



在旅客运输量变化分析中的应用

聂 锐 唐锡晋

(中国科学院数学与系统科学研究院, 北京 100080)

摘要:本文构造了一个 MAS 模型,用于分析铁路和公路在旅客运输方面的竞争合作关系。并借助于仿真平台 StarLogo 的支持,针对不同情况开展了模拟实例研究。结果表明仿真结果为定量认识和进一步研究旅客运输提供了有用的信息。

引 言

旅客运输是交通运输系统的重要组成部分,由铁路、公路、水运及民航四种运输方式共同构成。不同运输方式之间存在竞争和合作,作为旅客运输服务对象的人的行为又具有主观性、不确定性的特点,所有这些复杂的关系大大限制了人们对旅客运输量变化规律的认识。

随着复杂适应系统理论、人工生命和分布式人工智能技术的发展,MAS(Multi Agent Systems,多智能体系统)为解决这类问题提供了一个很好的办法。其中 Agent(主体或智能体)来源于对所研究具体对象实体的抽象,是一种自身具有主动行为的、“活”的个体。通过建立不同 Agent 的决策和行为规则,能够为任何 Agent 建立可以在计算机上模拟的模型^[1]。近年来,MAS 在生产、环境、城市、社会、经济和交通等许多领域的研究中逐渐受到重视^[2-12]。

本文构造了一个基于 MAS 的旅客运输量变化分析模型,并借助于 StarLogo 平台^[13],开展了模拟实例研究。

基于 MAS 的旅客运输量 变化分析模型设计

1、仿真平台介绍

MAS 的开发工具很多,SWARM 是这方面出现的比较早、影响比较大的一个软件,产生于美国的圣菲研究所(Santa Fe Institute, SFI),用来帮助科学家分析复杂适应系统。其它的还有 ASCAPE(美国布鲁金斯学院开发)、REPAST(芝加哥大学社会科学计算研究中心开发)、TNG-lab (美国 OHIO 大学开发)、AgentSheets(AgentSheets 公司开发)以及麻省理工学院开发的 StarLogo。

每一个开发工具都有其各自的特点和作用,为具体研究需要,我们选用的是 StarLogo 开发工具。StarLogo 是一个可以编程的建模环境,用来研究分散系统的运行机制。StarLogo 包括三个重要的组成部分:海龟(Turtles)是 StarLogo 世界里的“居民”,你能使用海龟代表任何类型的对象,如交通系统中的车辆,免疫系统中的抗体,空气中的分子等,同时,你可以根据需要为海龟增加一些专有属性;碎片(Patches)

作者简介:2004-03-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70221001)

作者简介:聂锐,中国科学院数学与系统科学研究院硕士研究生;唐锡晋,中国科学院数学与系统科学研究院副研究员。

应用研究

是海龟活动的场所;观察者(Observer)能够观察和监控现有的海龟和碎片的活动,还能够创建新的海龟。利用 StarLogo,可以模拟现实中的很多现象,比如鸟类聚集、交通阻塞及市场经济等^[3]。

2、研究问题概述

一般来说,影响旅客运输量变化的因素可以从两方面来分析:交通运输系统外部和内部。诸如社会人均收入水平、生产布局、产业结构等属于系统外部变化因素;而运输系统的信息化水平、服务水平、新技术含量和运输价格等是重要的内部变化因素。

通过查阅相关资料^[4-18]并归纳总结,我们把系统内部因素概括为安全性、舒适性、方便性、快速性和经济性五个方面。模型主要研究系统内部因素发生改变而引起的旅客运输量的变化,考虑的交通运输方式是铁路和公路。

3、仿真模型设计

模型中,Agent 就是旅客运输服务的对象——人。因此模型设计需要解决与人的行为有关的问题,第一,人们在什么情况下会出行——刺激出行;第二,人们在出行的时候会选择哪一种运输方式——运输方式的选择;第三,出行的中止。

下面围绕这些问题展开讨论:

①Agent 分类

由于作为人的 Agent 具有多样性的特征,首先根据收入水平对 Agent 进行分类,具体如表 1:

表 1 Agent 分类

收入级别	收入水平(RMB) (一个时间段)	人数比例(%)	收入增长速度(‰) (一个时间段)
1	≥5000	5	5
2	3000-5000	15	10
3	1000-3000	40	20
4	500-1000	25	10
5	<500	15	5

注:①本文着重于建模思想和方法的应用,有关收入水平的分级、收入的增长速度和文章篇幅后面的其他一些数据都是通过定性猜测得来的。实际应用中,这些数据可由实证研究得来的数值加以代替;②一个时间段可以根据需要表示为一年、一月或者一周等。

②刺激出行

模型中,Agent 有一个能量属性,代表出行的欲望,这里可以理解为 Agent 愿意支付的交通费用。一般来说,交通费用在个人总收入中占有一定比例,因此我们把能量的初始值定为收入水平的函数。

能量初始值 = 收入水平 * 20%

能量值越大,出行的欲望越大,反之,出行的欲

望越小。刺激出行主要通过判断能量值来实现,当能量值达到一定的水平,Agent 就可能出行。

③停止出行

每完成一次出行,Agent 的能量值会减小。减小量为一次出行的交通费用,模型中将其简化为车票的支出。当能量值小于一定数值,即不能支付交通费用时,Agent 就停止出行。

④运输方式的选择

上面已经提到影响旅客运输的系统内部因素可以从五个方面来考虑,这些指标反映了运输方式的当前技术经济水平,具有一定客观性特征。快速性和经济性又可通过下列关系式计算:

经济性 = $INT(k_1 \times \text{距离} / \text{价格} + 0.5)$

快速性 = $INT(k_2 \times \text{速度} + 0.5)$

其中 k_1 和 k_2 为常数,INT 表示取整,加 0.5 为完成四舍五入。 k_1 这里取值为 1/2, k_2 取值为 1/30。将铁路和公路对第 j 个指标的取值表示为 I_{jm} , $m = \{r(\text{铁路}), h(\text{公路})\}$, $j=1,2,3,4,5$, 这样可以得到一组数值,如表 2 所示:

表 2 五种指标对应于铁路和公路的初始取值

	安全性	舒适性	方便性	快速性	经济性
铁路	4	4	3	4	3
公路	4	3	4	4	3

注:数值取得可以通过统计调查和专家打分相结合的办法

另外,不同收入级别的 Agent,由于收入水平的差别,因而在选择运输方式时,侧重点是不同的:收入水平高的 Agent 倾向于旅途的舒适性和快速性,而收入水平低的 Agent 更倾向于旅途的经济性。也就是说,指标的权重具有一定主观性的特征,对不同类别的 Agent 是不同的。将第 i 类 Agent 对第 j 个指标的权重取值表示为 W_{ij} , $i,j=1,2,3,4,5$, 又可得到一组数值,如表 3 所示:

表 3 不同收入级别 Agent 对五种指标的权重

收入级别	安全性	舒适性	方便性	快速性	经济性
1	3	5	2	4	1
2	5	4	1	3	2
3	2	4	5	1	3
4	3	2	1	5	4
5	4	1	3	2	5

注:数值取得可以通过抽样调查和专家打分相结合的办法

通过表 2 和表 3 的数据,可以计算出不同收入级别的 Agent 对不同运输方式的得分 T_{im} , $m = \{r(\text{铁路}), h(\text{公路})\}$, 其中 T_{ir} 代表第 i 类收入级别的 Agent

对铁路的得分, T_{ih} 代表第 i 类收入级别的 Agent 对公路的得分。分值越大, 表示 Agent 对相应运输方式的偏好越大, 倾向选择这种运输方式出行的可能性越大, 反之, 分值越小, Agent 对这种运输方式的偏好越小, 选择这种运输方式出行的可能性越小。

$$T_{im} = \sum_{j=1}^5 (W_{ij} \times I_{mj}),$$

$$i, j=1, 2, 3, 4, 5,$$

$$m=\{r(\text{铁路}), h(\text{公路})\}$$

分析了 Agent 的能量属性和对不同运输方式的偏好, 就可以设计出一系列的规则 (如表 4), Agent 选择运输方式主要通过这些规则来决定。

表 4 规则库设计

规则	规则描述	规则 优先权
规则 1	IF 能量 < MIN[铁路票价, 公路票价] THEN 停止出行	3
规则 2	IF MIN[铁路票价, 公路票价] < 能量 < MAX[铁路票价, 公路票价] THEN 选择低价运输方式出行	2
规则 3	IF 能量 > MAX[铁路票价, 公路票价] AND $T_r > T_h$ THEN 选择铁路出行	1
规则 4	IF 能量 > MAX[铁路票价, 公路票价] AND $T_r < T_h$ THEN 选择公路出行	1
规则 5	IF 能量 > MAX[铁路票价, 公路票价] AND $T_r = T_h$ THEN 选择低价运输方式出行	1

当考虑交通容量限制时, 增加如下两条规则:

规则 6	IF 铁路容量和公路容量均饱和 THEN 停止出行	4
规则 7	IF 有且仅有一种运输方式的容量未饱和 THEN 选择容量未饱和的运输方式出行	2

优先权的设置目的在于解决规则之间的冲突和加快选择规则的速度。模型中搜索规则库的顺序是从规则 6→规则 7→规则 1→...→规则 5, 即先考虑交通容量的限制, 再判断 Agent 的能量值和比较不同运输方式的总得分。选择规则时, 首先比较已记录的优先权和当前规则的优先权: ①前者大于后者, 跳过当前规则; ②前者小于后者, 执行当前规则; ③两者相等, 发生在规则 7 和规则 2 之间, 这时需要比较两个规则执行的结果。例如, 假设当前运输系统中铁路容量未饱和 (与规则 7 相对应), 且 Agent 当前只能支付铁路 (公路) 的票价时 (与规则 2 相对应), 则 Agent 将选择铁路出行 (停止出行)。

总结上述分析, 结合模型的三个假定: ① Agent 的收入随时间不断增长, 且不同 Agent 的增长速度

不同; ②每个时间段, Agent 的收入和能量值被分配一次; ③在一个时间段内, Agent 尽可能消耗完自身全部的能量。我们用图 1 对 Agent 活动全过程完整的加以描述。图中有两个循环, 外层循环代表多个时间段内 Agent 的出行情况, 内层循环代表 Agent 在所选时间段内的出行情况。

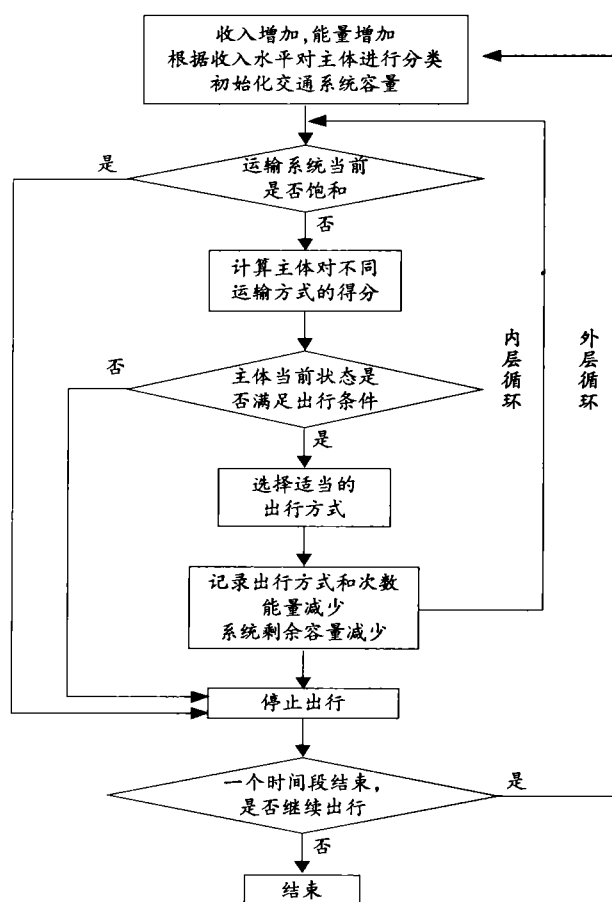


图 1 Agent 活动全过程

仿真试验设计和仿真运行结果分析

根据现实世界中交通系统内部因素可能发生的变化: ①运输价格的调整; ②运输速度的提升; ③运输安全的改善; ④运输容量的限制, 我们设计了四种仿真试验 (表 5 所示), 希望通过多 Agent 仿真运行的结果来分析上述几种情况所引起的旅客运输量的变化。

通过对仿真结果的对比分析可以看出, 从试验一到试验二, 公路价格从 180 降为 120, 下调 60 元, 体现为经济性指标从数值 3 上升到 5。从图 2-a 可以看出, 这时公路运输量急升, 铁路的运输量急降, 说明公路运输价格降低后, 更多的人选择公路作为首选出行方式; 从试验二到试验三, 铁路采取了提高车速的办法, 火车的速度由原来的 120 公里每小时上升到 180

应用研究

公里每小时,体现为快速性指标从 4 变为 6。并且,铁路的安全性得到进一步改善,其指标数值也从 4 变为 6。这种变化的结果反映在图 3-a 中,表明铁路和公路的运输量接近同等的水平,其主要原因就是一部分旅客选择的交通运输方式从公路向铁路发生了转变;试验四的设计中,考虑交通容量的限制,将铁路在同一时间的最大容量限制为 100 人,显然,由于铁路容量的限制,一部分旅客不得不选择公路作为出行方式,这种结果反映在图 4-a 中。上述仿真结果与我们设想的结果大体是吻合的。同时仿真过程中,还可以计算铁路和公路部门的收益、社会人均收入水平的变化及总的旅客运输量等统计量指标。

结 论

本文从 Agent 的思想出发,对交通运输系统旅

客运输量的变化进行了初步的探讨。主要分析了系统内部因素对铁路和公路旅客运输量的影响,通过多 Agent 仿真,我们对运输量变化的认识从定性的一些假设上升到一些定量的结论。仿真的结果对运输资源的合理分配、运输价格水平的制定等有一定的参考价值,也进一步能得到容量的限制对运输系统设计与建设方面的一些启示。由于仿真平台的限制,模型的设计没有考虑更多的因素,例如没有区别商业出行和私人出行。商业目的的出行可能创造更多的商业机会,使商业来往更加频繁,所以每次出行后能量值不一定会减小。另外模型的复杂将导致规则库中规则的增多,规则冗余和冲突也需要深入研究。可以说,MAS 为我们分析复杂系统行为提供了一种途径,但真实的建模仍有一定的困难。

表 5 仿真试验设计

	运输方式	安全性	舒适性	方便性	快速性	经济性	运输价格 (元)	运输速度 (公里/小时)	容量 (人)
试验一	铁路	4	4	3	4	3	180	120	无限制
	公路	4	3	4	4	3	180	120	无限制
试验二	铁路	4	4	3	4	3	180	120	无限制
	公路	4	3	4	4	5	120	120	无限制
试验三	铁路	6	4	3	6	3	180	180	无限制
	公路	4	3	4	4	5	120	120	无限制
试验四	铁路	6	4	3	6	3	180	180	100
	公路	4	3	4	4	5	120	120	无限制

总人口:设定为 200 人,两地距离为 1200 公里

注:由于受 StarLogo 平台和计算机计算能力的限制,我们设计总人口为 200,大规模的仿真对计算机的计算能力和仿真平台的效率有更高的要求。

试验一仿真结果(浅色代表公路,深色代表铁路)

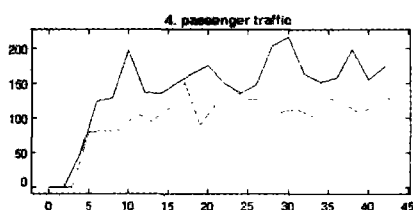


图 1-a 旅客运输量变化曲线

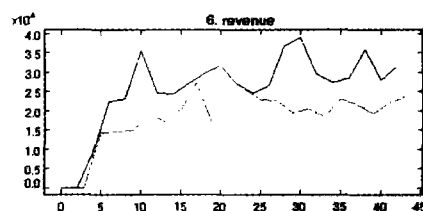


图 1-b 两部门收益曲线

试验二仿真结果(浅色代表公路,深色代表铁路)

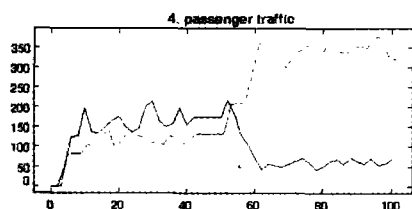


图 2-a 旅客运输量变化曲线

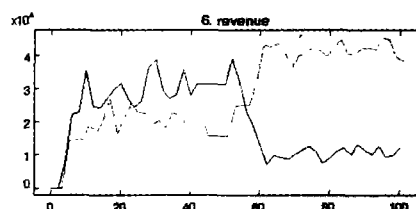


图 2-b 两部门收益曲线

试验三仿真结果(浅色代表公路,深色代表铁路)

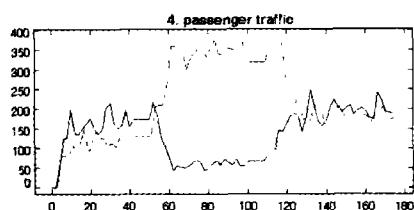


图 3-a 旅客运输量变化曲线

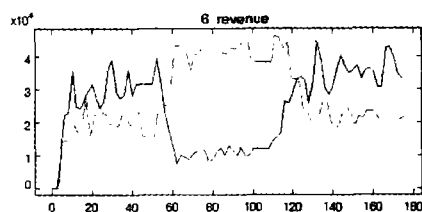


图 3-b 两部门收益曲线

试验四仿真结果(浅色代表公路,深色代表铁路)

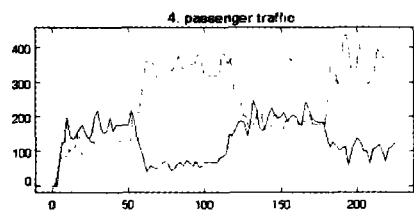


图 4-a 旅客运输量变化曲线

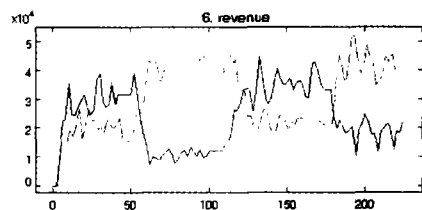


图 4-b 两部门收益曲线

参考文献:

- [1] 许国志主编. 系统科学. 上海: 上海科技教育出版社, 2000. 249-293
- [2] 赵博, 范玉顺. MAS 技术在生产调度研究中的应用. 控制与决策, 2003, 18(1): 1-6
- [3] 魏一鸣, 张林鹏, 范英. 基于 Swarm 的洪水灾害演化模拟研究. 管理科学学报, 2002, 5(6): 39-46
- [4] 薛领, 杨开忠. 城市演化的多主体(multi-agent)模型研究. 系统工程理论与实践, 2003, 23(12): 1-9
- [5] 龚晓光, 黎志成. 基于多智能体仿真的新产品市场扩散研究. 系统工程理论与实践, 2003, 23(12): 59-62
- [6] 夏昊翔. 关于复杂适应系统研究的若干考察和思考. 中国科学院系统科学研究所博士后研究报告, 2000: 14-37
- [7] Khalak A., Agent-Based Model for Economic Impact of Free Software. Complexity, 2003, 8(3): 45-55
- [8] Park J.H., Park S.C., Agent-Based Merchandised Management in Business-to-Business Electronic Commerce. Decision Support System, 2003: 311-333
- [9] 张秀媛, 张国伍. MAS 协商在交通运输企业中的应用. 交通运输系统工程与信息, 2001, 1(3): 226-231
- [10] Chen Y., Gu S.S., Hu Z.Z., Traffic Simulation Based on CAS Theory. Systems Science and Systems Engineering, the Fourth International Conference on Systems Science and Systems Engineering, 2003: 7-12
- [11] Balbo F., Pinson S., Toward a Multi-Agent Modeling Approach for Urban Public Transportation Systems. Engineering Societies in the Agents World II, Second International Workshop, 2001: 160-174
- [12] Kai Nagel, Multi-Agent transportation Simulation [EB/OL]. <http://www.sim.inf.ethz.ch/papers/book/html/>
- [13] MIT. Starlogo [EB/OL]. <http://education.mit.edu/starlogo/>
- [14] 王成钢. 交通运输市场概论. 北京: 人民交通出版社, 2003
- [15] 管楚度. 新视域运输经济学. 北京: 人民交通出版社, 2002
- [16] 刘舒燕, 喻漠南. 交通运输系统工程. 北京: 人民交通出版社, 2001
- [17] 沈志云. 交通运输工程学. 北京: 人民交通出版社, 2001
- [18] 沈志云, 邓学钧. 交通运输工程学. 北京: 人民交通出版社, 2003