

网格环境下基于信任模型的动态级调度

袁禄来 曾国荪 姜黎立 蒋昌俊

(同济大学计算机科学与工程系 上海 201804)

摘 要 网格用户、资源和服务的不确定性潜在地影响网格应用任务的正常执行,这样使得设计既能减小应用任务执行时间又能减小欺骗可能性的调度算法十分困难.参考社会学的人际关系信任模型,建立网格节点信任推荐机制,并利用 D-S 理论对推荐证据进行综合分析,从而定义出基于不确定性推理理论的信任度计算函数.将该函数并入 DLS 算法得到“可信”动态级调度算法(TDLS),从而在计算调度级别时考虑网格节点的可信程度.仿真结果证实,提出的 TDLS 算法以小的时间花费为代价,能有效提高任务在信任方面的服务质量需求.

关键词 网格计算;可信调度;信任模型;不确定性推理;DLS 算法

中图法分类号 TP338

Dynamic Level Scheduling Based on Trust Model in Grid Computing

YUAN Lu-Lai ZENG Guo-Sun JIANG Li-Li JIANG Chang-Jun

(Department of Computer Science and Technology, Tongji University, Shanghai 201804)

Abstract The uncertainty of Grid users, resources and services may play a negative affect on the execution of Grid tasks, which makes it difficult to design a scheduling algorithm to minimize execution time and cheat probability of Grid tasks. Referring to the social trust relationship, the authors introduce a trust model that is based on the uncertainty reasoning theory (D-S theory). In addition, by combining the trust model and Dynamic Level Scheduling (DLS) algorithm, the authors propose a novel scheduling algorithm that is called Trustworthy and Dynamic Level Scheduling (TDLS). The algorithm takes the Grid nodes' trust degree into account when calculating the scheduling-level of task-node pairs. Simulations prove that the algorithm can efficiently satisfy the QoS requirement in trust, with costing a few more time.

Keywords Grid computing; trustworthy scheduling; trust model; uncertainty reasoning; DLS algorithm

1 引 言

当前,面向服务的体系架构(Service-Oriented Architecture, SOA)正在与原有的网格技术进行大融合,从而产生了 Web 服务资源框架(Web Services

Resource Framework, WSRF).基于 WSRF 规范的网格平台试图整合互联网上所有资源,包括计算资源、存储资源、信息资源、知识资源、用于科学实验的仪器设备等,同时将它们虚拟化,并转为随时随地可以被调用而为特定目的服务的状态资源^[1,2].然而,由于网格环境的动态性、异构性、地理分布性、开放

收稿日期:2006-02-17;修改稿收到日期:2006-05-19. 本课题得到国家自然科学基金(60173026)、中国教育部科研重点项目基金(105071)、上海高校网络技术 E-研究院项目(200301-1)资助.袁禄来,男,1981 年生,博士研究生,研究方向为网格计算、Web 服务及可信计算. E-mail: lulaiyuan@gmail.com. 曾国荪,男,1964 年生,博士,教授,博士生导师,CCF 高级会员,研究领域为异构计算、并发理论与并行处理、网格计算.姜黎立,男,1981 年生,硕士研究生,研究方向为 Petri Net 理论及应用、网格计算.蒋昌俊,男,1962 年生,博士,教授,博士生导师,CCF 高级会员,研究领域为 Petri Net 理论及应用、并发理论与并行处理、网格计算.

性、可扩展性、自愿性、不确定性、欺骗性等,使得设计一种能合理分派任务到网格节点的调度算法面临困难。

在异构计算、P2P 计算、分布式和集群计算等环境下,很多有关静态、动态、静态与动态相结合的调度算法已被研究^[3~7]。同时一些有关“分布调度”、“中心调度”、“自主调度”、“智能调度”、“Agent 协商调度”等算法也正在探索。静态算法中,基于 BNP 的 ISH, MCP 和 ETF 适合网络速度快、忽略通信时延的小分布式环境,而不适合网格资源地理分布广而造成的通信大时延的环境;基于 APN 的 MH 和 DSL 考虑了通信时延和执行时间等方面的问题,虽适合大的分布式环境,但不能满足人们对计算节点的信任需求。动态算法中,一些算法考虑了动态任务分配,强调自适应分配或智能化分配,目标是保证任务分配时的负载平衡和负载共享。混合式调度算法中,强调均匀分配任务计算量和减小分布机器节点的通信开销,同时根据各节点完成的计算量来完成均衡调度,但上述没有一个算法考虑机器节点的不确定性、欺骗性等特征,从而不能满足用户对调度长度和资源可信两方面的服务质量需求。

一旦网格成为今后的计算平台,毫无疑问,一些计算量大、对信任度要求高的应用任务也将加入网格,并利用网格资源。对于这类应用任务,传统上一般是对要执行或分析的数据进行封装加密,并隔离 Internet,然后调度到局部的资源上进行计算和分析。然而,在拥有无数机器节点的网格中,网格用户人为的欺骗性不可避免,这对任务的安全执行有很大的影响。网格作为未来的计算和信息平台,迫切需要设计一种调度算法,使任务分配到可信节点上执行,同时保证被选节点间的通信速度较快,从而减小应用任务执行时间,降低应用任务执行失败概率,提高重要数据执行环境的安全性,全方位满足用户的服务质量需求。

本文首先参考社会学的人际关系信任模型,提出直接信任、间接信任和综合信任,并利用 D-S 理论将推荐证据组合为间接信任,同时进一步将直接信任与间接信任组合为综合信任,从而提出了一个计算网格实体信任度的函数。然后将该函数并入经典匹配调度算法 DLS 算法,得出了一个考虑网格资源信任程度的启发式调度算法——“可信”动态级调度算法(TDLS)。仿真结果证实,提出的 TDLS 以小的时间花费为代价能有效地降低任务执行失败和欺骗的概率。

本文第 2 节介绍人工智能中的不确定性推理理论及网格信任模型;第 3 节介绍基于网格信任模型的动态级调度算法;第 4 节给出仿真实验及其结果分析;第 5 节介绍相关工作;第 6 节总结全文,并指出下一步的工作。

2 不确定性推理及网格信任模型

2.1 不确定性推理理论^[8~10]

由于在网格环境下,一个网格节点推荐另一个网格节点所提供的推荐证据是不完备、不精确、不完全可靠的,而 D-S 理论在不确定推理方面比较科学,所以本文利用 D-S 理论对推荐证据进行综合分析。

D-S 理论包含如下几个函数:基本可信度函数、信度函数及似然函数。基本可信度函数 $m(A)$ 表示推荐证据支持命题 A 且由于证据不足不支持命题 A 的任何真子集的程度。信度函数 $Bel(A)$ 可理解为推荐证据对命题 A 的总体支持度,或在该证据下有理由相信命题 A 的程度,即“支持度”。似然函数 $Pl(A)$ 表示该证据下不反对命题 A 的程度,即“不否定度”。 $Pl(A) - Bel(A)$ 表示对证据既非信任,又非不信任的那部分,即“未知度”。

通常用区间 $[Bel(A), Pl(A)]$ 来综合描述 A 的不确定性。除了以区间 $[Bel(A), Pl(A)]$ 作为命题 A 的不确定性度量外,还可以用 $f_1(A) = Bel(A) + |A|/|U|(Pl(A) - Bel(A))$ 来度量。其中 $|A|, |U|$ 分别表示 A 和 U 所含元素个数。不难看出, $f_1(\varphi) = 0, f_1(U) = 1, 0 \leq f_1(A) \leq 1, A \subseteq U$ 。

此外,如何将不同的证据组合起来是不确定性推理的关键。设两个推荐证据是独立的,在识别框 U 上对应的基本可信度函数分别为 m_1 和 m_2 。如果识别框上的一个基本可信度函数 m_{12} 满足:

$$(1) m_{12}(\emptyset) = 0;$$

$$(2) m_{12}(A) = k \sum_{X \cap Y = A} m_1(X) m_2(Y), \text{ 其中 } k^{-1} =$$

$$\sum_{X \cap Y \neq \emptyset} m_1(X) m_2(Y)$$

则称为合成 m_1 和 m_2 的 Dempster 规则,它反映了 m_1 和 m_2 对应的两个推荐证据对命题 A 的联合支持程度,其中 k 为组合系数,保证 m_{12} 的值域规格化到标准空间 $[0, 1]$ 上。

2.2 基于不确定性推理的网格信任模型

设 Q 是一个问题,其全部可能的答案用集合 U 来表示,集合 U 称为问题的识别框架。在本文中仅

考虑 $U = \{T, \neg T\}$, 其中 T 和 $\neg T$ 分别表示一个网格节点对另一个网格节点信任和信任。某网格节点 GP_i 对另一个网格节点 GP_j 的信任度评价一般根据两方面的信息来综合: (1) 其自身与 GP_j 节点的直接历史交互记录; (2) 其它节点提供的有关 GP_j 节点的信任信息^[11]。一般来说自身评价会更看重一些, 因而相应的权值也更大。

在这里讨论源节点 GP_s 将自己的任务分配到目标节点 GP_t 的情况。设此刻有 n 个推荐节点 (GP_i , $i=1, 2, \dots, n, \forall i \neq s, \forall i \neq t$) 向 GP_s 提供有关 GP_t 的推荐证据。

2.2.1 直接信任函数

对于任意两个网格节点 GP_i 和 GP_j , GP_i 对 GP_j 的直接信任度由 GP_i 与 GP_j 的交互历史来决定, 设 I_{ij} 为节点 GP_i 与 GP_j 在最近某个固定时间 τ 内实际交互的总次数; S_{ij} 为在节点 GP_i 看来交易满意的次数; F_{ij} 为在节点 GP_i 看来不满意的次数; $I_{ij} - S_{ij} - F_{ij}$ 为在节点 GP_i 看来满意度难于判断的交易次数。例如, 某用户将一个高维矩阵相乘的作业提交到某网格节点上执行, 并向该网格节点支付一定的价格, 如果该网格节点能在规定的时间内返回正确结果, 则认为此次交易是“满意”的; 否则认识是“不满意”的。如果某网格节点向用户提供视频点播, 但在视频服务过程中存在数据流传输时延, 而导致用户观看时出现断断续续的现象, 但总体上用户还是获得了视频服务, 此时的满意度就难以确定了。在此做出以下假定, 满意度

$$d_{ij}^1 = S_{ij}/I_{ij},$$

$$d_{ij}^2 = F_{ij}/I_{ij},$$

$$d_{ij}^0 = (I_{ij} - S_{ij} - F_{ij})/I_{ij} = 1 - d_{ij}^1 - d_{ij}^2.$$

当 $I_{ij} = 0$, 则表示节点 GP_i 与 GP_j 在最近某个固定时间 τ 内没有交互行为, 此时 GP_i 对 GP_j 的直接信任是不确定的, 此时 GP_i 节点可自己设置 d_{ij}^0 , d_{ij}^1 和 d_{ij}^2 值。

不言而喻, 交易结果的评价通常受交易双方主观因素的影响, “满意”与“不满意”都是交易的本质属性在人脑中的反应, 它富有弹性, 带有主观色彩, 是一个模糊概念。对于模糊概念不应该用一个“是”或“否”来回答, 最好用一个数来反映它隶属于该模糊概念的程度。而模糊数学中的隶属函数能恰当地定量并反映模糊概念, 所以可以用隶属函数来反映“满意”的程度。虽然隶属函数的具体确定, 包含了人脑的具体加工, 其中包含着某种心理过程, 但对交易“满意”程度的定量最好能做到客观, 而不能主观任

意地捏造。在文献[12]中, 交易满意的次数简单指交易成功的次数, 不满意的次数指失败的次数, 而满意度难以判断的次数是指交易不能简单用成功与失败来界定的交易次数, 其实“成功”与“失败”也都是模糊概念。

定义 1. 设识别框架为 $U = \{T, \neg T\}$, $A \subseteq U$, GP_s 对 GP_t 的基本可信度函数记作 $d_{st}(A|GP_t)$, 表示 GP_t 节点对命题 A 提供的支持强度, 则满足

$$d_{st}(\{T\}|GP_t) = d_{st}^1,$$

$$d_{st}(\{\neg T\}|GP_t) = d_{st}^2,$$

$$d_{st}(\{T, \neg T\}|GP_t) = d_{st}^0$$

的基本可信度函数 d_{st} 称为 GP_s 对 GP_t 的直接信任函数。类似, 节点 GP_s 对推荐节点 GP_i ($i=1, 2, \dots, n$) 有自己的直接信任函数, 推荐节点 GP_i 对节点 GP_t 也有自己的直接信任函数。

2.2.2 间接信任函数

定义 2. 当节点 GP_i 推荐节点 GP_t 给节点 GP_s 时, 若一个基本可信度函数满足:

$$r_{it}(\{T\}|GP_t) = r_{it}^1 = \lambda \omega_i d_{si}^1 d_{it}^1,$$

$$r_{it}(\{\neg T\}|GP_t) = r_{it}^2 = \lambda \omega_i d_{si}^2 d_{it}^2,$$

$$r_{it}(\{T, \neg T\}|GP_t) = r_{it}^0 = 1 - \lambda \omega_i \times (d_{si}^1 d_{it}^1 + d_{si}^2 d_{it}^2),$$

则称之为 GP_i 推荐 GP_t 给 GP_s 时的推荐信任函数。上式中 d_{si}^1 和 d_{si}^2 反映了 GP_s 对节点 GP_i 的不确定性, d_{it}^1 和 d_{it}^2 反映了 GP_i 对节点 GP_t 的不确定性; 系数 λ 为信任传播时的衰减因子, 为区间 $(0, 1)$ 上的一个常数; 权值 ω_i ($i=1, 2, \dots, n$) 反映了 GP_i 节点的推荐地位, ω_i 满足: $\sum \omega_i = 1, \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n \geq 0$ 。

节点在向其它节点提供信任推荐时也存在欺骗的可能。如何加以避免呢? 本文采用如下两条措施: (1) 因为 ω_i ($i=1, 2, \dots, n$) 反映了 GP_i 节点的推荐地位, 所以应该对不同的推荐者设置不同的权值。对于经常与自己交易的推荐者, 其推荐地位高, 相应的权值也大; 而与自己交易较少的推荐者, 其推荐地位低, 相应的权值也小。这样将降低不诚实的推荐者对最终信任度的影响。(2) 引入惩罚机制, 如果发现某节点提供不真实的推荐值, 则相当于与该推荐节点进行了一次不满意的交易。例如, 如果 GP_s 发现 GP_i 提供不真实的推荐值, 则执行如下赋值: $F_{si} = F_{si} + 1$, $I_{si} = I_{si} + 1$, 这样可以有效抑制推荐者提供欺骗性的推荐值。

定义 3. 采用 Dempster 规则, 把多个推荐信任函数组合为一个统一的基本可信度函数称之为间接信任函数。

如果把前 i 个推荐节点定义为集合 $s(i) = \{GP_1, GP_2, \dots, GP_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, 设前 i 个推荐信任函数按 Dempster 规则组合可得到新的基本可信度函数 $r_{s(i)}^0 = r_{s(i)}^0(\{T, \neg T\} | GP_t)$, $r_{s(i)}^1 = r_{s(i)}^1(\{T\} | GP_t)$, $r_{s(i)}^2 = r_{s(i)}^2(\{\neg T\} | GP_t)$. 当 $i = n$ 时即为 n 个推荐信任函数的联合基本可信度函数, 即间接信任函数, 记为 r_{st} , 其中

$$\begin{aligned} r_{st}(\{T\} | GP_t) &= r_{s(n)}^1, \\ r_{st}(\{\neg T\} | GP_t) &= r_{s(n)}^2, \\ r_{st}(\{T, \neg T\} | GP_t) &= r_{s(n)}^0 = 1 - r_{s(n)}^1 - r_{s(n)}^2. \end{aligned}$$

一般的 Dempster 规则是指指数时间的算法, 文献[12]给出了有关 Dempster 算法的递归算法, 可在线性时间计算出间接信任函数.

2.2.3 综合信任函数

通过上面的讨论, 得到了直接信任函数和间接信任函数, 设权重分别为 ϵ_1 和 ϵ_2 , 但是它们对于 GP_s 来说, 直接信任函数的权值更大些, 所以通常有 $\epsilon_1 \geq \epsilon_2$, $\epsilon_1 + \epsilon_2 = 1$.

定义 4. 通过 Dempster 规则, 将带权的直接信任函数

$$\begin{aligned} d_{st}(\{T\} | GP_t) &= \epsilon_1 \times d_{st}^1, \\ d_{st}(\{\neg T\} | GP_t) &= \epsilon_1 \times d_{st}^2, \\ d_{st}(\{T, \neg T\} | GP_t) &= 1 - \epsilon_1 \times (d_{st}^1 + d_{st}^2) \end{aligned}$$

和带权的间接信任函数

$$\begin{aligned} r_{st}(\{T\} | GP_t) &= \epsilon_2 \times r_{s(n)}^1, \\ r_{st}(\{\neg T\} | GP_t) &= \epsilon_2 \times r_{s(n)}^2, \\ r_{st}(\{T, \neg T\} | GP_t) &= 1 - \epsilon_2 \times (r_{s(n)}^1 + r_{s(n)}^2) \end{aligned}$$

组合为一个新的基本可信度函数, 记作

$$\begin{aligned} c_{st}(\{T\} | GP_t) &= c_{st}^1, \\ c_{st}(\{\neg T\} | GP_t) &= c_{st}^2, \\ c_{st}(\{T, \neg T\} | GP_t) &= 1 - (c_{st}^1 + c_{st}^2), \end{aligned}$$

则称 c_{st} 为 GP_s 对 GP_t 的综合信任函数.

2.2.4 信任度计算

利用第 2.1 节的不确定性推理理论可知:

$$\begin{aligned} Bel(\{T\} | GP_t) &= c_{st}^1, \\ Pl(\{T\} | GP_t) &= 1 - c_{st}^2, \\ f_1(\{T\} | GP_t) &= (1 + 2c_{st}^1 - c_{st}^2) / 3, \end{aligned}$$

所以, 可用区间 $[c_{st}^1, 1 - c_{st}^2]$ 来综合描述网格节点 GP_t 的不确定性. 除了以区间 $[c_{st}^1, 1 - c_{st}^2]$ 作为网格节点 GP_t 的不确定性度量外, 还可以用 $(1 + 2c_{st}^1 - c_{st}^2) / 3$ 来度量.

设 $T_s(v_k, GP_t)$ 表示网格节点 GP_s 把第 k 个子任务 v_k 调度到节点 GP_t 上的信任度, $c_{st}^{2,k}$ 表示 GP_s 把

v_k 调度到 GP_t 上值得信任的程度, $c_{st}^{2,k}$ 表示 GP_s 把 v_k 调度到 GP_t 上不信任的程度, 同时设此刻有 n 个推荐节点 ($GP_i, i = 1, 2, \dots, n, \forall i \neq s, \forall i \neq t$) 向 GP_s 提供有关 GP_t 的推荐证据, 则此刻 GP_s 可获得目标节点 GP_t 的信任度为

$$T_s(v_k, GP_t) = \frac{1 + 2c_{st}^{1,k} - c_{st}^{2,k}}{3}.$$

3 基于网格信任模型的动态级调度

3.1 可信动态级调度算法

基于上节的网格信任模型, 我们打算修改 DLS 算法, 充分考虑资源节点的信任度, 从而满足用户对信任度的服务质量需求, 使得基于有向无环图(DAG)任务的调度变得更加全面合理.

DLS 算法是一个编译时的、启发式的表调度算法, 其主要是用于有效地将基于 DAG 的应用分配到一个异构资源机器集合上, 从而减低应用执行的时间^[5,7]. 在调度的每一步, 如果通过计算得出预备任务 v_i 和空闲机器 m_j 相匹配的动态级别最高, DLS 算法将把任务 v_i 调度到机器 m_j 上执行. 一个任务-机器对 (v_i, m_j) 的动态级 $DL(v_i, m_j)$ 定义为

$$DL(v_i, m_j) = SL(v_i) - \max\{t_{i,j}^A, t_j^M\} + \Delta(v_i, m_j),$$

其中 $SL(v_i)$ 为任务静态级; $\max\{t_{i,j}^A, t_j^M\}$ 表示任务 v_i 在机器 m_j 开始执行的时刻, 其中 $t_{i,j}^A$ 表示当任务 v_i 调度到机器 m_j 上时, 所需的输入数据可获得的时刻, t_j^M 表示机器 m_j 空闲时可用于执行任务 v_i 的时刻; $\Delta(v_i, m_j) = t_{i,j}^E - t_{i,j}^F$, 反映了机器计算性能, $t_{i,j}^E$ 表示任务 v_i 在所有空闲机器上执行所需时间的平均值, $t_{i,j}^F$ 表示任务 v_i 在机器执行 m_j 所需要的时间.

DLS 算法当作出调度决策时, 考虑了机器的异构, 这能有效适应网格环境下资源的异构性特征, 但没有考虑网格系统中机器节点的信任度. 当任务调度到目标节点机器上执行时, 信任度反映了目标节点因人为因素盗取任务的重要数据或故意中断计算服务的程度. 为了充分考虑资源节点的信任度, 本文在 DLS 算法的基础上提出了网格环境下的可信动态级调度算法(TDLS), 其可信动态级的定义如下:

$$TDL_s(v_i, GP_j) = T_s(v_i, GP_j)^{a_i} \times (SL(v_i) - \max\{t_{i,j}^A, t_j^M\} + \Delta(v_i, GP_j)),$$

其中, $T_s(v_i, GP_j)$ 表示网格节点 GP_s 把子任务 v_i 调度到网格节点 GP_j 上的信任度. 通常, $0 \leq T_s(v_i, GP_j) \leq 1$; a_i 表示子任务 v_i 对信任的服务质量因子, $0 \leq a_i \leq 1$ 且 $\sum a_i = 1$. 对于任务-节点对 (v_i, GP_j) ,

当 a_i 增大时, 即子任务 v_i 对网格节点的信任程度要求增大时, 其调度级别就相应下降。所以, 本文提出的算法具有很强的灵活性, 可根据各子任务的特征, 合理设置 a_i , 从而满足子任务对机器节点信任的不同需求。

3.2 基于可信调度的网格系统基本框架

信任驱动的调度算法可以设计成一个中间件, 然后插入到网格系统中, 从而使网格任务能有效分配到可信节点上执行。这样一方面可以降低应用任务执行失败概率, 另一方面可以提高重要数据执

行环境的安全性, 全方位满足用户的服务质量需求。所以本小节给出了基于可信动态级调度算法的网格系统基本框架, 如图 1 所示。图 1 中最低层为构造层 (Fabric), 第 2 层为网格基础中间件 (Basic Middleware), 第 3 层是可信调度器 (Trustworthy Scheduler), 最上面一层是网格客户端 (Client)。在可信调度器中, 调度顾问 (Schedule Advisor) 是基于可信动态级的调度算法, 信任模型 (Trust Model) 是基于不确定性推理的信任评估模型。

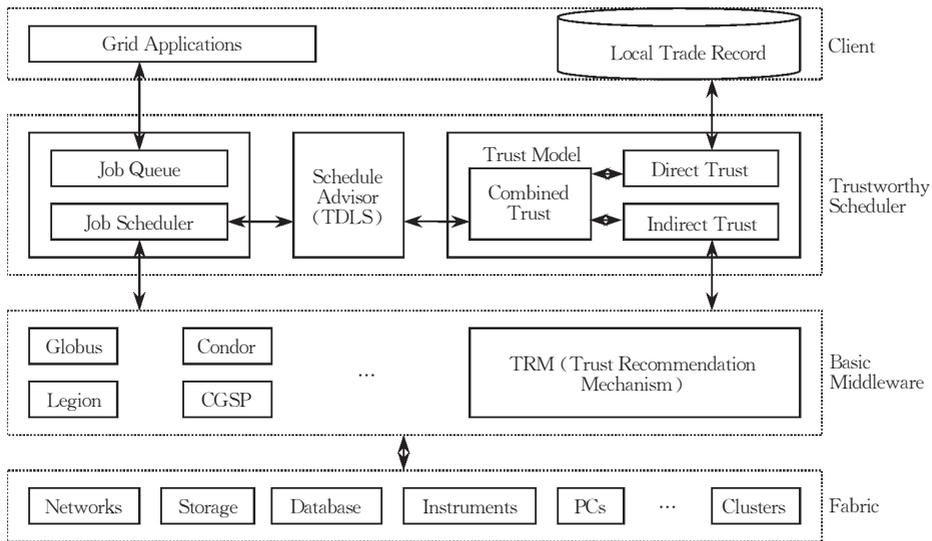


图 1 基于可信调度的网络系统基本框架

在基于可信调度的网格系统基本框架下, 一个网格用户提交并执行一个网格作业的过程如下:

1. 将自己的作业提交到作业队列中;
2. 作业调度器从作业队列中依次取出作业, 同时与调度顾问进行交互;
3. 调度顾问与信任模型交互;
4. 信任模型分析本地交易记录, 并与网格信任推荐机制交互, 从而获得适合该作业的最优可信资源的具体信息, 并将之传给作业调度器;
5. 作业调度器通过网格基础中间件, 将该作业分配到选中的最优可信资源上去执行。

4 仿真实验及其结果分析

为了评估本文提出的算法, 特此设计了一个仿真实验环境。仿真实验所基于的硬件环境是 32 个结点的 PC Cluster。所基于的软件环境是我们自己设计的两个基于 Java 语言的组件: GridGenerator 和 JobGenerator。组件 GridGenerator 负责模拟网格环境, 能随机产生网格节点数和节点之间的链路数, 其

中, 链路间传输速度介于 $[1, 10]$ Mb/s, 机器本身的信任度和提供的推荐值也随机产生, 值介于 $[0, 1]$ 中。组件 JobGenerator 能随机产生拥有不同数目子任务的网格作业, 同时各子任务的依赖关系也是随机形成的, 每个任务在每台机器上执行的时间介于 $[10, 100]$ s, 任务间传输的数据量根据任务的通信/计算比 (CCR) 来决定, 在这假定任务与其后继任务之间的通信时间是其执行时间的 CCR 倍。

由于算法的性能与应用任务的大小和通信/计算比有关, 所以对 CCR 为 0.1, 0.5, 1, 5 和 10 的任务都进行了实验, 前两种 CCR 的任务一般为计算密集型任务, 中间的为普通任务, 后两种一般为通信密集型任务, 所以仿真实验比较全面。在这节重点介绍两组实验, 每组分别为 100 次, 最终结果采用平均值。在以下的仿真实验中, 设 TDSL 算法中所有任务对信任的服务质量因子均等。

为了使仿真环境与真实的网格环境更接近, 必须扩大实验规模, 加大仿真环境下任务和节点的数量级, 只有这样才能使仿真实验更有效。所以, 在以

下仿真试验中,我们将网格节点数和任务数扩大到 10^3 数量级. 第一个仿真实验中,假定 $CCR=1$,随机产生拥有 1000~5000 个子任务的任务图,然后通过本文的可信动态级调度算法,将这些任务分配到网

格节点数为 2000,链路数为 2000 的环境下执行. 结果如图 2,其显示了 DLS,TDLS 在平均调度长度和平均信任概率两方面的性能比较,这里每个点是 100 次实验的平均值.

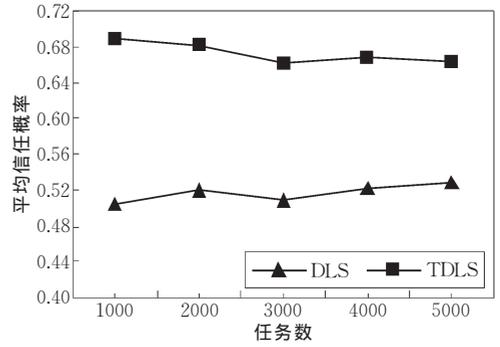
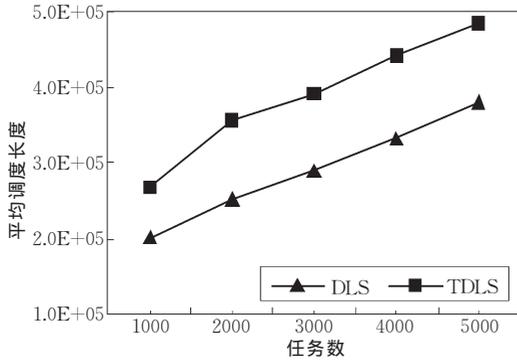


图 2 仿真实验 1 得到的 DLS 和 TDLS 的调度长度及信任概率随任务数的变化

根据图 2 可看出,随着任务数的增加,两种算法的平均调度长度都增加,而平均信任概率呈减小趋势. TDLS 的调度长度比 DLS 长,但在信任方面的性能远远超过 DLS. 实验说明,可信调度算法使得任务执行更加安全,但要牺牲一定的调度长度.

务在此环境下执行. 结果如图 3,其显示了 DLS 和 TDLS 在平均调度长度和平均信任概率两方面的性能比较,这里每个点也是 100 次实验的平均值.

在第一个仿真实验其它条件下不变下,对 CCR 为 0.1,0.5,5 和 10 的应用任务进行调度,得出了新的结果. 表 1 显示了这 5 种不同 CCR 下 TDLS 和 DLS 在调度长度和信任方面增加和减少的百分比.

根据图 3 可看出,随着网格节点数的增加,两种算法的平均调度长度都减小,而平均信任概率都增加. TDLS 的调度长度比 DLS 长,但在信任方面的性能远远超过 DLS.

表 1 仿真实验 1 时,5 种不同通信/计算比下 TDLS 和 DLS 在调度长度和信任两方面的性能比较

CCR	长度变化率(%)	信任变化率(%)
0.1	36.18344	26.61970
0.5	37.44417	26.66450
1.0	35.64457	28.92020
5.0	17.72785	40.60054
10.0	17.55676	66.23453

在第 2 个仿真实验其它条件下不变下,对 CCR 为 0.1,0.5,5 和 10 的应用任务也进行了调度,并进行了结果分析. 表 2 显示了这 5 种不同 CCR 下 TDLS 和 DLS 在调度长度和信任方面增加和减少的百分比.

表 2 仿真实验 2 时,5 种不同通信/计算比下 TDLS 和 DLS 在调度长度和信任两方面的性能比较

CCR	长度变化率(%)	信任变化率(%)
0.1	47.29965	29.80751
0.5	47.53283	31.65803
1.0	37.73648	32.26652
5.0	19.43035	48.04101
10.0	16.77001	72.11999

第 2 个仿真实验中同样假定 $CCR=1$,随机产生拥有 1000~5000 个网格节点,链路数为 2000 的计算环境,一个随机产生的拥有 3000 个子任务的任

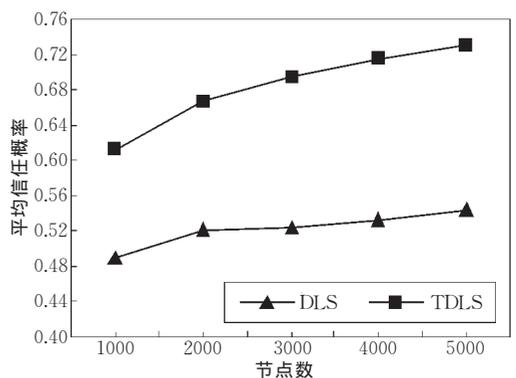
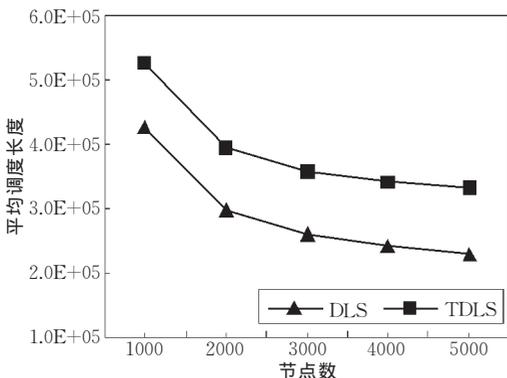


图 3 仿真实验 2 得到的 DLS 和 TDLS 的调度长度和信任概率随节点数的变化

总之,仿真实验表明:(1)本文提出的 TDLS 算法的性能依赖于任务的通信/计算比.对于小的通信/计算比,算法的性能改善较小;对于大的通信/计算比,TDLS 算法以小的时间花费为代价,获得了较可信的执行环境.(2)本文提出的 TDLS 算法的性能依赖于网格节点的数目和应用任务的大小.随着网格节点数或应用任务的大小的增加,TDLS 算法在信任方面增加的性能是时间花费代价的几倍,突出了本文提出算法在大网格环境下对于大规模工程科学任务的实用性.(3)任何条件下,任务在时间花费和信任方面存在权衡,不可能同时达到两方面的服务质量,通常是以一方为代价换取另一方更高的服务需求.

5 相关工作

随着可信计算的发展,各种各样的信任模型已经被提出,比较突出的研究工作有:麻省理工大学的 Mui 等人从社会学和进化论的角度给出了一个信任和信誉的计算模型^[13];斯坦福大学将 EigenTrust 算法应用到了网格中,提出了网格环境下的 EigenTrust 模型^[14].国内在可信计算领域也进行了多年的研究,部分工作达到了国际先进水平.清华大学的林闯教授等利用随机模型分析了网络安全中的可信性,在可信网络方面取得了很大的进展^[15].北京大学的陈钟教授等运用模糊集合理论对信任管理问题进行了建模,给出了信任类型的定义机制和信任的评价机制,并提出了信任关系的推导规则,构造了一个完整的主观信任管理模型,为开放网络环境中的信任管理研究提供了一个有价值的新思路^[16].而本文则是利用不确定性推理理论对推荐证据进行综合分析,从而定义出评价网格实体行为信任的计算模型.采用不确定性推理理论的主要原因是:网格环境下一个网格节点推荐另一个网格节点所提供的推荐证据是不完备、不精确、不完全可靠的,所以利用不确定推理理论对推荐证据进行综合分析将比较科学.

对于网格环境下可信调度方面的研究,相关工作较少,主要有:南加利福尼亚大学的 Hwang Kai 教授等在网格资源调度中引入了信任的模糊测度^[17].北京理工的曹大元教授等在资源调度中引入了资源信度模型^[18].本文则是在网格资源调度中引入基于不确定性推理理论的信任模型.本文提出的可信动态级调度算法主要是克服网格环境的不确定性和欺骗性,充分考虑资源的信任程度,将应用任务

分配到值得信任的节点上执行,既减小应用任务的执行时间又减小欺骗的可能性.

6 结论与下一步工作

基于不确定性推理理论,本文建立了适合网格环境的信任模型,提出了可信动态级调度算法,从而减少应用任务被欺骗的概率和执行失败的概率,使任务分配到值得信赖的环境下执行.充分考虑用户的各种服务质量需求是当前设计调度算法的趋势.所以下一步工作将考虑网格资源价格和网格实物链路的故障概率,把时间花费、信任需求、价格花费及链路可靠状况等服务质量相结合,提出适应大网格环境下的调度算法,从不同角度满足网格用户的服务质量需求.

参 考 文 献

- 1 Foster I., Kesselman C., Tuecke S.. The anatomy of the Grid: Enabling scalable virtual organizations. *International Journal of Supercomputer Application*, 2001, 15(3): 200~222
- 2 Foster I.. Globus toolkit version 4: Software for service-oriented systems. In: *Proceedings of the IFIP International Conference on Network and Parallel Computing*, Beijing, 2005, 2~13
- 3 Lee E. A., Messerschmitt D. G.. Static scheduling of synchronous data flow programs for digital signal processing. *IEEE Transactions on Computers*, 1987, C-36 (1): 24~35
- 4 Iverson M., Ozguner F.. Dynamic, competitive scheduling of multiple DAGs in a distributed heterogeneous environment. In: *Proceedings of the 7th Heterogeneous Computing Workshop*, Orlando, Florida, USA, 1998, 70~78
- 5 Sih G. C., Lee E. A.. A compile-time scheduling heuristic for interconnection-constraint heterogeneous processor architectures. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 1993, 4(2): 175~187
- 6 Shatz S. M., Wang J. P., Goto M.. Task allocation for maximizing reliability of distributed computer systems. *IEEE Transactions on Computers*, 1992, 41(9): 1156~1168
- 7 Dogan A., Ozguner F.. Matching and scheduling algorithms for minimizing execution time and failure probability of applications in heterogeneous computing. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2002, 13(3): 308~323
- 8 Dempster A.. Upper and lower probabilities induced by multi-valued mapping. *Annals of Mathematical Statistics*, 1967, 38 (2): 325~339
- 9 Shafer G.. *A Mathematical Theory of Evidence*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1976
- 10 Sentz K.. *Combination of evidence in dempster-shafer theory*. Sandia National Laboratories: Technical Report: SAND2002-

- 0835, 2002
- 11 Abdul-Rahman A., Hailes S.. Supporting trust in virtual communities. In: Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, Maui, Hawaii, 2000, 6007~6016
 - 12 Zhu Jun-Mao, Yang Shou-Bao *et al.* A Grid & P2P trust model based on recommendation evidence reasoning. Journal of Computer Research and Development, 2005, 42(5): 797~803 (in Chinese)
(朱峻茂, 杨寿保等. Grid 与 P2P 混合计算环境下基于推荐证据推理的信任模型. 计算机研究与发展, 2005, 42(5): 797~803)
 - 13 Mui L.. Computational models of trust and reputation: Agents, evolutionary games, and social networks [Ph. D. dissertation]. Massachusetts Institute of Technology, MA, USA, 2003
 - 14 Kamvar S. D., Schlosser M. T., Garcia-Molina H.. The EigenTrust algorithm for reputation management in P2P networks. In: Proceedings of the 12th International Conference on World Wide Web, Budapest, Hungary, 2003, 640~651
 - 15 Lin Chuang, Wang Yang, Li Quan-Lin. Stochastic modeling and evaluation for network security. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(12): 1943~1956 (in Chinese)
(林 闯, 汪 洋, 李泉林. 网络安全的随机模型方法与评价技术. 计算机学报, 2005, 28(12): 1943~1956)
 - 16 Tang Wen, Chen Zhong. Research of subjective trust management model based on the fuzzy set theory. Journal of Software, 2003, 14(8): 1401~1408 (in Chinese)
(唐 文, 陈 钟. 基于模糊集合理论的主观信任管理模型研究. 软件学报, 2003, 14(8): 1401~1408)
 - 17 Song S., Hwang K., Kwok Y. K.. Trusted Grid computing with security binding and trust integration. Journal of Grid Computing, 2005, 3(1): 53~73
 - 18 Zhang Shu-Dong, Cao Yuan-Da, Liao Le-Jian. Job scheduling algorithm based on credit model in cluster environment. Chinese Mini-Micro Systems, 2005, 26(12): 240~243 (in Chinese)
(张树东, 曹元大, 廖乐健. 资源调度中的资源信度模型的调度算法. 小型微型计算机系统, 2005, 26(12): 240~243)



YUAN Lu-Lai, born in 1981, Ph. D. candidate. His main research interests include Grid computing, Web services, and trusted computing.

ZENG Guo-Sun, born in 1964, Ph. D., professor and Ph. D. supervisor. His research interests include heteroge-

neous computing, concurrency theory and parallel processing, Grid computing.

JIANG Li-Li, born in 1981, M. S. candidate. His main research interests include theory and application of Petri net, Grid computing.

JIANG Chang-Jun, born in 1962, Ph. D., professor and Ph. D. supervisor. His research interests include theory and application of Petri net, concurrency theory and parallel processing, Grid computing.

Background

This work is supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 60173026), the Chinese Ministry of Education Key project (No. 105071), and the SEC E-Institute; Shanghai High Institutions Grid (No. 200301-1).

An important object of these projects is to design matching and scheduling algorithms, which can satisfy the various QoS requirements, such as time, cost, trustworthiness and dependability. With lacking of enforceable agreements or global uniform laws for Grid, some untrustworthy users might cheat the others for their own benefits, without any

penalty or punishment. One must resolve the trust problem is must resolved when scheduling tasks on other Grid nodes. So scheduling algorithms in Grid environment should take the Grid nodes' trust degree into account when calculating the scheduling-level of task-node pairs.

Aiming to minimize cheat probability and scheduling-length of Grid tasks, this paper first introduces a trust model with the uncertainty reasoning theory (D-S theory), and then propose a Trustworthy and Dynamic Level Scheduling algorithm based on the trust model.