

湖南省公众科学素养趋势预测与对策研究

金士尧, 叶超群, 吴集, 黄红兵

(国防科学技术大学并行与分布处理国家重点实验室, 长沙 410073)

[摘要] 湖南公众科学素养趋势预测和对策研究是通过复杂系统仿真来实现的。复杂系统仿真是现代科学预测和对策研究的重要工具。通过实例介绍了复杂系统仿真的全过程, 包括建模、演化、预测和外部事件刺激影响等。并提出了有效的对策措施。

[关键词] 复杂系统仿真; 多 Agent 建模与仿真; 科学素养

[中图分类号] TP391.9 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)10-0054-06

1 科学素养趋势预测与对策研究的理论与方法

湖南省科学素养趋势的研究是对社会的复杂系统整体性的研究。复杂系统^[1]是指系统中包含许多组成元素, 它们之间相互独立(多元性), 又相互影响(相关性), 系统在结构上具有层次性(社会性), 元素与元素之间的相互作用具有非线性, 一般无法用数学公式静态描述其特性的系统。系统的整体性^[2]是将影响系统的主要元素关联起来而呈现的系统特性。复杂系统的整体性具有特殊性——涌现(emergence), 按照科学家西蒙的说法, “已知系统组成元素的特性和它们之间的相互关系, 也很难把系统的整体性推断出来”^[2], 涌现的通俗表述为“整体大于部分之和”。

湖南省科学素养趋势的研究是复杂系统研究课题, 包括了省内14个市州的公众科学素养组成。据2003年湖南省科学素养抽样调查的结果^[3], 湖南省公众具备基本科学素养的比例为1.41%, 其中包括对科学知识的理解比例为3.23%, 对科学方法的理解比例为9.92%, 对科学对社会的作用理解比例为36.16%, 并且按照性别、年龄、职业、学历、城乡和地区对公众进行了细分, 分别调

查了具有科学素养的公众的比例。公众获得科学素养的主要来源于全省的科普工作, 提高湖南省公众科学素养的重要途径有科普设施和大众传媒(包括电视、报纸、杂志、广播和音像制品等)。上述系统的诸多元素在湖南省统一的经济发展的环境中相互作用、相互影响、相互补充、相互激励和制约, 动态地形成湖南省整体的科学素养发展趋势。

从研究的方法论看, 研究复杂系统不能采用传统的还原论方法。所谓还原论方法是指把研究对象分解开来进行研究, 并且认为, 低层次和局部问题弄清楚了, 高层的整体的问题就迎刃而解了。但是复杂系统虽然通常都具有层次结构, 可是它的高层次可以具有低层次结构综合所没有的性质。近代国际上研究复杂系统采用描述法, 包括定性描述和定量描述, 局部描述与整体描述(整体包含局部, 局部支撑整体, 局部行为受整体的约束和支配)。我国科学家钱学森更具体地提出采用辩证逼近法^[4]。

对复杂系统而言, 不可能建立精确的理论模型, 只能通过调查研究、科学理论和人的智慧建立近似的模型, 而且需要经过实践验证(自适应或者学习)不断地修改逼近。

基于复杂适应系统(CAS)理论的多智能主体建模仿真方法是复杂系统计算机仿真基础的科学方

[收稿日期] 2005-07-12; **修回日期** 2005-09-05

[基金项目] 武器装备预研基金资助项目(51484020503ZS9402); 湖南省科技厅专项基金资助项目

[作者简介] 金士尧(1937-), 男, 江苏苏州市人, 国防科技大学教授, 博士生导师

法^[4-8]。复杂系统计算机仿真的过程如图 1 所示，包含针对目标复杂系统（仿真对象）进行调查、研究，满足智能建模的要求；对模型进行编程并输入计算机中虚拟实现，计算机推演产生仿真结果。

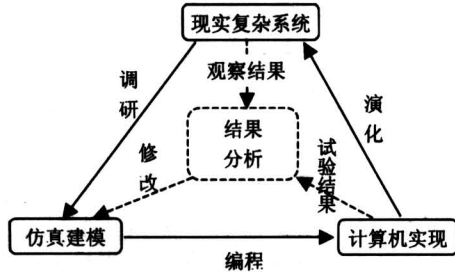


图 1 复杂系统建模与仿真的过程

Fig.1 Modeling and simulation process of complex system

多个智能主体作为复杂系统的各类元素的代理 (Agent)，具有自治性、反应性、交互性。但是复杂系统还需要对智能主体的结构（时空结构）进行整体建模。对于系统的趋势预测和对策研究来说，还进一步需要针对系统的外部刺激建模。

研究湖南省科学素养发展趋势和对策就是基于复杂自适应系统理论和计算机仿真得以实现的，它改变了过去传统的科普研究方法。过去只能通过抽样调查和统计分析，获得历史数据和现实数据，对于发展趋势和政策研究都是建立简单的外推和猜测的基础上，既没有科学的依据，更谈不上可信度。实践证明通过复杂系统计算机仿真进行的趋势预测和对策研究的结果更加科学，更加可信。

2 湖南省科学素养趋势建模

2.1 模型组成

根据湖南省科普的特点，将建立公众 Agent、机构 Agent、媒体 Agent、外部事件刺激和系统整体性等 5 类模型。

2.1.1 公众 Agent 公众 Agent 是科普工作的受众，根据仿真的目标、现有的数据和实际可以提供的计算能力，把公众抽象层次定义到公众万人级，即把每万公众作为多 Agent 模型中的最基本单位。公众科学素养可以用对科学知识的理解程度、对科学方法的理解程度和对科学与社会的关系的理解程度 3 个指标进行衡量。在模型中，仅用综合指标来评判公众 Agent 的科学素养，并且只考虑对公众科学素养具有较大影响的几个属性，包括性别、年龄、职

业、学历、城乡、经济区域、网格空间位置、兴趣集、社交能力和理解能力等。

公众 Agent 的行为规则为：根据公众 Agent 的类型和当前可获取的信息途径，确定自己的兴趣集，社交能力和理解能力。按照兴趣集定义的信息途径和访问频度访问各种类型的科普机构和媒体，获取科学知识，根据自己的理解能力，将这些科学知识转换为自身科学素养的提高。科学素养的提高是一个模糊计算过程，采用模糊推理方法处理。

分别对公众 Agent 的科学素养、各信息途径提供的知识进行打分，取值为 0~100，科学素养变化的模糊规则为：

规则 1 如果自己的具有基本科学素养，且访问的信息途径提供科学知识，则

$$h = \max \{0, x + ay\};$$

规则 2 如果自己的具有基本科学素养，且访问的信息途径提供伪科学知识，则

$$h = \max \{0, x - a(100 - y)\};$$

规则 3 如果自己的不具有基本科学素养，且访问的信息途径提供科学知识，则

$$h = \min \{100, x + ay\};$$

规则 4 如果自己的不具有基本科学素养，且访问的信息途径提供伪科学知识，则

$$h = \min \{100, x - a(100 - y)\}.$$

其中， h 为变化后公众 Agent 的科学素养， x 为原来的科学素养， y 为得到的知识， a 为公众 Agent 的理解水平。

定义模糊集 μ_1 为“具有基本科学素养”，它的隶属函数为 f_1 ，模糊集 μ_2 为“不具有基本科学素养”，它的隶属函数为 f_2 ；同样，对各种信息途径提供的知识也进行打分，定义模糊集 η_1 为“提供科学知识”，隶属函数为 g_1 ；模糊集 η_2 为“提供伪科学知识”，隶属函数为 g_2 。其中，隶属函数 f_1, f_2, g_1 和 g_2 都采用钟型函数

$$\text{bell}(x, a, b, c) = 1/(1 + |(x - c)/a|^{2b}).$$

设公众 Agent 的当前科学素养水平为 s ，从 m 个信息途径获取的知识 t ，则推理步骤如下：

1) 分别计算隶属度 $f_1(s), f_2(s), g_1(t)$ 和 $g_2(t)$ ；

2) 计算 $w_{1.1} = f_1(s)g_1(t), w_{1.2} = f_1(s)g_2(t), w_{2.1} = f_2(s)g_1(t)$ 和 $w_{2.2} = f_2(s)g_2(t)$ ；

3) 计算 $W = w_{1,1} + w_{1,2} + w_{2,1} + w_{2,2}$;

4) 计算 $P_1 = w_{1,1}/W, P_2 = w_{1,2}/W, P_3 = w_{2,1}/W$ 和 $P_4 = w_{2,2}/W$;

这样 P_i 为执行第 i 条模糊规则的概率, 根据其概率可以决定执行那一条规则来改变公众 Agent 的科学素养水平。

2.1.2 科普机构 Agent 科普机构 Agent 建模图书馆、学校、科技馆等经常性科普机构, 是科普活动的发起者。它的属性主要包括: 科普作用因子、影响范围、容量和网格空间位置等。

科普机构 Agent 的行为规则为: 当被公众 Agent 访问, 如果没有达到自己的容量, 则按照自己的作用因子向公众 Agent 提供科学知识。

2.1.3 媒体 Agent 媒体 Agent 也是科普活动的发起者, 它建模报纸、电视、广播等参与科普宣传的媒体。它的属性主要包括: 科普作用因子、影响范围、信息更新频率和网格空间位置等。

在媒体更新知识前, 公众 Agent 每次访问媒体 Agent 所能获取的科学知识将会逐次减少。

2.1.4 外部事件激励 Agent 为了能够通过演化预测湖南省可能采取的科普对策措施的效果, 将这些科普措施建模成为外部事件, 在仿真之前或者在仿真的过程中由外部事件激励 Agent 动态加入系统, 这些外部事件的执行将会打破系统现有的动态平衡, 导致系统从一个状态演化到另一个新的状态。

外部事件主要考虑以下的科普措施: 增加科普投入、增加媒体科普宣传投入、提高科普机构的效能、举办科普宣传活动等。这些外部事件包括下列参数: 类型、发生时间、发生地点、持续时间、科普作用因子等。

针对不同类型的外部事件, 外部事件激励 Agent 将其影响不断作用于相应的公众 Agent、科普机构 Agent 以及媒体 Agent, 这样就改变了系统的状态, 打破了系统的平衡, 导致系统演化到新的状态。当外部事件的持续时间结束后, 外部事件激励 Agent 撤销该外部事件, 不再继续执行该事件。

2.1.5 系统整体性模型 系统整体性模型定义了 Agent 活动的空间。根据仿真的目标, 将仿真的空间定义为湖南省的地理位置空间, 并将其网格化, 这样湖南省的 14 个市州分别被映射为网格空间中 14 个不同的子空间。系统整体性模型还描述了公众 Agent、科普机构 Agent 和媒体 Agent 在仿真空间中的分布情况, 这些信息能够被公众 Agent 所感

知, 用来作为指导自己行为的依据。系统的宏观状态也是通过系统整体性模型来描述的, 系统整体性模型动态统计各市州公众 Agent 的科学素养水平以及湖南省全部公众 Agent 的科学素养水平, 然后通过曲线图、直方图和网格空间地图的方式显示出来, 这些状态是作为宏观规律从微观个体的相互作用中“涌现”出来的。

2.2 多 Agent 模型的演化

复杂自适应系统理论的基本观点是“适应性造就复杂性”, 而适应性体现在系统的演化过程中。在湖南省科学素养趋势的多 Agent 模型中, 系统演化的动力主要有两方面: 一方面是系统组成个体之间的信息交流, 它促进了组成模型的个体对环境的适应性; 另一方面是公众 Agent 科学素养的群体演化, 它促进了公众 Agent 群体整体的适应性。

图 2 给出了多 Agent 模型中各组成部分之间的信息流。

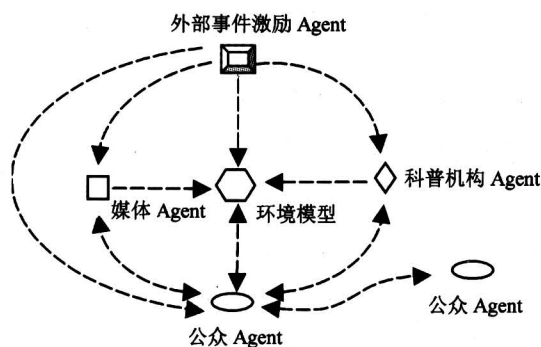


图 2 各组成部分之间的信息流

Fig. 2 Information flows among system components

民众 Agent 科学素养的群体实现, 借鉴生物进化中的遗传算法来实现。

针对湖南省科学素养趋势预测系统的特点, 对小范围的公众 Agent 群体进行演化。演化算法不采用传统的二进制编码, 直接使用 Agent 的属性值来进行适应度计算, 后面的选择、交叉和变异操作都是基于这种考虑。

定义适应度函数为

$$\text{fitness} = \sum_{i=0}^{11} c_i \text{attribute}_i /$$

$$g | \text{level}_{\text{environment}} - \text{level}_{\text{agent}} |,$$

其中, attribute_i 分别按照上述属性对公众 Agent 科学素养的贡献赋值为 0 到 1 之间的实数, $\text{level}_{\text{agent}}$ 为公众 Agent 的科学素养水平, $\text{level}_{\text{environment}}$ 为公众

Agent 群体的平均科学素养水平， c_i 为常数。

变异与选择类似，依然要考虑编码方式的特殊性，因此将典型算法中 $1 \rightarrow 0$ ，或 $0 \rightarrow 1$ 的变异方式改为对属性取值的改变，算法改进如下：

- 1) 根据变异率（一般很小）决定变异个体；
- 2) 随机选取变异属性；
- 3) 在被选取属性的取值范围内随机选取新的属性值完成变异。

3 湖南省科学素养趋势的系统仿真

根据湖南省科学素养趋势研究建模的需求，在国防科技大学计算机学院研发的复杂系统分布仿真平台 Jcass 下，利用 Java 编程语言，开发了“湖南公众科学素养趋势预测与对策研究仿真系统”。

3.1 系统初始化

系统的初始状态数据是根据 2003 年湖南省公众科学素养调查数据，仿真的时间起点是 2004 年 1 月。由于调查数据只有全省的概略数据，没有较细的 14 个市州的统计数据，为此选择了性别比例、城乡人口比例、文化程度、职业、经济实力 5 个准则，对湖南各市（州）情况进行评估。方案集为湖南省 14 个市（自治州）。用该层次分析模型和相关的统计数据^[9]，得到的评估结果如表 1 所示。

表 1 湖南省各市（州）公众科学素养水平评估结果

Table 1 Evaluation results on public scientific literacy of all 14 cities of Hunan Province

市（州）	科学素养水平/%	市（州）	科学素养水平/%
长沙	2.332 4	张家界	1.069 0
株洲	1.941 3	益阳	1.496 9
湘潭	1.782 4	郴州	1.171 2
衡阳	1.415 1	永州	1.075 3
邵阳	1.070 8	怀化	1.016 6
岳阳	1.800 8	娄底	1.145 1
常德	1.275 5	湘西	0.970 0

比较湖南省公众科学素养分层调查结果：中心城市公众科学素养为 2.12%，第一层为 1.60%，第二层为 0.94%。计算结果与已有统计数据相比较相差不大，模型结果具有合理性。

根据湖南人口、科普机构和科普媒介的分布，将公众、科普机构和科普媒介等 3 类 Agent 模型实例化为具有不同属性值的实例 Agent。其中公众

Agent 有 6 694 个，科普机构 Agent 17 个，科普媒介 Agent 44 个。

3.2 发展趋势预测的仿真结果

按照前面的设计和初始化，将现有的公众科学素养水平、人口状况、科普机构分布和科普媒介数量及分布作为现状，对以下几种情况进行仿真。

维持现有的人力物力投入、保持现有科普机构和科普媒介的正常运转的情况下，湖南省及各市州的公众科学素养水平状况的发展状况。

湖南全省公众科学素养的发展趋势见图 3，在维持现有的人力物力投入、保持现有科普机构和科普媒介的正常运转的情况下，头 4 年内（即 2004 年 1 月至 2007 年 12 月）全省公众的科学素养水平保持缓慢增长，以后这些投入只能基本维持公众科学素养的现有水平。从图 3 还可以看出，在维持 2003 年的现有投入的条件下，到 2008 年公众基本科学素养只能提高 0.06%，达到 1.47%，以后基本维持这一水平。因此，要提高全省公众科学素养水平还需要进一步投入。

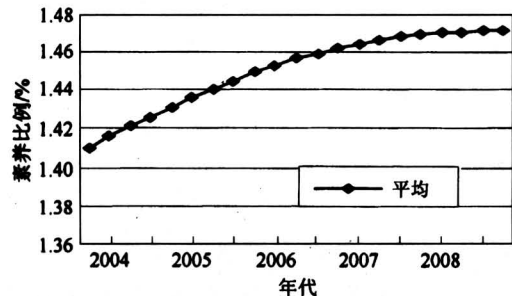


图 3 湖南省公众科学素养发展趋势图

Fig.3 Evolution trend of gross public scientific literacy of Hunan Province

湖南各市州的公众科学素养的发展趋势见图 4，公众科学素养高于省平均水平的市州有长沙、株洲、岳阳、湘潭，其中长沙高出平均水平约 0.9 个百分点，株洲、岳阳、湘潭约高出平均水平 0.4 个百分点；几乎与平均值相当的有益阳和衡阳。

4 科普发展对策研究及其效果分析

通过复杂系统计算机仿真，在湖南省科普素养趋势预测的基础上进行对策研究，可以获得如下合理、可信的结果^[10]，供决策参考。

- 1) 2003 年湖南省公众具备科学素养的比例为 1.41%，低于全国公众具有科学素养比例的平均水

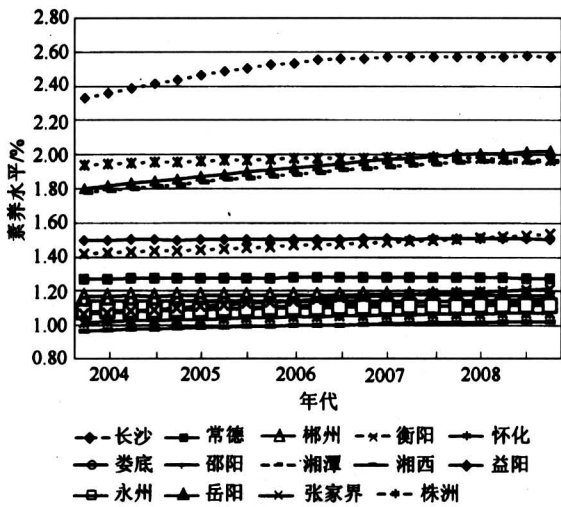


图 4 湖南省各市州公众科学素养发展趋势图

Fig.4 Evolution trends of public scientific literacy of all 14 cities of Hunan Province

平 1.98%。通过复杂系统仿真对公众科普素养的趋势预测,按照目前的科普投入,场地规模、媒体作用和科普活动水平,经过 4 年发展到 2008 年底,湖南省的公众素养只增长了 0.6%,达到 1.47%,远落后于全国公众科学素养规划的水平 3.0%,因此迫切需要研究对策。提高湖南省公众科学素养水平最根本、最有效的方法是增加科普发展的投入。对策推演表明(见图 5),如果湖南省科普投入从人均 0.33 元增加 0.43 ~ 0.48 元(每年人均增加 0.1 ~ 0.15 元)则可望 2008 年达到 3.04% ~ 3.64%,刚好满足全国规划的要求。

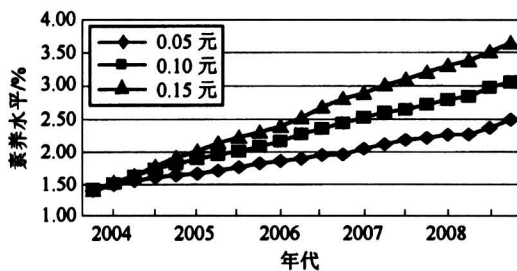


图 5 增加投资时湖南省公众科学素养发展趋势图

Fig.5 Evolution trends of public scientific literacy of Hunan Province with 3 different investment levels

2) 研究表明,投资只是发展科普、提高公众科学素养水平的基础和前提,同时必须采取强有力的措施,保障投入和产出的效率。预测对策研究表

明,湖南省科普工作应该在科普机构、场地、媒体发展和科普活动等诸多方面下大力气。并且通过对每个方面的发展都提出了具体的要求,即科普机构和场地要求每年提高效率 4.5% (见图 6); 媒体发展每年 3.0%; 科普活动虽然没有量化仿真,但也要求逐年提高效率达到 3% ~ 4.5% (见图 7)。

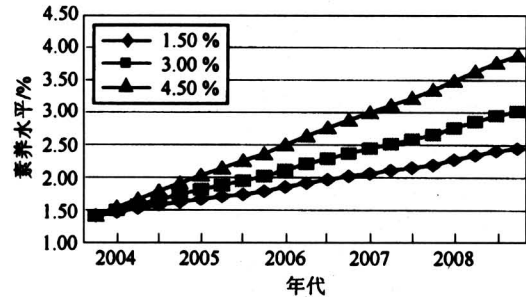


图 6 加大科普场馆建设时湖南省公众科学素养发展趋势图

Fig.6 Evolution trends of public scientific literacy of Hunan Province with 3 different levels of scientific popularization facility increments

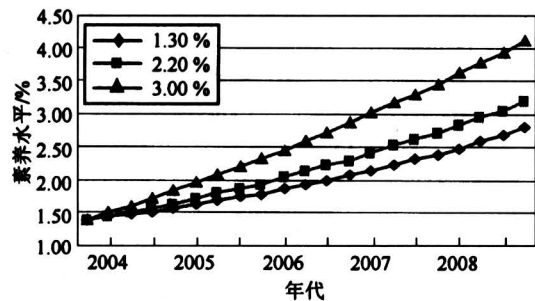


图 7 加大有效媒体建设时湖南省公众科学素养发展趋势图

Fig.7 Evolution trends of public scientific literacy of Hunan Province with 3 different levels of effective scientific popularization media increments

3) 湖南省科普发展工作要有层次,要有重点,要有针对性。通过对湖南省各市州公众科学素养趋势的整体预测,各地区的发展水平相差很大,大致可以分为 3 个层次,即高于全省平均水平的有长沙、株洲、岳阳和湘潭;与全省平均水平相当的有益阳、衡阳;低于全省平均水平的有常德、张家界、湘西和怀化。根据不同市州的性别比例、城市化程度、文化程度、职业结构、经济实力等不同情况,可以采取相应的措施,具体的建议见表 2。

表 2 湖南省科普能力评估分层及对策建议

Table 2 Scientific Popularization Capabilities Rankings and Countermeasures for All 14 Cities of Hunan Province

准则	评估结果分层	对策建议
性别比例	1. 衡阳 永州 邵阳 郴州 岳阳 2. 娄底 怀化 张家界 湘西 湘潭 3. 常德 长沙 株洲 益阳	调整针对男性科普措施, 男性、女性科普工作协调发展, 加强针对女性科普措施
城市化	1. 长沙 株洲 湘潭 岳阳 2. 郴州 常德 益阳 娄底 衡阳 3. 张家界 湘西 永州 怀化 邵阳	加强城市社区科普措施, 农村、城市科普工作协调发展, 加强针对农村科普措施
文化程度	1. 长沙 湘潭 株洲 衡阳 湘西 张家界 2. 益阳 岳阳 郴州 娄底 怀化 3. 永州 邵阳 常德	提高科普工作层次和水平, 提高科普工作和加强基础教育并重, 加强基础教育
职业结构	1. 长沙 湘潭 株洲 益阳 衡阳 2. 娄底 湘西 岳阳 邵阳 3. 张家界 怀化 永州 常德	加强企业以及具有职业针对性的科普措施, 协调发展, 加强农业以及赋闲人员科普措施
经济实力	1. 长沙 株洲 衡阳 岳阳 2. 张家界 湘潭 常德 娄底 3. 永州 益阳 郴州 怀化 邵阳 湘西	正确引导科普消费及增加科普消费场所, 引导科普消费与增加直接投资并重, 加大直接科普投资

5 小结

政府决策措施的有效性依赖于决策过程的科学

化, 包括实事求是的决策原始数据, 对事物发展趋势的正确分析, 以及措施实施过程的有效反馈和验证。从湖南省公众科学素养趋势预测和对策研究的实例看, 复杂系统计算机可以将原始抽样调查数据通过系统建模和仿真得到形象生动的预测; 又可以通过改变模型的结构和参数获得改变的影响, 从而获得对策有效性数据。因此, 复杂系统计算机仿真是科学的趋势预测和对策研究的现代化工具。

参考文献

[1] 钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学新领域——开放复杂巨系统及其方法论[J]. 自然杂志, 1990, 13(1): 3~10

[2] 贝塔朗菲. 一般系统论:基础、发展和应用[M], 林康义, 等译, 北京:清华大学出版社, 1987

[3] 湖南省首届公众科学素养调查报告[R]. 长沙:湖南省科学技术协会, 2004

[4] 李宏亮. 基于 Agent 的复杂系统分布仿真[D]. 长沙:国防科技大学工学博士学位论文, 2001

[5] 西蒙 H. 人工科学[M], 武夷山译. 北京:商务印书馆, 1987. 167~168

[6] John H(Holland). Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity [M]. Addison-Wesley Publishing Company, Inc, 1995

[7] John H(Holland). Emergence: From Chaos to Order [M]. Addison-Wesley Publishing Company, Inc, 1998

[8] Fromm J. The Emergence of Complexity [M]. Kassel University Press, 2004

[9] 湖南统计年鉴—2004[M]. 北京:中国统计出版社, 2004

[10] 湖南科普发展研究报告[R]. 长沙:湖南省科技厅, 2005

Direction Forecast and Decision-making Investigation of Public Scientific Literacy of Hunan Province

Jin Shiyao, Ye Chaoqun, Wu Ji, Huang Hongbing

(National Laboratory for Parallel & Distributed Processing, National University of Defence Technology, Changsha 410073, China)

[Abstract] Complex system simulation is an important technique for scientific forecast and decision-making investigation. By this means, direction forecast and decision-making investigation of public scientific literacy of Hunan Province are achieved. With this case study, this paper presents the whole course of complex system simulation, including modeling, evolving, forecasting and stimulating by external-event, etc.

[Key words] complex system simulation; multi-agent modeling and simulation, scientific literacy