

ABM 与 GIS 集成及在分析新能源汽车扩散中的应用^①

向诗剑, 马铁驹*

(华东理工大学商学院, 上海 200237)

摘要: 新能源汽车及其加能站的扩散是多种主体相互作用的复杂过程. 现有的分析该过程的基于 agent 的模型没有考虑现实的路网结构和驾车者行驶路线的分布, 不能为具体某一城市或地区新能源汽车的推广提供决策支持. 本文探索了一种集成 ABM(基于 agent 的建模)与 GIS(地理信息系统)的技术实现方法, 其核心思想是利用 Repast 仿真框架对图形文件的读写接口, 建立其与 ArcGIS 间的通信, 形成一种松耦合的、基于矢量的集成方式. 应用该集成方式, 本文以上海市为例构建了基于城市路网结构的新能源汽车及其加能站交互扩散的仿真平台.

关键词: 基于 agent 建模; 地理信息系统; 新能源汽车扩散

中图分类号: C93.03 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2014)01-0001-10

0 引言

推广新能源汽车对能源安全、节能减排和经济增长有着重要意义. 技术学习^[1]被认为是当前还很昂贵的新能源汽车得以推广的一个重要内因^[2]. 技术学习指一项新技术的成本将随着人们在该项技术上积累的经验和知识的增加而下降, 从而使该项技术被采用, 而技术被采用将使进一步的技术学习成为可能, 从而使该项技术得到进一步的扩散. 由于新能源汽车的扩散与其相应的加能站建设存在着“鸡与蛋”的问题^②, 新能源汽车的技术学习很难自发起步. 新能源汽车的推广通常需要政府组织建立示范工程, 以作为技术学习的“种子”^[3]. 从复杂自适应系统(complex adaptive systems)^[4]的视角看, 新能源汽车的推广是不同特性的决策体和元素相互作用, 相互调整的复杂演化过程. 新能源汽车的价格、维护费用、加能的方便程度影响着新能源汽车对消费者的效

用, 而且因为消费者本身的特性不同, 比如收入、年龄、旅行方式的不同, 同样的新能源汽车对不同的消费者具有不同的效用. 新能源汽车被消费者接受的程度影响着能源供应公司修建其加能站的意愿, 由于不同的特性, 比如对风险的不同态度, 在同样的外部条件下, 不同能源供应公司对修建其加能站的意愿也会不同. 这些决策体的效用和意愿受技术学习、新能源汽车和加能站的扩散影响而动态变化, 反过来又影响技术学习以及新能源汽车和加能站的扩散. 可以说这些效用和意愿的动态变化、技术学习以及新能源汽车和加能站的扩散相互交织、互为因果. 而新能源汽车技术学习的边际报酬递增效应^[5]会产生路径依赖^[6]——系统早期的微小事件被强化从而影响整个系统的演化, 技术学习的不确定性^[7]和路径依赖相结合会导致系统从相同的初始状态和外部环境下向不同的方向演化^[8]. 因为这些复杂性的存在, 很难用传统的优化或平衡分析法来分析和

① 收稿日期: 2012-03-07; 修订日期: 2012-06-07.

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(70901026); 国家杰出青年科学基金资助项目(71125002); 教育部新世纪优秀人才资助项目(NCET-09-0345); 上海市曙光人才计划资助项目(08SG30); 上海市浦江人才计划资助项目.

通讯作者: 马铁驹(1975—), 男, 江苏常州人, 博士, 教授. Email: tjma@ecust.edu.cn

② 消费者如果发现新能源汽车的加能站很少, 就不愿意购买和使用新能源汽车; 而能源供应公司如果发现使用新能源汽车的消费者很少, 也就不愿意投资建设加能站.

解决与新能源汽车及其加能站交互扩散相关的决策问题,例如“如何来优化设计新能源汽车加能站的初始空间分布”。

基于 agent 的建模,简称 ABM,被认为是研究众多不同特性决策体(agent)相互作用所产生“涌现”现象及其过程的有效方法^[9]。ABM 是一种研究微观层次上主体(agent)的交互产生宏观复杂性的计算机仿真方法。其中 agent 代表自主决策的实体,一般具有自治性、社会性、应激性和主动性^[10]。从计算机科学的角度而言,一个 agent 是一段代表了现实世界中决策体的计算机程序,一般具有感知、行动和规则^[11]。近年来,ABM 已经被广泛用于研究社会经济系统的复杂性。著名的例子包括 Santa Fe 研究院构建了基于 agent 的股票市场模型^[12],Axelrod 用基于 agent 的模型来分析合作的复杂性^[13],Parker 等学者用基于 agent 的模型来分析土地利用^[14]等。近些年来国内学者在运用 ABM 分析金融市场复杂性^[15]、电子商务中的行为方式^[16]等领域做了很多前沿性工作。盛昭瀚和张维系统地探讨了管理科学研究中的计算实验方法,ABM 是其中的重要元素^[17]。空间是很多 ABM 模型中涉及的因素。例如在基于 agent 的传染病扩散模型^[9],基于 agent 的交通流仿真模型^[18]、以及基于 agent 的火灾时群体逃散模型^[19]中,空间是一个需要考虑的重要因素。在现有的绝大多数基于 agent 的模型中,二维空间通常被简化成由众多网格组成的类似元胞自动机的结构。这种简化方便模型的构建和程序编写,但同时也弱化了仿真结果与实际问题的联系。

近些年来,GIS(地理信息系统)得到了飞速发展。GIS 中存储了大量的空间数据。把这些空间数据与 ABM 结合起来让 ABM 更好地分析实际问题,将是对 ABM 这种方法的极大推动。近年来,集成 ABM 与 GIS 已逐渐成为研究热点,例如 Benenson 等集成了 ABM 与 GIS 来仿真城市中汽车驾驶者的停车选址行为^[20];Lombardo 等集成了 ABM 与 GIS 来探索零售业中零售点的选择问题^[21];古琳等集成了 ABM 与 GIS 来仿真武汉市土地利用

变化过程^[22];吴健宏等在集成 ABM 和 GIS 基础上构建了城市应急疏散仿真框架,研究了城市应急疏散中人员对避难场所的选择规律以及信息发布对疏散结果的影响^[23]。

集成 ABM 和 GIS 还面临着很多挑战,一个重要原因是 ABM 和 GIS 各自的软件平台和技术是独立发展起来的^[24]。ABM 与 GIS 的集成可以概括为两种方式,一种是基于网格(grid)的,一种是基于矢量(vector)的。在第一种集成方式中,二维空间的形状从元胞自动机的巨型或圆环形变成了地图的形状,但空间依然由网格组成。这种方式实现起来比较简单,现有的集成 ABM 与 GIS 的模型大都是这种方式。在 GIS 中,二维空间的拓扑结构以及空间里的元素,如路网等大部分是用矢量来表示的,所以第二种方式,也就是基于矢量的集成方式对于提高模型与现实的相似度非常重要,这种方式实现起来比较复杂,往往会产生巨大的计算量,所以这种集成方式也是这个领域目前需要深入研究的问题^[25]。

本文以常用的 ABM 建模平台 Repast 和常用的 GIS 平台 ArcGIS 为基础,探索一种基于矢量的集成 ABM 与 GIS 的技术实现方法,其核心思想是利用 Repast 仿真框架对图形文件(shapefile)的读写接口,建立其与 ArcGIS 间的通信,从而形成一种松耦合的集成方式。

福特汽车公司的 Stephan 和 Sullivan 构建了基于 agent 的模型来分析氢能源汽车采纳者和加氢站的互动扩散^[2]。他们的模型中有两类 agent:驾车者和加能站所有者。这两类 agent 在一个正方形以及横平竖直的路网中交互影响,形成氢能源汽车及其加能站的互动扩散。这个模型可以揭示扩散过程的复杂性,但其仿真结果不是跟某个具体城市/地区联系起来,所以很难提供实际的决策支持。如果把其中形式化的路网换成一个城市的真实路网,再把这个城市驾车者的驾车路线分布的特点反映到模型中,这样仿真出的结果就跟实际问题更接近,能更好地为“这个城市初始加氢站该如何分布”这样的问题提供决策支持。

利用本文提出的集成 ABM 与 GIS 的方案,以

上海市为例,构建了基于真实城市路网结构的新能源汽车及其加能站同步扩散的仿真平台。

1 一种基于矢量的 ABM 与 GIS 的集成方法

1.1 Repast 及其构建 ABM 模型原理

Repast 是一款由芝加哥大学社会科学计算研究中心研发的 ABM 仿真框架,它提供了一系列用以生成、运行、显示和收集数据的类库,并能对运行中的模型进行“快照”,记录某一时刻模型的当前状态,还可以生成模型运行过程中状态动态演化的视频资料^[26]。Repast 中用 TickCount 来刻画仿真运行的步数,随着仿真的进行 TickCount 将不断增加,通常情况下每步增量为 1.0,根据模型的定义每步可以代表一小时、一天或者一个月等。

在 Repast 构建的 ABM 中包含四种基本对象: Model 对象、Agent 对象、Space 对象和 Action 对象。其中,Model 对象代表了仿真模型本身。在该对象的具体类中不仅需要创建其他三种对象,还必须包含程序入口的 main 方法,当启动仿真程序时,Repast 会根据该对象生成控制整个仿真流程的可视化操作界面。Agent 对象代表了 ABM 中

对现实世界决策体的抽象,在模型中可以存在多种不同的 Agent 对象用于代表各种不同的决策体。每个 Agent 对象都有用于定义其自身行为的属性和方法。Space 对象构成了模型中 Agent 对象的抽象活动空间,每个 Agent 对象总是存在于 Space 对象代表的活动空间中,在 Repast 中能构建的 Space 对象种类也很多,如二维栅格对象空间、二维圆柱对象空间等。Action 对象有两大作用:控制各种 Agent 对象的行为和控制各种图表的更新。每个 Action 对象都需要在其 execute 方法中调用 Agent 对象的行为方法或更新图表中的数据,而 Action 对象的执行流程则是由 Model 对象的时间表机制(Schedule 对象)来统一控制。

因此,Repast 框架下 ABM 的工作原理可描述为:Model 对象初始化 Agent 对象、Space 对象和 Action 对象,并根据时间表循环执行用户自定义的各种 Action 对象中的 execute 方法,当仿真程序达到终止条件后仿真结束。其间,Model 对象会记录和统计由于各种 Agent 对象的交互行为引起的整个系统状态或特性的改变,并通过 Action 对象进行各种仿真结果图表的生成。图 1 显示了该工作原理。

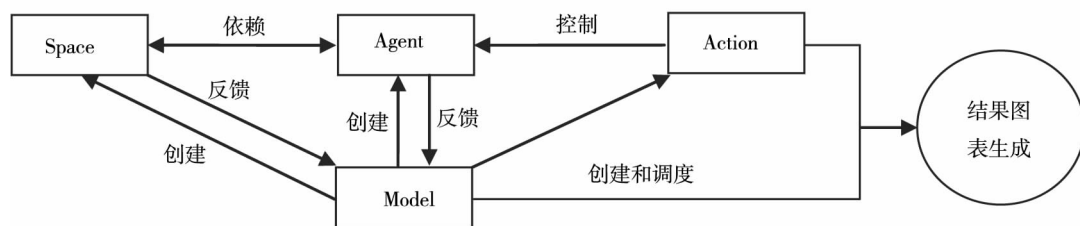


图 1 Repast 下 ABM 的工作原理

Fig. 1 Operational principle of ABM with Repast

1.2 集成 ABM 和 GIS 的设计思想

由 Repast 构建 ABM 的工作原理可知将 GIS 整合到 ABM 中实际上就是将 Space 对象从模型中剥离而改用 GIS 提供的真实地理环境代替,将管理 Agent 对象活动空间的主要职责从 Repast 转交给 GIS 来完成。目前,Repast 主要提供了两款主流 GIS 的接口: ArcGIS 和 OpenMap。由于相比其他 GIS 软件, ArcGIS 是一套界面友好、功能完善、使用广泛的 GIS 软件,本文使用了其提供的桌面

应用程序(ArcGIS Desktop)来完成集成。ArcGIS Desktop 能以分层的方式管理、显示和分析图形文件(shapefile)。这里的图形文件是一种描述空间数据几何属性特征的非拓扑实体矢量数据结构,这种格式的文件提供了将 ABM 与 GIS 相结合的切入点。在图形文件中,空间信息体现为一张二维数据表。Repast 提供了能读取图形文件中二维数据表并创建出相对应的一组 Agent 对象的 API(应用程序编程接口),使得创建出的这组 Agent

对象与该图形文件中的二维数据表中的记录一一对应,表中每条记录的所有字段都被包含于其对应 Agent 对象的属性中,同时 Repast 还提供了将一组 Agent 对象中的属性写回到对应的图形文件中的 API. 本文集成 ABM 与 GIS 的基本设计思想是通过 Repast 对图形文件的读写接口,使 Repast 能通过模型中的 Agent 对象控制在 GIS 中显示的空间实体. 在该设计思想下图形文件将被分为两类,一类用于生成仿真中的具有行为的各种 Agent 对象,另一类则用于生成具有空间拓扑关系特性的 Agent 对象,替代 Space 对象构成其他 Agent 对象的活动空间.

具体而言,上述设计思想是利用 Repast 的 API 构建一种与 ArcGIS Desktop 相结合的松耦合集成方式,这种集成方式的一般流程分为五步: 1) 用 ArcGIS Desktop 对图形文件进行预处理. 2) 利用 Repast 根据预处理后的图形文件创建相应的 Agent 对象. 3) 按照时间表调度机制执行仿真程序,并在每个时间步结束时将修改后的 Agent 对象全部写回到对应的图形文件中. 4) 通知 ArcGIS Desktop 重新装载数据实现动态仿真效果. 5) 由 ArcGIS Desktop 对仿真结果进行数据分析. 在这种松耦合集成方式下,Repast 与 ArcGIS Desktop 的通信完全建立在 Repast 对图形文件的读写操作上, ArcGIS Desktop 执行地理数据的预处理、显示和分析,而 Repast 则实现数据转换、仿真过程中的数据修改和数据统计,两者的功能相对独立. 实际上,与这种松耦合相对的还有其他集成方式,例如紧密耦合方式,即将 GIS 嵌入到 Repast 模型中并使用 GIS 软件的 API 以提供数据显示和分析等功能. 虽然松耦合的集成方式下存在较多的数据转换而影响程序的执行效率,但由于其不使用 GIS 软件自身的 API 使得 Repast 和 ArcGIS Desktop 在仿真模型中的职责明确、独立,并能很好地利用 ArcGIS Desktop 提供的数据处理和分析功能. 相比之下在内嵌 GIS 的方式中,将会使用 GIS 软件的 API(如 ArcObjects),这使得仿真程序的开发难度增加并且一些自主编写的地理数据分析功能往往较为低效甚至难以实现.

1.3 集成 ABM 与 GIS 的技术架构

从技术层面上看,Repast 对图形文件的读写操作是由 anl. repast. gis. data. GeotoolsData 对象承担而视图刷新操作则是交由 anl. repast. gis. display. EsriDisplay 对象完成. 为了构建 Agent 对象与图形文件的一一对应关系,Agent 对象必须实现 anl. repast. gis. GeotoolsAgent 接口,并提供与图形文件二维表中字段相应成员变量,以获得该二维数据表中的字段值,例如要接收二维数据表中的“name”字段名则必须在 Agent 对象中添加相应类型的同名成员变量“name”及其 getName 方法和 setName 方法. 按照前述的设计思想,Repast 与 ArcGIS Desktop 交互的技术实现核心部分可表述为: 1) 获得 GeotoolsData 对象和 EsriDisplay 对象. 2) 根据图形文件所在的路径利用 GeotoolsData 对象的 createAgents() 方法读取该图形文件,并创建相应 Agent 对象. 3) 随着仿真程序的运行,按照模型定义的 Agent 对象交互规则修改 Agent 对象的状态. 4) 调用 GeotoolsData 对象的 writeAgents() 方法将修改后的 Agent 对象写回原路径,覆盖原有图形文件. 5) 调用 EsriDisplay 对象的 updateDisplay() 方法通知 ArcGIS 刷新视图. 由 Repast 的内部源码可知,GeotoolsData 对象中封装的对图形文件的读写操作实际上是交由 Java 开源 GIS 工具包 Geotools 来完成,因此上述集成方式的技术架构可由图 2 表示.

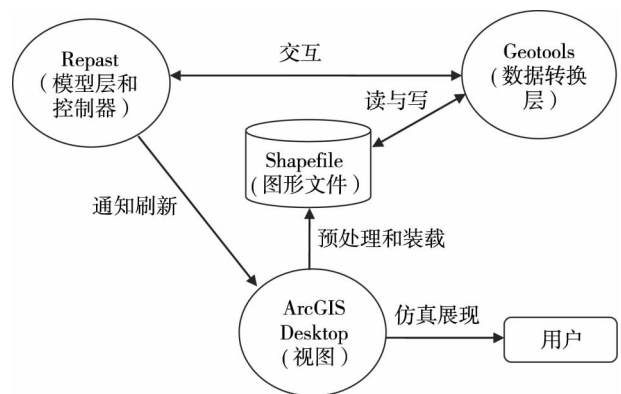


图2 ABM 与 GIS 集成的技术架构

Fig. 2 Integration framework of ABM and GIS

按照上述技术架构中各技术的职责来划分, ArcGIS Desktop 是所有需要可视化的 Agent 对象

(包含两类 Agent 对象)的“容器”,属于视图层 (View),在仿真过程中主要负责数据显示; Geotools 处于数据转换层 (Converter),帮助 Repast 完成对图形文件的读写操作; Repast 作为该集成模型的核心既处于模型层 (Model) 又担当了控制器 (Controller) 的角色——其一方面构建了一系列的 Agent 对象并定义了不同 Agent 对象的属性和方法,另一方面又通过 Model 对象和 Action 对象实现了仿真流程的控制和视图的刷新。

2 ABM 与 GIS 集成在新能源汽车扩散模型中的应用

近年来,空气污染、全球变暖、石化资源枯竭等问题日益凸显,发展和推广新能源技术成为全球关注的热点,尤其是在交通领域。由于交通耗能占据人类总能耗比重约为 1/3^[27],解决交通领域的能耗和污染排放问题是应对能源危机、抑制全球环境恶化的重要环节。汽车是日常交通中使用广泛的交通工具,推广新能源汽车替代现有的汽油汽车对能源安全、节能减排和环境改善有着重要意义。另一方面,目前我国的汽车人均占有量还处于较低水平,在未来二三十年里国内对汽车的需求量将不断增长^[28],这为新能源汽车的发展和推广提供了广阔的空间和难得的机遇。由于当前新能源汽车较为昂贵,技术学习(即新技术的成本将随着人们在该项技术上积累的经验和知识的增加而下降)被认为是促使新能源汽车得以成功推广的内在动力^[2]。然而新能源汽车的扩散及其对应加能站的建设存在着“鸡与蛋”的问题,使得新能源汽车的技术学习很难自发起步。推广新能源汽车通常需要政府投资建立示范性工程以作为技术学习的“种子”^[3]。而建设新能源汽车的加能站需要大量投入,受预算所限,政府不可能一下子组织建立分布广泛和密集有加能站网点,如何优化设计新能源汽车加能站的初始空间分布是推广新能源汽车面临的一个现实问题。

从复杂自适应系统^[4]的视角来看,新能源汽车的推广是不同特性的决策体和元素相互作用、相互调整的复杂演化过程,基于 agent 建模 (agent-based modeling, ABM) 是解决这类问题的有效途径。福特公司的 Stephan 和 Sullivan 构建了新能源汽车和加氢站互动扩散的基于 agent 的模型 (以下简称 SS 模型)^[2]。

SS 模型中 agent 的活动空间是抽象的、形式化的。这个模型可以揭示新能源汽车扩散过程的复杂性,但其仿真结果不是跟某个具体城市/地区联系起来,所以很难提供实际的决策支持。如果把其中形式化的路网换成一个城市的真实路网,再把这个城市驾车者的驾车路线分布的特点反映到模型中,这样仿真出的结果就跟实际更接近,更能为解决实际问题提供决策支持。应用上一节提出的集成 ABM 和 GIS 的技术方案,这一节将以上海为例,构建基于真实路网的新能源汽车及其加能站互动扩散的仿真平台。

2.1 SS 模型概述

在 SS 模型中有两类 agent,一类是驾驶者 agent,一类是加能站所有者 agent。每一个驾驶者 agent 会在一定时间段内考虑更换车辆。当一个驾驶者 agent 需要更换车辆的时候,它会根据式 (1) 来评估换用新能源汽车的效用。

$$u = FixedBenefit + VariableBenefit + SocialValue - WorryFactor \quad (1)$$

在式 (1) 中, u 代表换用新能源汽车的效用。 $FixedBenefit$ 是因为获得政府津贴等后购买新能源汽车比购买传统汽车的价格优势。当新能源汽车刚刚进入市场的时候,价格很高,即使获得政府津贴,新能源汽车的价格仍可能高于传统汽车,所以 $FixedBenefit$ 可能是负的。新能源汽车的价格会在技术学习效应下下降,从而 $FixedBenefit$ 逐步增加。 $VariableBenefit$ 指使用新能源汽车后在燃料上的节省,它跟汽车行驶的里程数有关。政府对新能源燃料的补贴以及对化石燃料征收碳税都会影响到 $VariableBenefit$ 。 $SocialValue$ 指驾驶者因为使用高新、绿色技术后的自豪感。 $WorryFactor$ 指驾驶者对加能不方便的担心。如果一个驾驶者 agent 在

它过去的驾驶中发现新能源加能站很少,那么他的 *WorryFactor* 会很大,换用新能源汽车的效用为负,那么他就不会去选用新能源汽车。一个驾驶者 agent 的 *WorryFactor* 跟它的行车路线以及新能源加能站的分布有关。

当一个加能站所有者 agent 发现通过某一地点的新能源汽车的数量达到了一定值,而周围又没有新能源加能站,它就会在这个地点修建一个新能源加能站。一旦一个新能源加能站修建好了,它至少运行半年,如果半年后加能站所有者 agent 发现通过该站的新能源汽车低于某个数值以至于不能赢利,它就关闭该加能站,如果能盈利则继续运营它。

这两类 agent 生活在一个四方的空间中,用几条横平竖直的线代表路网。一开始的时候政府设立一些加能站作为“种子”,少量驾驶者 agent 使用新能源汽车。Stephan 和 Sullivan 用该模型仿真不同设定下,新能源汽车扩散的场景,其仿真结果显示初始加能站分布在城市中心更能够促进新能源汽车的扩散^[2]。

2.2 整合 GIS 和 ABM 的模型

在 SS 模型的基础上,本文以上海市为例,按照前述提出的 ABM 与 GIS 的集成方法,采用真实地图替代 SS 模型中抽象的空间和路网。另外,用统计数据得出驾驶者 agent 的居住地和工作地分布,并采用 Dijkstra 算法^[29] 来实现真实路网图下驾驶者 agent 的路径选择。

上海市实际的路网极其复杂,模型中使用的是上海市主要道路的路网图,该路网图包含 800 多条路段和 500 多个节点。SS 模型中有 400 个驾驶者 agent,模型中把驾驶者 agent 的数量扩大了 20 倍,包含 8 000 个驾驶者 agent。SS 模型中驾驶者 agent 的居住地和工作地是随机分布的。本文的模型利用 2009 年上海市统计年鉴^[30] 公布的统计数据来得出驾驶者 agent 的居住和工作地点。假设 8 000 个驾驶者 agent 的居住地点分布在 400 个生活区,工作地点分布在 400 个工作区。在计算生活区分布时,首先根据上海市各区县的人口数量,

计算各区县的人口所占比重,然后按照相同比重计算上海市各区县的生活区数量,再把这些生活区随机分布到其相应的区县。工作区的分布则是按照每个区县的 GDP 占上海 GDP 总量的比重,得出各个区县的工作区数量,再把这些工作区随机分布到其相应的区县。驾驶者 agent 的居住地按每个生活区 20 个驾驶者 agent 的数量随机分配到各个生活区,工作地则按照王雯静和干宏程对上海市通勤状况分布的调查统计^[31] 来设定。每个驾驶者 agent 根据 Dijkstra 算法选择从居住地到工作地的路线。Dijkstra 算法是经典的计算最短路径的算法。除了通勤路线之外,SS 模型还设定了一个热点,代表驾驶者 agent 工作之余休闲、购物的场所。在模型中,每个区县都设定了一个热点,每个热点位于对应行政区县的中心。图 3 显示了模型中上海市(主要)路网图以及生活区、工作区和热点的分布。其中白色的小圆点和黑色的小圆点分别代表生活区和工作区,黑色的大圆点代表热点。

根据上海市的实际情况,模型对一些固定参数和变量作了合理假设,如传统汽油汽车的售价为 15 万元,年维修成本为 0.1 万元,其平均每公里的耗油成本为 0.6 元;而新能源汽车初始的售价比传统汽油汽车高 10 万元,年维修成本为传统汽油汽车的两倍,但其平均每公里的能耗成本仅为传统汽车的 25%,为 0.15 元,并且其维修成本会随着新能源汽车数量的增加而减少(规模效应)。当计算消费者的效用函数值时,所有的变量都将被归一到以万元为单位。新能源汽车消费者的初始数量和新能源汽车加能站的初始数量都很少,分别约占其各自总数的 1% 和 2%。另外,在运行仿真模型前还必须进行两方面的数据预处理工作,一是提供与模型需求对应图形文件并规范这些文件中二维表字段的命名,二是将上海市路网数据中的道路图层和节点图层中的数据信息读取并存储到数据库中,以便驾驶者 agent 计算最短路径时直接从数据库中读取路网图的拓扑结构。



图 3 上海市路网图以及生活区、工作区和热点的分布

Fig. 3 Road network in Shanghai and distributions of living quarters , working quarters , and attractions

2.3 仿真结果示例

作为以上模型的仿真结果的例子,本文仿真了上海市新能源加能站两种初始分布情况下新能源汽车的扩散情况: 1) 集中分布,即初始的加能站集中在中心城区; 2) 分散分布,即初始的加能站随机分散到各处. 图 4 显示了不同初始条件下模型运行 180 步后的仿真结果. 跟 SS 模型相同,仿真的每一步代表一个月,180 步即 15 年. 因为驾驶者 agent 的居住地和工作地的设定具有一定的随机性,为了使仿真结果更具代表性和说服力,在实际操作中,每种特定条件下的仿真结果都是取该特定条件下运行 10 次后仿真结果的平均值.

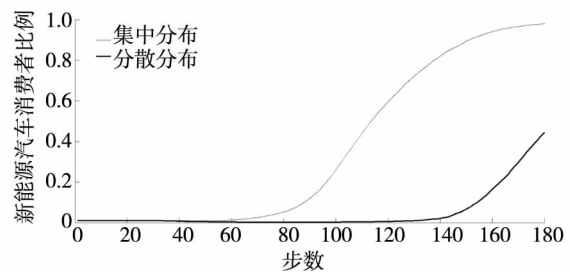


图 4 集中分布与分散分布的仿真结果对比图

Fig. 4 Comparison of the results with concentrative and dispersive distribution of initial refueling stations

从图 4 中可以看出,相比分散分布,集中分布下新能源汽车不仅能够更早的开始扩散,并且有着更快的扩散速度——这可能是由于中心城区往往是行车的要道,使得集中分布比分散分布能

在一定程度上带给驾驶者 agent 更加能的便利性,增加其对新能源汽车的购买意愿.这一结果和SS模型的仿真结果类似.该仿真结果表明在组织建设新能源汽车的示范工程时,决策者需要对初始加能站的布局进行优化设计.本文构建的模型和仿真平台可以为分析初始加能站的优化布局提供决策支持:决策者可以仿真各种布局方案下新能源汽车扩散的场景,从而找出最好的布局方案.

3 结束语

福特汽车研究人员构建的新能源汽车其加能站的同步扩散的基于 agent 的模型可以揭示新能源汽车扩散过程的复杂性,但因其没有考虑现实的路网结构和驾车者行驶路线的分布,很难为具体某一城市或地区新能源汽车的推广提供决策支持.本文探索了一种基于矢量的集成 ABM 与 GIS 的技术实现方法,其核心思想是利用 Repast 仿真框架对图形文件的读写接口,建立其与 ArcGIS 间的通信,形成一种松耦合的、基于矢量的集成方式.这种集成方式的优点是它使得 Repast 和 ArcGIS 职责独立明确,便于仿真模型的开发.应用该集成方式,本文以上海市为例构建了基于真

实城市路网结构的新能源汽车及其加能站同步扩散的仿真平台.仿真了初始加能站集中分布和分散分布两种情况下新能源汽车的扩散场景,仿真表明集中分布不仅能使新能源汽车更早的开始扩散,并且将加快扩散速度.

本文的主要目的是介绍 ABM 和 GIS 的集成方法,对新能源汽车的扩散场景没做深入探讨.但可以看到,集成 ABM 和 GIS 的新能源汽车扩散的仿真模型将能在一定程度上为决策提供依据,比如新能源加能站的初始空间分布会影响新能源汽车的扩散速度.

本研究的后续工作拟从以下几个方面展开.一是研究不同路网结构对新能源汽车扩散的影响,本文拟仿真和对比规则网络和随机网络下新能源汽车扩散的场景,分析对新能源汽车扩散有利的路网结构;二是对现有模型进行拓展,引入新的决策体和元素,如汽车生产商、碳税等,增加模型的复杂性和真实性,以提出更具参考价值的政策建议;三是基于该仿真平台,整合优化算法和场景分析法,进行新能源汽车加能站初始空间分布优化方法的研究.最终拟在现有的仿真平台基础上构建一个具有通用性的可视化决策支持系统,为决策者提供推广新能源汽车的决策支持.

参考文献:

- [1] Arrow K J. The economic implications of learning by doing [J]. *Review of Economic Studies*, 1962, 29: 155 - 173.
- [2] Stephan C, Sullivan J. An agent based hydrogen vehicle: Infrastructure model [C]. *Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation, IEEE, New York*, 2004: 1774 - 1779.
- [3] Malte Schwoon. A tool to optimize the initial distribution of hydrogen filling stations [J]. *Transportation Research Part D*, 2007, 12: 70 - 82.
- [4] Arthur W B. Complexity and the economy [J]. *Science*, 1999, 284(5411): 107 - 109.
- [5] Arthur W B. Increasing returns and the new world of business [J]. *Harvard Business Review*, 1996, 74(4): 100 - 109.
- [6] Arrow K J. *Social Choice and Individual Values* [M]. 2nd ed. New Haven: Yale University Press, 1963: 119 - 120.
- [7] McDonald A, Schratzenholzer L. Learning rates for energy technologies [J]. *Energy Policy*, 2001, 29(4): 255 - 261.
- [8] Ma T, Grubler A. The evolution of technological complexity: An agent-based simulation model of the global energy system [M]// Alexander G, Markandya A. *Modeling Environment-Improving Technological Innovations under Uncertainty*, Routledge, New York, 2009: 206 - 244.
- [9] Dunham J B. An agent-based spatially explicit epidemiological model in MASON [J]. *Journal of Artificial Societies and Social Simulations*, 2005, 9(1), <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/9/1/3.html>.

- [10]黄天辰,韩京才. 基于 Agent 技术的复杂适应系统分析与建模[J]. 计算机仿真,2005,22(9): 58-60.
Huang Tianchen, Han Jingcai. Agent-based analysis and modeling of complex adaptive system [J]. Computer Simulation. 2005, 22(9): 58-60. (in Chinese)
- [11]廖守亿,戴金海. 复杂适应系统及基于 Agent 的建模与仿真方法[J]. 系统仿真学报,2004,16(1): 113-117.
Liao Shouyi, Dai Jinhai. Study on complex adaptive system and agent-based modeling & simulation [J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(1): 113-117. (in Chinese)
- [12]Norman Ehrentreich. Agent-Based Modeling: The Santa Fe Institute Artificial Stock Market Model Revisited[M]. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Berlin: Springer Verlag, 2007.
- [13]Axelrod Robert. The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration[M]. Princeton: Princeton University Press, 1997.
- [14]Parker D C, Manson S M, Janssen M A, et al. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: A review[J]. Annals of the Association of American Geographers, 2003, (93) 2: 314-337.
- [15]张永杰,张维,熊熊. 投资策略与投资收益: 基于计算实验金融的研究[J]. 管理科学学报,2010,13(9): 107-118.
Zhang Yongjie, Zhang Wei, Xiong Xiong. Investment strategies and investment returns: Agent-based computational finance (ACF) research[J]. Journal of Management Sciences in China, 2010, 13(9): 107-118. (in Chinese)
- [16]蒋国银,胡斌. 集成博弈和多智能体的人群工作互动行为研究[J]. 管理科学学报,2011,14(2): 29-41.
Jiang Guoyin, Hu Bin. Study on group interaction behaviors in integrated game and multi-agent [J]. Journal of Management Sciences in China, 2011, 14(2): 29-41. (in Chinese)
- [17]盛昭瀚,张维. 管理科学研究中的计算实验方法[J]. 管理科学学报,2011,14(5): 1-10.
Sheng Zhaohan, Zhang Wei. Computational experiments in management science [J]. Journal of Management Sciences in China, 2011, 14(5): 1-10. (in Chinese)
- [18]Raney B, Cetin N, Vollmy A, et al. Large scale multi-agent transportation simulations [C]// Proceedings of the Annual Congress of the European Regional Science Associations (ERSA), Dortmund, Germany, 2002.
- [19]Shi J Y, Ren A Z, Chen C. Agent-based evacuation model of large public buildings under fire conditions[J]. Automation in Construction, 2009, 18(3): 338-347.
- [20]Benenson I, Martens K, Birfir S. PARKAGENT: An agent-based model of parking in the city [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2008, 32: 431-439.
- [21]Lombardo S, Petri M, Zotta D. Intelligent GIS and Retail Location Dynamics: A Multi Agent System Integrated with ArcGIS [C]// ICCSA 2004, 2004 LNCS 3044: 1046-1056.
- [22]古琳,程承. 基于 GIS-Agent 模型的武汉市土地利用变化模拟研究[J]. 城市发展研究,2007, (6): 47-51.
Gu Lin, Cheng Cheng. Research on simulation of Wuhan land use change based on GIS-agent models [J]. Urban Studies, 2007, (6): 47-51. (in Chinese)
- [23]吴健宏,翁文国,倪顺江. 基于 GIS 和 Multi_Agent 的城市应急疏散[J]. 清华大学学报,2010, (8): 1168-1172.
Wu Jianhong, Weng Wenguo, Ni Shunjiang. GIS and multi agent based evacuation during urban emergence [J]. Journal of Tsinghua University, 2010, (8): 1168-1172. (in Chinese)
- [24]Gilbert G N. Advances in Agent-Based Modeling, Agent-Based Models [M]. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2007: 68-90.
- [25]Stanilov K. Space in agent-based models [M]//Agent-Based Models of Geographical Systems [M]. Berlin: Springer, Verlag, 2011: 253-269.
- [26]Repast Development Team. Repast 3 overview, accessed in October 2009. (http://repast.sourceforge.net/repast_3/index.html)

- [27] IIASA. IIASA GGI Scenario Database, accessed in March 2009. (<http://www.iiasa.ac.at/web-apps/ggi/GgiDb/>)
- [28] Yan X Y, Crookes R J. Energy demand and emissions from road transportation vehicles in China [J]. *A Progress in Energy and Combustion Science*, 2010, 36: 651–676.
- [29] Dijkstra E W. A note on two problems in connexion with graphs [J]. *Numerische Mathematik*, 1959, (1): 269–271.
- [30] 上海市统计局. 上海统计年鉴 2009 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
Shanghai Statistical Bureau. Shanghai Statistical Yearbook 2009 [M]. Beijing: China Statistical Press, 2009. (in Chinese)
- [31] 王雯静, 干宏程. 小汽车与轨道交通出行方式选择行为分析 [J]. *城市交通*, 2010, 8(3): 36–40.
Wang Wenjing, Gan Hongcheng. Car or public transit?: Analysis on travel mode choice behavior [J]. *Urban Transport of China*, 2010, 8(3): 36–40. (in Chinese)

Integration of ABM and GIS and its application in analysis of diffusion of alternative energy vehicles

XIANG Shi-jian, MA Tie-ju

School of Business, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China

Abstract: The diffusion of AEVs (alternative energy vehicles) and their refueling stations are a complex process involving various actors interacting with each other. Current agent-based models for analyzing this process did not consider the real road networks and the distributions of the driving routes. This paper explores a technical solution for the integration of ABM (agent-based modeling) and GIS (geographic information systems). The core idea of the solution is establishing communications with ArcGIS (a popular GIS software platform) by using Repast (a popular ABM simulation software platform)'s interface to shape files and thus a vector-based loose coupling is realized. With this solution, a simulation platform was developed to study the co-diffusion of alternative energy vehicles and their refueling stations based on the real road networks, with Shanghai as an example for simulation.

Key words: agent-based modeling; geographic information systems; diffusion of alternative energy vehicles