

交通网络与通信网络中的路径策略

陈博奎¹, 蒋艳群², 颜登程³, 汪秉宏³

1. 新加坡国立大学计算机学院, 新加坡 117417

2. 西南科技大学理学院, 绵阳 621010

3. 中国科学技术大学近代物理系, 合肥 230026

摘要 交通网络和通信网络在现代生活中扮演着越来越重要的角色,人们几乎每天都会接触到这两种网络,世界各国政府都在加强相关基础设施建设。然而单纯地增加基础设施,例如拓宽道路、增加带宽,并不能满足人们日益增长的需求;更重要的是优化管理,充分利用现有的资源提高这两种网络的运行效率,而提高它们运行效率的关键就是设计合理有效的路径策略。本文介绍了交通网络和通信网络的相同和不同之处,回顾了交通网络中用于指导车辆行驶的路径选择策略和用于指导行人通行的行走策略,以及通信网络的路由策略及算法。通过比较交通网络和通信网络,发现基于全局信息的策略均好于基于局部信息的策略。然而由于受到网络规模的限制,基于局部信息的路由策略更适合应用在通信网络上。基于全局信息的路径选择策略更适合应用在交通网络上。

关键词 交通网络;行人网络;通信网络

交通网络和通信网络是城市建设中两项重要的基础设施,在现代生活中扮演着越来越重要的角色。出行的时候,人们总是希望行驶速度更快,以便能尽早到达目的地。同样,上网时,人们希望网络速度更快,以便能快速地浏览网页和下载资料。因此各国政府都在加强相关的基础设施建设。然而单纯的增加基础设施,比如拓宽道路,增加带宽,并不能满足人们日益增长的需求。更重要的是优化管理,充分利用现有的资源来提高交通网络或通信网络的运行效率。因此设计合理有效的路径策略就显得尤为重要。近些年科学家们提出许多优化的路径策略,例如,交通路网中用于指导车辆行驶的路径选择策略^[1-7]和用于指导行人通行的行走策略^[8-14],以及通信网络中的路由策略^[15-20]等。本文首先介绍了这些网络的相同与不同之处,然后分别回顾了各自网络中的路径策略,最后做出总结。

1 相同与不同之处

交通网络和通信网络有很多相同之处。首先,它们都是传输介质的载体。交通网络是交通用户(车辆和行人)运行的载体,而通信网络是信息包传输的载体。其次,这两个网

络都涉及传输效率和拥堵问题,对于交通网络,人们关注的是车辆运行效率、行人通行效率和道路拥堵问题;对于通信网络,人们关注的是信息包的传输效率和节点处信息包的拥堵问题。此外,它们所搭载的传输介质都需要按照一定规则行走,在交通路网中,车辆和行人都需要遵守交通规则,而信息包在通信网络上传输时需要遵照路由协议。

交通网络和通信网络也有很多不同之处。1) 网络性质不同。交通网络是静态网络,它的网络结构在相当长的一段时间内不会发生改变;而通信网络属动态网络,随时都会有新的节点加入。2) 网络规模不同。如城市交通路网中的十字路口数量在千级以内,而通信网络的节点数量都在亿级以上,并且随着时间在不断地增长。3) 制定传输策略时所考虑的因素不同。在制定交通路网中车辆和路径选择策略主要从3个方面考虑:车辆因素(车辆的位置、速度和体积等),道路结构(单车道、多车道、环道、行人道、非机动车道等),人为因素(行走速度、反应时间、随机慢化等^[1-8])。而影响行人路径选择行为的主要因素有2个:路线属性,如行走时间、路线长度、路线复杂度等;行人属性,如期望行走时间、安全感、舒适度等^[9-15]。在制定通信网络中的路由策略时只需考虑节点

收稿日期:2017-05-11;修回日期:2017-06-26

基金项目:Singapore Ministry of Education Research Grant(MOE 2013-T2-2-033);国家自然科学基金项目(11202175,11275186,91024026)

作者简介:陈博奎,研究员,研究方向为智能交通系统、通信网络,电子信箱:chenssx@qq.com;汪秉宏(通信作者),教授,研究方向为统计物理,复杂系统,交通流、复杂网络,电子信箱:bhwang@ustc.edu.cn

引用格式:陈博奎, 蒋艳群, 颜登程, 等. 交通网络与通信网络中的路径策略[J]. 科技导报, 2017, 35(14): 23-26; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2017.14.002

上的因素。例如,节点的度,节点的信息包排队长度,以及节点的信息包处理能力^[16-21]。因为信息包在传输过程中没有人因素,它会严格按照路由协议行走,而且目前的带宽完全可以满足日常的需求,所以只需要考虑节点处理信息包的传输效率。

2 交通网络中的路径选择策略

交通网络的用户主要包含2类:车辆和行人。用于指导车辆行驶的路径选择策略和用于指导行人的行走策略直接决定了交通网络的运行效率和性能。

2.1 车辆的路径选择策略

为了缓解交通拥堵,提高车辆的运行效率,人们提出了许多种路径选择策略。2000年,Wahle等^[1]提出了行驶时间路径选择策略。该策略规定车辆选择行驶时间较短的路径行走。随后, Lee等^[2]提出了平均速度路径选择策略。该策略规定车辆选择平均速度较大的路径行走。2005年,Wang等^[3]提出了拥堵系数路径选择策略,该策略规定车辆选择拥堵系数较小的路径行走,这是一项具有创新性的研究工作,文中提出的拥堵系数概念在之后的研究中得到广泛应用^[4-7]。例如,Dong等^[4]基于这个概念提出了预测信息路径选择策略,利用现有的交通信息来模拟未来的状况,然后再根据未来时刻的交通数据来计算并制定当前的路径选择信息。2012年,Chen等^[6]提出了空位长度路径选择策略,该策略的表现性能超越了之前提出的所有策略,并且简单易行。虽然这些策略在设计方面都有所创新,但是他们只应用在了一维交通网络上。在二维网络上却很少应用。在二维交通网络上,路径选择策略依照算法的不同可分为基于局部信息的路径选择策略和基于全局信息的路径选择策略。2011年,Li等^[7]提出了基于局部信息路径选择策略的算法,并将其应用在平均速度路径选择策略上,然后将这种策略用在类似于曼哈顿城市交通网络的二维网络上进行模拟,结果显示该策略要远远优于最短路径选择策略。2012年,Knoop等^[8]基于全局信息的最大速度路径选择策略,与基于局部信息的算法相比,基于全局信息的算法可以大幅度提高网络的运行效率并减少拥堵现象。由于交通网络属于静态网络,它的网络结构在相当长的一段时间不会发生改变,而且交通信息量也是有限的。因此应用基于全局信息的算法在实际应用层面是可以实现的。

2.2 行人的行走策略

为了使行人更快、更安全、更舒适的到达目的地,人们提出了很多行走策略。一般地,影响行人路径选择行为的主要因素有2个:路线属性,如行走时间、路线长度、路线复杂度等;行人属性,如期望行走时间、安全感、舒适度等。1994年,Løvås^[9]采用排队论模型刻画行人如何从一个网络节点运动到另一个节点,模型中考虑了排队现象所导致的随机等待时间。1998年,Cheung和Lam^[10]考虑到行人用电梯和楼梯所需行走时间的不同,利用对数选择模型研究香港地铁站内行人

在电梯和楼梯之间的路径选择行为。行人网络常常被视为二维连续体,即,行人网络(房间、体育场馆、地铁站台等)中行走路线在空间上是连续的,因此在二维连续体中连接出发点到目的地的路径有无穷多条。2004年,Hoogendoorn等^[11]基于经济学中效用最大化理论提出了预测型动态用户最优的行走策略,并用于研究行人网络中行人路径选择行为。所谓预测型动态用户最优策略是指,行人通过日常经验或其他途径累计的行走信息估计自身实际行走费用(或时间),从而选择使得自身总的实际行走费用(或时间)为最小的路径。这种预测型用户最优择路方式适合于交通条件每日变化不大、可预测,且行人完全了解这些交通条件的行人网络。然而,在多数情况下行人并不熟悉他们周围的交通条件,只能依据当前的交通条件来选择使得自身总的瞬时行走费用(或时间)为最小的路径,这就是反应型动态用户最优策略。图1给出了某时刻行人基于当前交通状况在设置有圆形障碍物和双出口的步行设施内作出的反应型动态用户最优路径选择结果^[16]。这里,假定步行设施内存在一个瞬时走行费用势场(图1所示纵向曲线为等势线簇),出口处走行费用为0。类似光传播理论中的费马原理(最短时间原理),当行人沿着瞬时费用函数负梯度方向(图1所示的横向曲线为流线簇)行走时,其到达目的地所需的总的瞬时费用达到最小。在任意时刻,基于步行设施(长100 m,宽50 m)几何形状、出口位置和场内行人流量密度分布,运用反应型动态用户最优原理(等价于费马原理)可导出关于瞬时走行费用函数的程函方程,通过数值求解该方程得出该时刻走行费用等值线(图中纵向曲线,从左侧入口处到右侧出口处逐渐减小,出口处为0)。行人流走行流线(图中横向曲线,始于入口处,终于出口处)与费用等值线正交,表明行人流沿着费用势下降最快的方向行走,直至达到出口反应型用户最优择路方式适合于交通条件不可预测,且用户可以得到完善的实时交通信息服务的行人网络。2009年,Huang等^[12]结合反应型动态用户最优的路径选择策略和二维LWR模型模拟单向人群在单入口、单出口的地铁站台内某些宏观特性,例如行人流量密度、速度、流量等。

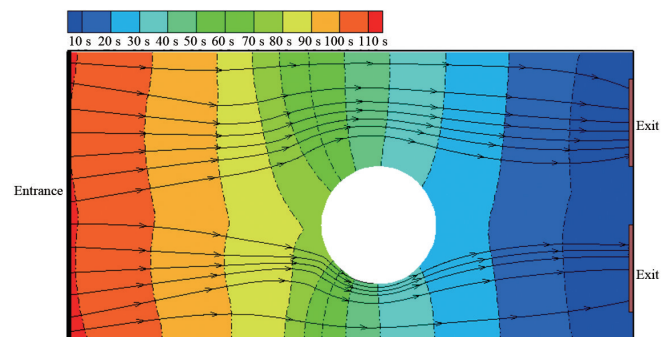


图1 某时刻行人作出的反应型动态用户最优路径选择结果
Fig. 1 Reactive dynamic user optimal route choice results in a moment to pedestrians

此后, Jiang等^[13-15]结合二维LWR模型(或二维高阶动力学模型)和以上2种动态用户最优的路径选择策略研究步行设施内单向、双向行人流问题,并将行人网络中最优路径选择策略推广应用于城市路网动态交通分配问题。

3 通信网络中的路由策略

为了提高通讯网络的传输效率,降低节点处的拥堵程度,人们提出了多种路由策略。路由策略大致可分为基于局部信息的路由策略和基于全局信息的路由策略2种。

1) 基于局部信息的路由策略,称为局部路由策略。例如,2006年, Wang等^[17]提出了局部静态路由策略,该策略以节点的度作为信息制定行走路径,由于节点的度信息是固定不变的,因此叫做静态路由策略。随后 Wang等^[18]又提出了局部动态路由策略,该策略以节点上的信息包排队长度为信息制定行走路径,由于节点上信息包的排队长度是随时发生变化的,因此叫做动态路由策略。2009年, Ling等^[19]利用蚁群信息素概念提出了蚁群信息素路由策略,该策略仿照蚁群行走的特点,规定信息包在通过一条路径后会留下信息素。后面的信息包将根据信息素的多少选择路径。

2) 基于全局信息的路由策略,称为全局路由策略。例如,2006年, Yan等^[20]提出的有效路由策略。该策略规定信息包按照节点度的 β 次方之和最小的一条路径行走。随后 Ling等^[21]提出了全局动态路由策略,该策略规定信息包按照节点上信息包排队长度之和最小的一条路径行走,该策略需要实时更新并计算节点上的信息包排队长度,而且还要搜索计算出排队长度之和最小的一条路径,因此计算量非常大。尽管它的性能比局部路由策略要好,但是其计算时间非常慢,而且计算成本巨大。尤其是随着通信网络规模的不断扩大,这种策略在现实生活中很难得到应用。2016年, Lin等^[21]针对局部路由策略提出了3种改进算法,分别是节点避免重复算法,次近邻算法及限定排队长度算法,每一种算法都在前一种算法的基础上得到改进,这3种算法都可以提高网络的性能,尤其是最后一种算法。它可以使网络的临界信息包产生率提高10倍左右,而且可以使传输时间降低70%以上。由于通信网络的规模在不断扩大,应用全局路由策略变得越来越困难。因此,目前采用的多为局部路由策略。限定排队长度算法可以大幅度提高网络效率,而且在某些特定情况下还能超过全局路由策略,有很高的应用价值。

4 结论

本文讨论了交通网络与通信网络之间的联系,归纳总结了它们之间的相同点和不同点。回顾了交通路网中用于指导车辆行驶的路径选择策略和用于指导行人通行的行走策略,以及通信网络的路由策略及其算法的研究成果。通过比较交通路网和通信网络,发现基于全局信息的策略均好于基于局部信息的策略。然而由于受到网络规模的限制,局部路

由策略更适合应用在通信网络上。交通路网的规模远没有通信网络那么大,而且它属于静态网络,在相当长的一段时间内网络结构不会发生改变。因此在交通路网上更适合应用基于全局信息的路径选择策略。

参考文献(References)

- [1] Wahle J, Bazzan A L C, Klügl F, et al. Decision dynamics in a traffic scenario[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2000, 287(3/4): 669-681.
- [2] Lee K, Hui P, Wang B H, et al. Effects of announcing global information in a two-route traffic flow model[J]. *Journal of the Physical Society of Japan*, 2001, 70(12): 3507-3510.
- [3] Wang W X, Wang B H, Zheng W C, et al. Advanced information feedback in intelligent traffic systems[J]. *Physical Review E Statistical Non-linear & Soft Matter Physics*, 2005, 72(2): 066702.
- [4] Dong C F, Ma X, Wang G W, et al. Prediction feedback in intelligent traffic systems[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2009, 388(21): 4651-4657.
- [5] Chen B, Dong C, Liu Y, et al. Real-time information feedback based on a sharp decay weighted function[J]. *Computer Physics Communications*, 2012, 183(10): 2081-2088.
- [6] Chen B, Xie Y, Tong W, et al. A comprehensive study of advanced information feedbacks in real-time intelligent traffic systems[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2012, 391(8): 2730-2739.
- [7] Li M, Ding Z J, Jiang R, et al. Traffic flow in a Manhattan-like urban system[J]. *Journal of Statistical Mechanics Theory & Experiment*, 2011, 12(12): 849-976.
- [8] Knoop V L, Hoogendoorn S P, Van J W C. Routing strategies based on macroscopic fundamental diagram[J]. *Transportation Research Record*, 2012, 2315: 1-10.
- [9] Løvås G G. Modeling and simulation of pedestrian traffic flow[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 1994, 28(6): 429-443.
- [10] Cheung C Y, Lam W H K. Pedestrian route choices between escalator and stairway in MTR stations[J]. *Journal of Transportation Engineering*, 1998, 124(3): 277-285.
- [11] Hoogendoorn S P, Bovy P H L. Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2004, 38(2): 169-190.
- [12] Huang L, Wong S C, Zhang M P, et al. Revisiting Hughes' dynamic continuum model for pedestrian flow and the development of an efficient solution algorithm[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2009, 43(1): 127-141.
- [13] Jiang Y Q, Guo R Y, Tian F B, et al. Macroscopic modeling of pedestrian flow based on a second-order predictive dynamic model[J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2016, 40(23): 9806-9820.
- [14] Jiang Y Q, Wong S C, Ho H W, et al. A dynamic traffic assignment model for a continuum transportation system[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2011, 45(2): 343-363.
- [15] Jiang Y Q, Wong S C, Zhang P, et al. Numerical simulation of a continuum model for bi-directional pedestrian flow[J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2012, 218(10): 6135-6143.

- [16] Jiang Y Q, Zhang P, Wong S C, et al. A higher-order macroscopic model for pedestrian flows[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2010, 389(21): 4623–4635.
- [17] Wang W X, Wang B H, Yin C Y, et al. Traffic dynamics based on local routing protocol on a scale-free network[J]. *Physical Review E: Statistical Nonlinear & Soft Matter Physics*, 2006, 73(2): 026111.
- [18] Wang W X, Yin C Y, Yan G, et al. Integrating local static and dynamic information for routing traffic[J]. *Physical Review E: Statistical Nonlinear & Soft Matter Physics*, 2006, 74(1): 16101.
- [19] Ling X, Hu M B, Jiang R, et al. Pheromone routing protocol on a scale-free network[J]. *Physical Review E: Statistical Nonlinear & Soft Matter Physics*, 2009, 80(6): 66110.
- [20] Yan G, Zhou T, Hu B, et al. Efficient routing on complex networks[J]. *Physical Review E: Statistical Nonlinear & Soft Matter Physics*, 2006, 73(4): 46108.
- [21] Ling X, Hu M B, Jiang R, et al. Global dynamic routing for scale-free networks[J]. *Physical Review E: Statistical Nonlinear & Soft Matter Physics*, 2010, 81(1): 16113.
- [22] Lin B C, Chen B K, Gao Y C, et al. Advanced algorithms for local routing strategy on complex networks[J]. *PLoS One*, 2016, 11(7): e0156756.

Path strategies in transportation network and communication network

CHEN Bokui¹, JIANG Yanqun², YAN Dengcheng³, WANG Binghong³

1. School of Computing, National University of Singapore, Singapore 117417, Singapore

2. School of Science, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China

3. Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

Abstract The traffic network and the communication network play a more and more important role in modern life. Almost all people use these two networks everyday. Thus the governments around the world increase the investment in their infrastructure. However, increasing the infrastructure alone, such as broadening the road and the bandwidth, can not meet the growing demand. More importantly, we must focus on optimizing management and making the best use of existing infrastructure in order to improve the performance of these two networks. The key to improving the efficiency is to design effective path strategies. In this paper, we first give a brief introduction of the similarities and the differences between the traffic network and the communication network. Then we review the route choice strategies used to guide the vehicle and path strategies used to guide the pedestrian in the transportation network, and the routing strategies in the communication network. By comparison, we find that the strategies based on the global information are better than those based on the local information. However, due to the factor of the network size, the strategies based on the local information are more suitable for the communication network, and the strategies based on the global information are more suitable for the transportation network.

Keywords transportation network; pedestrian network; communication network

(责任编辑 刘志远)