

基于 Web 的项目管理模拟研究

王有天^{1,2} 胡斌¹

(华中科技大学管理学院 武汉 430074)¹ (湖北经济学院信息管理学院 武汉 430305)²

摘要 在总结模拟方法和手段的基础上,针对组织人与任务互动过程任务管理部分,将模拟与项目管理方法结合起来,并利用富客户端 SVG+JS 技术实现基于 Web Service 的任务管理模拟系统,取得了采用 SVG 等网页图形技术实现远程图示模拟数据等成果。

关键词 项目管理,模拟,Web service,SVG+JS

中图分类号 TP391.7 **文献标识码** A

Research on Web-based Project Management Simulation

WANG You-tian^{1,2} HU Bin¹

(School of Management, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)¹

(School of Information Management, Hubei University of Economics, Wuhan 430305, China)²

Abstract In order to study the task-processing process in an organization, we summarized simulation methods and techniques, and applied simulation to project management. We also implemented the Web service based project management simulation system using rich internet application technique such as SVG and JS, making data validation and graphic presentation available on the browser side during the process of simulation.

Keywords Project management, Simulation, Web service, SVG+JS

1 引言

目前业界应用的项目管理软件大多使任务或活动直接在各个任务上从不确定性转化为确定性问题(常常取均值),以方便计算。这样计算的结果并不一定正确,比如,任务之间的关系是非线性的(一项后置任务的开始时间取决于所有前置任务完成时间的最大值,这样后置任务的开始时间的期望不是所有前置任务的结束时间的期望的最大值,而应是所有前置任务结束时间的最大值的期望)。另外,这样计算的结果往往过于“单薄”,即数字特征过少(常常就是数学期望,有时候加上方差),不能反映所求状态变量分布的总体情况(在实际管理中,管理者经常要了解某些指标会大致落在哪个区间)。我们通过引入模拟来进行项目中任务/活动的管理。

模拟是一种用于解决复杂问题的不确定性方法。对组织管理中人与任务的互动进行模拟,需要采用不同的模拟方法,然后将其集成。建模人员也需要相互引用对方的模型,在模拟运行过程动态地引入多个用户创建的模型;这就需要支持多用户共建和共享的模拟系统。考虑到多用户交互的特点,以及为方便开发人员维护和使用之目的,系统可以采用 B/S 架构^[1]进行开发,其中模拟的交互可以用 Web Service^[2]在服务器端实现,模拟的动画过程和与用户交互可以采用客户端技术如 ECMAScript^[3]/HTML5^[4]实现。

我们拟将上述系统放置于我们的网站上,开放给注册用

户使用。一方面,用户可以参与模拟的建模工作;另一方面,可以与其它模拟系统集成(比如通过 Web Service 的调用)。此外,这也非常方便我们将其向企业推广,应用到企业生产实际中。我们的研究将主要集中在任务管理上,注重企业实际,一方面进行模拟平台的设计和实现;另一方面,将以任务管理为核心,阐述如何利用该平台对组织管理中的任务进行理论分析和建模,然后利用平台实现,并将其应用到企业项目管理和员工日程安排上。

2 模拟求解方法

人们对于问题的解决方法可以分为两类:一种是解析方法,另一种就是模拟方法。

解析方法通过已知的假设/公理/运算规则,推导出结论,回答问题。解析方法的缺点是对于太复杂的问题,难以找到解析解。这种困难大概出现在:1)原问题很复杂,不可能结构化。比如,很多社会学问题、人的心理问题等;2)问题可以描述清楚,但难以用已知的解析方式求解或者虽然有解析解但结果过于复杂难以应用或者求解过程时间/空间复杂度太高。有的问题虽然可以用解析方法求解,但求解复杂度太高,这时也需要考虑模拟方法。比如,也可以用 Monte Carlo 方法求解 $\int_0^{\pi/2} \sin x dx$ 得到近似值^[9]。

模拟方法可以应用于这些难以用解析方法求解的问题。模拟方法也要求对问题建模。对于解析方法难以建模的,模

到稿日期:2013-04-21 返修日期:2013-09-04 本文受国家自然科学基金(71071065),教育部博士点基金(20100142110049)资助。

王有天(1975—),男,博士生,主要研究方向为管理信息系统、管理系统模拟;胡斌(1966—),男,博士,教授,主要研究方向为管理系统模拟、决策支持系统等,E-mail:bin_hu@hust.edu.cn(通信作者)。

拟方法仍然可以采用。这主要是由于:

1. 模拟方法允许在知识不完全的情况下,就已知的知识对问题进行描述。

如果对一个系统模型所知有限,则定性方法^[5]就能派上用场,把无法定量的变量用定性方法描述。事实上,定性模拟的设计就是用于知识不完全的情况的。

文献^[6]综合了离散事件模拟和定性模拟的思想对定性离散事件模拟(QDES, qualitative discrete event simulation)方法进行了阐述。其用区间来表述一个值在知识不完全时怎样来表述知识,并将其用于运算推理的方法。对于一个数 a ,如果知道其值是1,则 a 可以直接参与运算。此时,我们的知识是完全的,即对于 a 的任何其它界定都不会超出我们现有的知识,用信息科学理论来阐述, a 是完全确定的,不可能再有信息或者知识能够减少其不确定性。而如果不知道 a 的具体值,但知道它的一些特性,比如 a 属于某个区间等,则该知识是不完备的。也就是说,存在一些信息可以进一步降低我们的不确定性^[7]。文献^[8]应用定性方法提出符号化的模拟过程,使得模拟可以在没有完全知识的情况下推导出一些有益的结论。过程中不再全部是数值计算,而是引入了推理机制。

2. 适用于推导过程复杂的问题

这方面的典型例子是涌现。底层要素的互动导致宏观上表现出一定的特征,但从系统宏观行为无法倒推出各个微观个体的行为,即不可还原性。比如,气体的压力等特性是分子运动和相互碰撞形成的;社会运行的规律是每个人的行为和互动造成的。涌现现象多通过多 Agent 模拟实现^[9]。

宏观现象往往是微观部分的简单行为涌现出来的。这样对于难以建模的宏观问题,我们可以从简单的微观部分入手,并通过大量微观个体间的互动得到事物的宏观规律。随后,可以把宏观的整体表现作为一个单元嵌入到一个更大的模拟系统中;比如可以用多智能体模拟一个企业内部的运作,再将企业与其它企业进行市场交易模拟。人内心的心理属性的波动,与人外在的行为表现之间也体现着“涌现”关系。

3. 强调可验证性

模拟可以看成一种不确定性的方法体系。比如离散事件模拟可以看作是一个随机过程。我们在模拟过程中,随机确定下一个事件的发生时间,实际上可以看作是随机过程的一部分随机变量的抽样。不确定算法有很多,比如我们前面提到的 Monte Carlo 算法、数学中的近似计算、人工智能中的人工神经网络、模拟退火算法、蚁群算法^[10]等,它们都可以理解为按照一定规则抽样,通过统计规律逼近所求的过程。很多不确定性算法本质上是抽样方法的不同。这里抽样规则是否与真实分布一致相当重要,它影响到解的正确性。不确定算法的关键在于如何抽样,并且使抽样趋向于无穷多时,能够迅速地趋近于最优解。模拟方法相对于其它不确定算法,主要特征是要求按照问题的实际情况建模,在计算实验中模拟现实世界的运行。模拟方法强调对问题的建模符合现实和逻辑,保证了抽样的合理性。这也是模拟为什么强调验证(Validation)的原因^[11]。

4. 不确定性算法和确定性算法可以结合

不确定性算法在有些场合下需要与确定性算法结合,以期能够有不确定性算法的速度,又有确定性算法的确定结果。

我们往往可以先用不确定性算法求出一个范围,再在其中用确定性方法求解。比如,若要找出不大于 \sqrt{N} (N 是正整数)的正整数,可以先用浮点数算法求出 \sqrt{N} 的近似值(不确定的算法,因为存在误差不能确定给出我们所求,只能告诉我们在其附近的概率大),然后在其附近的整数里找出所求(确定性算法)。

上述分析表明,对于非确定的、知识不完全的、推理计算规则不清楚的(如涌现)或者确定性算法计算量大的问题,往往模拟方法比较适合,而且相对于一些传统的将不确定性问题在局部转化为确定性问题的算法,模拟可以通过多次运行,无限逼近真实分布,即在既有的知识(可能不完全)情况下,我们能够获取尽可能多的知识(这也是一个不确定性减少的过程)。由于问题的复杂性和随机性,无法完全采用解析推理的方法判定,需要借助模拟。模拟方法还可以和确定性方法结合,给出确定性的答案。

3 当前模拟软件和平台分析

对项目建模和模拟时,可以借助现有软件和工具,或者自行开发。我们首先对现有的模拟软件进行分析,并总结对比不同的模拟建模实现方法,提出自行开发模拟系统,以应对项目管理中特有的一些需要,如子任务关系图的表示、关键路径的计算方法、Beta 分布的计算等。此外,在模拟核心系统的基础上,我们提出基于 Web Service 的模拟服务,使得用户可以在浏览器中远程调用模拟服务进行模拟分析,指导实践。

3.1 现有模拟软件分析

在模拟中,首先是建模。模型的表示需要语言。理论上任何一门计算机语言都可以用来建模,进行模拟实验。RePast 则是用 Java 语言书写的类库^[12]。使用它不必另行学习一门专门的建模语言,可以直接导入类库到 Java 中进行自由定制,为自己的问题建模和模拟。AnyLogic 的模型也是用 java 来表示的^[13]。RePast 也有 C# 语言版本;当然也可以直接利用 C# 语言,结合其它一些库来实现模拟。Modelica^[14]是欧洲学者创建的一个建模语言,建模者还可以通过其网站共享模型库,同时,有一些软件是针对 Modelica 的开发环境,可以利用 Modelica 语言编写模型,进行模拟运行。Ontology 方法也可用来表述模拟领域的知识,进行模型的构建^[15]。

在模拟平台或环境方面,目前有不少模拟软件,其中既有通用模拟软件,也有擅长于某个领域的。

Arena 是离散事件模拟软件。采用 SIMAN 模拟语言和运行器^[16]。在 Arena 中可以将生产流程模型化为过程和资源,赋予一定的分布或加以限制,模拟观察运行效果。Simulink 是多领域建模和模拟环境,具有图形化交互界面^[17]。针对 Modelica 语言开发的模拟开发环境软件有很多。Modelica 系列软件还可以与 Simulink 之间进行模型的共享。

AnyLogic 是目前模拟软件中唯一的一个支持所有常用模拟方法(系统动力学、离散事件、多智能体)的软件。建模者通过图形化界面操作,软件在后台生成对应的代码。对于复杂的逻辑,建模者还是需要写一定的 Java 代码;但 anyLogic 中对代码编写的支持就不如专门的开发环境,而且遇到问题时调试是比较困难的。这也是很多人愿意把模拟的类库如 Repast 导入到自己的项目中,自己利用开发环境如 Eclipse 来进行模拟的建模和运行的原因。比如文献^[18, 19]中模拟部

分就是这么实现的。

3.2 模拟平台的发展趋势

采用现有的模拟平台进行建模比较方便,并可以利用成熟的建模方法和模型库;缺点是不够灵活,使得我们不能顺手地实现自己对项目管理的建模方法(如任务间的关系图、关键路径的计算等)。此外,在程序出现问题时,调试困难。因此,我们在实现模拟系统时,将自行开发。这些积累,有助于我们积累自己的研究成果,为今后更大范围的模拟平台开发打好基础。

此外,上述这些模拟软件都是单用户单机版的。其中 Modelica, Repast 等可以通过共享模型库来实现多用户共同建模,但无法进行动态的多用户交互。在单用户与计算机交互/用户之间交互的体现上,后者才是瓶颈。我们将把模拟系统的方法包装成 Web Service,使得用户在浏览器中就能用自己熟知的网上操作来进行模拟。基于 Web 的在线模拟构想与单机版平台对比具有一些特点:

1) 分布式。B/S 架构下用户无需额外增加硬件和智力投入,使用和维护工作分别进行。

2) 交互性上,采用技术需要加强。该方面也是 B/S 架构的模拟平台没有发展起来的原因。但随着技术的发展,RIA (Rich Internet Application) 应用程序的开发已经变得容易实现。客户端界面的功能可以通过 C/S 平台等实现。

当前 HTML5 已经开始应用。HTML5 提供了 Local Storage 存储大量本机数据、WebSocket 可以实现多线程,Canvas 和 SVG 可以实现图形化展示数据和动画演示。采用 SVG 相对于 HTML Canvas 的好处在于前者是矢量图格式,能够由程序根据数据生成图形和动画。而我们的模拟动画显示就是图形化显示数据变化,因此采用 SVG 较 HTML Canvas 理想。我们在模拟平台的研究设计和实现上将采用 SVG + JS 技术。

HTML5 技术相对于 SilverLight/Flash/Applet 来说是公开、免费的标准,具有纯文本、跨平台的特点,在几乎所有计算机、手机都预装了浏览器的情况下,采用该技术标准利于全球用户通过互联网协作。

采用 WebService 的优点在于不但可以让用户使用模拟服务,还允许程序使用,这样,当程序使用多个模拟服务时,就等于实现了模拟的集成。这种多个模拟服务器的联盟形式构成了一个模拟云^[23],为用户提供模拟服务^[24]。当前采用 B/S 架构的模拟平台不多,一些零星的应用也多偏于工程领域。目前国内基于 Web 或 Web service 的模拟服务还是空白。

4 基于 Web 的任务管理建模和模拟

4.1 传统项目管理方法的不足

任务的处理在企业中应用广泛,对此的研究更贴近企业实际。在任务处理的方面,仍然存在着高度复杂性,需要进一步研究。这主要体现在任务的不确定性使得模型求解困难,往往难以用解析的方式求解,需要采用模拟分析。

传统的项目管理方法(比如 PERT 和 CPM)是根据任务的概率分布来估计每个任务的期望工期,再根据期望工期来计算关键路径,从而估计整个项目的项目工期。当前的任务管理或项目管理软件存在一些不足,对不确定性的处理过于简单,比如 Microsoft Project^[25] 软件中对任务完成时间的不

确定性的处理是将其按照一定概率分布取期望,从而转化成确定性问题求解。但这种处理是有问题的,因为任务的前置/后置关系不是线性的,它们构成一个有向无环图(见图 1),一项任务的开始时间并非是 $\max(\text{所有前置任务的结束时间的期望})$,而是 $E(\max(\text{所有前置任务的结束时间}))$ 。

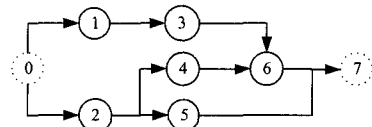


图 1 项目管理中任务间的关系图示例

而利用模拟求解,则往往更贴合实际,更有说服力:

1) 项目工期的估计应该根据整个项目的分布来计算。每个任务服从概率分布,但由于任务的前后关系形成复杂的网格,因此并不能解析推导出整个项目的概率分布。而本研究采用模拟的方法,对每个任务进行抽样,再对每个抽样计算项目的关键路径和工期;反复多次,进而可以估计整个项目的概率分布。根据项目的概率分布计算项目工期比传统方法更科学。事实上,传统方法的关键路径是不变的,而采用模拟方法会发现不同抽样中关键路径也是可变的。

2) 传统方法只估计一个期望值,显得过于单薄。而模拟方法可以给出分布,能给我们更充分和贴切的信息。比如利用模拟不但能够得到期望的项目运行情况,而且可以在多次模拟的结果中看到项目运行的各项指标的分布(比如可以求方差、最好情形、最差情形等)。

4.2 模拟方法

在本研究我们把模拟方法应用于项目管理。以下叙述项目管理中的模拟求解方法。

对于图 1 中的各项任务,我们需要估计其工期的概率分布。在这一点上沿用 PERT 方法,借用专家的意见对每个任务工期估计 3 个值:悲观值 t_p 、最可能值 t_m 、乐观值 t_o (其中 $t_p \geq t_m \geq t_o$)。利用这 3 个值,可以确定一个 Beta 分布。

采用 Beta 分布的原因主要有^[26,27]:首先其相对于三角分布来说比较光滑,而且概率密度更集中于最可能值。其次, Beta 分布在形状上类似于正态分布(表征形态的指标 kurtosis 取值一样,二者均为 mesokurtic),但与正态分布相比,取值限定在一个区间内,比较适合任务的概率分布特点。

我们采用 Beta 分布,使其均值和 PERT 方法计算的均值一样。表 1 是图 1 示例项目各项任务工期的 t_o 、 t_p 、 t_m 值,此外 t_e 是采用 PERT 方法计算的期望工期, $t_e = (t_o + 4t_p + t_m)/6$ 。

表 1 任务工期估值

| Task | t_o | t_m | t_p | t_e |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 3 | 12 | 21 | 12 |
| 5 | 6 | 15 | 30 | 16 |
| 1 | 2 | 5 | 14 | 6 |
| 3 | 5 | 14 | 17 | 13 |
| 4 | 2 | 5 | 8 | 5 |
| 6 | 1 | 4 | 7 | 4 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |

基于图 1 任务的前后关系和表 1 中任务工期的分布特征,我们为项目建立了对应的计算机模型,然后进行抽样。每次抽样中,各项任务根据概率分布随机生成一个工期作为本次抽样中的实际工期,再根据实际工期计算关键路径从而计

算出整个项目的实际工期。抽样多次后,就可以得到项目工期的经验分布。

利用 PERT 方法,项目的期望工期为 28。我们利用模拟方法抽样多次得到项目的概率密度散点图(见图 2),并计算项目的期望工期在 $[28, 29]$ 间,与 PERT 方法得到的结果相近。但是用模拟方法还可以得到项目的 t_o 、 t_p 、 t_m 值,如图 2 所示。图 2 中,项目工期的乐观估计为 16.74,悲观估计为 45.94,而最可能完成的时间为概率密度最大的时间,大概在时间区间的 1/3 处,约为 25,与期望工期并不完全相同。

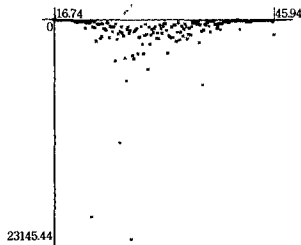


图 2 项目工期概率密度在 SVG 中的显示

4.3 模拟方法的技术实现

在研究中,我们拟将该任务处理系统采用 B/S 架构,在远端采用 SVG+JS 实现数据的展示。SVG 已经有越来越多的浏览器支持。我们在研究中也已经展示了这些技术在模拟中的应用,比如采用多智能体模拟来描述运作管理中的人群行为,并将其与描述生产运作的离散事件模拟集成来测试企业运营效率,我们采用 SVG+JS 实现了图形化表达数据的运行趋势^[27];在 Web 中验证数据,也可以采用 JS 来实现数据的复杂验证^[28]。

我们还利用 SVG+JS 方法,使得模拟可以在网页(包括手机中的浏览)中进行。这相对于传统模拟软件来讲,能够使得模拟用户无需安装专用软件就可以在线进行模拟。这种基于 B/S 的富客户端模拟平台还为将来多用户共享模拟模型提供一个技术框架。我们将实现了的系统放置在 http://nilnul.com/_apps/nilnul.proj/ 供读者访问。在这个网址,读者可以看到我们对本系统的简单介绍;其中,有一个链接供用户点击来运行模拟并得到抽样结果(见图 2)。

下面以图 1 为例对系统的实现做简单介绍。我们的系统采用 B/S 架构实现,可分为两部分:核心模拟程序和网站服务(含客户端数据图形化显示)。

4.3.1 模拟程序

核心逻辑运算部分采用 C# 开发,在服务器端运行。主要包括的步骤有:

首先对任务建立模型。每个任务对应一个概率分布。其中开始任务和结束任务是虚任务,工期固定为 0,或理解为服从常数分布。其它的任务服从以 (t_o, t_m, t_p) 为参数的 PERT 分布,也即一个以 $[t_o, t_p]$ 为分布区间、以 t_m 为模的 Beta 分布。我们采用现有的一些数学计算库来进行 Beta 分布的计算。由于 Beta 分布的计算产生的 double 类型值不是精确值,而计算关键路径需要判断关键路径上每个任务的 Slack 时间^[31]是否精确为 0,因此,我们把 Beta 分布进行了转换,使其抽样只产生精确的有理数值。

其次,对图 1 所示项目中的任务先后关系建立模型。这些任务的先后关系构成了一个关系图。为了进行后面的关键路径运算,需要实现图的一些计算(如路径、子图的计算)。

然后,模拟。在模拟中,对每个任务在其分布中抽样得到实际工期;然后,根据所有任务工期计算项目的关键路径;再根据关键路径计算项目的工期。

最后,模拟多次,得到项目工期的经验分布,并可产生经验分布的概率密度函数上离散点的坐标。

4.3.2 网站服务

对于网站服务部分,我们采用 ASP. Net 开发。首先把服务端的运算包装成 Webservice,接受浏览器端的请求并返回 Jason^[32] 格式的数据。浏览器端的网页采用 AJAX 技术,由 ECMAScript 发起向服务器的请求,在得到返回的概率密度函数抽样数据后,将数据显示在 SVG 中,使得项目管理系统用户可以直观地了解项目工期的概率分布,包括其 t_o 、 t_m 、 t_p 以及期望时间。

我们开发的模拟服务示例可通过 http://nilnul.com/_apps/nilnul.proj/ 访问。其中链接到的 http://nilnul.com/_apps/nilnul.proj/_page/Demo_ajax1d.aspx 是我们开发的模拟网页服务。在该服务中,用户每次刷新网页,网页就会显示“getting”,表示正在向服务器的模拟程序发出请求。服务器则会运行模拟程序,把模拟结果返回。网页得到结果后,显示的“getting”会消失,转而以 SVG 的格式显示所取得的模拟结果,其中横轴代表项目的工期,纵轴代表概率密度。每次刷新会得到不同的模拟结果。

4.3.3 模拟服务开发小结

该平台的实现能够与生产实际紧密结合,既可以用于企业项目管理,也可以用于个人日程安排,能够改善当前很多软件中项目管理/日程安排的情况。此外,允许扩展,比如允许任务的开始时间/结束时间/运行时间是常量、符合已知或未知分布的量、未知的量、变量(依赖于其它一些量,是它们的函数)。

结束语 本文在总结模拟方法和手段的基础上,针对组织人与任务互动过程任务管理部分,将模拟与项目管理方法结合起来应用到企业任务管理过程中,并试图利用富客户端 SVG+JS 技术实现基于 Webservice 的任务管理模拟平台,取得了一些成果,如采用 SVG 等网页图形技术实现实时数据图形化等。在将来的工作中,我们将进一步完善该系统,使得用户可以在线进行模拟实验。

参考文献

- [1] 柳树春,廖孟扬,王思贤,等. Browser/Server 模式管理信息系统的设计与实现[J]. 计算机工程与应用,2000,36(6):106-107,132
- [2] Erl T. Service-Oriented Architecture: Concepts, Technology, and Design[M]. New Jersey: Prentice Hall, 2005: 911-920
- [3] ECMA. ECMAScript Standard [S/OL]. <http://ecma-international.org>, 2013-03
- [4] World Web Consortium. HTML5 [S/OL]. <http://www.w3.org/TR/html5/>, 2013-04
- [5] 胡斌,周明. 管理系统模拟[M]. 北京:清华大学出版社,2007: 12-33
- [6] Forbus K D. Qualitative physics: past present and future[M]// Weld D S, de Kleer J, Morgan J-B. Readings in Qualitative Reasoning about Physical Systems. Burlington, MA: Morgan Kaufmann Publishers, 1988: 11-39

(下转第 237 页)

- [3] Rao A S, Georgeff M P. BDI agents: from theory to practice [C]// Proc. of the 1st International Conference on Multi-Agents Systems, 1995;312-319
- [4] Rao A S, Georgeff M P. Decision procedures for BDI logic [J]. Journal of Logic and Computation, 1998, 8(3):293-294
- [5] Busetta P, et al. A reliable computational model for BDI agent [C]//1st International Workshop on Safe Agents, 2003;1-10
- [6] 陈中祥. 基于 BDI Agent 的 CGF 主体行为建模理论与技术研究 [D]. 武汉:华中科技大学, 2004
- [7] Bordini R H, Hübner J F. BDI agent programming in agentspeak using Jason [C]// Computational Logic in Multi-Agent Systems. Springer, 2006;143-164
- [8] G-Hernández A, et al. Learning in BDI multi-agent systems [C]// Computational Logic in Multi-Agent Systems. Springer, 2004; 218-233
- [9] 刘刚,等. 基于活动的 BDI 主体形成机制及其应用[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2009(9 增刊);25-28
- [10] Pereira D, et al. Formal modeling of emotions in BDI agents [C]// Computational Logic in Multi-Agent Systems. Springer, 2008; 62-81
- [11] Casali A, et al. Graded BDI models for agent architecture [C]// Computational Logic in Multi-agent Systems. Springer, 2005; 126-143
- [12] Xiaojun Zhang, et al. Graded BDI models for agent architectures based on Łukasiewicz logic and propositional dynamic logic [C]// Lecture Notes in Computer Science 7529. Springer, 2012; 439-450
- [13] Zhang Xiao-jun. Modelling emotional agents based on graded BDI architectures [C]// Communications in Computer and Information Science 345. Springer, 2012;606-616
- [14] Harel D, et al. Dynamic Logic [M]. The MIT Press, 2000
- [15] Hájek P. Mathematics of Fuzzy Logic [M]. Kluwer, 1998
- [16] Richard W P, Mavor A S. Modeling Human and Organization behavior; Application to Military Simulations [M]. America; National Academic Press, 1998
- [17] Richard W P, Mavor A S. Representation Human Behavior in Military Simulation; Interim Report [M]. America; National Academic Press, 1997

(上接第 201 页)

- [7] Leow-Sehwal Y P, Ingalls R G. Qualitative Discrete Event Simulation [C]// Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, Monterey, California; WSC, 2006;648-653
- [8] Shanon C. A mathematical theory of communication [J]. Mobile Computing and Communicating Review, 2001, 5(1):3-55
- [9] Zeigler B P, Chi S. Symbolic Discrete Event System Specification [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1992;22(6):11-17
- [10] Cololri A, Dorigo M, Maniezzo V. Distributed optimization by ant colonies [C]// Proceedings of the First European Conference of Artificial Life. Ned; Elsevier, 1991; 134-142
- [11] Iseda T. Verification, Validation, and Confirmation of Simulation Models [R/OL]. <http://carnap.umd.edu/phil250/oreskes/oreskes.html>
- [12] Altaweel M, Blachowicz D, Bragen M, et al. RePast [CP/OL]. <http://repast.sourceforge.net>
- [13] XJ Technologies. AnyLogic [CP/OL]. <http://www.xjtek.com/>. [Accessed 9 2008]
- [14] Modelica. Modelica Simulation [CP/OL]. <http://modelica.org>
- [15] Benjamin P, Patki M, Mayer R. Using ontologies for simulation modeling [C]// Proceedings of the 38th conference on Winter simulation, Monterey, California; WSC, 2006; 1151-1159
- [16] Rockwell Automation. Arena [CP/OL]. <http://www.arenasimulation.com>
- [17] Dabney J B, Harman T L. Mastering Simulink [M]. New York; Prentice Hall, 1998;81-86
- [18] Jiang G, Hu B, Wang Y. Agent-based simulation of competitive and collaborative mechanisms for mobile service chains [J]. Information Sciences, 2010, 180(2):225-240
- [19] Jiang G, Hu B, Wang Y. Agent-based simulation approach to understanding the interaction between employee behavior and dynamic tasks [J]. Simulation, 2011, 87(5):407-422
- [20] Virtual Action Group. Webbased online simulation [CP/OL]. <http://virtual.cvut.cz/cacs/msa/index.shtml>
- [21] Kuhl F, Weatherly R, Dahmann J. Creating Computer Simulation Systems: An Introduction to the High Level Architecture [M]. New York; Prentice Hall, 1999;3-46
- [22] 陈忱, 王维锋. 基于 SOAP/Web Service 的仿真引擎研究 [J]. 微计算机信息, 2009(7):219-221
- [23] Meijer E. Democratizing the Cloud [C]// Conference on Object Oriented Programming Systems Languages and Applications. Montreal, Canada; ACM, 2007;858-859
- [24] Amazon Corporation. Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2) [R/OL]. <http://aws.amazon.com/ec2/>, 2013-02-03
- [25] Microsoft. MS Project [CP/OL]. <http://www.microsoft.com/office>, 2013-02-02
- [26] Dimitri G G. On the distribution of activity time in PERT [J]. Journal of Operational Research, 1998, 39(8):767-771
- [27] Pleguezuelo R H, Perez J G, Rambaud S C. A note on the reasonableness of PERT hypotheses [J]. Operations Research Letters, 2003, 31(1):60-62
- [28] Wang Y T, Hu Bin. Plot Data using SVG [CP/OL]. http://nilnul.com/_apps/nilnul.research.plotPsych, 2012-11-15
- [29] Wang Y T, Hu Bin. Standard Way to Validate Data [CP/OL]. <http://nilnul.com/a/wyt.research.std2Validate.demo> (wonderland), 2013-01-15
- [30] 葛娟. Microsoft Project 2003 项目管理与应用 [M]. 北京:清华大学出版社, 2006;175-176
- [31] Jason. org. jason object notation [S/OL]. <http://jason.org>, 2013-02-15
- [32] Som T K, Sargent R G. A formal development of event graphs as an aid to structured and efficient simulation programs [J]. Journal of Computing, 1989, 1(1):107-125