NodeType :Byte; // тип узла
  Ny :Integer; // производительность сервера ДО
End;
```

Также имеется возможность хранить данные об узлах в текстовом файле, формат которого позволяет хранить и иерархию сети. Ниже приведен формат такого файла:

```

NET <имя сети>
node <имя узла 1> <x1> <y1> <h1> <Ny1> <Type> <subnet>
...
node <имя узла N> <xN> <yN> <hN> <NyN> <Type> <subnet>
CUT NET
```

Такой файл данных должен иметь такое же имя, как и название сети, указываемое после оператора **NET**. В файле в произвольном порядке описываются узлы после оператора **node**. Также программа следит за тем, чтобы не было циклических ссылок сетей друг на друга.

Оптимальная сеть, построенная по одному из алгоритмов (граф), хранится в файле и представляется следующей структурой:

```

Type Graph = Record
  Nodes: Array of SourceNodes; // массив узлов (клиенты и серверы)
  Connections: Array of Array of Boolean; // матрица достижимостей
  Capacity: Integer; // объем графа
End;
```

При считывании из файла, а также при непосредственном вводе информации при помощи «мыши» пользователем динамически создаются визуальные объекты – объекты класса TShare и TPanel, которые являются потомками прародителя всех визуальных элементов – TGraphicControl и TCustomPanel соответственно. Также создаваемая иерархическая структура динамически отображается в виде дерева, которое выводится на дисплее при помощи компонента TTreeView. Иерархия классов изображена на рис. 1

Рассмотрим пример построения дерева Штейнера для соединения 25 областных центров Украины с центром дистанционного обучения в ДонГИИИ г. Донецка.

Для этого нам необходимо задать модель сети (рис. 2). Зададим следующую сеть: 0 – узел-центр ДО (сервер), 1 – узел-участник (обучаемый), 2 – неиспользуемый узел или вершина Штейнера; связи указаны в виде матрицы смежности.



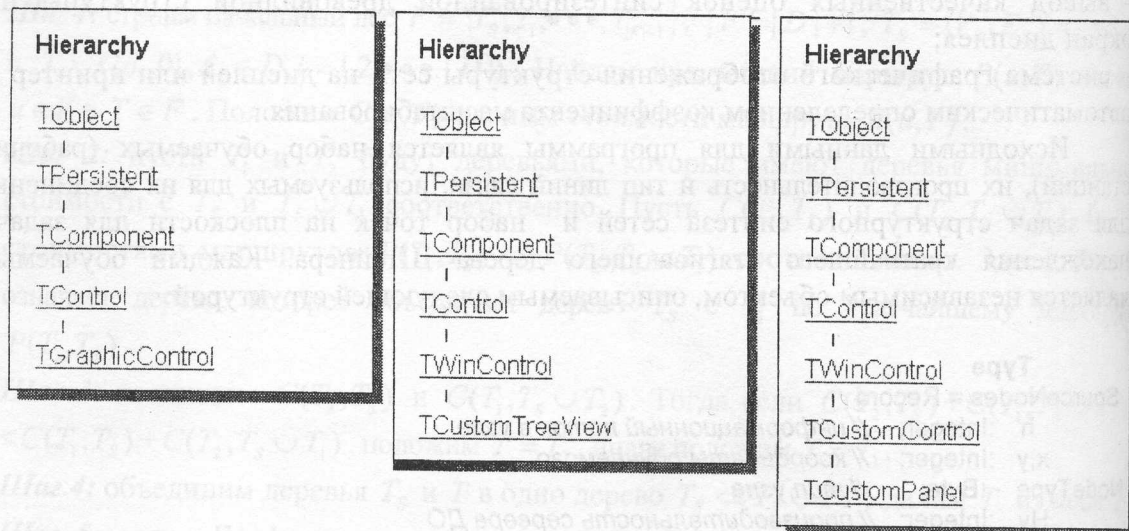


Рисунок 1 – Иерархии классов

Стоимость использования каждой связи в месяц будем рассчитывать по формуле:

$$C_{ij} = \frac{l_{ij}(\text{км})}{50(\text{км})} \cdot \frac{h(K)}{8(K)} \cdot \frac{1.1}{d_{ij}} \cdot 81(\text{грн}), \quad (2)$$

где  $l_{ij}$  – расстояние между городами, км;

$h$  – объем информации, перекачиваемой при обучении, Кб;

$d_{ij}$  – пропускная способность канала связи, бод.

Объем информации подсчитаем как сумму размеров файлов с заданиями на месяц для заочного факультета специальности «Программное обеспечение автоматизированных систем».

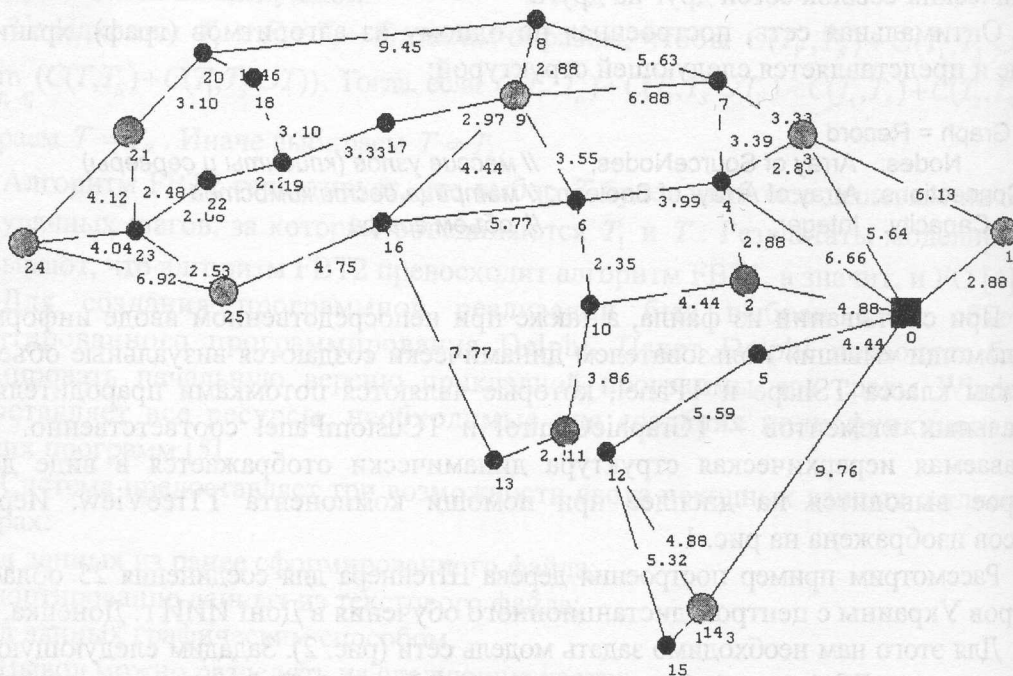


Рисунок 2 – Модель сети





## Заключение

В работе рассмотрены наиболее известные алгоритмы построения маршрута при групповой рассылке данных, а также новые алгоритмы решения задачи дерева Штейнера.

К сожалению, не существует более-менее универсального алгоритма, дающего оптимальное решение на множестве наборов данных – то есть для любого алгоритма можно придумать такие исходные данные, в результате обработки которых алгоритм не будет давать оптимальное решение.

В данной работе были рассмотрены различные подходы к решению задачи, применяемые в системах дистанционного обучения, видеоконференций, сетевых средств массовой информации, когда необходимо с оптимальными (минимальными) затратами осуществить доставку информации одновременно нескольким адресатам.

Таким образом, в результате проделанной работы создан пакет программ, позволяющий в интерактивном режиме автоматизировать процесс построения маршрута в информационных сетях, ориентированных на топологию сетей сложной структуры с большим количеством участников.

## Литература

1. Средства дистанционного обучения. Методика, технология, инструментарий / С.В. Агапонов, З.О. Джалиашвили, Д.Л. Кречман, И.С. Никифоров, Е.С. Ченосов, А.В. Юрков / Под ред. З.О. Джалиашвили. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 336 с.
2. Ольшевский А.И. Интерактивная система проектирования топологии сетей дистанционного обучения на базе ДонГИИИ // Искусственный интеллект. – 2001. – № 2. – С. 52-56.
3. Ольшевский А.И. Интеллектуальная система проектирования информационных сетей дистанционного обучения на базе ДонГИИИ // Искусственный интеллект. – 2007. – № 1. – С. 244-249.
4. Guo-Qing Hu. Forest build tree algorithms for multiple destinations // The Potential. – 1998. – № 3. – С. 13-16.
5. Архангельский А.Я. Программирование в Delphi 5. – М.: ЗАО «Издательство БИНОМ», 2000. – 1072 с.

### А.И. Ольшевський

Алгоритми побудови маршруту при груповому розсиланні мережних пакетів даних дистанційного навчання на базі ДонДІІІ

У статті розглядається інтелектуальна система проектування маршрутів у мережі. Основний підхід для системи базується на оптимізації топології мережі у класі деревоподібних структур. Алгоритми побудови маршруту, що пропонуються, дозволяють суттєво скоротити економічні витрати і підвищити ефективність передачі даних.

### A.I. Ol'shevsky

Algorithms of Route Construction in Group Dispatch of Data Packages of the DSIAI Remote Training System

In the paper the intellectual of routes designing in network is considered. A general approach for system is based on optimization of network topology in a class of treelike structures. The algorithms will allow to reduce essentially economic expenses and raise the efficiency of data transmission.

Статья поступила в редакцию 31.07.2007.