第 33 卷 第 1 期 计 算 机 工 程 2007 年 1 月
Vol.33 No.1 Computer Engineering January 2007
·软件技术与数据库· 文章编号：1000—3428(2007)01—0053—03 文献标识码：A 中图分类号：TP312

基于 GIS 的最优路径自适应规划算法

陈宇飞，智 明，秦国锋
（同济大学 CAD 研究中心，上海 200092）

摘 要：基于 GIS 的最优路径自适应规划算法是公交交通的核心技术。该文研究公共交通网络的特性和路径自适应规划算法的需求特点，构建了公共交通网络的几何模型和数据模型，设计了最优路径自适应规划算法且分析了复杂度，完成了基于 GIS 的客户端图形化显示，并结合实际公交网络进行了算法的验证，实现了算法的实际应用。

关键词：GIS；公共交通网络；最优路径；自适应规划算法

Optimal Shortest-path and Auto-adapted Plan Algorithm Based on GIS

CHEN Yufei, ZHI Ming, QIN Guofeng
(CAD Research Center, Tongji University, Shanghai 200092)

【Abstract】 This paper discusses characteristic of public traffic network and the auto-adapted plan algorithm. It establishes the geometry model and the data model of public traffic network, designs the optimal shortest-path and auto-adapted plan algorithm, analyzes its complexity, and completes the graphed demonstration at client side based on GIS. As one of the core modules in the traffic information management platform, the algorithm's feasibility and efficient is confirmed during the actual application.

【Key words】 GIS; Public traffic network; Optimal shortest-path; Auto-adapted plan algorithm

城市公共交通具有覆盖面广、经济高效的特点，目前仍然是绝大多数市民首选和使用最多的一种交通方式，也是各地城市政府大力发展的一种交通方式。上海作为一个国际化的大都市，城市本身的不断扩展必然带来城市交通的发展和线路的扩充，随之而来的现实问题就是：如何充分、高效地使用已有的公交线路。针对此问题曾有过不少研究：如针对公共交通网络与一般道路交通网络的差异性而提出的有关公共交通网络拓扑结构建模的研究[2,5,7]；针对传统最短路径算法在效率和实用方面提出的改进[3,4,6]。本算法结合了这两点又合理考虑了时空因素，方便出行，也提高了交通运输的效率，可以说是对社会效益和经济效益的双重满足。

1 公共交通网络模型与数据表示

1.1 公交线网的数学模型

城市公交线网的数学模型由元素的空间几何特征数学模型和元素的设定属性数学模型组成。

空间几何特征数学模型表示为：

公理 1 在空间几何数学模型中，所有道路都是用线段进行表示或逼近拟合。

公理 2 在空间几何数学模型中，每条道路都是连续的。

定义 1 若R表示城市所有道路集合，r_i是第i条道路，则集合R表示为

$$R=\{r_i|i\in N，N为正整数\} \quad (1)$$

定义 2 若r表示某条道路，l_j是该道路的第j条线段，则道路r表示为

$$r=\{l_j|j\in M，M为正整数\} \quad (2)$$

定义 3 若l_j表示第j条线段，p_{j1}，p_{j2}是该线段起始点与结束点，则线段l_j表示为

$$l_j=\{ p_{j1}，p_{j2}|j\in M\} \quad (3)$$

根据定义 1、定义 2、定义 3，道路：

$$r=\{p_{11},p_{12},p_{21},p_{22},\dots,p_{j1}, p_{j2},\dots,p_{k1},p_{k2}|j, k\in M\} \quad (4)$$

由于线段l_{j-1},l_j,l_{j+1}是两两邻接关系，因此子集$\{p_{(j-1)2}, p_{j1}\},\{p_{j2}, p_{(j+1)1}\}$是聚合关系。即

$$\{p_{(j-1)2}，p_{j1}\}=\{p_{(j-1)2}\}$$

$$\{p_{j2}，p_{(j+1)1}\}=\{p_{j2}\}$$

因此，式(4)表示为

$$r=\{p_{11},p_{12}, p_{22},\dots,p_{j2},\dots,p_{k2}|j,k\in M\} \quad (5)$$

任意点p_h对应两组坐标g_{h1}，g_{h2}，

$$g_{h1}=\{x_h,y_h,z_h\} \quad (6)$$

$$g_{h2}=\{lon_h,lat_h,hgt_h\} \quad (7)$$

g_{h1}表示笛卡儿三维空间坐标集，x_h、y_h、z_h分别表示点p_h在X、Y、Z轴上的坐标值；g_{h2}表示全球定位球面空间坐标集，lon_h、lat_h、hgt_h表示点p_h的经度、纬度与高度。两组集合数值可以互相换算。

定义 4 假设点PX_i是道路r_i和r_{i+1}的交点，则点

$$PX_i = r_i \otimes r_{i+1} \quad (8)$$

定理 如果线路H经过m条道路，且存在r_i（i∈m）不完全属于H，则线路

$$H=\prod_{i=1}^{m} r_i \quad (9)$$

根据公理、定义与定理，假设确定规划路线的起始点P_s、

基金项目：上海市青年人才基金资助项目(2004-31)
作者简介：陈宇飞(1982－)，女，硕士生，主研方向：图形学，数据库，CAD 及企业信息化等；智 明，教授；秦国锋，博士、副教授
收稿日期：2006-03-15 **E-mail：**april337@163.com

终止点P_e，定义经过道路$r_1,r_2,\ldots,r_i,\ldots,r_m$，进行线路辅助规划，下面推理规划线路轨迹的演算方法。

(1) 计算$r_1,r_2,\ldots,r_i,\ldots,r_m$道路两两交叉点$PX_i$,$PX_2,\ldots,PX_{m-1}$。

$PX_1 = r_1 \otimes r_2$, $PX_2 = r_2 \otimes r_3$,…,

$PX_i = r_i \otimes r_{i+1}$,…, $PX_{m-1} = r_{m-1} \otimes r_m$

(2)确定起始点P_s、交叉点PX_i,$PX_2,\ldots,PX_{m-1}$、终止点P_e，分别属于的线段。

假设$\overline{L_{P_kP_{k+1}}}$表示道路上点$P_k$、$P_{k+1}$构成的线段，则道路上某两点$P_j$、$P_m$之间的距离$D_{P_jP_m}$为

$$D_{P_jP_m} = \sum_{k=J}^{m} \overline{L_{P_{k-1}P_k}} \tag{10}$$

线路规划如图 1 所示。

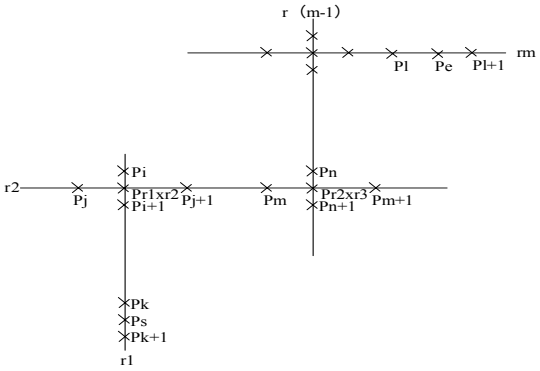

图 1 线路规划

$P_s \in \overline{L_{P_kP_{k+1}}} \subset r_1$, $PX_1 \in \overline{L_{PiPi+1}} \subset r_1$,

$PX_1 \in \overline{L_{PjPj+1}} \subset r_2$,…, $PX_e \in \overline{L_{PhPh+1}} \subset r_e$,

$PX_e \in \overline{L_{PfPf+1}} \subset r_{e+1}$,…, $PX_{m-1} \in \overline{L_{PyPy+1}} \subset r_{m-1}$,

$PX_{m-1} \in \overline{L_{PzPz+1}} \subset r_m$, $P_e \in \overline{L_{PlPl+1}} \subset r_m$

1) 若$D_{P_SP_K} <= D_{P_SP_{K+1}}$，则$P_S \approx P_K$；若$D_{P_SP_K} > D_{P_SP_{K+1}}$，则$P_S \approx P_{K+1}$；

2)若$D_{PX_1P_k} <= D_{PX_1P_{k+1}}$，则$PX_1 \approx P_i$；若$D_{PX_1P_k} > D_{PX_1P_{k+1}}$,则$PX_1 \approx P_{i+1}$；集合$\tau_1 = \{P_s,\cdots, PX_1\}$；

3)若$D_{PX_2P_j} <= D_{PX_2P_{j+1}}$，则$PX_2 \approx P_j$；若$D_{PX_2P_j} > D_{PX_2P_{j+1}}$，则$PX_2 \approx P_{j+1}$；集合$\tau_2 = \{PX_1,\cdots, PX_2\}$；

……

依此类推，计算$\tau_m = \{PX_{m-1},..., P_e\}$。

(3)计算组成线路的点集合τ，即为τ_1, $\tau_{2,\ldots,}\tau_m$的有序并集：

$$\tau = \bigcup_{k=1}^{m} \tau_k, \tau = \{P_s,..,PX_1,..,PX_2,..,PX_{m-1},..., P_e\} \tag{11}$$

1.2 线路站点的数据表示

线路规划完成后，需要对沿线车辆停靠站点进行定义。线路与站点的数据定义可以交互拾取和交互输入。属性数据与空间数据进行关联，形成如图 2 所示的数学模型。

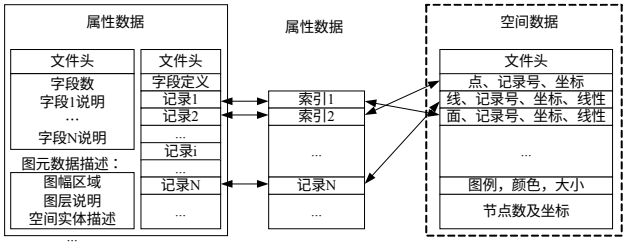

图 2 线路规划数学模型

数据表示见表 1～表 4。

表 1 站点表 Table1: BUS_STATION

字段名称	字段描述	字段类型	字段大小	小数位数
STA_NO	站点编号	NUMBER	10	
STA_NAME	站点名称	VARCHAR2	10	
STA_ROAD	站点所在道路名称	VARCHAR2	10	
STA_LON	站点的经度位置	NUMBER	9	6
STA_LAT	站点的纬度位置	NUMBER	8	6

表 2 线路表 Table2: BUSLINE

字段名称	字段描述	字段类型	字段大小	小数位数
BUSNO	线路编号	VARCHAR2	10	
UPORDOWN	上/下行	CHAR	1	
BUS_CIRCURT	线路的空间数据库结构	SDO_GEOMETRY		
BUS_STATIONS	整条线路的所有站点	SDO_GEOMETRY		

表 3 邻接表 Table3: STA_ADJACENT

字段名称	字段描述	字段类型	字段大小	小数位数
START_STA_NO	起始站点编号	NUMBER	10	
END_STA_NO	终止站点编号	NUMBER	10	
DISTANCE	某线路在两个站点间的距离	NUMBER	10	6
BUSNO	线路编号	VARCHAR2	10	
UPORDOWN	上/下行	CHAR	1	

表 4 道路表 Table4: ROAD

字段名称	字段描述	字段类型	字段大小	小数位数
ROAD	道路名	VARCHAR2	35	
MI_STYLE	表现风格	VARCHAR2	254	
MI_PRINX	在空间数据库中的索引	NUMBER	11	0
GEOLOC	道路的空间数据库结构	SDO_GEOMETRY		

2 最优路径自适应规划算法

2.1 算法分析

对公交地理线性网络进行空间分析选择最优路径时，主要考虑两个因素：换乘次数和公交线路行驶的距离。结合二者得到算法的约束条件：换乘次数最少的前提下，比较公交线路行驶距离，选择最短的一条方案呈现在地图上显示。超过两次不予考虑，即两点在公交网络上不通。

(1)在数据库中查找经过站点 S 和 E 的所有线路号，若存在相同的线路且只有一条，则找到最优路径返回；若不止一条，查询数据库，选择线路经过的路径长度最短的一条作为最优路径返回。如图 3(a)。

(2)若不存在相同的线路号，则需要换乘。在数据库中查找经过站点 S 和 E 的线路经过的所有站点，若存在相同的站点编号且只有一个，则在此站点换乘一次；若不止一个，查

找数据库，选择线路经过的路径长度和最短的一对作为一次换乘的最优路径返回。如图 3(b)。

(3)若不存在相同的站点编号，则至少需要换乘两次。按次查找经过站点 S 的线路：线路一经过的所有站点，若从某个站点按照(2)的方法可换乘一次到达，再按照(1)的方法找到从起始站点到该站点的直达最短线路，共换乘两次。如此再查找线路 2、线路 3……选择其中路径长度和最短的换乘线路作为两次换乘的最优路径返回。如图 3(c)。

(4)若上述没有结果返回，则两个站点在公交网络上不通。

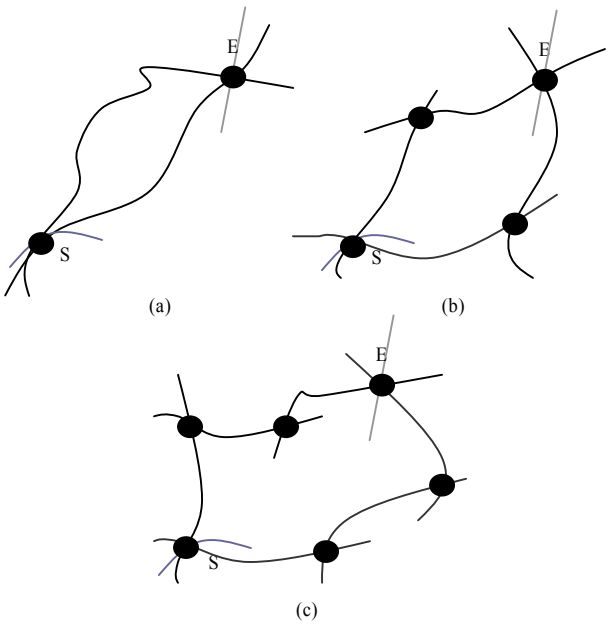

图 3 最优路径示意图

2.2 算法描述

(1)输入：起始站点 S 编号和终止站点 E 编号。

输出：最优路径自适应规划结果。

换乘次数	行驶距离	线路号 1	换乘站点编号 1	线路号 2	换乘站点编号 2	线路号 3	……

(2)算法

```
procedure RoadList find_path(int startno,int endno,Statement sta);
begin//数据定义及初始化略 length:=1E+8;
r:=zero(startno,endno,sta);//不需换乘
if (r.size()>0) return r;
else
r:=once(startno,endno,sta);//换乘一次
if (r.size()>0) return r;
else
for(i:=0;i<lineS.size();i++)
for(j:=0;j<stationS[i].size();j++){
lst2:=once(stationS[i].getSta(j),endno,sta);
if (lst2.size()>0)
lst1:=zero(startno,stationS[i].getSta(j),sta);//换乘两次
s:= lst1.getItem(1)+ lst2.getItem(1);//以下 lst.getItem(i)简记为lst(i)
```

r:=

2	s	lst1(2)	stationS[i].getSta(j)	lst2(2)	lst2(3)	lst2(4)

```
if (s<length) 更新上述结构;
end;}
end;
return r;
end;
procedure RoadList zero(int startno,int endno,Statement sta);
begin//数据定义及初始化略
lineS:=findLines(startno,sta);lineE:=findLines(endno,sta);
for(i:=0;i<lineS.size();i++){stationS[i]:=findStations(lineS.get(i),sta);
for(j:=0;j<lineE.size();j++){stationE[j]:=findStations(lineE.get(j),sta);
if (lineS.get(i).equals(lineE.get(j)))
s:=pathlength(lineS.get(i),startno,endno,sta);
```

lst:=

0	s	lineS.get(i)

```
if (s<length) 更新上述结构;
end;}}
return lst;
end;
procedure RoadList once(int startno,int endno,Statement sta);
begin
for(i:=0;i<lineS.size();i++)
for(j:=0;j<lineE.size();j++)
for(k:=0;k<stationS[i].size();k++)
for(l:=0;l<stationE[j].size();l++)
if (stationS[i].getSta(k)==stationE[j].getSta(l))
l1:=pathlength(lineS.get(i),startno,stationS[i].getSta(k),sta);
l2:=pathlength(lineE.get(j),stationE[j].getSta(l),endno,sta);s:=l1+l2;
```

lst:=

1	s	lineS.get(i)	stationS[i].getSta(k)	lineE.get(j)

```
if (s<length) 更新上述结构;
end;
return lst;
end;
```

2.3 复杂度分析

显然，执行函数的时间复杂度是依换乘次数而定的。当不需要换乘时，执行时间主要花费在zero()的两个for循环上，设经过起始和终止站点的线路数分别为m、n，其复杂度为O(m*n)。当换乘一次时，执行时间还花费在once()的 4 个for循环上，设经过起始和终止站点的线路行经站点平均数分别为k、t，其复杂度为O(m*n+m*n*k*t)≈O(m*n*k*t)。当换乘两次时，执行时间主要花费在zero()、once()以及两个for循环上，其复杂度为O(m*n+m*n*k*t+m*k*m*n*k*t)≈O(m^2*k^2* n*t)。另外，还需附加对空间数据库的查询时间。

3 算法实际应用实例

GIS 实现的主要功能：地图的显示（全图、开窗、经纬度信息、屏幕坐标信息等）；地图的基本操作（放大、缩小、平移、上移、下移、左移、右移等）；高级操作（测量任意 n 点间的折线距离、图层的显示和样式控制、地图的鹰眼操作等）；交通的规划辅助管理（对任意车辆的实时监控、对任意车辆过往时间段的轨迹回放、对任意两站点间最优公交线路的选择、对现有公交线路的增加，修改和删除等）。

基于 GIS 的最优路径自适应规划算法主要应用于移动计算交通运营管理信息协同平台中的 GIS 功能模块。规划算法的开发工具是 Java，数据库工具是 Oracle 9i，客户端开发工具是 MapX 和 VB.net；客户端在使用前从 GIS 数据库中读出有关公车站点的所有信息在地图上加载一个站点图层，选择

（下转第 58 页）