

# 公交线路中最优路线的查询算法设计与实现

## 1. 摘要

本文针对公交线路选择问题建立了相应的数学模型，并给出具体算法以实现查询最优路线的目标。

针对问题一，在仅考虑公汽线路的情况下，我们根据公汽线路信息建立一个广义邻接矩阵，以存储任意两公汽站点之间的相关信息。基于该矩阵可以查找出任意两站点之间的所有可通路线。然而，考虑到公交系统如此庞大，任意两站点间的路线都有可能又多又复杂，查找算法的实现将耗费大量的时间。而另一方面，查询者并不关心两站点间的所有路线，只是希望根据个人的需求查询到相对最优的路线。因此我们结合实际，借助站点的广义邻接矩阵，以换乘2次为上限，查找从指定的始发站到终点站间所有可通的路线。充分考虑到查询者的需求，我们定义四种不同的查询方式，分别为：少换乘、少步行、较快捷、较经济。然后以查询者的具体需求(即查询方式)为首要决策变量，并扩充查询系统的实力，建立多目标动态优化模型，在局部最优的基础上，给查询者提供全局最优路线。

对于问题二，分两步考虑：

1). 不考虑地铁与公汽之间换乘的信息，单独利用地铁线路信息扩充问题一中的广义邻接矩阵，使之包含任意两公交站点(包括公汽站点和地铁站)之间的相关信息，实际上这里公汽站与地铁站之间没有任何联系；

2). 考虑到地铁与公汽之间换乘的信息，我们把每个地铁站以及它所对应的所有公汽站组成一个站点集合，则同一集合中的站点可以通过步行连通；当指定始发站和终点站时，问题转化为查询这两站点分别对应的站点集合之间的最优路线。利用问题一中的查找算法，以1)中得到的扩充后的邻接矩阵为参数信息，查找所有中转站，将中转站对应为相应的中转站点集合。遍历始发站集合、中转站集合、终点站集合的所有元素组合，可以得到始发站到终点站的所有路线；最后根据查询者的需求查找最优路线。

问题三已知所有站点之间的步行时间，则所有站点可以通过步行连通，构成一个站点集合，等效于问题二中的站点集合，则可利用问题二的思想求解。由于站点集合过大，考虑到实际情况，设置一个合适的阈值，将站点集合分为若干个子集。

关键词：广义邻接矩阵 多目标动态优化



## 目录

一. 问题重述	3
二. 模型假设	3
三. 符号约定	3
四. 模型的建立	5
1 问题一的模型建立	5
2 问题二的模型建立	8
3 问题三的模型建立	9
五. 模型求解	9
1 问题一的结果:	9
2 问题二的结果:	12
六. 模型评价	14
七. 模型拓展	15
八. 参考文献	16
附录	16



## 2. 问题重述

近年来,国内许多城市公交线网的规模在不断扩大,庞大的公交系统给公众的出行带来了通畅和便利,但同时,乘客也面临着众多线路的选择问题。所以设计一个最优出行路线的系统尤为重要。某城市C的公交系统(包括地铁)的线路信息已知,根据这些数据建立基于不同需求的公交线路最优出行查询系统。包括:少换乘、少步行、较快捷和较经济四种查询方式。因此,需要设计一个模型,通过已知数据,能够高效率高精度地根据需求,得出最优线路信息(如知道换乘站点、换乘车号、上下行方向、时间多少和费用多少)。但若针对某种查询方式建立单一的查询模型,不仅系统成本高,而且,运算效率不一定有显著提高。因此,对数据进行遍历和处理,先罗列出从起始站到终点站的相对便捷的出行路线和乘车方式,再根据乘客的不同需求进行排序,罗列出单一需求的最优出行路线。

1、仅考虑公汽线路,给出任意两公汽站点之间线路选择问题的一般数学模型与算法。并根据附录数据,利用你们的模型与算法,求出以下6对起始站→终到站之间的最佳路线(要有清晰的评价说明)。

- (1)、S3359→S1828      (2)、S1557→S0481      (3)、S0971→S0485  
(4)、S0008→S0073      (5)、S0148→S0485      (6)、S0087→S3676

2、同时考虑公汽与地铁线路,解决以上问题。

3、假设又知道所有站点之间的步行时间,请你给出任意两站点之间线路选择问题的数学模型。

## 3. 模型假设

- 1) 假设城市C的公交系统运转正常,不考虑突发情况;
- 2) 一条环行地铁线对应两列沿相反方向行驶的列车,且乘客乘坐该列车在环线的终点站(也是始发站)可以不下车;
- 3) 一条环行公汽线路只对应一路单向行驶的公汽,且乘客乘坐该公汽在环线的终点站(也是始发站)必须下车;
- 4) 为降低算法复杂性,假设乘客在始发站上车,在终点站下车,分别需要2分钟时间;
- 5) 本文只研究城市C公交系统中的所有线路;
- 6) 假设附录1中给出的参数基本符合实际情况,值得参考;
- 7) 假设换乘3次以上的公交车路线不会有人选择;
- 8) 假设同时考虑公汽和地铁时,有两次公交换地铁或地铁换公交的路线不会有人选择。

## 4. 符号约定

$N$  —— 公交系统中的公汽站点总数;

$n$  —— 公交系统中的地铁站点总数;

$S_i$  —— 第 $i$ 个公汽站点;

$L_i$  —— 第 $i$ 号公汽线路,即第 $i$ 路公汽;



$l(i, j)$ ——公汽站点  $S_i$  到  $S_j$  的直达公汽线路总数;

$\omega$ —— $\omega=1$  表示上行线,  $\omega=2$  表示下行线;

$L_m(i, j)$ —— $m$  路公汽能从公汽站点  $S_i$  直接行驶到  $S_j$  站;

$P(i, j, L_m)$ ——第  $m$  路公汽从公汽站点  $S_i$  行驶到  $S_j$  所经过的公汽站点数;

$LS_i$ ——第  $i$  路公汽所经过的所有公汽站点集合;

$D_i$ ——第  $i$  个地铁站点;

$T_i$ ——第  $i$  号地铁线路;

$T_m(D_i, D_j)$ —— $m$  号线地铁能从地铁站点  $D_i$  直接行驶到  $D_j$  站;

$K_m(D_i, D_j)$ —— $m$  号线地铁从地铁站点  $D_i$  行驶到  $D_j$  所经过的地铁站数;

$t_b$ ——相邻公交汽车站平均行驶时间;

$t_s$ ——相邻地铁站平均行驶时间;

$t_{bb}$ ——公交车换乘公交车的平均耗时;

$t_{ss}$ ——地铁换乘地铁的平均耗时;

$t_{bs}$ ——公交车换乘地铁的平均耗时;

$t_{sb}$ ——地铁换乘公交车的平均耗时;

$t_{f_1}$ ——地铁换乘地铁或公汽换乘汽时消耗的步行时间;

$t_{f_2}$ ——地铁换乘公汽或公汽换乘地铁时消耗的步行时间;

$C_{b_1}$ ——乘坐单一票价的公交车需要的费用;

$C_{b_2}$ ——乘坐分段计价的公交车需要的费用;

$C_s$ ——乘坐地铁需要的费用;

$C$ ——出行的总费用;

$\sigma(L_i), \sigma(D_i)$ ——公汽或地铁的收费方式,  $\sigma=1$  表示单一票价,  $\sigma=2$  表示分段计价,

$\sigma=3$  表示地铁票价;

$d$ ——查询方式:  $d=1$  时为最少换乘查询,  $d=2$  时为最少费用查询,  $d=3$  时为最少时



间查询， $d = 4$  时为最少步行时间；

$N(w)$ ——乘车方案  $w$  的换乘次数；

$T(w)$ ——乘车方案  $w$  所需的时间；

$Q(w)$ ——乘车方案  $w$  所需的费用；

$len(R)$ ——集合  $R$  的长度；

$W_{ij}$ ——只考虑公汽线路时，从  $S_i$  到  $S_j$  的所有换乘次数在 3 次以下的乘车方案的集合；

$\hat{W}_{ij}$ ——同时考虑公汽和地铁时，从站点  $S_i$  或  $D_i$  到  $S_j$  或  $D_j$  的换乘次数在 2 次以下的乘车方案的集合；

$W_{ij}^N(x)$ —— $W_{ij}$  中从  $S_i$  到  $S_j$  须换乘  $x$  次车的乘车方案的集合；

$W_{ij}^T(y)$ —— $W_{ij}$  中从  $S_i$  到  $S_j$  须花费  $y$  分钟的乘车方案的集合；

$W_{ij}^Q(z)$ —— $W_{ij}$  中从  $S_i$  到  $S_j$  须花费  $z$  元人民币的乘车方案的集合；

$R$ ——站点集合；

$t(i, j)$ ——站点  $S_i$  或  $D_i$  与  $S_j$  或  $D_j$  之间的步行时间；

$\varepsilon$ ——判断两站点是否属于同一站点集合的阈值。

## 5. 模型的建立

### 5.1 问题一的模型建立

#### 5.1.1 模型准备

设  $G = (E, V)$  是具有  $n$  个顶点的图，则  $G$  的邻接矩阵是具有如下性质的  $n$  阶方阵：

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{若 } (v_i, v_j) \in E(G) \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

广义邻接矩阵可定义为网络上的邻接矩阵[1]： $A = \begin{pmatrix} a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n} \\ a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2n} \\ \dots \\ a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{nn} \end{pmatrix}$ ， $a_{ij}$  为网络点  $i$  和  $j$  之

间所有相关信息的集合。

本文中，针对公汽线路信息，我们挖掘出有用数据并进行处理，最终采用矩阵存



储形式存储任意两站点之间的相关信息。矩阵  $A = (a_{ij})_{N \times N}$ ,  $a_{ij} = (a_{ij1}, a_{ij2}, \dots, a_{ijk} \dots)$ ,  $k = 1, 2, \dots, l(i, j)$ , 其中  $a_{ijk} = (L_{mk}, P(i, j, L_{mk}), \omega_{mk}, \sigma(L_{mk}))$ , 表示  $S_i$  与  $S_j$  之间直达公汽线路的相关信息, 当  $a_{ij} = \emptyset$  时, 表明  $S_i$  与  $S_j$  之间没有直达公车。

### 5.1.2 模型建立

#### 5.1.2.1 查找 $S_i$ 到 $S_j$ 的所有换乘次数在 3 次以下的可通路线集合 $W_{ij}$ :

$$1) \text{ 建立: 一次换乘矩阵: } B = \begin{pmatrix} b_{11}, b_{12}, \dots, b_{1n} \\ b_{21}, b_{22}, \dots, b_{2n} \\ \dots \\ b_{n1}, b_{n2}, \dots, b_{nn} \end{pmatrix}$$

为一个  $n \times n$  矩阵, 其中:

$$b_{ij} = \begin{cases} (L_{mk} \times L_{nk}, P(i, k, L_{mk}) \times P(k, j, L_{nk}), \omega_{mk} \times \omega_{nk}, \sigma(L_{mk}) \times \sigma(L_{nk})), & \text{当 } k \text{ 存在时。} \\ \emptyset, & \text{当 } k \text{ 不存在时, 即 } i \text{ 站与 } k \text{ 站, 或 } k \text{ 站与 } i \text{ 站不相通。} \end{cases}$$

上式中的集合想乘得到的是笛卡儿乘积, 即生成汽车线路、两站距离、上下行方式和收费方式一一对应的新的向量组。  $k$  存在时的结果表现形式为:

$b_{ij} = (L_{mk} \times L_{nk}, P(i, k, L_{mk}) \times P(k, j, L_{nk}), \omega_{mk} \times \omega_{nk}, \sigma(L_{mk}) \times \sigma(L_{nk}))$ , 此新生成的 4 维向量内部包含 4 组新的一一对应的 2 维向量。出行路线即为所求, 输出  $M$ 。同理, 当  $b_{ij} = \emptyset$  的时候, 一次换乘不通。

这里要强调的是: 一次换乘矩阵中的元素包括无换乘矩阵中的元素, 因为同一线路上的不同站点会被选择进入此矩阵, 成为冗杂数据, 不必要地占用存储空间, 我们将其删除。

在此, 根据此矩阵本身的性质, 作定义:  $B = A \times A$  (模仿邻接矩阵相乘的意义)

$$2) \text{ 建立: 二次换乘矩阵: } C = \begin{pmatrix} c_{11}, c_{12}, \dots, c_{1n} \\ c_{21}, c_{22}, \dots, c_{2n} \\ \dots \\ c_{n1}, c_{n2}, \dots, c_{nn} \end{pmatrix}$$

为一个  $n \times n$  矩阵, 其中:

建立方法与上述相同, 可表示为:  $C = A \times B$

特别强调的是: 通过  $A \times B$  的运算又得到很多冗杂的重复的数据, 我们将其挑出并删除。

公交车查询函数算法:

算法说明: 为了求得高效率和高精度, 上述的三组结构中的元素不都生成, 只生成与  $i, j$  关系密切的矩阵元素。



算法一:

Step1: 在已知数据中遍历搜索  $i, j$  站点, 得到经过  $i, j$  站点的公交线路信息, 生成  $a_{ij}$ ,

得到信息矩阵  $\mathbf{A}$ 。判断: 当  $a_{ij} \neq \emptyset$  时, 不用换乘, 可直达, 输出  $M$ , 并转

向 step2; 若  $a_{ij} = \emptyset$  时, 不能直达, 转向 step2;

Step2: 在  $\mathbf{A}$  中遍历搜索  $i, j$  站点, 得到经过  $(i, k)$  和  $(k, j)$  站点的公交线路信息, 生

成  $b_{ij}$ , 判断: 当  $b_{ij} \neq \emptyset$  时, 只需换乘一次便可到达, 输出  $M$ , 并转向 step3;

当  $b_{ij} = \emptyset$  时, 换乘一次也无法到达, 转向 step3;

Step3: 在  $\mathbf{A}$  中遍历搜索  $i, j$  站点, 得到经过  $(i, k), (k, m), (m, j)$  站点的公交线路, 生

成  $c_{ij}$  判断: 当  $c_{ij} \neq \emptyset$  时, 换乘两次可以到达, 输出  $M$ ; 当  $c_{ij} = \emptyset$  时, 换

乘两次以内都无法到达, 超出最大换乘次数判断, 输出: “无法在换乘两次以内到达”, 算法结束。

#### 5.1.2.2 根据查询者的需求, 从 $W_{ij}$ 中查找最优路线:

根据查询方式  $d$ , 可从所有乘车方案中查找查询者所关心的参数 (下称第一参数) 的最优值, 从而找到符合查询者需求的乘车方案。但是我们希望建立一个更加完善、更加智能化查询系统, 于是在确定第一参数后, 对乘车方案中的其它参数也予以考虑, 从局部优化向全局优化推进, 找到让查询者更满意的结果。

$d=1$  的模型如下:

第 1 步:  $x = \text{Min}\{N(w)\}$

$$\text{s.t. } w \in W_{ij}$$

第 2 步:  $y = \text{Min}\{T(w)\}$

$$\text{s.t. } w \in W_{ij}^N(x)$$

第 3 步:  $z = \text{Min}\{Q(w)\}$

$$\text{s.t. } w \in W_{ij}^N(x) \cap W_{ij}^T(y)$$

模型分析:

$d=1$  说明查询者关心乘车方案的换乘次数, 因此以换乘次数为第一参数查找  $W_{ij}$  中

乘车方案的最少换乘次数, 以及所对应的方案集合  $W_{ij}^N$ , 则  $W_{ij}^N$  可视为当前最优集合;





接着从当前最优集合中查找费用最少的乘车方案，并更新为当前最优集合；最后查找当前最优集合中用时最少的乘车方案，即为全局最优乘车方案。

模型说明：

这里我们以  $d=1$  为例， $d=2,3,4$  的情况与之基本一致，本题中  $d=1$  与  $d=4$  的结果一样。至于在只给出第一参数的情况下，如何确定第二参数、第三参数的顺序为最佳，则与个人的价值观有关系，可以从概率的角度来考虑给查询系统制定方案。

## 5.2 问题二的模型建立

不考虑地铁与公汽之间换乘的信息，把问题一的邻接矩阵  $A=(a_{ij})_{N \times N}$  扩充为  $\hat{A}=(\hat{a}_{ij})_{(N+n) \times (N+n)}$ ，包含任意两公交站点(包括公汽站点和地铁站)之间的相关信息，这里公汽站和地铁站之间没有联系，故可以把地铁站点当做公汽站点看待。通过矩阵  $\hat{A}$ ，利用算法一的思想可以得到  $W_{ij}$ ，即任意两站点间的路线集合。

考虑地铁与公汽间换乘的联系，我们把每个地铁站以及它所对应的所有公汽站组成一个站点集合，则同一集合中的站点可以通过步行连通。构造以下模型求这种情况下任意两公交站点间的路线集合：

$W_{ij} = \{W_{ij}^1, W_{ij}^2, \dots\}$ ； $W_{ij}^k$  表示站点  $S_i$  到站点  $S_j$  的第  $k$  条路线；

$W_{ij}^k = \{S_i, S_k, \dots, S_j\}$  表示该线路经过站点  $S_i, S_k, \dots, S_j$ ，

且  $S_i \in R_i, S_k \in R_k, \dots, S_j \in R_j$ ， $R_i, R_k, \dots, R_j$  为站点集合，

则： $\hat{W}_{ij}^k = \{(r_{1x}, r_{2y}, \dots, r_{3z})\}$

其中：

$r_{1x} \in R_i, r_{2y} \in R_k, \dots, r_{3z} \in R_j$ ；

$x=1,2,\dots,\text{len}(R_i), y=1,2,\dots,\text{len}(R_k), \dots, z=1,2,\dots,\text{len}(R_j)$ ；

进而得到  $\hat{W}_{ij}$ 。

最后根据查询者的不同需求查找  $S_i$  到  $S_j$  的最优路径，模型以及实现过程与问题一一样。





### 5. 3 问题三的建立模型

系统中共有  $N+n$  个站点，统一标记为  $S_i$  的形式，构造站点集合  $R = \{R_1, R_2, \dots, R_{N+n}\}$ ，其中  $R_i = \{S_j \mid (t(i, j) < \varepsilon)\}$ 。

由站点集合  $R$  和  $W_{ij} = \{W_{ij}^1, W_{ij}^2, \dots\}$  可以求得  $\hat{W}_{ij}^k = \{(r_{1x}, r_{2y}, \dots, r_{3z})\}$ ，过程与问题二相同。最后根据查询者的不同需求查找  $S_i$  到  $S_j$  的最优路径，模型以及实现过程与问题一一样。

## 6. 模型求解

### 6.1 问题一的结果：

输出每一对起始点与终点各种需求下最优的两种乘车路线，如下表表示。

(一) 在 S3359 到 S1828 的查询结果：

解 需求	时 间 (分)	费用 (元)	乘车路线
最少换乘	101	3	1, 在 S3359 坐 436 路, 下行, 经过 31 站, 到 S1784, 换乘 167 路, 下行, 经过 1 站, 到 S1828。
	101	3	2, 在 S3359 坐 436 路, 下行, 经过 31 站, 到 S1784, 换乘 217 路, 下行, 经过 1 站, 到 S1828。
最少时间	73	3	1, 在 S3359 坐 324 路, 下行, 经过 3 站, 到 S1746, 换乘 27 路, 上行, 经过 17 站, 到 S1784 下, 换乘 167 路, 下行, 经过 1 站, 到 S1828。
	73	3	2, 在 S3359 坐 324 路, 下行, 经过 3 站, 到 S1746, 换乘 27 路, 上行, 经过 17 站, 到 S1784 下, 换乘 217 路, 下行, 经过 1 站, 到 S1828。
最少费用	101	3	1, 在 S3359 坐 436 路, 下行, 经过 31 站, 到 S1784, 换乘 167 路, 下行, 经过 1 站, 到 S1828。
	101	3	2, 在 S3359 坐 436 路, 下行, 经过 31 站, 到 S1784, 换乘 217 路, 下行, 经过 1 站, 到 S1828。

(二) 在 S1557 到 S0481 的查询结果：



解 需求	时 间 (分)	费 用 (元)	乘车路线
最少换乘	106	3	1, 在 S1557 坐 84 路, 下行, 经过 12 站, 到 S1919 下, 换乘 189 路, 下行, 经过 3 站, 到 S3186 下, 换乘 460 路, 下行, 经过 17 站, 到 S0481。
	106	3	2, 在 S1557 坐 363 路, 下行, 经过 12 站, 到 S1919 下, 换乘 189 路, 下行, 经过 3 站, 到 S3186 下, 换乘 460 路, 下行, 经过 17 站, 到 S0481。
最少时间	106	3	1, 在 S1557 坐 84 路, 下行, 经过 12 站, 到 S1919 下, 换乘 189 路, 下行, 经过 3 站, 到 S3186 下, 换乘 460 路, 下行, 经过 17 站, 到 S0481。
	106	3	2, 在 S1557 坐 363 路, 下行, 经过 12 站, 到 S1919 下, 换乘 189 路, 下行, 经过 3 站, 到 S3186 下, 换乘 460 路, 下行, 经过 17 站, 到 S0481。
最少费用	106	3	1, 在 S1557 坐 84 路, 下行, 经过 12 站, 到 S1919 下, 换乘 189 路, 下行, 经过 3 站, 到 S3186 下, 换乘 460 路, 下行, 经过 17 站, 到 S0481。
	106	3	2, 在 S1557 坐 363 路, 下行, 经过 12 站, 到 S1919 下, 换乘 189 路, 下行, 经过 3 站, 到 S3186 下, 换乘 460 路, 下行, 经过 17 站, 到 S0481。

(三) 在 S0971 到 S0485 的查询结果:

解 需求	时 间 (分)	费 用 (元)	乘车路线
最少换乘	128	3	1, 在 S0971 坐 13 路, 下行, 经过 20 站, 到 S2184 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 21 站, 到 S0485
	131	3	2, 在 S0971 坐 13 路, 下行, 经过 22 站, 到 S0092 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 20 站, 到 S0485
最少时间	106	3	1, 在 S0971 坐 13 路, 上行, 经过 2 站, 到 S1609 下, 换乘 140 路, 下行, 经过 19 站, 到 S2654 下, 换乘 469 路, 上行, 11 站, 到 S0485
	106	3	2, 在 S0971 坐 24 路, 下行, 经过 2 站, 到 S1609 下, 换乘 140 路, 下行, 经过 19 站, 到 S2654 下, 换乘 469 路, 上行, 11 站, 到 S0485
最少费用	128	3	1, 在 S0971 坐 13 路, 下行, 经过 20 站, 到 S2184 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 21 站, 到 S0485
	131	3	2, 在 S0971 坐 13 路, 下行, 经过 22 站, 到 S0092 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 20 站, 到 S0485



(四) 在 S0008 到 S0073 的查询结果:

解 需求	时 间 (分)	费 用 (元)	乘车路线
最少换乘	83	2	1, 在 S0008 坐 159 路, 下行, 经过 18 站, 到 S0291 下, 换乘 58 路, 下行, 经过 8 站, 到 S0073
	83	2	2, 在 S0008 坐 159 路, 下行, 经过 10 站, 到 S0400 下, 换乘 474 路, 上行, 经过 16 站, 到 S0073
最少时间	67	3	1, 在 S0008 坐 198 路, 上行, 经过 3 站, 到 S3766 下, 换乘 296 路, 上行, 经过 13 站, 到 S2184, 换乘 345 路, 上行, 经过 3 站, 到 S0073
	70	3	2, 在 S0008 坐 159 路, 下行, 经过 8 站, 到 S0630 下, 换乘 231 路, 上行, 经过 4 站, 到 S0483, 换乘 57 路, 上行, 经过 8 站, 到 S0073
最少费用	83	2	1, 在 S0008 坐 159 路, 下行, 经过 18 站, 到 S0291 下, 换乘 58 路, 下行, 经过 8 站, 到 S0073
	83	2	2, 在 S0008 坐 159 路, 下行, 经过 10 站, 到 S0400 下, 换乘 474 路, 上行, 经过 16 站, 到 S0073

(五) 在 S0148 到 S0485 的查询结果:

解 需求	时 间 (分)	费 用 (元)	乘车路线
最少换乘	106	3	1, 在 S0148 坐 308 路, 上行, 经过 14 站, 到 S0036 下, 换乘 156 路, 上行, 经过 15 站, 到 S2210 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 3 站, 到 S0485。
	106	3	2, 在 S0148 坐 308 路, 上行, 经过 14 站, 到 S0036 下, 换乘 156 路, 上行, 经过 16 站, 到 S3332 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 2 站, 到 S0485。
最少时间	106	3	1, 在 S0148 坐 308 路, 上行, 经过 14 站, 到 S0036 下, 换乘 156 路, 上行, 经过 15 站, 到 S2210 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 3 站, 到 S0485。
	106	3	2, 在 S0148 坐 308 路, 上行, 经过 14 站, 到 S0036 下, 换乘 156 路, 上行, 经过 16 站, 到 S3332 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 2 站, 到 S0485
最少费用	106	3	1, 在 S0148 坐 308 路, 上行, 经过 14 站, 到 S0036 下, 换乘 156 路, 上行, 经过 15 站, 到 S2210 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 3 站, 到 S0485。
	106	3	2, 在 S0148 坐 308 路, 上行, 经过 14 站, 到 S0036 下, 换乘 156 路, 上行, 经过 16 站, 到 S3332 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 2 站, 到 S0485。

(六) 在 S0087 到 S3676 的查询结果:



解 需求	时 间 (分)	费 用 (元)	乘车路线
最少换乘	65	2	1, 在 S0087 坐 454 路, 上行, 经过 11 站, 到 S3496 下, 换乘 209 路, 下行, 经过 9 站, 到 S3676。
	71	2	2, 在 S0087 坐 454, 上行, 经过 12 站, 到 S1893 下, 换乘 209 路, 下行, 经过 10 站, 到 S3676 下。
最少时间	46	3	1, 在 S0087 坐 21 路, 下行, 经过 1 站, 到 S0088 下, 换乘 231 路, 上行, 经过 10 站, 到 S0427 下, 换乘 97 路, 上行, 经过 1 站, 到 S3676
	46	3	2, 在 S0087 坐 21 路, 下行, 经过 1 站, 到 S0088 下, 换乘 231 路, 上行, 经过 10 站, 到 S0427 下, 换乘 462 路, 下行, 经过 1 站, 到 S3676
最少费用	65	2	1, 在 S0087 坐 454 路, 上行, 经过 11 站, 到 S3496 下, 换乘 209 路, 下行, 经过 9 站, 到 S3676
	71	2	2, 在 S0087 坐 454, 上行, 经过 12 站, 到 S1893 下, 换乘 209 路, 下行, 经过 10 站, 到 S3676 下

注：环行公交车只存在上行一个行驶方向。

## 6. 2 问题二的结果：

### (一) 从 S3359 到 S1828 的查询结果

解 需求	时 间 (分)	换 乘 次 数	费 用 (元)	步行时 间(分)	乘车路线
最少换乘	100	1	3	6	在 S3359 坐 436 路, 下行, 经过 31 站, 到 S1784 下, 换乘 167 路, 下行, 经过 1 站, 到 S1828
	100	1	3	6	在 S3359 坐 436 路, 下行, 经过 31 站, 到 S1784 下, 换乘 217 路, 下行, 经过 1 站, 到 S1828
最少时间	100	1	3	6	在 S3359 坐 436 路, 下行, 经过 31 站, 到 S1784 下, 换乘 167 路, 下行, 经过 1 站, 到 S1828
	100	1	3	6	在 S3359 坐 436 路, 下行, 经过 31 站, 到 S1784 下, 换乘 217 路, 下行, 经过 1 站, 到 S1828
最少费用	100	1	3	6	在 S3359 坐 436 路, 下行, 经过 31 站, 到 S1784 下, 换乘 167 路, 下行, 经过 1 站, 到 S1828
	100	1	3	6	在 S3359 坐 436 路, 下行, 经过 31 站, 到 S1784 下, 换乘 217 路, 下行, 经过 1 站, 到 S1828
最少步行时间	100	1	3	6	在 S3359 坐 436 路, 下行, 经过 31 站, 到 S1784 下, 换乘 167 路, 下行, 经过 1 站, 到 S1828
	100	1	3	6	在 S3359 坐 436 路, 下行, 经过 31 站, 到 S1784 下, 换乘 217 路, 下行, 经过 1 站, 到 S1828



(三) 从 S0971 到 S0485 的查询结果

解 需求	时 间 (分)	换 乘 次 数	费 用 (元)	步行时 间(分)	乘车路线
最少换 乘	127	1	3	6	在 S0971 坐 13 路, 下行, 经过 20 站, 到 S2184 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 21 站, 到 S0485
	130	1	3	6	在 S0971 坐 13 路, 下行, 经过 22 站, 到 S0992 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 20 站, 到 S0485
最少时 间	127	1	3	6	在 S0971 坐 13 路, 下行, 经过 20 站, 到 S2184 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 21 站, 到 S0485
	130	1	3	6	在 S0971 坐 13 路, 下行, 经过 22 站, 到 S0992 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 20 站, 到 S0485
最少费 用	127	1	3	6	在 S0971 坐 13 路, 下行, 经过 20 站, 到 S2184 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 21 站, 到 S0485
	130	1	3	6	在 S0971 坐 13 路, 下行, 经过 22 站, 到 S0992 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 20 站, 到 S0485
最少步 行时间	127	1	3	6	在 S0971 坐 13 路, 下行, 经过 20 站, 到 S2184 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 21 站, 到 S0485
	130	1	3	6	在 S0971 坐 13 路, 下行, 经过 22 站, 到 S0992 下, 换乘 417 路, 下行, 经过 20 站, 到 S0485

(四) 从 S0008 到 S0073 的查询结果

解 需求	时 间 (分)	换 乘 次 数	费 用 (元)	步行时 间(分)	乘车路线
最少换 乘	82	1	2	6	在 S0008 坐 159 路, 下行, 经过 10 站, 到 S0400 下, 换乘 474 路, 上行, 经过 16 站, 到 S0073
	82	1	2	6	在 S0008 坐 159 路, 下行, 经过 11 站, 到 S2633 下, 换乘 474 路, 上行, 经过 15 站, 到 S0073
最少时 间	82	1	2	6	在 S0008 坐 159 路, 下行, 经过 10 站, 到 S0400 下, 换乘 474 路, 上行, 经过 16 站, 到 S0073
	82	1	2	6	在 S0008 坐 159 路, 下行, 经过 11 站, 到 S2633 下, 换乘 474 路, 上行, 经过 15 站, 到 S0073
最少费 用	82	1	2	6	在 S0008 坐 159 路, 下行, 经过 10 站, 到 S0400 下, 换乘 474 路, 上行, 经过 16 站, 到 S0073
	82	1	2	6	在 S0008 坐 159 路, 下行, 经过 11 站, 到 S2633 下, 换乘 474 路, 上行, 经过 15 站, 到 S0073



最少步行时间	82	1	2	6	在 S0008 坐 159 路,下行,经过 10 站,到 S0400 下,换乘 474 路,上行,经过 16 站,到 S0073
	82	1	2	6	在 S0008 坐 159 路,下行,经过 11 站,到 S2633 下,换乘 474 路,上行,经过 15 站,到 S0073

(六) 从 S0087 到 S3676 的查询结果

解需求	时间(分)	换乘次数	费用(元)	步行时间(分)	乘车路线
最少换乘	33	0	3	8	从 S0087 步行到 D27,坐地铁 2 号线,下行,经过 8 站,到 D36 下,步行到 S3676
	50	0	1	16	从 S0087 步行到 S0088,在 S0088 坐 S0231 路,上行,经过 10 站,到 S0427,步行到 S3676
最少时间	30.5	1	4	10	在 S0087 坐 S0028 路,下行,经过 1 站,到 S0608,步行到 D12,换乘地铁 2 号线,下行,经过 7 站,到 D36,步行到 S3676
	33	0	3	8	从 S0087 步行到 D27 坐地铁 2 号线,下行,经过 8 站,到 D36 下,步行到 S3676
最少费用	50	0	1	16	从 S0087 步行到 S0088,在 S0088 坐 S0231 路,上行,经过 10 站,到 S0427,步行到 S3676
	45	1	2	12	在 S0087 坐 206 路,上行,经过 1 站,到 S0088 下,换乘 231 路,上行,经过 10 站,到达 S0427,步行到 S3676
最少步行时间	64	1	4	6	在 S0087 坐 454 路,上行,经过 11 站,到 S3496,换乘 209 路,下行,经过 9 站,到达 S3676
	70	1	2	6	在 S0087 坐 454 路,上行,经过 12 站,到 S1893,换乘 209 路,下行,经过 10 站,到达 S3676

注:无法得到 2 和 5 的公交线路查询结果,因为其换乘次数大于一。

## 7. 模型评价

模型一评价:

- 1, 对输入的起驶站和终点站能在较短时间内给出满足不同需求的乘车方案,当多条线路同时满足要求时,该模型能按另外的标准将最优的几条呈现给用户。
- 2, 该算法一次运算量较大,但运行完后,每次查询的运算量很小,适合公司的使用。
- 3, 该模型思路清楚,程序结构明朗,而且可扩展能力很强,具有很好的可移植性。若运算速度足够快,能很方便求出 3 次或 3 次以上换乘的最佳路线。
- 4, 该模型的缺点是还没有能力求出 3 次换乘的情况,而且随着换乘次数的增加,模型算法的复杂度成平方级数增加。

模型二评价:

由于模型二增加了步行,使得换乘多次时可行的方案很多,要判别这些方案显得极





其复杂。为了算法的实现,我们处理的最大换乘次数为 1,这样便得到了此约束条件下的最优解。但由于换乘次数为 1,可能得到的不是最优线路,而且容易出现无解的情况,比如第二问的第二组和第五组数据,无法得到换乘一次以下的情况,这会给查询线路的乘客带来很大的不便。该模型具有较大的局限性,但也不失为一种好的思路。

## 8. 模型拓展

蚂蚁算法[2]:

1, 公交线网激素强度

(1) 公交线网激素的初始化

蚂蚁在初始选择出行路径时,对于每个公交站点,选择各个相邻站点的概率是相等的。为此,在初始化时,将城市公交线网的有向图的邻接矩阵的权值均赋值为整数  $p$ 。

(2) 激素强度的更新

蚂蚁算法迭代优化的效率和精度很大程度上取决于线网激素强度的更新过程。通过线网路线激素强度的增强和消散,从而使出行的最优路径能够尽快地凸现出来。同时考虑公交乘客出行路径优化目标,激素强度的更新过程应考虑到蚂蚁的公交换乘次数和蚂蚁走过的公交站点数,即出行距离。

当蚂蚁到达终点食物源时,使蚂蚁按原路返回,经过线路的激素强度的增加值为

$$\Delta p = p\lambda \left( \frac{3-f}{3} \right)^{\alpha} \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{g^{\beta}}} \right)$$

经过线路的激素强度修改为

$$p = p + \Delta p$$

式中:  $\lambda$  为选择的公交出行线路的相对重要程度系数,应根据公交优先程度、公交线路沿路的交通管制程度和交通状况、公交公司的调度、发车状况来综合确定,这里除去这些因素不考虑,统一取值为 1;  $f$  为蚂蚁本次出行路径的公交换乘次数;  $\alpha$  为换乘次数

对公交出行路径选择的影响系数;  $g$  为蚂蚁本次出行路径的沿途经过公交站点数;  $\beta$  为出行距离对公交出行路径选择的影响系数,本题取站与站之间的距离为 1。当蚂蚁到达终点车站时,沿途未经过的公交线路的激素强度会随时间的推移而逐渐减弱。为计算方便,本文选取激素信息的消散率为 10% 到 30%。其中经过站点的未被选择的相邻路径减少 30%,即  $p = 0.7p$ ; 而其他线路减少 10% 到 15%,即  $p = 0.9p$  到  $0.85p$ 。

2, 路径选择的转移概率

蚂蚁到达公交站点  $k$  时可乘坐  $n$  条公交线路,即共有  $n$  个相邻目标站点。蚂蚁则根据相邻  $n$  条线路的激素强度的大小,采用俄罗斯赌盘选择方法来选择下一步寻食路线。每条公交线路被蚂蚁选择的概率为





$$q_i = \frac{p_i}{\sum_{k=1}^n p_k}$$

蚂蚁寻食到达公交站点  $k$  时, 将可乘坐的  $n$  条相邻公交线路的被选择概率  $q_i$  进行升

序排序, 并产生一随机数  $q \in (0,1)$ 。依次计算  $\sum_{k=1}^j q_k, j=1,2,\dots,n$ , 并判断  $\sum_{k=1}^j q_k$  是否大于  $q$ 。

若大于, 则蚂蚁选择线路  $j$  作为下一次的出行路径。同时根据工交乘客出行路径优化部标, 在进行路径选择时, 将优先考虑不需要换乘的公交线路。

评价: 蚂蚁算法的效率和优化精度取决于蚂蚁的群体的规模、线路激素强度的更新过程、相临路径的转移概率等。此算法对于中短路程来说, 会较快的得出最少换乘的最优解, 但由于本身具有较大的随机性和反复贴近最优性, 若为争取长距离的运算效率, 又要以扩大存储空间需求为代价, 因此对于长途且交通不是很方便的或换乘较麻烦的站点之间来说, 用此算法获得最优解的效率较低。而且, 此算法只能根据需求得到单一的最优解, 无法带给查询者充足的比较信息。

## 9. 参考文献

- [1] 刁在筠, 郑汉鼎, 刘家壮, 刘桂真。《运筹学》—第二版。出版地: 北京。出版社: 高等教育出版社。出版年: 2001 年 9 月。
- [2] 李文勇, 王伟, 陈学武。《交通运输工程学报》。第 4 卷第 4 期: 4 页, 2004 年 12 月。

## 10. 附录

1, 以下是问题一, 按照不同需求方式, 经过优化整理后得到的前六组公交车线路的原始数据:

格式说明:

第几个问题、起点→终点

需求方式 (1 为最少换乘, 2 为最少时间, 3 为最少费用)

每组乘车方案: {{换乘次数, 总时间消耗 (分钟), 总费用 (元), {{公交车线路, 上下行方式, 行驶站的个数}}, {}, ...{}}}。

一、S3359→S1828

1

{{1, 101, 3, {{436, 2, 31}}, {167, 2, 1}}}, {1, 101, 3, {{436, 2, 31}}, {217, 2, 1}}}, {1, 107, 3, {{436, 2, 32}}, {167, 2, 2}}}, {1, 107, 3, {{436, 2, 32}}, {217, 2, 2}}}, {1, 113, 3, {{436, 2, 33}}, {217, 2, 3}}}, {1, 125, 3, {{436, 2, 34}}, {217, 2, 6}}}



2

$\{\{2, 73, 3, \{\{324, 2, 3\}, \{27, 1, 17\}, \{167, 2, 1\}\}\}, \{2, 73, 3, \{\{324, 2, 3\}, \{27, 1, 17\}, \{217, 2, 1\}\}\}, \{2, 73, 3, \{\{484, 2, 3\}, \{27, 1, 17\}, \{167, 2, 1\}\}\}, \{2, 73, 3, \{\{484, 2, 3\}, \{27, 1, 17\}, \{217, 2, 1\}\}\}, \{2, 73, 3, \{\{324, 2, 2\}, \{201, 1, 15\}, \{41, 1, 4\}\}\}, \{2, 73, 3, \{\{469, 2, 2\}, \{201, 1, 15\}, \{41, 1, 4\}\}\}\}$

3

$\{\{1, 101, 3, \{\{436, 2, 31\}, \{167, 2, 1\}\}\}, \{1, 101, 3, \{\{436, 2, 31\}, \{217, 2, 1\}\}\}, \{1, 107, 3, \{\{436, 2, 32\}, \{167, 2, 2\}\}\}, \{1, 107, 3, \{\{436, 2, 32\}, \{217, 2, 2\}\}\}, \{1, 113, 3, \{\{436, 2, 33\}, \{217, 2, 3\}\}\}, \{1, 125, 3, \{\{436, 2, 34\}, \{217, 2, 6\}\}\}\}$

## 二、S1557→S0481

1

$\{\{2, 106, 3, \{\{84, 2, 12\}, \{189, 2, 3\}, \{460, 2, 17\}\}\}, \{2, 106, 3, \{\{363, 2, 12\}, \{189, 2, 3\}, \{460, 2, 17\}\}\}, \{2, 112, 3, \{\{84, 2, 12\}, \{189, 2, 2\}, \{460, 2, 20\}\}\}, \{2, 112, 3, \{\{363, 2, 12\}, \{189, 2, 2\}, \{460, 2, 20\}\}\}, \{2, 112, 3, \{\{84, 2, 12\}, \{417, 1, 17\}, \{254, 1, 5\}\}\}, \{2, 112, 3, \{\{84, 2, 12\}, \{417, 1, 17\}, \{312, 2, 5\}\}\}\}$

2

$\{\{2, 106, 3, \{\{84, 2, 12\}, \{189, 2, 3\}, \{460, 2, 17\}\}\}, \{2, 106, 3, \{\{363, 2, 12\}, \{189, 2, 3\}, \{460, 2, 17\}\}\}, \{2, 112, 3, \{\{84, 2, 12\}, \{189, 2, 2\}, \{460, 2, 20\}\}\}, \{2, 112, 3, \{\{363, 2, 12\}, \{189, 2, 2\}, \{460, 2, 20\}\}\}, \{2, 112, 3, \{\{84, 2, 12\}, \{417, 1, 17\}, \{254, 1, 5\}\}\}, \{2, 112, 3, \{\{84, 2, 12\}, \{417, 1, 17\}, \{312, 2, 5\}\}\}\}$

3

$\{\{2, 106, 3, \{\{84, 2, 12\}, \{189, 2, 3\}, \{460, 2, 17\}\}\}, \{2, 106, 3, \{\{363, 2, 12\}, \{189, 2, 3\}, \{460, 2, 17\}\}\}, \{2, 112, 3, \{\{84, 2, 12\}, \{189, 2, 2\}, \{460, 2, 20\}\}\}, \{2, 112, 3, \{\{363, 2, 12\}, \{189, 2, 2\}, \{460, 2, 20\}\}\}, \{2, 112, 3, \{\{84, 2, 12\}, \{417, 1, 17\}, \{254, 1, 5\}\}\}, \{2, 112, 3, \{\{84, 2, 12\}, \{417, 1, 17\}, \{312, 2, 5\}\}\}\}$

## 三、S0971→S0485

1,

$\{\{1, 128, 3, \{\{13, 2, 20\}, \{417, 2, 21\}\}\}, \{1, 131, 3, \{\{13, 2, 22\}, \{417, 2, 20\}\}\}, \{1, 134, 3, \{\{13, 2, 25\}, \{417, 2, 18\}\}\}, \{1, 134, 3, \{\{13, 2, 26\}, \{417, 2, 17\}\}\}, \{1, 134, 3, \{\{13, 2, 27\}, \{417, 2, 16\}\}\}, \{1, 134, 3, \{\{13, 2, 24\}, \{417, 2, 19\}\}\}\}$

2,

$\{\{2, 106, 3, \{\{13, 1, 2\}, \{140, 2, 19\}, \{469, 1, 11\}\}\}, \{2, 106, 3, \{\{24, 2, 2\}, \{140, 2, 19\}, \{469, 1, 11\}\}\}, \{2, 106, 3, \{\{94, 1, 2\}, \{140, 2, 19\}, \{469, 1, 11\}\}\}, \{2, 106, 3, \{\{119, 2, 2\}, \{140, 2, 19\}, \{469, 1, 11\}\}\}, \{2, 106, 3, \{\{263, 2, 2\}, \{140, 2, 19\}, \{469, 1, 11\}\}\}, \{2, 106, 3, \{\{13, 2, 16\}, \{296, 1, 11\}, \{417, 2, 5\}\}\}\}$

3,

$\{\{1, 128, 3, \{\{13, 2, 20\}, \{417, 2, 21\}\}\}, \{1, 131, 3, \{\{13, 2, 22\}, \{417, 2, 20\}\}\}, \{1, 134, 3, \{\{13, 2, 25\}, \{417, 2, 18\}\}\}, \{1, 134, 3, \{\{13, 2, 26\}, \{417, 2, 17\}\}\}, \{1, 134, 3, \{\{13, 2, 27\}, \{417, 2, 16\}\}\}, \{1, 134, 3, \{\{13, 2, 24\}, \{417, 2, 19\}\}\}\}$

## 四、S0008→S0073



1

$\{\{1, 83, 2, \{\{159, 2, 18\}, \{58, 2, 8\}\}\}, \{1, 83, 2, \{\{159, 2, 10\}, \{474, 1, 16\}\}\}, \{1, 83, 2, \{\{159, 2, 20\}, \{58, 2, 6\}\}\}, \{1, 83, 2, \{\{463, 2, 14\}, \{57, 1, 12\}\}\}, \{1, 83, 2, \{\{355, 2, 7\}, \{345, 1, 19\}\}\}, \{1, 83, 2, \{\{355, 2, 9\}, \{345, 1, 17\}\}\}\}$

2

$\{\{2, 67, 3, \{\{198, 1, 3\}, \{296, 1, 13\}, \{345, 1, 3\}\}\}, \{2, 70, 3, \{\{159, 2, 8\}, \{231, 1, 4\}, \{57, 1, 8\}\}\}, \{2, 70, 3, \{\{159, 2, 8\}, \{231, 1, 5\}, \{57, 1, 7\}\}\}, \{2, 70, 3, \{\{159, 2, 8\}, \{231, 1, 3\}, \{57, 1, 9\}\}\}, \{2, 70, 3, \{\{159, 2, 8\}, \{231, 1, 6\}, \{57, 1, 6\}\}\}, \{2, 70, 3, \{\{159, 2, 8\}, \{231, 1, 1, 6\}, \{432, 2, 6\}\}\}\}$

3

$\{\{1, 83, 2, \{\{159, 2, 18\}, \{58, 2, 8\}\}\}, \{1, 83, 2, \{\{159, 2, 10\}, \{474, 1, 16\}\}\}, \{1, 83, 2, \{\{159, 2, 20\}, \{58, 2, 6\}\}\}, \{1, 83, 2, \{\{463, 2, 14\}, \{57, 1, 12\}\}\}, \{1, 83, 2, \{\{355, 2, 7\}, \{345, 1, 19\}\}\}, \{1, 83, 2, \{\{355, 2, 9\}, \{345, 1, 17\}\}\}\}$

#### 五、S0148→S0485

1

$\{\{2, 106, 3, \{\{308, 1, 14\}, \{156, 1, 15\}, \{417, 2, 3\}\}\}, \{2, 106, 3, \{\{308, 1, 14\}, \{156, 1, 16\}, \{417, 2, 2\}\}\}, \{2, 106, 3, \{\{308, 1, 14\}, \{156, 1, 17\}, \{417, 2, 1\}\}\}, \{2, 109, 3, \{\{308, 1, 14\}, \{157, 2, 14\}, \{417, 2, 5\}\}\}, \{2, 109, 3, \{\{308, 1, 14\}, \{157, 2, 15\}, \{417, 2, 4\}\}\}, \{2, 115, 3, \{\{308, 1, 15\}, \{129, 1, 14\}, \{469, 1, 6\}\}\}\}$

2

$\{\{2, 106, 3, \{\{308, 1, 14\}, \{156, 1, 15\}, \{417, 2, 3\}\}\}, \{2, 106, 3, \{\{308, 1, 14\}, \{156, 1, 16\}, \{417, 2, 2\}\}\}, \{2, 106, 3, \{\{308, 1, 14\}, \{156, 1, 17\}, \{417, 2, 1\}\}\}, \{2, 109, 3, \{\{308, 1, 14\}, \{157, 2, 14\}, \{417, 2, 5\}\}\}, \{2, 109, 3, \{\{308, 1, 14\}, \{157, 2, 15\}, \{417, 2, 4\}\}\}, \{2, 115, 3, \{\{308, 1, 15\}, \{129, 1, 14\}, \{469, 1, 6\}\}\}\}$

3

$\{\{2, 106, 3, \{\{308, 1, 14\}, \{156, 1, 15\}, \{417, 2, 3\}\}\}, \{2, 106, 3, \{\{308, 1, 14\}, \{156, 1, 16\}, \{417, 2, 2\}\}\}, \{2, 106, 3, \{\{308, 1, 14\}, \{156, 1, 17\}, \{417, 2, 1\}\}\}, \{2, 109, 3, \{\{308, 1, 14\}, \{157, 2, 14\}, \{417, 2, 5\}\}\}, \{2, 109, 3, \{\{308, 1, 14\}, \{157, 2, 15\}, \{417, 2, 4\}\}\}, \{2, 115, 3, \{\{308, 1, 15\}, \{129, 1, 14\}, \{469, 1, 6\}\}\}\}$

#### 六、S0087→S3676

1

$\{\{1, 65, 2, \{\{454, 1, 11\}, \{209, 2, 9\}\}\}, \{1, 71, 2, \{\{454, 1, 12\}, \{209, 2, 10\}\}\}, \{2, 46, 3, \{\{21, 2, 1\}, \{231, 1, 10\}, \{97, 1, 1\}\}\}, \{2, 46, 3, \{\{21, 2, 1\}, \{231, 1, 10\}, \{462, 2, 1\}\}\}, \{2, 46, 3, \{\{206, 1, 1\}, \{231, 1, 10\}, \{97, 1, 1\}\}\}, \{2, 46, 3, \{\{206, 1, 1\}, \{231, 1, 10\}, \{462, 2, 1\}\}\}\}$

2

$\{\{2, 46, 3, \{\{21, 2, 1\}, \{231, 1, 10\}, \{97, 1, 1\}\}\}, \{2, 46, 3, \{\{21, 2, 1\}, \{231, 1, 10\}, \{462, 2, 1\}\}\}, \{2, 46, 3, \{\{206, 1, 1\}, \{231, 1, 10\}, \{97, 1, 1\}\}\}, \{2, 46, 3, \{\{206, 1, 1\}, \{231, 1, 10\}, \{462, 2, 1\}\}\}, \{2, 46, 3, \{\{454, 2, 1\}, \{231, 1, 10\}, \{97, 1, 1\}\}\}, \{2, 46, 3, \{\{454, 2, 1\}, \{231, 1, 10\}, \{462, 2, 1\}\}\}\}$



3

$\{\{1, 65, 2, \{\{454, 1, 11\}, \{209, 2, 9\}\}\}, \{1, 71, 2, \{\{454, 1, 12\}, \{209, 2, 10\}\}\}, \{2, 46, 3, \{\{21, 2, 1\}, \{231, 1, 10\}, \{97, 1, 1\}\}\}, \{2, 46, 3, \{\{21, 2, 1\}, \{231, 1, 10\}, \{462, 2, 1\}\}\}, \{2, 46, 3, \{\{206, 1, 1\}, \{231, 1, 10\}, \{97, 1, 1\}\}\}, \{2, 46, 3, \{\{206, 1, 1\}, \{231, 1, 10\}, \{462, 2, 1\}\}\}\}$

2, 以下是问题二, 按照不同需求方式, 经过优化整理后得到的前六组公交车线路的原始数据, 因为算法的局限性, 只得到了四组数据。

格式说明:

第几个问题、起点→终点

需求方式 (1 为最少换乘, 2 为最少时间, 3 为最少费用, 4 为最少步行时间)

每组乘车方案:  $\{\{\text{换乘次数}, \text{总时间消耗 (分钟)}, \text{总费用 (元)}, \text{步行时间 (分钟)}\}\{\{\text{公交车线路}, \text{上下行方式}, \text{行驶站的个数}, \text{本站}, \text{停站}\}, \{\}, \dots\}\}$ 。

一、S3359→S1828

1

$\{1, 100, 6, 3, \{\{436, 2, 31, 3359, 1784\}, \{167, 2, 1, 1784, 1828\}\}\}, \{1, 100, 6, 3, \{\{436, 2, 31, 3359, 1784\}, \{217, 2, 1, 1784, 1828\}\}\},$

2

$\{1, 100, 6, 3, \{\{436, 2, 31, 3359, 1784\}, \{167, 2, 1, 1784, 1828\}\}\}, \{1, 100, 6, 3, \{\{436, 2, 31, 3359, 1784\}, \{217, 2, 1, 1784, 1828\}\}\},$

3

$\{1, 100, 6, 3, \{\{436, 2, 31, 3359, 1784\}, \{167, 2, 1, 1784, 1828\}\}\}, \{1, 100, 6, 3, \{\{436, 2, 31, 3359, 1784\}, \{217, 2, 1, 1784, 1828\}\}\},$

4

$\{1, 100, 6, 3, \{\{436, 2, 31, 3359, 1784\}, \{167, 2, 1, 1784, 1828\}\}\}, \{1, 100, 6, 3, \{\{436, 2, 31, 3359, 1784\}, \{217, 2, 1, 1784, 1828\}\}\},$

三、S0971→S0485

1

$\{1, 127, 6, 3, \{\{13, 2, 20, 971, 2184\}, \{417, 2, 21, 2184, 485\}\}\}, \{1, 130, 6, 3, \{\{13, 2, 22, 971, 992\}, \{417, 2, 20, 992, 485\}\}\},$

2

$\{1, 127, 6, 3, \{\{13, 2, 20, 971, 2184\}, \{417, 2, 21, 2184, 485\}\}\}, \{1, 130, 6, 3, \{\{13, 2, 22, 971, 992\}, \{417, 2, 20, 992, 485\}\}\},$

3

$\{1, 127, 6, 3, \{\{13, 2, 20, 971, 2184\}, \{417, 2, 21, 2184, 485\}\}\}, \{1, 130, 6, 3, \{\{13, 2, 22, 971, 992\}, \{417, 2, 20, 992, 485\}\}\},$

4

$\{1, 127, 6, 3, \{\{13, 2, 20, 971, 2184\}, \{417, 2, 21, 2184, 485\}\}\}, \{1, 130, 6, 3, \{\{13, 2, 22, 971, 992\}, \{417, 2, 20, 992, 485\}\}\},$



#### 四、S0008→S0073

1

$\{1, 82, 6, 2, \{\{159, 2, 10, 8, 400\}, \{474, 1, 16, 400, 73\}\}\}, \{1, 82, 6, 2, \{\{159, 2, 11, 8, 2633\}, \{474, 1, 15, 2633, 73\}\}\}, \{1, 82, 6, 2, \{\{159, 2, 12, 8, 3053\}, \{474, 1, 14, 3053, 73\}\}\}$

2

$\{1, 82, 6, 2, \{\{159, 2, 10, 8, 400\}, \{474, 1, 16, 400, 73\}\}\}, \{1, 82, 6, 2, \{\{159, 2, 11, 8, 2633\}, \{474, 1, 15, 2633, 73\}\}\}, \{1, 82, 6, 2, \{\{159, 2, 12, 8, 3053\}, \{474, 1, 14, 3053, 73\}\}\}$

3

$\{\{1, 82, 6, 2, \{\{159, 2, 10, 8, 400\}, \{474, 1, 16, 400, 73\}\}\}, \{1, 82, 6, 2, \{\{159, 2, 11, 8, 2633\}, \{474, 1, 15, 2633, 73\}\}\}, \{1, 82, 6, 2, \{\{159, 2, 12, 8, 3053\}, \{474, 1, 14, 3053, 73\}\}\},$

4

$\{\{1, 82, 6, 2, \{\{159, 2, 10, 8, 400\}, \{474, 1, 16, 400, 73\}\}\}, \{1, 82, 6, 2, \{\{159, 2, 11, 8, 2633\}, \{474, 1, 15, 2633, 73\}\}\}, \{1, 82, 6, 2, \{\{159, 2, 12, 8, 3053\}, \{474, 1, 14, 3053, 73\}\}\}$

#### 六、S0087→S3676

1

$\{\{0, 33, 8, 3\{\{2, 2, 8, 3984, 3993\}\}\}, \{0, 50, 16, 1\{\{231, 1, 10, 88, 427\}\}\}\}$

2

$\{\{1, 30.5, 10, 4, \{\{28, 2, 1, 87, 608\}, \{2, 2, 7, 3969, 3993\}\}\}, \{0, 33, 8, 3\{\{2, 2, 8, 3984, 3993\}\}\}$

3

$\{\{0, 50, 16, 1\{\{231, 1, 10, 88, 427\}\}, \{209, 2, 9, 3496, 3676\}\}\}, \{1, 70, 6, 2, \{\{454, 1, 12, 87, 1893\}, \{209, 2, 10, 1893, 3676\}\}\},$

4

$\{\{1, 45, 12, 2, \{\{21, 2, 1, 87, 88\}, \{231, 1, 10, 88, 427\}\}\}, \{1, 45, 12, 2, \{\{206, 1, 1, 87, 88\}, \{231, 1, 10, 88, 427\}\}\},$

