

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2016 年 12 月 1 日 (01.12.2016)



(10) 国际公布号
WO 2016/188151 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06F 19/00 (2011.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/073858
- (22) 国际申请日: 2016 年 2 月 16 日 (16.02.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
2015102747112 2015 年 5 月 26 日 (26.05.2015) CN
- (71) 申请人: 深圳大学 (SHENZHEN UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。
- (72) 发明人: 李荣华 (LI, Ronghua); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。邱宇轩 (QIU, Yuxuan); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。毛睿 (MAO, Rui); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。秦璐 (QIN, Lu); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。钟舒馨 (ZHONG, Shuxin); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。
- (74) 代理人: 深圳市兴科达知识产权代理有限公司 (CHINA ZKD IP LAW FIRM); 中国广东省深圳市南山区科技园高新南一道 008 号创维大厦 A602, Guangdong 518000 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

(54) Title: SEARCHING METHOD AND DEVICE FOR OPTIMAL ROUTE OF MULTIPLE MEETING POINT APPLICABLE FOR REAL-TIME RIDE-SHARING

(54) 发明名称: 应用于实时合乘的最优多会合点路径搜索方法及装置

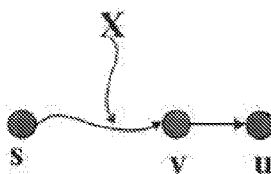


图 5

(57) Abstract: A searching method and device for an optimal route of multiple meeting points applicable for real-time ride-sharing. The method comprises: obtaining preset route searching information comprising a graph $G = (V, E, W)$, a point set of U , a starting point s , and a destination point t ; initializing a queue Q and a set D , and adding an initial state $((s, \emptyset), 0)$ into the queue Q ; and if the queue Q is not empty, then repeating the following steps: (A) popping a first element $((v, X), cost)$ in the queue Q ; (B) returning $cost$ if both $v = t$ and $X = U$; (C) adding a state $((v, X), cost)$ into the set D ; (D) iterating through all edges (v, u) to update $(Q, D, (v, X), cost + a \times w(v, u))$; (E) iterating through all points x in the set $U - X$ to update $(Q, D, (v, X \cup \{x\}), cost + (1 - a) \times dist(x, v))$; and obtaining an optimal route upon completion of the iteration. The searching method for an optimal route of multiple meeting points can efficiently solve the technical difficulties unresolved in current real-time ride-sharing applications, namely, how to rapidly determine an optimal route for a driver to pick up all matched passengers after the driver and the passengers are matched, thus bridging the gap in the related art of the current real-time ride-sharing applications.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2016/188151 A1



一种应用于实时合乘的最优多会合点路径搜索方法及装置，所述方法包括：获取路径搜索预设信息，包括：图 $G=(V,E,W)$ ，点集 U ， α ，出发点 s ，目的点 t ；初始化队列 Q 和集合 D ，将初始状态 $((s,\emptyset),0)$ 加入队列 Q ；当所述队列 Q 不为空时重复以下步骤：A、弹出队列 Q 中第一个元素 $((v,X),cost)$ ；B、如果 $v=t$ 同时 $X=U$ 则返回 $cost$ ；C、将状态 (v,X) 加入集合 D ；D、对于集合 E 里的所有 (v,u) 边循环，更新 $(Q,D,(v,X),cost+\alpha\times w(v,u))$ ；E、对于集合 $U-X$ 里的所有 x 点循环，更新 $(Q,D,(v,X\cup\{x\}),cost+(1-\alpha)\times dist(x,v))$ ；循环结束后得到最优路径。最优多会合点路径搜索方法能够高效地解决目前实时合乘应用中尚未解决的技术难点，即，在匹配好了驾驶者和乘客之后，如何快速地确定最优的路径让驾驶者可以接上所有的匹配的乘客，填补了目前实时合乘应用中相关技术的空白。

应用于实时合乘的最优多会合点路径搜索方法及装置

技术领域

本发明涉及实时合乘应用技术领域，尤其涉及一种应用于实时合乘的最优多会合点路径搜索方法及装置。

背景技术

实时合乘，又被称作动态拼车，是现代交通系统中一种颇具发展前景的节省燃油并减轻交通拥堵的方式。最近一段时间以来，许多实时合乘应用，诸如 Uber（www.uber.com）、Lyft（www.lyft.com），在智能手机用户中越来越受欢迎，因为这可以帮助他们规划旅程。在典型的实时合乘系统中，有两种实体：驾驶者和乘客。乘客可以通过他们带定位功能的智能手机来预定汽车。他们需要提供他们的地理位置信息给系统，随后系统动态地安排驾驶者为这些乘客提供合乘服务。

架设一个这样的实时合乘系统不是一件容易的事。主要的技术难点有两个：1、如何快速找到可以服务进来的用户请求的驾驶者；2、匹配好了驾驶者和乘客之后，又该如何快速地确定最优的路径让驾驶者可以接上所有的匹配的乘客。在文献里，现有的一些研究主要集中在解决第一个问题。

例如，在文献[2]“S. Ma, Y. Zheng, and O. Wolfson, “T-share: A large-scale dynamic taxi ridesharing service,” in 2013 IEEE 29th International Conference on Data Engineering (ICDE), 2013, pp. 410–421”和文献[3] “S. Ma and O. Wolfson, “Analysis and evaluation of the slugging form of ridesharing,” in Proceedings of the 21st ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic

Information Systems, 2013, pp. 64–73”中，Shuo Ma 等人做出了一个叫 T-share 的系统，用于的士合乘应用中，驾驶者和乘客的实时匹配。在文献[1]（Y. Huang, R. Jin, F. Bastani, and X. S. Wang, “Large Scale Real-time Ridesharing with Service Guarantee on Road Networks,” ArXiv130266666 Cs, Feb. 2013）中，Yan Huang 等人提出了一种高效的活树算法来支持一种有服务保证的驾驶者和乘客之间的匹配。这几种算法的工作都集中在开发一种实用的算法来高效地解决驾驶者和乘客之间的匹配问题，即上文所述的技术难点 1。而对于上文所述的技术难点 2，据我们所知，暂时还没有相关的研究见诸报道。相类似的研究有：OSR 问题、KOR 问题、合乘查询问题以及 OMP 问题。

OSR 问题，即最优序列路径问题（optimal sequenced route），该问题分别在文献[4]（F. Li, D. Cheng, M. Hadjieleftheriou, G. Kollios, and S.-H. Teng, “On trip planning queries in spatial databases,” in Advances in Spatial and Temporal Databases, Springer, 2005, pp. 273–290）和文献[5]（M. Sharifzadeh, M. Kolahdouzan, and C. Shahabi, “The optimal sequenced route query,” VLDB J., vol. 17, no. 4, pp. 765–787, 2008）中被独立提出，并且在之后的文献中被推广。根据[5]中的定义，OSR 问题的目标是找出一条有着最短距离的路径，这条路径从一个源点出发，按照一定的顺序经过数个有类型的点，这个一定的顺序由点的类型施加，最终到达一个目标点。OSR 问题同我们的问题是不同的，主要有以下三个不同点：1、在我们的问题中，这些节点是没有任何类型信息的，而 OSR 经过的一系列点是分属不同的类型的。2、不同于 OSR 问题，我们的问题并不会给最优路径强加一个类型序列的约束。3、OSR 问题里，最优路径必须经过这些特定类型的节点，而我们的问题并不需要经过特定的点。以图 1 为例子。假设我们的源节点和目的节点分别为 v_1 和 v_{10} ，我们假设乘客到路径和驾驶者沿着

路径行驶的花费，所占的权重相同，并且假设乘客在 v_6 点，即 $U = \{v_6\}$ 。那么对于这个问题，OSR 求解的结果是路径 $(v_1, v_3, v_6, v_8, v_{10})$ ，而我们这个问题的结果应该是 (v_1, v_3, v_7, v_{10}) 。因为结果如此地不同，所以之前用于解决的 OSR 问题的技术（参阅文献[4]，文献[5]，文献 [9]（M. Sharifzadeh and C. Shahabi, “Processing optimal sequenced route queries using voronoi diagrams,” *GeoInformatica*, vol. 12, no. 4, pp. 411–433, 2008.））都不能被用于解决本问题。

KOR 问题（参阅文献[10]：X. Cao, L. Chen, G. Cong, and X. Xiao, “Keyword-aware optimal route search,” *Proc. VLDB Endow.*, vol. 5, no. 11, pp. 1136–1147, 2012），即关键词发现最优路径问题（keyword-aware optimal route）。KOR 问题旨在找到一条最优的 $s \sim t$ 路径，该路径经过的点覆盖了所有给定的关键词，而且它同时满足一些既定的约束。很明显，根据定义就可以知道我们的问题跟 KOR 问题有着根本的区别，故而[10]中 KOR 问题的方法不可以用于解决我们的问题。

合乘查询问题（ride-sharing query），在文献[11]（F. Drews and D. Luxen, “Multi-hop ride sharing,” in *Sixth Annual Symposium on Combinatorial Search*, 2013.），文献[12]（R. Geisberger, D. Luxen, S. Neubauer, P. Sanders, and L. Volker, “Fast detour computation for ride sharing,” *ArXiv Prepr. ArXiv09075269*, 2009）中被提出。该问题的目标在于找到一条最优 $s \sim t$ 迂回路径，该路径包含一子路径 $s' \sim t'$ ，这里的 s' 和 t' 在查询中给出。明显地，合乘查询问题的最优 $s \sim t$ 迂回路径经过给定的点 s' 和 t' ，而我们的问题里的路径并不需要经过查询点。因为这一点根本的不同，[11], [12]里给出的方法不能被用于我们的问题。

OMP 问题，最优会合点（optimal meeting point）问题（参阅文献[13]（Z. Xu and H.-A. Jacobsen, “Processing proximity relations in road networks,” in

Proceedings of the 2010 ACM SIGMOD international conference on management of data, 2010, pp. 243–254), 文献 [14] (D. Yan, Z. Zhao, and W. Ng, “Efficient algorithms for finding optimal meeting point on road networks,” Proc. VLDB Endow., vol. 4, no. 11, 2011)). 该问题给定一个查询点集, 要求一个集合点, 使得所有的查询点到集合点的花费总和最小。OMP 问题也明显不同于我们的问题。一方面, OMP 问题旨在找到一个集合点, 而我们的问题要求的结果是一条 $s \sim t$ 路径。另一方面, 在我们的问题里, 目标函数包含两个部分——路径的长度和所有查询点到路径的距离。而在 OMP 问题里, 目标函数只由查询点到集合点的距离决定。因为这些不同, OMP 问题里现有的方法不能被用于求解我们的问题。而且, [14] 还通过一种不同与我们所用的证明来说明 OMP 问题的集合点必然为图上的一个节点。

此外, 值得注意的是, 源节点和目的节点之间的最短路径明显不是我们问题的解。故而, Dijkstra 算法以及其他许多基于索引的最短路径解法都不能被应用于我们的问题。

发明内容

本发明的目的在于提供一种应用于实时合乘的最优多会合点路径搜索方法及装置, 能够快速确定最优的路径以让驾驶者可以接上所有的匹配的乘客。

本发明的目的是通过以下技术方案实现的。

一种应用于实时合乘的最优多会合点路径搜索方法, 包括:

获取路径搜索预设信息, 包括: 图 $G=(V,E,W)$, 点集 U , α , 出发点 s , 目的点 t ; 其中, V 、 E 和 W 分别为点集、边集和权值的集合; $U \subseteq V$, 为顶点的子集; 参数 $\alpha \in (0,1)$, 用于平衡图 G 上 $s \sim t$ 路径 P_{st} 和 U 中的点到路径 P_{st} 之间的距离

和的比重；

初始化队列 Q 和集合 D ，将初始状态 $((s, \emptyset), 0)$ 加入队列 Q ；

当所述队列 Q 不为空时重复以下步骤：

A、弹出队列 Q 中第一个元素 $((v, X), cost)$ ；其中 v 为子路径的终点， X 为纳入子路径的 U 的子集， $cost$ 为状态 (v, X) 的花费。

B、如果 $v=t$ 同时 $X=U$ 则返回 $cost$ ；

C、将状态 (v, X) 加入集合 D ；

D、对于集合 E 里的所有 (v, u) 边循环，更新 $(Q, D, (v, X), cost + \alpha \times w(v, u))$ ；
 $w(v, u)$ 为边 (v, u) 的权值；

E、对于集合 $U - X$ 里的所有 x 点循环，更新
 $(Q, D, (v, X \cup \{x\}), cost + (1 - \alpha) \times dist(x, v))$ ；其中 $dist(x, v)$ 为点 x 到点 v 的距离。

循环结束后得到最优路径。

优选地，所述方法中，若在所述循环结束还没有找到最优解，则返回 ∞ 。

优选地，所述方法中，更新 $(Q, D, (v, X), cost)$ 的操作如下：

当状态 $(v, X) \in D$ 时，直接返回；

当状态 $(v, X) \notin Q$ 时，将状态 $((v, X), cost)$ 压入队列 Q ；

当 $cost < Q.cost((v, X))$ 时， $Q.update((v, X), cost)$ 。

一种应用于实时合乘的最优多会合点路径搜索装置，适用于移动终端，所述装置包括：

搜索信息输入单元：用于获取路径搜索预设信息，包括：图 $G=(V, E, W)$ ，点集 U ， α ，出发点 s ，目的点 t ；其中， V 、 E 和 W 分别为点集、边集和权值的集合； $U \subseteq V$ 为顶点的子集；参数 $\alpha \in (0, 1)$ ，用于平衡路径 P_{st} 和 U 中的点到 P_{st} 之间的距离和的比重；

路径搜索单元：用于根据所述路径搜索预设信息，通过最好优先的动态规划策略，搜索在所述图 G 中从出发点 s 到目的点 t 的最优路径；

搜索结果输出单元：用于输出显示所述路径搜索单元所搜索到的最优路径。

优选地，所述移动终端包括：移动电话、智能电话、笔记本电脑、个人数字助理、平板电脑。

本发明实施例与现有技术相比，本发明具有以下优点：

本发明提出的最优多会合点路径搜索方法能够高效地解决目前实时合乘应用中尚未解决的技术难点，即，在匹配好了驾驶者和乘客之后，如何快速地确定最优的路径让驾驶者可以接上所有的匹配的乘客，填补了目前实时合乘应用中相关技术的空白。

附图说明

图 1 是本发明实施例提供的一个公路网络的示意图；

图 2 是本发明实施例提供的一条路径示意图，假定其会合点 x 落在边上；

图 3 是本发明实施例构造的第一条路径示意图，假定其会合点为节点 r ；

图 4 是本发明实施例构造的第二条路径示意图，假定其会合点为节点 v ；

图 5 是本发明实施例提供的对状态 (v, X) 采用边增长的扩展方式示意图；

图 6 是本发明实施例提供的对状态 (v, X) 采用点增长的扩展方式示意图。

具体实施方式

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

针对背景技术中没有用于解决实时合乘问题中第二个技术难点的问题，本发明 1) 给出了第二个技术难点的具体定义，并将其命名为 OMMPR (optimal multi-meeting-point query, 最优多会合点路径搜索) 问题; 2) 提出了一种用于解决 OMMPR 问题的算法，下文称之为 OMMPR 算法。该算法能够有效地求解实时合乘问题中的第二个技术难点，即 OMMPR 问题。

一、定义 OMMPR 问题。

本发明将公路网络抽象成为一个加权图 $G(V, E, W)$ ，这里 V ， E 和 W 分别为点集，边集和权值的集合。令 $n = |V|$ 表示点的数目， $m = |E|$ 表示边的数目。边 (v_i, v_j) 上的权值 $w(v_i, v_j)$ 表示点 v_i 到点 v_j 之间的距离。这里将图 G 作为一个无向图来处理，但是实际上本发明可以被用于处理有向图。本发明将 $s \sim t$ 路径记为 $P_{st} = (s, v_1, \dots, v_{k-1}, t)$ 。令 $v_0 = s, v_k = t$ ， $V_{P_{st}}$ 为 P_{st} 上的节点的集合，即 $V_{P_{st}} = \{v_0, v_1, \dots, v_k\}$ 。则可以将路径上的总花费记为 $c(P_{st}) = \sum_{(v_i, v_{i+1}) \in P_{st}} w(v_i, v_{i+1})$ 。注意这里的路径不一定是一条无重复顶点的简单路径。令 $U \subseteq V$ 为顶点的子集，对于每一个 $u \in U$ ，我们定义从节点 u 到路径 P_{st} 上的点集 $V_{P_{st}}$ 的距离为：

$$d(u, V_{P_{st}}) = \min_{v_i \in V_{P_{st}}} \{dist(u, v_i)\}$$

这里的 $dist(u, v_i)$ 是从节点 u 到节点 v_i 的距离。很明显的，这里的 $d(u, V_{P_{st}})$ 表明了从节点 u 到路径 P_{st} 的距离。如果一个节点 $v \in V_{P_{st}}$ ，并且有 $dist(u, v) = d(u, V_{P_{st}})$ ，那么本发明就称节点 v 为节点 u 与路径 P_{st} 的会合点。后面将会证明在本发明的问题里，会合点必然为图上的一个点。

本发明定义 $d(U, V_{P_{st}})$ 为集合 U 中所有的点到路径 P_{st} 的距离总和，即 $d(U, V_{P_{st}}) = \sum_{u \in U} d(u, V_{P_{st}})$ 。则对于给定的 s, t, U 和 α ，可以构造出路径 P_{st} 的平均花费函数：

$$f(P_{st}) = \alpha \times c(P_{st}) + (1 - \alpha) \times d(U, V_{P_{st}})$$

这里的参数 $\alpha \in (0,1)$ ，用于平衡路径 P_{st} 和 U 中的点到 P_{st} 之间的距离和的比重。在这里考虑 U 中所有的点到 P_{st} 之间的距离占有相同的比重 $(1-\alpha)$ 。但是本发明的方法可以被扩展为支持处理不同点不同比重的情况。明显地，在实时合乘应用中， $c(P_{st})$ 代表了驾驶者的花费， $d(U, V_{P_{st}})$ 代表了所有乘客的花费。OMMPR 搜索的目标就是在图 G 中找到一条从源节点 s 到目的节点 t 的路径 P_{st} ，使得 $f(P_{st})$ 取得最小。

OMMPR 搜索的正式定义如下：

对于给定的路网 $G=(V,E,W)$ ，OMMPR 搜索 $Q(s,t,U,\alpha)$ 的目标是找到一条图 G 上的 $s \sim t$ 路径 P_{st} ，使得 $f(P_{st})$ 最小，即

$$\begin{aligned} \min f(P_{st}) \\ s.t. \quad P_{st} \in \mathbf{P}_{st} \end{aligned}$$

这里的 $\mathbf{P}_{st}$ 是所有从 s 到 t 的路径的集合。

前面提到，会合点必然为图上的一个点。下面，将给出证明。

重述：对于给定的一个路网 $G=(V,E,W)$ 和一个 OMMPR 搜索 $Q(s,t,U,\alpha)$ ，所有的节点 $u \in U$ 和最优路径 P_{st} 的会合点必然在集合 V 中。

证明：利用反证法来证明这个问题。对于每一个节点 $u \in U$ 和最优 $s \sim t$ 路径 P_{st} ，不失一般性，假定 u 和 P_{st} 的会合点落在边 (r,v) 上，如图 2 所示。将该会合点记为 x 。则有：

$$f(P_{st}) = \alpha(c(P_{sr}) + c(P_{rt}) + 2w(r,x)) + (1-\alpha)(dist(u,v) + w(v,x))。$$

为了获得矛盾，构造两条路径 P_{st}^1 和 P_{st}^2 ，分别如图 3 和图 4 所示。 u 和 P_{st}^1 的会合点为节点 r ， u 和 P_{st}^2 的会合点为节点 v 。则有

$$f(P_{st}^1) = \alpha(c(P_{sr}) + c(P_{rt})) + (1-\alpha)(dist(u,v) + w(v,r))$$

$$f(P_{st}^2) = \alpha(c(P_{sr}) + c(P_{rt}) + 2w(r,v)) + (1-\alpha)(dist(u,v))$$

做差，可以求出：

$$f(P_{st}) - f(P_{st}^1) = (3\alpha - 1)w(r, x) \text{ 和 } f(P_{st}) - f(P_{st}^2) = (1 - 3\alpha)w(v, x)。$$

故而有 $f(P_{st}) - \min\{f(P_{st}^1), f(P_{st}^2)\} = \max\{(3\alpha - 1)w(r, x), (1 - 3\alpha)w(v, x)\} \geq 0$ 。这意味着可以 P_{st}^1 和 P_{st}^2 中必有一条路径比 P_{st} 更优，这与条件 P_{st} 是最优路径相矛盾。所以命题得证。

二、针对 OMMPR 问题，本发明提出了一种高效的算法——OMMPR 算法。

OMMPR 算法基于动态规划，利用 (u, X) 来表示一个状态，这里的 u 表示一条路径的终节点， X 是 U 的一个子集。该算法通过扩展一条路径的终节点和 U 的子集 X 来寻找最优路径，当 $u=t, X=U$ 的时候，就取得了最优的路径。令 $f(u, X)$ 为一条 OMMPR 路径的平均花费，即 $f(u, X) = \alpha \times c(P_{su}) + (1 - \alpha) \times d(X, V_{p_{su}})$ 。当 $u=s$ 的时候，有 $f(s, X)$ 满足 $f(s, X) = (1 - \alpha) \times \sum_{x \in X} \text{dist}(x, s)$ 。因为当 $u=s$ 的时候，从 s 到 u 的路径只包含一个点 s ，所以路径上的花费为 0，而从 U 中节点到路径的花费和为 $\sum_{x \in X} \text{dist}(x, s)$ 。明显地，当 $X = \emptyset$ 时， $f(s, X) = f(s, \emptyset) = 0$ 。

对于每一个状态 (v, X) ，本发明有两种扩展方式，边增长（edge growing）和点增长（node growing）。在边增长时，本发明用一条边 $(v, u) \in E$ 来扩展状态 (v, X) 为新的状态 (u, X) 。在点增长时，本发明用每一个节点 $x \in U - X$ 来扩展状态 (v, X) 为新的状态 $(v, X \cup \{x\})$ 。则状态转移方程如下所示：

$$f(u, X) = \min\left\{\min_{(v, u) \in E}\{f(v, X) + \alpha \times w(v, u)\}, \min_{x \in X}\{f(u, X - \{x\}) + (1 - \alpha) \times \text{dist}(x, u)\}\right\}$$

上式的解释如下：令 P_{su} 表示从 s 出发到 u 结束，考虑点集 X 的最优的路径。 $f(u, X)$ 表示 P_{su} 的花费。则 $f(u, X)$ 可以通过以下两种方式获得。

1、边增长。对于集合 X 中的查询点和最优路径 P_{su} ，假设所有的会合点都在集合 $V_{p_{su}} - \{u\}$ 上。在这种情况下，可以通过扩展子路径 P_{sv} ，在它上面加上边 $(v, u) \in E$ ，来获得最优的路径 P_{su} 。因为此时所有的会合点都落在最优子路径 P_{sv} 上。图 5 展示了边增长的过程。很明显，此时有 $f(u, X) = \min_{(v, u) \in E}\{f(v, X) + \alpha \times w(v, u)\}$ 。

2、点增长。假设至少一个点 $x \in X$ 与最优路径 P_{su} 的会合点落在点 u 。在这种情况下，可以通过扩展考虑集合 $X - \{x\}$ 的最优路径 P_{su} 来获得考虑集合 X 的最优路径 P_{su} 。图 6 展示了点增长的过程。可以得到

$$f(u, X) = \min_{x \in X} \{f(u, X - \{x\}) + (1 - \alpha) \times \text{dist}(x, u)\}。$$

显然，本发明可以通过取上面两者的最小花费作为 $f(u, X)$ ，也就是上面的那个状态转移方程式。

基于上面的状态转移方程，本发明可以通过最好优先（best-first）的动态规划策略来求解 OMMPR 搜索问题。

OMMPR 算法的详细过程如下所示：

输入：图 $G = (V, E, W)$ ，点集 U ， α ，出发点 s ，目的点 t 。

输出：最小花费。

(1) 初始化队列 Q 和集合 D ，将初始状态 $((s, \emptyset), 0)$ 加入队列 Q 。

(2) 当队列 Q 不为空时重复以下步骤：

(2.1) 弹出队列 Q 中第一个元素 $((v, X), \text{cost})$ ；

(2.2) 如果 $v = t$ 同时 $X = U$ 则返回 cost ；

(2.3) 将状态 (v, X) 加入集合 D ；

(2.4) 对于集合 E 里的所有 (v, u) 边循环，

(2.4.1) 更新 $(Q, D, (v, X), \text{cost} + \alpha \times w(v, u))$ ；

(2.5) 对于集合 $U - X$ 里的所有 x 点循环，

(2.5.1) 更新

$(Q, D, (v, X \cup \{x\}), \text{cost} + (1 - \alpha) \times \text{dist}(x, v))$ 。

(3) 所有上述循环结束还没有找到最优解，则返回 ∞ 。

更新 $(Q, D, (v, X \cup X'), \text{cost}')$ 的操作如下：

当状态 $(v, X) \in D$ 时，直接返回；

当状态 $(v, X) \notin Q$ 时，将状态 $((v, X), cost)$ 压入队列 Q ；

当 $cost < Q.cost((v, X))$ 时， $Q.update((v, X), cost)$ 。

在上面的算法中，本发明定义了状态 (v, X) ，并用元组 $((v, X), cost)$ 来表示，这里的 $cost = f(v, X)$ ，表示从点 s 出发，到点 t 结束，考虑查询集合 X 的 OMMPR 问题的花费。在该算法里，本发明使用了一个优先队列 Q 来实现最好优先的策略。 Q 中的每一个元素都是一个元组 $((v, X), cost)$ 。在优先队列 Q 中，每个元素 $((v, X), cost)$ 中的 $cost$ 为优先序， $cost$ 最小的元素始终在队首。队列 Q 有三个操作，分别为弹出（pop），压入（push）和更新（update）。弹出操作将队首元素也就是 $cost$ 最小的元素从队列中出队。压入操作将一个元素压入队列当中。更新操作更新队列中一个元素的 $cost$ ，并且调整该队列，使得其保持优先顺序。算法中还使用了一个集合 D 来保存已经被计算过的状态。

相应地，本发明还提供了一种最优多会合点路径搜索装置，包括：

搜索信息输入单元：用于获取路径搜索预设信息，包括：图 $G=(V, E, W)$ ，点集 U ， α ，出发点 s ，目的点 t ；

路径搜索单元：用于根据所述路径搜索预设信息，通过最好优先的动态规划策略，搜索在所述图 G 中从出发点 s 到目的点 t 的最优路径；

搜索结果输出单元：用于输出显示最优路径；显示的方式可根据用户的使用习惯或者个性化需求采用不同的多种方式。

上述最优多会合点路径搜索装置可应用于各种移动终端，具体可以为移动电话、智能电话、笔记本电脑、个人数字助理、平板电脑，只要安装有实时合乘应用的终端均可使用本装置。

综上，上述算法高效地解决了实时合乘应用中的最优路径确定问题，填补

了现有技术的空白。下面将列举两个实例来对上述算法的应用进行说明。

实例一

本例中，通过介绍一个 OMMPR 问题的示例及其结果计算方法。考察图 1 所示的示例图，假设 $s = v_1$ ， $t = v_{10}$ ， $\alpha = 1/2$ ， $U = \{v_6\}$ 。则 OMMPR 搜索的最优路径为 $P_{st} = (v_1, v_3, v_7, v_{10})$ ，该路径的最优平均花费为 3，即 $f(P_{st}) = 3$ 。点 v_6 和路径 P_{st} 的相遇点为 v_3 ，因为路径 (v_6, v_3) 是从点 v_6 到集合 $V_{P_{st}}$ 的最短路径。

实例二

本例中，沿用实例 1 中的例子，演示 OMMPR 算法在图 1 中求解最优多会合点路径的算法流程。改变参数 s, t, α, U 后，算法流程与本例类似。

如图 1 中所示的示例图，假设 $s = v_1, t = v_{10}, U = \{v_6\}, \alpha = 1/2$ 。首先将元素 $((s, \emptyset), 0)$ 加入优先队列 Q 。在第一次迭代中，花费最小的元素 $((s, \emptyset), 0)$ 从队列 Q 中弹出。接下来，算法分别用边增长和点增长来扩展状态 $(s, \emptyset)$ 。边增长时，对于所有的边 $(s, v) \in E$ ，扩展该边。点增长时，对于所有的点 $x \in U - \emptyset$ ，这里就只有一个点 v_6 ，扩展这个点。扩展结果生成了 4 个状态 $((v_2, \emptyset), 1)$ ， $((v_3, \emptyset), 1)$ ， $((v_4, \emptyset), 1/2)$ 和 $((v_1, \{v_6\}), 3/2)$ ，并将它们加入队列 Q 。类似地，在第二轮迭代中，该算法弹出新的花费最小的元素 $((v_4, \emptyset), 1/2)$ ，并以相似的方式扩展状态 $(v_4, \emptyset)$ 。当算法弹出状态 $(v_{10}, \{v_6\})$ 时，算法结束。则最优花费为 3，最优路径为 (v_1, v_3, v_7, v_{10}) 。

以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1、一种应用于实时合乘的最优多会合点路径搜索方法，其特征在于，该方法包括：

获取路径搜索预设信息，包括：图 $G=(V,E,W)$ ，点集 U ， α ，出发点 s ，目的点 t ；其中， V 、 E 和 W 分别为点集、边集和权值的集合； $U \subseteq V$ ，为顶点的子集；参数 $\alpha \in (0,1)$ ，用于平衡图 G 上 $s \sim t$ 路径 P_{st} 和 U 中的点到路径 P_{st} 之间的距离和的比重；

初始化队列 Q 和集合 D ，将初始状态 $((s, \emptyset), 0)$ 加入队列 Q ；

当所述队列 Q 不为空时重复以下步骤：

A、弹出队列 Q 中第一个元素 $((v, X), cost)$ ；其中 v 为子路径的终点， X 为纳入子路径的 U 的子集， $cost$ 为状态 (v, X) 的花费。

B、如果 $v=t$ 同时 $X=U$ 则返回 $cost$ ；

C、将状态 (v, X) 加入集合 D ；

D、对于集合 E 里的所有 (v, u) 边循环，更新 $(Q, D, (v, X), cost + \alpha \times w(v, u))$ ；
 $w(v, u)$ 为边 (v, u) 的权值；

E、对于集合 $U-X$ 里的所有 x 点循环，更新 $(Q, D, (v, X \cup \{x\}), cost + (1-\alpha) \times dist(x, v))$ ；其中 $dist(x, v)$ 为点 x 到点 v 的距离。

循环结束后得到最优路径。

2、如权利要求 1 所述的最优多会合点路径搜索方法，其特征在于，所述方法中，若在所述循环结束还没有找到最优解，则返回 ∞ 。

3、如权利要求 1 所述的最优多会合点路径搜索方法，其特征在于，所述方法中，更新 $(Q, D, (v, X), cost)$ 的操作如下：

当状态 $(v, X) \in D$ 时，直接返回；

当状态 $(v, X) \notin Q$ 时，将状态 $((v, X), cost)$ 压入队列 Q ；

当 $cost < Q.cost((v, X))$ 时, $Q.update((v, X), cost)$ 。

4、一种应用于实时合乘的最优多会合点路径搜索装置, 适用于移动终端, 其特征在于, 所述装置包括:

搜索信息输入单元: 用于获取路径搜索预设信息, 包括: 图 $G=(V, E, W)$, 点集 U , α , 出发点 s , 目的点 t ; 其中, V 、 E 和 W 分别为点集、边集和权值的集合; $U \subseteq V$ 为顶点的子集; 参数 $\alpha \in (0, 1)$, 用于平衡路径 P_{st} 和 U 中的点到 P_{st} 之间的距离和的比重;

路径搜索单元: 用于根据所述路径搜索预设信息, 通过最好优先的动态规划策略, 搜索在所述图 G 中从出发点 s 到目的点 t 的最优路径;

搜索结果输出单元: 用于输出显示所述路径搜索单元所搜索到的最优路径。

5、如权利要求 4 所述的最优多会合点路径搜索装置, 其特征在于, 所述移动终端包括: 移动电话、智能电话、笔记本电脑、个人数字助理、平板电脑。

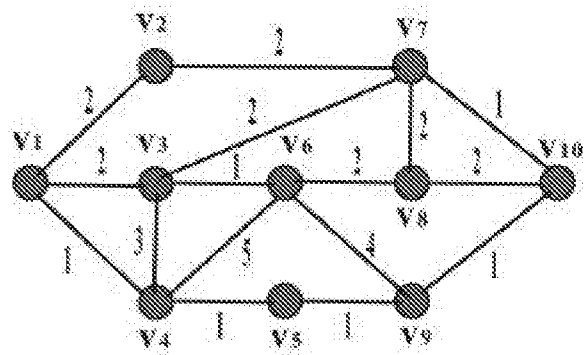


图 1

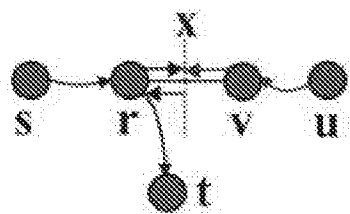


图 2

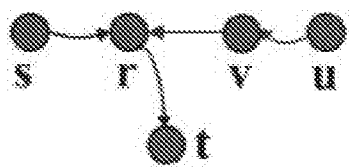


图 3

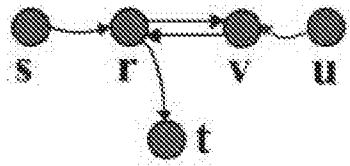


图 4

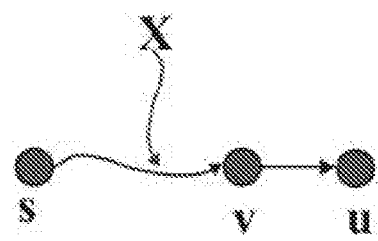


图 5

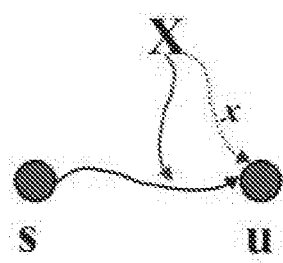


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/073858

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 19/00 (2011.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: search, carpool, array, optimal, proportion, map, route, find+, car, image, chart, edge, path, parameter, distance, weight, lookup

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 104992044 A (SHENZHEN UNIVERSITY), 21 October 2015 (21.10.2015), claims 1-5	1-5
A	CN 103324982 A (ENJOYOR CO., LTD.), 25 September 2013 (25.09.2013), description, paragraphs [0066]-[0086], and figure 1	1-5
A	CN 101788298 A (CLARION CO., LTD.), 28 July 2010 (28.07.2010), the whole document	1-5
A	CN 103149576 A (WUHAN UNIVERSITY), 12 June 2013 (12.06.2013), the whole document	1-5
A	US 6259988 B1 (LOCKHEED MARTIN CORPORATION), 10 July 2001 (10.07.2001), the whole document	1-5
A	CN 103186710 A (BEIJING KINGSOFT CO., LTD. et al.), 03 July 2013 (03.07.2013), the whole document	1-5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 20 April 2016 (20.04.2016)	Date of mailing of the international search report 17 May 2016 (17.05.2016)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer YAO, Jie Telephone No.: (86-10) 61648135

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2016/073858

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 104992044 A	21 October 2015	None	
CN 103324982 A	25 September 2013	None	
CN 101788298 A	28 July 2010	JP 2010107459 A	13 May 2010
		EP 2182323 A1	05 May 2010
		US 2010114473 A1	06 May 2010
		US 2014365105 A1	11 December 2014
CN 103149576 A	12 June 2013	None	
US 6259988 B1	10 July 2001	None	
CN 103186710 A	03 July 2013	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2016/073858

A. 主题的分类

G06F 19/00(2011.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G06F

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNPAT, CNKI, WPI, EPDOC: 搜索, 合乘, 数组, 队列, 最优, 权值, 搜寻, 查找, 权重, 比重, 车, 路径, 边, 图, map, route, find+, car, image, chart, egde, path, parameter, distance, weight, lookup

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 104992044 A (深圳大学) 2015年 10月 21日 (2015 - 10 - 21) 权利要求1-5	1-5
A	CN 103324982 A (银江股份有限公司) 2013年 9月 25日 (2013 - 09 - 25) 说明书第[0066]-[0086]段, 附图1	1-5
A	CN 101788298 A (歌乐牌株式会社) 2010年 7月 28日 (2010 - 07 - 28) 全文	1-5
A	CN 103149576 A (武汉大学) 2013年 6月 12日 (2013 - 06 - 12) 全文	1-5
A	US 6259988 B1 (LOCKHEED MARTIN CORPORATION) 2001年 7月 10日 (2001 - 07 - 10) 全文	1-5
A	CN 103186710 A (北京金山软件有限公司等) 2013年 7月 3日 (2013 - 07 - 03) 全文	1-5

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2016年 4月 20日

国际检索报告邮寄日期

2016年 5月 17日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

授权官员

姚杰

电话号码 (86-10)61648135

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2016/073858

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	104992044	A	2015年 10月 21日	无			
CN	103324982	A	2013年 9月 25日	无			
CN	101788298	A	2010年 7月 28日	JP	2010107459	A	2010年 5月 13日
				EP	2182323	A1	2010年 5月 5日
				US	2010114473	A1	2010年 5月 6日
				US	2014365105	A1	2014年 12月 11日
CN	103149576	A	2013年 6月 12日	无			
US	6259988	B1	2001年 7月 10日	无			
CN	103186710	A	2013年 7月 3日	无			

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)