

智能交通中的高效多准最短路径混合算法*

叶金平, 朱征宇, 王丽娜, 刘琳

(重庆大学 计算机学院, 重庆 400044)

摘要: 针对智能交通系统(ITS)中求解多条准最短路径的问题,提出了一种混合算法。该算法以Floyd算法和A*算法为基础,主要运用遗传算法来求解多条准最短路径。实验的结果表明了该混合算法的可行性和比其他算法的高效性。

关键词: 智能交通系统; Floyd算法; A*算法; 遗传算法; 准最短路径; 混合算法

中图分类号: TP301.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2011)09-3301-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2011.09.026

Efficient hybrid algorithm for multi-shorter-path searching in ITS

YE Jin-ping, ZHU Zheng-yu, WANG Li-na, LIU Lin

(College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: This paper proposed an efficient hybrid algorithm designed to find multi-shorter-path searching in ITS (intelligent traffic system). Based on Floyd algorithm and A* algorithm, and mainly using gene algorithm to get the final result. Finally, the experimental result shows the feasibility and the high efficiency of this algorithm compared with the other algorithm.

Key words: ITS; Floyd algorithm; A* algorithm; genetic algorithm; shorter-path; hybrid algorithm

最近几年,随着世界范围内城市经济飞速发展,机动车的数量在急剧增加,城市道路的负荷日益加重,交通拥挤、道路阻塞、交通事故频繁以及由此而引起的社会经济损失、空气污染等已成为不利于社会发展的重要因素^[1,2]。

智能交通系统(ITS)中最短路径查询,主要是点到点之间的最短路径,在城市交通中具有很高的实时性,要求对大量的查询给予快速答复。传统的最短路径算法一般是找一条行驶距离或时间最短的路径。在实际交通网络中,如果所有车辆都按照诱导系统的指示往一条较短的路径上行驶,势必会导致路网中出现一些路径空闲而另一些路径拥堵的现象。鉴于此,国内外一些学者对这个问题进行了研究,指出由系统推荐若干条路径给司机由司机最后决定选择哪一条是相对实际和较好的策略。虽然也有人研究过类似问题^[3],但其实验数据不是路网太小就是计算效率不能让人满意。

文献[4]指出,路径诱导是一个对实时性要求相当强的系统,过分追求模型的精确和复杂并没有多大帮助,描述交通网络的模型越复杂,算法的灵敏性就会减弱,最短路径的求解复杂度也就越大,计算中的省略误差通常也越大,这些都会降低模型精确带来的优势。因此,本文中的路网模型并没有过多考虑模型的复杂性和精确性。同时,由于计算的复杂性又直接影响算法的时间复杂度,而计算结果的精确性又直接影响司机能否按时到达目的地,因此,计算的复杂性和结果的精确性恰恰是在路径求解问题中重点考虑的内容。由于遗传算法具有全局搜索能力强的特点,适合解决最优问题。虽然本文针对的不是精确意义上的最优问题,但很显然,遗传算法同样适合此问题。结合传统的Floyd最短路径算法^[4]和具有并行性优点的

遗传算法^[5],提出了一种混合演化算法。首先利用Floyd算法求出路网的最短距离矩阵,再用A*算法和遗传算法来求解初始种群,然后设计了一套演化算子(选择、变异),并结合遗传算法来快速获得多条准最短路径,提供给司机自主选择。

1 问题描述

由于本文研究的问题是如何方便快速地为司机提供多条准最短路径,同时根据文献[3]中的数据和经验可知,对于一个特点的交通路网,两点之间的准最短路径相对于最短路径的比值应在一个特定的范围:1~1.5,故确定了本文将采用如下的模型描述:

给定带权有向图 $G=(V, E)$,其中, V 是包含 N 个节点的节点集, E 是包含 m 条弧的弧集, $\langle v_i, v_j \rangle$ 是 E 中从 v_i 到 v_j 的弧, $c(v_i, v_j)$ 是弧 $\langle v_i, v_j \rangle$ ($1 \leq i, j \leq N$)的非负权值,其权值表示从节点 v_i 到 v_j 的距离。设 v'_0, v'_k 为 V 中的节点, $P_{v'_0, v'_k} = \{v'_0, v'_1, \dots, v'_k\}$ 为 V 中由 v'_0 到 v'_k 的一条路径,则路径 $P_{v'_0, v'_k}$ 的权值总和可表示为

$$W(P_{v'_0, v'_k}) = \sum_{i=0}^{k-1} c(v'_i, v'_{i+1}) \quad (1)$$

如果路径满足

$$W(P_{O,D}) \leq \lambda \times S(O,D) \quad \lambda \in [1, 1.4] \quad (2)$$

满足式(2)的路径为准最短路径,式(2)中的 $S(O,D)$ 表示从起点 O 到终点 D 的最短距离, λ 为一系数,由司机给定,其取值范围一般在 $[1, 1.5]$ 。本文的目标是求解 $r(r>1)$ 条满足式(2)的准最短路径。

由上述定义可知, λ 的取值越大,表示司机对可接受的准

收稿日期:2011-01-04;修回日期:2011-03-09 基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2007BAH08B04)

作者简介:叶金平(1983-),男,江西上饶人,硕士,主要研究方向为智能交通(Ye895937@126.com);朱征宇(1959-),男,安徽马鞍山人,教授,硕导,博士,主要研究方向为智能交通、互联网技术与检索方法、电子商务与应用;王丽娜(1982-),女,硕士,主要研究方向为智能导航;刘琳(1987-),女,四川广安人,硕士研究生,主要研究方向为智能导航。

最短路径的要求就越低;相反,要求就越高。

2 混合算法

2.1 混合算法原理

借助 Floyd 算法有较快地求出每对节点之间的最短路径和 A* 算法有较大程度地缩小算法计算范围的优点,提出了一种以 Floyd 最短路径算法和 A* 算法为基础,运用演化算法来求解路径诱导系统中多条准最短路径问题的混合算法。该算法在两个指定的节点间快速找到一组准最短路径,从而司机可以根据自身的需要选择适合自己的道路,可明显改善因引导司机都走同一条路线而导致路段拥塞的状况。

在求解过程中,用 S 表示保存交通路网中任两节点间的最短距离的 $n \times n$ 阶矩阵, $S(O, D)$ 表示以节点 O 为起点到 D 为终点的最短距离。这里保存最短距离而不保存最短解路径,是因为遗传算法演化过程中要多次用到两点之间的最短距离。

为方便叙述和理解,对算法中的可选节点定义如下:

定义 借助 A* 算法的思想,如果节点 t 满足 $S(O, t) + S(t, D) < \lambda \times S(O, D)$, 则称节点 t 为可选节点,否则为不可选节点。此处 λ 的取值同式(2),可由司机决定。

混合算法的总体思想是:a)根据路网信息,用 Floyd 算法求出路网中每对节点之间的最短路径距离,保存在最短距离矩阵 S 中;b)用遗传算法求解多条准最短路径,但在种群的初始化时,只选择那些可选节点;c)在染色体变异的时候,也只选那些可选节点。

算法主控过程步骤如图1所示。

算法执行过程说明:用 Floyd 算法求出的交通路网最短路径距离矩阵 S 只计算一次并存储,以后每次查询时都不再用 Floyd 算法,而只用遗传算法和 A* 算法求多条“准最短路径”。

2.2 遗传算法

结合 Floyd 算法和 A* 算法获得一条从起始地到目的地的路径非常容易,但一般没有结果优化的路径往往不是准最短路径,因此要用遗传算法对获得的路径进行优化。遗传算法在整个混合算法中的作用如图1所示。

2.2.1 染色体编码

染色体编码有二进制编码和实数编码两种形式。由于路径诱导算法中的基因是路网中的某些节点,而这些节点的排列顺序正好构成所要求的路径,所以采取有序的实数编码方式更为合理^[6]。

在传统的遗传算法中,假设路网中的节点数为 N ,则染色体的基因数为 N ,对于一对给定的起讫对 OD ,其染色体的第一个基因即为 O ,然后是 k 个中间节点($0 \leq k \leq N-2$),最后是节点 D ,如果 $k < N-2$,则还需要在染色体的后面补0,使基因总数为 N ,此时染色体的长度为 N 。

显然,这种传统方式产生的染色体长度固定,但对于城市交通网络图而言,节点数较大,而一般的起讫对 OD 的最短或准最短路径通过的节点个数远小于网络节点数。

本文采用不等长可变染色体数的实数编码形式,不仅很适合相同起点和终点之间的不同连通路程具有不同节点数的情况^[7],而且避免了巨大的搜索空间和无用的解。

2.2.2 种群与染色体初始化

考虑到交通路网本身的特点,本文采用启发式算法来得到

遗传算法的初始种群,每条染色体代表一条可行路径,种群和染色体的初始化步骤如下(整个过程都在可选节点集中进行):

a)以起点作为染色体的第一个基因位,把起点作为当前点。

b)从当前点按深度优先遍历其相邻的可选节点 t ,如果节点 t 没有在本条染色体中出现过,则把节点 t 作为染色体的下一个基因,并把节点 t 作为当前点,否则跳过节点 t ,遍历当前点其他相邻的可选节点;如果当前点的所有可达的相邻节点都不是可选节点,则从染色体中删除当前点,并回溯到当前点的上一节点,把当前点的上一个节点作为当前点。

c)重复 b)直到当前点为终点 D 。

d)从可选节点集中随机去掉上一条染色体对应路径上的一节点,以保证下一条染色体不同于已产生的染色体。

e)重复 b)~d),求下一个染色体,一直求到够所要求的种群数量,算法结束。

说明:在上述过程中,如果不跳过节点 t ,则染色体中会出现环路的情况,这是交通路网所不允许的。

2.2.3 变异算子

考虑到交通网络拓扑关系的约束,普通的单点变异算子的运算在此会产生非法个体,故需要对变异算子进行改进。变异算子主要是用来产生与当前染色体部分基因不同的染色体。本文拟采取的变异方式为双点变异。其分两步进行:a)随机选择该染色体中的两个要变异的基因位置;b)找一条这两点间的最短路径还使该两基因位连通的子路径并取代原染色体中这两点之间的当前路径。

2.2.4 染色体替换

每次在染色体变异之后再计算子染色体的适应度,比较子染色体与父代染色体的适应度。如果子代的适应度比父代的优,则用子代替换父代,从而形成新的种群。

替换策略如下:a)判断子染色体是否比父代优,若是则进入 b),否则抛弃;b)判断子染色体在种群中出现过,即要求种群中的每条染色体的唯一性,若子染色体没有在种群中出现过则替换种群中适应度最差的染色体,否则抛弃。

2.2.5 适应度函数

染色体的适应度函数定义为染色体的路径长度的倒数,主要是用来评价当前染色体是否满足驾驶员对准最短路径的要求。适应度越大表示染色体的适应度越高,反之染色体的适应度越低。

2.3 遗传算法演化过程

每次在司机查询可供自主选择的诱导路径时,本遗传算法启动运行,基于初始种群产生的每条染色体都要进行如图2所示的演化过程。

3 实验结果与分析

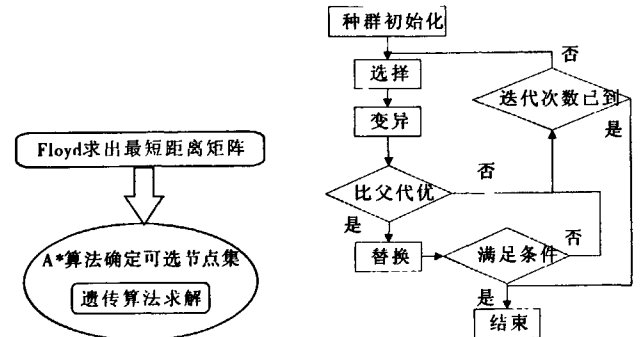
为了验证本文提出的混合算法的可行性和效率,已在 GIS 软件平台 MapX 的支持下,用开发工具 VC++ 6.0 将算法编程实现。仿真实验所用的数据是广州市某部分地区道路交通网络,此交通网络共有 405 个节点,593 条弧边。

3.1 λ 的取值与能获得染色体个数的关系

为了获得 λ 的取值与染色体个数的关系,在实验时,对每

种不同的起讫点之间的最短距离进行 10 次实验。在实验过程中,每次遗传算法都尽可能获得更多的染色体,但不染色体进行优化。图 3 显示了这种关系的走势。在图中,横坐标表示起讫点之间的距离(单位:m),纵坐标表示获得染色体的平均个数(单位:个)。

从图 3 中可知,算法获得的最多染色体个数不仅与 λ 的取值有关,还与起讫点之间的最短距离有关。具有如下关系:



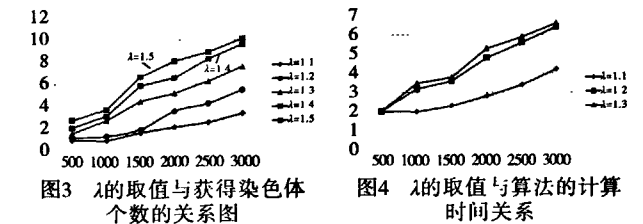
a) 相同最短距离的起讫点之间, λ 的取值越大, 能获得的染色体个数越多。由于 λ 的取值越大, 算法中节点的可选范围增加, 这是合理的。

b) 随着起讫点之间的最短距离的增加, 对于一给定 λ 的取值, 能获得的染色体个数也在增加。

由于给司机提供太多的路径没有太大的意义, 所以后面的实验中混合算法只求出四条准最短路径供司机选择。同时, 如果 λ 的取值太大对司机的意义不大, 所以在后面的实验中只分别取 $\lambda = 1.1, 1.2$ 和 1.3 。

3.2 λ 的取值与算法的计算时间关系

对上面的实验进行改进, 此时染色体的个数限制在四个, 并且对每条染色体进行优化, 以达到满足适应度函数。此时也对每种不同的起讫点之间的最短距离进行 10 次实验。图 4 是实验结果。在图中, 横坐标表示起讫点之间的距离(单位:m), 纵坐标表示算法的平均时间(单位:ms)。



从图 4 中可知, 算法计算时间不仅与 λ 的取值有关, 还与起讫点之间的最短距离有关。具有如下关系:

a) 对于最短距离相同的起讫点之间, λ 的取值越大, 算法的计算时间越长。这是由于算法的计算空间增加的原因而导致的。

b) 对于一给定 λ 的取值, 随着起讫点之间的最短距离的增加, 算法的计算时间也在增加。这应该也是由于计算量的增加而导致的。

3.3 对比实验

为了比较本文提出的混合算法与现有混合遗传算法, 再做如下实验。

本文提出的混合算法实验说明如下:

a) 种群初始化时染色体个数最多为 4, 如果重复过程中不

能得到新的染色体的次数达到 10 次时, 也停止种群的初始化。

b) 染色体变异的过程中, 当某条染色体连续 100 代不能优化, 停止本条染色体的优化, 最大迭代代数为 300。

c) 表 1 ~ 3 中, 混合算法最短距离表示种群中适应度最好的染色体的路径长度, 混合算法最远距离表示种群中适应度最差的染色体的路径长度。

现有混合遗传算法实验的说明如下:

a) 采用文献[3]中的现有混合演化算法, 但其模型采用本文中所述模型。

b) 取交叉概率 $pc = 0.85$, 变异率 $pm = 0.02$, 最大迭代次数为 300 次。

此外, 为了测试混合算法的性能, 针对 λ 不同进行了三组实验, 得到如下数据:

实验 1 取 $\lambda = 1.1$ 时, 两算法的对比实验结果如表 1 所示。

实验 2 取 $\lambda = 1.2$ 时, 对比实验结果如表 2 所示。其中与表 1 得到的不同结果部分用粗体表示, 限于篇幅省去了与表 1 中相同的第三列和最后两列, 下同。

实验 3 取 $\lambda = 1.3$ 时, 对比实验结果如表 3 所示。其中与表 2 得到的不同结果部分用斜体表示。

表 1 取 $\lambda = 1.1$ 时的两算法的结果比较

起点 编号	终点 编号	起、终点 最短 距离/m	本文混合 算法最短 距离/m	本文混合 算法最差 距离/m	得到染色 体个数	混合算 法平均 耗时/ms	现有混合 遗传算法 最短距离/m	现有混合 遗传算法 平均耗时/ms
43036	43052	543.163	543.163	543.163	1	2	543.163	34
44221	44237	550.061	550.061	550.061	1	2	550.061	52
43033	43048	814.722	814.722	814.722	1	2	814.722	47
44058	44237	1802.064	1802.064	1823.837	2	3	1802.064	54
44018	54218	2042.55	2042.55	2206.89	3	3	2042.55	95
43056	44145	2170.779	2170.779	2345.354	3	4	2170.779	87
54083	43011	2585.164	2585.164	2669.52	4	4	2669.52	86

表 2 取 $\lambda = 1.2$ 时(与 $\lambda = 1.1$) 的比较结果

起点 编号	终点 编号	混合算法 最短距离/m	混合算法 最差距离/m	得到染色 体个数	混合算法 平均耗时/ms
43036	43052	543.163	543.163	1	2
44221	44237	550.061	550.061	1	2
43033	43048	814.722	949.419	2	3
44058	44237	1802.064	1823.837	2	3
44018	54218	2042.55	2206.89	3	4
43056	44145	2170.779	2497.946	4	5
54083	43011	2585.164	2669.52	4	5

表 3 取 $\lambda = 1.3$ (与 $\lambda = 1.2$) 时的比较结果

起点 编号	终点 编号	混合算法 最短距离/m	混合算法 最差距离/m	得到染色 体个数	混合算法 平均耗时/ms
43036	43052	543.163	543.163	1	2
44221	44237	550.061	550.061	1	2
43033	43048	814.722	949.419	2	2
44058	44237	1802.064	1823.837	2	2
44018	54218	2042.55	2206.89	3	3
43056	44145	2170.779	2323.57	4	3
54083	43011	2585.164	2669.52	4	4

以上三组实验结果表明:

a) 不管 λ 的取值如何, 与现有混合遗传算法相比, 该混合算法都有相当高的求解效率。

b) 传统的 Dijkstra 算法只能求出一条最短路径, 而本文算

法可以求出多条准最短路径,其中也可能包含最短路径。

c)实验中,本文算法设定的迭代连续100次和迭代最多次数定在300与路网的大小和起始节点到目的节点的距离有关,不同的规模可根据情况作调整。

图5~8是 $\lambda = 1.2$ 时本文提出的算法获得的从起点44 018到终点54 218的三条不同路径。

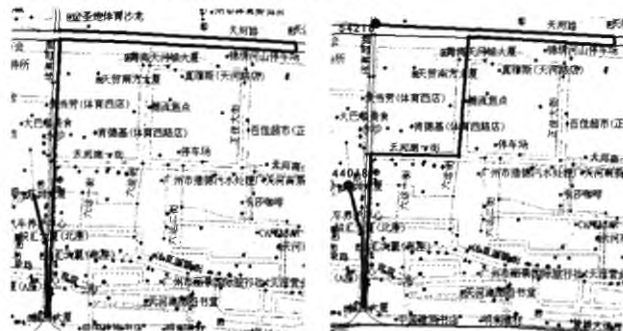


图5 含有18个点的路径

图6 含有19个点的路径



图7 含有18个点的另一路径

由于本文算法提供了多条路径,司机可以选择一条比较适合自己的路径。司机选择路径的主观性也在一定程度上避免了都走同一路径而可能导致的路段堵塞,从而使得司机尽量在预计的时间内到达目的地。

4 结束语

遗传算法中的种群初始化一直是其应用于智能交通中最短路径问题的瓶颈,本文提出把Floyd算法和A*算法用到遗传

算法的种群初始化以及种群进化过程中。虽然Floyd算法效率较低,但在本文设计的路径有的系统中对每个给定城市道路图仅需初始化时运行一次,保存下得到的最短距离矩阵。而在司机提出导航查询要求求解多准最短路径时,直接运行本文的遗传算法和A*组成的混合算法,均无须重新运行Floyd算法。因此本算法的特点有:

a)大幅度缩小了遗传算法的搜索范围,从而提高了遗传算法应用于智能交通的效率。

b)结合了Floyd算法和A*算法的优点。

由实验结果可知,本方法运行高效,算法的执行时间与起讫点之间的距离以及对准最优路径的要求(λ 的取值)有关。最后的数值实验部分,假设司机对准最短路径的要求不同,分别求得一组准最短路径供司机选择,实验结果表明,本文设计的算法是可行而高效的。

参考文献:

- [1] BILAL J M, JACOB D. Intelligent traffic control system[C]//Proc of IEEE International Conference on Signal Processing and Communications. 2007:496-499.
- [2] ZHANG Kai-sheng, GAO Ming-xing, MA Wen-bo. Study on urban traffic intelligent guidance system[C]//Proc of the 3rd International Conference on Information Science and Management Engineering. 2010:165-168.
- [3] 张玲,高淑萍,王进鑫.动态多路径选择的混合演化算法[J].计算机工程与应用,2009,45(8):204-207.
- [4] 李威武,王慧,钱积新.智能交通系统中路径诱导算法研究进展[J].浙江大学学报,2005,39(6):819-825.
- [5] AN Jian-cheng, JIN Hai-juan, LIU Chao-hui. Improved real-coding genetic algorithm[C]//Proc of the 3rd International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing. 2009:696-698.
- [6] LIN Chu-shing, YU Jui-ling, LIU Jung-chun, et al. Genetic algorithm for shortest driving time in intelligent transportation systems[C]//Proc of the 3rd International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering. 2008:402-406.
- [7] 张水舰,李永树.利用GA和GIS的动态路径诱导算法[J].武汉大学学报,2009,34(12):94-97.

(上接第3283页)

- [2] WOLPAW J R, BIRBAUMER N, McFARLAND D J, et al. Brain-computer interfaces for communication and control[J]. Clinical Neurophysiology, 2002, 113(6):767-791.
- [3] QIN Yu-lin, BOTHELL D, ANDERSON J R. ACT-R meets fMRI[C]//Proc of the 1st WICI International Conference on Web Intelligence Meets Brain Informatics. Berlin: Springer-Verlag, 2007: 205-222.
- [4] ANDERSON J R. Human symbol manipulation within an integrated cognitive architecture[J]. Cognitive Science, 2005, 29(3):313-341.
- [5] ANDERSON J R. Using brain imaging to guide the development of a cognitive architecture[M]. New York: Oxford University Press, 2007: 49-62.
- [6] SILVA A C, KORETSKY A P, DUYN J H. Functional MRI impulse response for BOLD and CBV contrast in rat somatosensory cortex[J]. Magnetic Resonance in Medicine, 2007, 57(6):1110-1118.
- [7] COHEN M S. Parametric analysis of fMRI data using linear systems methods[J]. NeuroImage, 1997, 6(2):93-103.
- [8] DALE A M, BUCKNER R L. Selective averaging of rapidly presented

individual trials using fMRI[J]. Human Brain Mapping, 1997, 5(5):329-340.

- [9] ANDERSON J R, DANKER J F. The roles of prefrontal and posterior parietal cortex in algebra problem-solving: a case of using cognitive modeling to inform neuroimaging data[J]. NeuroImage, 2007, 35(3):1365-1377.
- [10] ANDERSON J R, FINCHAM J M, QIN Yu-lin, et al. A central circuit of the mind[J]. Trends in Cognitive Science, 2008, 12(4): 136-143.
- [11] ANDERSON J R. How can the human mind occur in the physical universe[M]. New York: Oxford University Press, 2007.
- [12] WEISKOPF N, SITARAM R, JOSEPHS O, et al. Real-time functional magnetic resonance imaging: methods and applications[J]. Magnetic Resonance Imaging, 2007, 25(6):989-1003.
- [13] MILLER G. Neuroimaging: growing pains for fMRI[J]. Science, 2008, 320(5882):1412-1414.
- [14] LOGOTHETIS N K. What we can do and what we cannot do with fMRI[J]. Nature, 2008, 453(7197):869-878.
- [15] LEI Xu, QIU Chuan, XU Peng, et al. A parallel framework for simultaneous EEG/fMRI analysis: methodology and simulation[J]. NeuroImage, 2010, 52(3):1123-1134.

作者：[叶金平](#)，[朱征宇](#)，[王丽娜](#)，[刘琳](#)，[YE Jin-ping](#)，[ZHU Zheng-yu](#)，[WANG Li-na](#)，[LIU Lin](#)
作者单位：[重庆大学计算机学院, 重庆, 400044](#)
刊名：[计算机应用研究](#)[ISTIC](#)[PKU](#)
英文刊名：[Application Research of Computers](#)
年，卷(期)：2011, 28 (9)
被引用次数：5次

引证文献(4条)

1. [吴正言, 莫时旭](#) [交通拥堵情况下路径诱导方案的生成方法](#)[期刊论文]-[武汉理工大学学报（交通科学与工程版）](#) 2015 (01)
2. [李超燕, 裴林滔](#) [基于宏与全局变量Floyd并行算法的性能对比](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2014 (16)
3. [段锁林, 王琳琳](#) [智能轮椅路径规划优化问题的研究](#)[期刊论文]-[计算机仿真](#) 2015 (03)
4. [黄书力, 胡大裘, 蒋玉明](#) [经过指定的中间节点集的最短路径算法](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2015 (11)

引用本文格式：[叶金平](#). [朱征宇](#). [王丽娜](#). [刘琳](#). [YE Jin-ping](#). [ZHU Zheng-yu](#). [WANG Li-na](#). [LIU Lin](#) [智能交通中的高效多准最短路径混合算法](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2011 (9)