

## 基于 Java 多线程技术的项目进度并行仿真研究\*

## Project Schedule Parallel Simulation Based on Java Multithreading Technology

北京航空航天大学经济管理学院 丰 华 刘 鲁 孔德玉

[摘要] 利用系统仿真的思想,对项目中的工序进行建模,通过计算得到工期的估计。根据 Monte Carlo 仿真原理,基于 Java 多线程技术,利用网格计算集群对一个算例进行并行仿真。研究结果以及时间统计表明,该方法不仅可以计算出工期进度概率分布,明确关键路径,而且可以缩短仿真时间,提高效率。

关键词: Java 多线程 并行仿真 项目进度计算 Monte Carlo 仿真

[ABSTRACT] The theory of system simulation is used to calculate an estimation of project's completion period, based on which the project procedures are modeled. The key approach is to use Monte Carlo simulation. With the power of Java multithreading technique, a parallel grid calculation is applied to simulate an example and optimize it. Computing result and time record show that, not only this approach can work out the project schedule estimation with distribution and a certain critical path, but also shorten the simulation time and increase the efficiency.

Keywords: Java multithreading Parallel simulation Project schedule calculation Monte Carlo simulation

复杂系统(产品)制造由于其所生产的产品具有客户需求复杂、产品组成复杂、产品技术复杂、制造流程复杂、制造管理复杂等特点<sup>[1]</sup>,生产企业需要同外部企业进行分布、协作式的生产制造和组装,这造成了项目进度具有很大的不确定性。

项目管理中,传统的关键线路法(CPM)和计划评审技术(PERT)被广泛使用,发挥着重要的作用。但是随着生产流程日趋复杂,参与企业增多,在项目完成之前,所有活动的持续时间都是人根据以往的经验估计得到的,具有一定的不确定性<sup>[2]</sup>。但是,目前无论是 CPM 还是 PERT 都不能充分揭示工序中潜在的不确

定性。

考虑到网络计划的随机性,可以利用 Monte Carlo 仿真方法,定量处理进度计划网络中的不确定性。但是该方法需要进行大量的数学计算,在项目规模大、活动多、计算量庞大的时候,仅仅依靠单处理机已经不能满足需要。

随着网格计算思想的逐步成熟<sup>[3]</sup>,再加上中小型多处理机为项目进度计划的并行计算提供了良好的硬件平台,高速并行分布式计算成为了大规模计算的首要解决方案。但是目前高层次并行软件缺乏,已有软件的复杂性使得其调试和验证较为困难。而 Java 语言的多线程技术是构建并行系统的有效手段,所以基于 Java 多线程技术研究大规模仿真并行计算是很有应用前景的。本课题利用 Java 多线程技术进行并行仿真的研究,可以反映出基于 Java 多线程的并行仿真在提高效率、减少时间开销方面的巨大优势。

## 1 基于 Java 多线程技术进行项目进度并行仿真

针对工序进行仿真,最重要的就是能否正确表示并预测出工序持续时间的不确定性,即在进行 Java 单机程序设计之前,需要解决以下 2 个问题:

- (1) 程序中伪随机数的产生;
- (2) 随机变量的概率分布抽样的表示。

### 1.1 伪随机数的生成

Monte Carlo 仿真的关键在于利用(0,1)均匀分布的伪随机数生成符合具体分布要求的随机变量,从而形成仿真样本,完成仿真过程。

伪随机数生成器并行化策略主要包括 4 种:蛙跳(leap frog)、序列分区(sequence splitting)、独立序列(independent sequences)和不规则蛙跳(shuffling leap frog)。其中独立序列是主要推选的方法,尤其用于并行 Monte Carlo 仿真中,独立序列类似于将仿真过程运行多次,而每次有不同的伪随机数生成器,“这是 Monte Carlo 仿真非常期待的一件事,因为当每次仿真规模  $n$  独立取值时,仿真结果方差将减少  $O(\sqrt{n})$ <sup>[4]</sup>”。

\* 国家自然科学基金课题(70671007),教育部博士点基金课题(200800060005)资助。

## 1.2 随机变量概率分布抽样

由于利用Java编制仿真程序时,没有像Arena软件中有自动生成相应分布随机数的模块或进程,所以需要了解不同概率分布的抽样,据此编制程序,生成符合该分布的随机数。

通过将这些问题的解决融入主程序的编制,可以得到工序时间不确定型网络计划仿真单机程序的执行过程。过程如下:

(1)编制网络计划,确定仿真次数NUM与各工序的持续时间的概率分布类型,给出分布参数。

(2)按照每个工序的概率模型及具体参数,在计算机内构造相应的随机数发生器,该随机数发生器产生的随机数序列在统计上服从相应工序的概率模型和参数分布。

(3)在一次仿真分析中,各个随机数发生器为相应工序产生随机的“工序持续时间”,计算本次仿真条件下的总工期、关键线路等网络参数,并统计关键线路上的工序编号。

(4)重复上述过程,直到仿真次数达到预先确定的仿真次数NUM。

(5)统计全部仿真工期与各工序成为关键线路的频次,得到总工期分布,输出仿真结果。

## 2 算例构建分析及并行计算能力衡量

为了说明基于Java多线程技术的并行仿真具有很高的计算效率,可以有效地降低时间开销,作者分别使用单机、并行计算集群中5个节点及10个节点的计算机进行仿真。所用单机配置为曙光M200型,具体配置为CPU:AMD Opteron (tm) 248;主频:2.21GHz;内存:512M;操作系统:Windows XP。并行集群中,每个节点为双核处理器,其他配置与单机相同。由于算例节点较少,仿真次数定为100 000次。

### 2.1 算例构建

这里作者使用了自己研发的一套进度仿真软件来进行计算,这套工具可以方便地使用可视化的界面进行项目工序的描述和设计。项目总共含有10个节点,并且10个节点之间有不同的逻辑关系。为了体现工期的不确定性,在设置工序的持续时间的时候,工序持续时间服从 $\beta$ 分布,并且对于不同的工序,有不同的时间预期。

先假设某复杂研制新产品工程的各个工序持续时间及相互关系,如表1所示。

可以将上述的工序持续时间和工序之间的关系

通过软件来建立仿真模型,其网络结构如图1所示。

表1 工序持续时间及相互关系

| 活动   | 活动周期/天 |      |      |
|------|--------|------|------|
|      | 最乐观值   | 最可能值 | 最悲观值 |
| 1-2  | 23     | 35   | 55   |
| 1-3  | 10     | 35   | 40   |
| 1-4  | 25     | 35   | 55   |
| 2-5  | 13     | 15   | 19   |
| 3-5  | 39     | 43   | 51   |
| 4-6  | 25     | 28   | 36   |
| 5-7  | 49     | 62   | 71   |
| 6-7  | 59     | 65   | 66   |
| 7-8  | 22     | 32   | 43   |
| 7-9  | 20     | 30   | 40   |
| 8-10 | 68     | 75   | 89   |
| 9-10 | 60     | 80   | 90   |

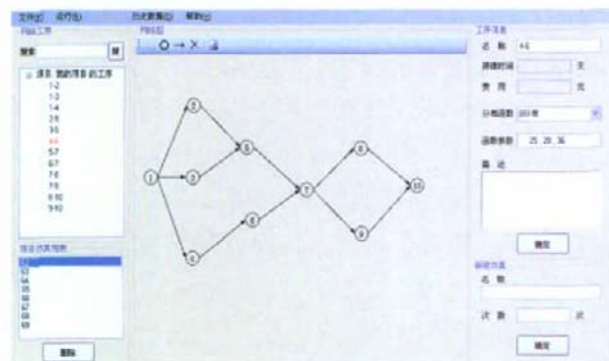


图1 算例网络结构

Fig.1 Network structure of calculation case

### 2.2 仿真运行结果对比

经过仿真,分别得出单机及计算机群并行仿真的运行结果,在得出结果的基础上,可以进行各种统计分析。通过分析我们可以看到,单机运行与并行仿真获得的结果基本一致,这点印证了蒙特卡洛仿真得到结果的稳定性。由于得到的结果基本相同,所以在进行关键路径的分析上,只采用了并行仿真的计算结果。针对该结果,进行了完工时间的频数分布以及关键路线出现频数及各工序的关键度统计。

由表 2 可以比较出单机程序和并程序对算例进行仿真的结果,可以发现,两者的结果基本近似,随着仿真次数的增多,结果更趋近于稳定。

表 2 单机程序和并程序对算例进行时间进度仿真的结果

| 仿真种类    | 10 节点并行仿真<br>100 000×1 次 |              | 单机仿真<br>10 000×10 次 |              |
|---------|--------------------------|--------------|---------------------|--------------|
|         | 各时间段<br>完工概率/%           | 累计完工<br>概率/% | 各时间段完<br>工概率/%      | 累计完工<br>概率/% |
| 0~131   | 0.2                      | 0.2          | 0.1                 | 0.1          |
| 132~140 | 3.8                      | 4.0          | 4.8                 | 4.9          |
| 141~148 | 13.8                     | 17.8         | 14.8                | 19.7         |
| 149~157 | 13.2                     | 31.0         | 14.2                | 33.9         |
| 158~166 | 22.4                     | 53.4         | 22.4                | 56.3         |
| 167~175 | 22.0                     | 75.4         | 20.0                | 76.3         |
| 176~183 | 24.6                     | 100.0        | 23.6                | 99.9         |
| 184~∞   | 0                        | 100.0        | 0.1                 | 100.0        |

对并行数据结果进行曲线拟合(如图 2 所示),可以得到工期的一个简单预计,这样,对于决策有很大的参考价值。比如,考虑工期可以在 170 天内完成的概率,就可以参考线性公式  $y=0.021x-3.073$ ,得到其可能性为 49.7%。

经过仿真,可以知道项目中一共出现了 3 条不同的关键路径,这不同于一般静态项目进度分析中只有一种确定的关键路径的情况。3 条关键路径的出现概率有所不同(如表 3 所示),从而体现了各工序的重要

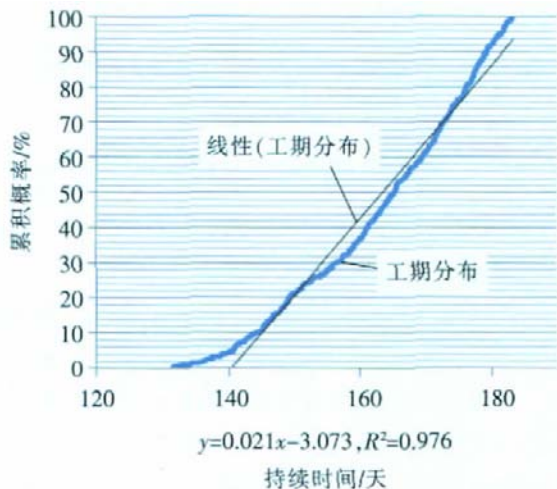


图 2 累积分布以及曲线拟合  
Fig.2 Cumulative distribution and curve fitting

表 3 关键线路统计

| 关键路径              | 出现概率/% |
|-------------------|--------|
| 1->4->6->7->8->10 | 23.6   |
| 1->3->5->7->8->10 | 45.8   |
| 1->3->5->7->9->10 | 30.6   |

性是不同的。

最主要的关键路径为 1->3->5->7->8->10,但是比例只有 45.8%,这说明在实际项目过程,除了要重视主要关键路线并对其进行控制优化的过程中,还需要注意次要关键路线是否会超过进度安排从而成为主要关键路线的可能。

### 2.3 并行计算能力衡量

通过对比以上 2 个项目进度计划中的主要指标,可以看出,通过并行计算的时间进度的分布类似于单机程序运行得出的结果,而且工期估计准确与否取决于仿真的次数是否够大。当计算量极大的时候,会使计算机资源得到极大的考验。为了解决这个问题,本课题采用基于 Java 多线程技术的项目进度并行计算程序从运行准确性上达到了设计要求和初衷,说明利用多线程技术,将线程分配到各个节点进行运算是可行的。

上一节的仿真结果对比说明本课题的并行计算仿真程序和单机程序是一致的,但是采用 Java 多线程技术,将会获得更多的计算时间上的节省。本节则要通过并行计算能力的测量,来说明本课题采用的基于 Java 多线程技术的并行仿真方法其优异的计算性能。采用该方法可以大大减少时间开销,提高仿真效率。

由表 4 的对比可以看出,通过并行计算,可以将运算过程分解到多个节点和 CPU 上,从而使每一个节点只需要进行相对少量的运算,耗费较短的时间开销,就可以完成仿真任务,而服务器端只需进行数据的汇总和统计,从而能够有效地加快仿真进度。

随着 CPU 个数的增加,总的运行速度会呈不断上升的趋势,但是由于 CPU 数量的提高,在一定程度

表 4 不同仿真程序进行仿真的时间对比

| 仿真程序种类 | 单机运行<br>100 000 次 | 5 节点并行计算<br>100 000 次 | 10 节点并行计算<br>100 000 次 |
|--------|-------------------|-----------------------|------------------------|
| 运行时间/s | 722.85            | 15.06                 | 7.88                   |

上增加了通信的开销,即通信开销的增加会在一定程度上降低并行效率<sup>[5]</sup>。当然,从目前看来,由于所用的通信网络均为高速光缆网络,通信开销对于使用多CPU来提高速度的影响是很小的。

### 3 结束语

在研制复杂产品的过程中,由于不确定因素增加,导致项目进度计划的不确定性增加。针对这一问题,本课题利用系统仿真的思想,根据 Monte Carlo 仿真原理,利用 Java 多线程技术,使用并行计算集群,采取并行计算的方法,对项目进度计划的完工时间概率分布、关键路线等重要指标进行仿真分析。该方法有效地解决了项目实施中的时间进度不确定性问题,并且具有仿真效率高,时间开销小的特点,为大规模仿真计算并决策提供了依据。

#### 参 考 文 献

- [1] 夏国洪,李伯虎,唐晓青,等. 复杂系统(产品)集成制造工程的技术研究与应用. 中国工程科学,2005,7(9):49.
- [2] 钟登华,刘奎建,杨晓刚. 施工进度计划柔性网络仿真的不确定性研究. 系统工程理论与实践,2005,2:107-112.
- [3] Morrison R S. Cluster computing-architectures. Operating Systems Parallel Processing & Programming Languages, Sydney University of Technology, Australia, 2002.
- [4] Jeng Chih, Tan Keneeth. The PLFG parallel pseudo-random number generator. Future Generation Computer Systems, 2002(18): 693-698.
- [5] Fayad M E, Schmidt D C. Object-oriented application framework. Communications of the ACM, 1997, 40: 32-38.

(责编 依然)

(上接第 80 页)

(2)元器件提交。电路原理图绘制完成之后,需要对原理图中使用的元器件进行统计汇总,并在 PDM 系统产品树中创建元器件。元器件提交接口通过 E-DA 系统的二次开发接口提取原理图中使用的元器件及其属性,对使用的元器件进行统计汇总,计算出同一元器件数量,并汇总出元器件位号。然后通过 PDM 系统二次开发接口,从 PDM 系统的产品结构树中选择该电路板装配到部件。根据提取的元器件的编码,在 PDM 系统的元器件库中查询汇总的元器件,将选择的部件与所有的电子元器件建立父子链接关联关系,在链接数量属性中赋予汇总的数量值,在位号属性中输入汇总得出的位号。

### 3 系统实现

本课题所研究的是实现 PDM 系统与 EDA 系统集成的通用方法,在具体实现时将与所集成的通用系统略有不同。SmarTeam 是法国 Dassault 公司提供的 PDM 软件产品,因具有开放的软件结构、强大的客户化工具、可快速实施和适中的价格等优势,而迅速为广大用户所接受。Altium 公司的 Protel 系列产品以其功能强大、界面友好和操作方便等优势而占领了 EDA 的大量市场份额,在制造业中的应用也比较广泛。

SmarTeam 和 Protel 99SE 两个系统均为用户提供了基于 COM/DCOM 技术的 API。因此,本课题应用所研究的集成方案,采用组件技术,用 Delphi 开发语言,在 Windows2000 平台上,开发出了 SmarTeam 与 Protel 99SE 的集成接口。

#### 参 考 文 献

- [1] 马建国,孟宪元. 电子设计自动化技术基础. 北京:清华大学出版社,2004.
- [2] Miller E. PDM today. Computer Aided Design, 1995, 14(2): 32-40.
- [3] 汉泽西. EDA 技术及应用. 北京:航空航天大学出版社,2004.

(责编 侧卫)

## “中国造”首架空客 A320 将于 5 月试飞

位于天津滨海新区空港加工区的空客天津总装公司厂房,第 8 架飞机开始组装。

2009 年 4 月 21 日,法国国民议会议长阿克耶一行参观考察了这条空客公司在欧洲之外唯一的总装线。

空客(天津)总装公司总经理尚鲁国告诉记者,自 2008 年 9 月 28 日中欧合作的空客(天津)总装公司投产,首架 A320 飞机已经完成喷漆与发动机的安装,正在进行油箱测重、地面测试,5 月进入机场跑道,进行高速测试,5 月的后两周试飞,目前正是试飞前的关键阶段。首架飞机预计 6 月底通过奇龙航空租赁公司交付四川航空公司运营。

2009 年年底,空客天津总装工厂交付使用的空客飞机达到 11 架,6 架为 A320 机型,5 架为 A319 机型,累计总装 19 架,其余 8 架飞机型号全部为 A320。到 2011 年底,将达到月产 4 架飞机,年产 48 架飞机,争取达到 50 架。天津工厂的进度按照两年前设定的计划,空客公司非常满意。(本刊记者 淡蓝)