

Vague 集多 QoS 属性 ER 测量方法及网格任务调度^①

荀志¹ 黄德才¹ 陶利民^{2,3} (1.浙江工业大学 计算机科学与技术学院 浙江 杭州 310023; 2.浙江工业大学 信息工程学院 浙江 杭州 310023; 3.杭州师范大学 杭州国际服务工程学院 浙江 杭州 310036)

摘要: 针对网格环境中的不确定性, 提出一种基于 ER(Evidential Reasoning)的 Vague 集多 QoS(Quality of Service)属性测量方法。该方法用 Vague 集表示用户及资源的模糊 QoS 属性, 用证据理论的 ER 算法将分层的 QoS 属性融合为综合效用值。通过算例分析, 证明了该方法的可行性和正确性。进一步将该测量方法结合到网格任务调度, 提出一种网格任务调度算法(VSFMQoS-Guided-TS), 通过仿真结果表明, VSFMQoS-Guided-TS 在保留 QoS 不确定性的情况下, 减小了调度时间跨度, 提高了调度效率。

关键词: QoS; ER 算法; 网格; Vague 集; 任务调度

ER-Based Vague Multi-QoS Measurement and Grid Task Scheduling

XUN Zhi¹, HUANG De-Cai¹, TAO Li-Min^{2,3}

(1. Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China; 2. Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China; 3. Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, China)

Abstract: To cope with the uncertainty of Grid environment, an ER (Evidential Reasoning) based Vague multi-QoS (Quality of Service) measuring approach is proposed. The approach utilizes Vague set to denote the QoS of users or and resources, and utilizes D-S theory based ER algorithm to integrate the layered multi-QoS into a single utility value. The calculation example proves the feasibility and validity of the approach. Furthermore, the approach is applied to grid task scheduling, and a new grid task scheduling algorithm (VSFM-QoS-Guided-TS) is presented. Experimental results demonstrate that the algorithm does not only reserve the uncertainty of QoS but also reduces the scheduling makespan and improves the scheduling efficiency.

Keywords: QoS; ER; grid; vague set; task scheduling

服务质量(QoS, Quality of Service)作为网格技术研究的重要内容之一, 已经成为当前国内外研究的热点。Ian Foster 提出判断网格的三个准则^[1]之一就是“提供非凡的服务质量”。针对网格 QoS 的研究已有很多成果, 文献[2]将多 QoS 映射为一个服务质量数(SQN), 基于此提出一种可模糊匹配或精确匹配的服务选择模型。更多的研究从网格资源调度的角度考虑 QoS 属性的影响, 文献[3]通过改进传统的 Min-Min 调度算法, 提出一种自适应、性能 QoS 驱动的 Min-Min 启发式任务调度算法。

上述研究都把网格各 QoS 参数当作一个确定的量描述和处理, 没有考虑网格环境的不确定性及 QoS 参数的模糊性。网格系统本身有其固有的动态性与不确定性, 如资源的随时进入和退出, 网络时延与资源负荷的不确定性等。因此, 在 SLA(Service Level Agreement)中的规则会出现接受“高 QoS”和拒绝“低 QoS”的情况, 而“高、中、低”这种语义不易用准确的数值表达^[4], 其结果是资源提供者(GSP, Grid Services Provider)无法准确预测未来资源的可用性, 而只能提供过多的资源以满足需要。概率统计法可以

① 基金项目:浙江省自然科学基金(Y105118);浙江省高等教育学会项目(Y200801);杭州师范大学科技创新与文化创意基金(2009XJ076)

收稿时间:2009-08-18;收到修改稿时间:2009-10-17

处理不确定性,被用于网格参数测量与调度^[5],但这种方法用确定的实数描述存在的不确定性,因而不能保留参数的不确定信息。文献[4]采用模糊理论处理QoS的不确定性,设定论域{OQoS, HQoS, MQoS, LQoS, UQoS},每个QoS参数用论域上的隶属度函数计算得到一个模糊的评价,根据这些评价以及规则库里的规则,运用推理得到综合的QoS描述。但是模糊集只能描述QoS参数在某论域上正的一面,不能完全表达QoS的不确定信息。

Vague集^[6]是Zadeh模糊集的一种推广形式,它同时考虑支持度与反对度两方面的信息,这使得Vague集在处理不确定性信息时比传统的模糊集有更强的表示能力,且更具灵活性。另外,证据理论(D-S理论)是一种不确定性推理方法,基于D-S理论的ER(Evidential Reasoning)算法能够保留参数的不完整信息并较好地处理模糊信息的融合问题^[7]。本文在利用Vague集描述模糊QoS参数等级评价体系的基础上,提出一种基于ER的Vague集模糊多QoS集成方法与网格任务调度算法。它将用户提出的带有模糊性的QoS请求映射到Vague值描述的评价等级上,然后利用ER算法将各QoS参数融合为一个效用值,并将该效用值作为任务优先级加入到任务调度算法中,得到基于ER算法的以Vague值模糊多QoS为约束的网格任务调度算法(VagueSets-Fuzzy-Multi-QoS Guided grid Task Scheduling algorithm, VSFMQoS-Guided-TS)。

1 网格模糊多QoS

网格QoS是分层描述的,一般可以分为3层^[8]:应用/网格服务层、中间VO(Virtual Organization)层和资源设备层。VO层中QoS参数分为五大类:逻辑资源类、系统类、安全类、信任类和记账类。其中,逻辑资源QoS又可以包括CPU占用率、RAM容量、storage容量等QoS性能参数。

所有的QoS参数,按照参数要求的类型可以分为质的方面和量的方面^[9],质的方面是指安全性QoS和信任QoS等参数,不数值表示,例如用户会提出诸如安全性“较高”这样的需求。量的方面是指CPU占用率、RAM和storage等参数,这些参数可以用数值表示,但由于网格环境的不确定性,这些参数也需要不确定的表达,如RAM用量大约为2G。需要用模

糊的表达方式来描述这些QoS参数,Vague集可以很好的处理不确定性信息。

2 基于ER的模糊多QoS属性的融合方法

2.1 基于D-S理论的ER算法

1994年,J.B.Yang等人首先将D-S理论应用到多属性决策中,提出了基于D-S理论的ER算法^[10]。该ER算法可以将决策中的各个属性融合为一个综合属性值。

定义N个评价等级, $H=\{H_1, H_2, \dots, H_N\}$,每个下层属性都映射到这N个等级上。比如有L个属性 $\{e_1, e_2, \dots, e_i, \dots, e_L\}$,它们在N个等级上的评价为一组向量:

$$S(e_i) = \{(H_1, \beta_{i,1}), (H_2, \beta_{i,2}), \dots, (H_n, \beta_{i,n}), \dots, (H_N, \beta_{i,N})\} \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, L$$

其中, $\beta_{i,n}$ 表示属性 e_i 被评价为等级 H_n 的信任度。

概率分配函数

$$m_{i,n} = w_i \beta_{i,n}, \quad n = 1, \dots, N, \quad i = 1, \dots, L \quad (2)$$

其中, $m_{i,n}$ 为等级n上的概率分配函数值, w_i 为属性 e_i 的权重。

利用式(2)得到该属性的概率分配函数值 $\{m_{i,1}, m_{i,2}, \dots, m_{i,n}, \dots, m_{i,N}\}$ 。利用概率分配函数值,通过D-S理论中的合成方法,将L个下层属性的评价融合为一个上层属性e的概率分配函数值。

将概率分配函数值换算回等级评价的形式,得到

$$S(e) = \{(H_1, \beta_1), (H_2, \beta_2), \dots, (H_n, \beta_n), \dots, (H_N, \beta_N)\} \quad (3)$$

之后便可根据这些评价与其它决策方案比较优劣,得到最优决策。

ER方法最大的优势是,它可以在计算的过程中保留每个下层属性的不确定性信息。

2.2 Vague值表示的QoS评价等级

对于任意QoS属性,定义N个评价等级: $H=\{H_1, \dots, H_n, \dots, H_N\}$, H_n 是第n个评价等级。假设 $\{Y_{i,1}, \dots, Y_{i,N}\}$ 是专家给定的针对属性 e_i 的评价等级集合,则可以用公式

$$S(e_i) = \{(Y_{i,n}, [f_{i,n}, 1 - f_{i,n}]), n = 1, \dots, N\} \quad (4)$$

等级评价形式来描述该 QoS 属性, 或者用下式表示:

$$S(e_i) = \sum_{n=1}^N [t_{i,n}, 1 - f_{i,n}] / Y_{i,n} \quad (5)$$

其中, $[t_{i,n}, 1 - f_{i,n}]$ 即为信任度 $\beta_{i,n}$, 表示 QoS 属性 e_i 处于等级 H_n 的信任度为一个 Vague 值, 支持度为 $t_{i,n}$, 反对度为 $f_{i,n}$, 而不确定性的程度为 $1 - t_{i,n} - f_{i,n}$.

设用户对于 QoS 属性 e_i 提出的需求, 或 GSP 提供的属性 e_i 上的值, 为约 y_i (或者 y_i 左右), 且该数值处于等级 $Y_{i,n}$ 与 $Y_{i,n+1}$ 之间, 如图 1 所示。

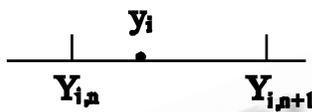


图 1 QoS 属性值落在评价等级之间

则对该属性值的评价为 $[t_{i,n}, 1 - f_{i,n}] / Y_{i,n} + [t_{i,n+1}, 1 - f_{i,n+1}] / Y_{i,n+1}$, 其中各参数用公式(6)和(7)计算。

$$t_{i,n} = \frac{Y_{i,n+1} - y_i}{Y_{i,n+1} - Y_{i,n}} - \frac{u_{i,n}}{2} \quad (6)$$

$$f_{i,n} = 1 - \frac{Y_{i,n+1} - y_i}{Y_{i,n+1} - Y_{i,n}} - \frac{u_{i,n}}{2}$$

$$t_{i,n+1} = \frac{y_i - Y_{i,n}}{Y_{i,n+1} - Y_{i,n}} - \frac{u_{i,n+1}}{2} \quad (7)$$

$$f_{i,n+1} = 1 - \frac{y_i - Y_{i,n}}{Y_{i,n+1} - Y_{i,n}} - \frac{u_{i,n+1}}{2}$$

式中, $u_{i,n}$ 表示 y_i 被评价为等级 $Y_{i,n}$ 的不确定度, $u_{i,n+1}$ 表示 y_i 被评价为等级 $Y_{i,n+1}$ 的不确定度。这两个参数的值可以根据具体情况给定, 这里都设为 0.2。而当 $u_{i,n}$ 为 0 时, 则对 QoS 的评价简化到信任度为实数值的形式, 即 $\beta_{i,n} (n=1, \dots, N)$ 都为实数值。

对于安全性与可靠性等, 上面的方法不适用。同样是给定 N 个评价等级, 不过这 N 个评价等级不用数值表示, 而是用较低、较高这样的模糊词汇表达。这里设 N 为 5, 给定的评价等级为{低, 较低, 一般, 较高, 高}, 用符号集{L, LR, G, HR, H}表示。用户提出的需求为其中的一个等级。对应各种需求表达, 用 Vague 集评价如下:

$$\begin{aligned} \text{低: } & [0.7, 1-0.2]/L + [0.2, 1-0.7]/LR + [0, 1-1]/G \\ & + [0, 1-1]/HR + [0, 1-1]/H \\ \text{较低: } & [0.1, 1-0.8]/L + [0.6, 1-0.2]/LR + [0.1, 1-0.8]/G \\ & + [0, 1-1]/HR + [0, 1-1]/H \\ \text{一般: } & [0, 1-1]/L + [0.1, 1-0.8]/LR + [0.6, 1-0.2]/G \\ & + [0.1, 1-0.8]/HR + [0, 1-1]/H \\ \text{较高: } & [0, 1-1]/L + [0, 1-1]/LR + [0.1, 1-0.8]/G + \\ & [0.6, 1-0.2]/HR + [0.1, 1-0.8]/H \\ \text{高: } & [0, 1-1]/L + [0, 1-1]/LR + [0, 1-1]/G + \\ & [0.2, 1-0.7]/HR + [0.7, 1-0.2]/H \end{aligned} \quad (8)$$

要注意的是, 对于每个 QoS 参数的等级评价要满足一个标准化条件, 即评价中各等级上的信任度之和为 1。

2.3 Vague 集多 QoS 属性融合

通过上面的计算, 把模糊情况下各个 QoS 属性用 Vague 集形式的等级评价出来。然后, 利用 E-R 合成方法将下层多 QoS 属性融合为上层的一个属性。具体融合过程如下。

设下层各 QoS 属性的权重为 $w_i (i=1, \dots, L)$, 满足下列条件。

$$0 \leq w_i \leq 1 \quad \text{and} \quad \sum_{i=1}^L w_i = 1 \quad (9)$$

在各属性的等级评价中, 各个等级上的信任度为一个 Vague 值 $[t_{i,n}, 1 - f_{i,n}]$, 其中的 $f_{i,n}$ 为反对度, 不可以用来直接计算概率分配函数。设一个新的参数 $p_{i,n}$, 表示评价为等级 n 上的可能性, 且满足式(10)。

$$p_{i,n} = 1 - f_{i,n}, \quad i = 1, \dots, L; \quad n = 1, \dots, N \quad (10)$$

用下面公式(11)-(13)来计算各属性的概率分配函数。属性 e_i 的概率分配函数值分为三部分, 分别为: $m_i(H_1, \dots, H_n, \dots, H_N)$, $\bar{m}_{i,H}$, $\tilde{m}_{i,H}$ 。为权重的补, 表示评价的不完全性。

$$m_{i,n} = m_i(H_n) \in [m_{i,n}^l, m_{i,n}^p] = [w_i t_{i,n}, w_i p_{i,n}], \quad n = 1, \dots, N; i = 1, \dots, L \quad (11)$$

$$\bar{m}_{i,H} = \bar{m}_i(H) = 1 - w_i, \quad i = 1, \dots, L \quad (12)$$

$$\tilde{m}_{i,H} = \tilde{m}_i(H) \in [\tilde{m}_{i,H}^l, \tilde{m}_{i,H}^p] = [w_i t_{i,H}, w_i p_{i,H}]$$

$$\text{with } \sum_{n=1}^N m_{i,n} + \bar{m}_{i,H} + \tilde{m}_{i,H} = 1 \quad \text{and} \quad \sum_{i=1}^L w_i = 1 \quad (13)$$

$$t_{i,H} = \max(0, 1 - \sum_{n=1}^N p_{i,n}), \quad p_{i,H} = 1 - \sum_{n=1}^N t_{i,n}$$

$$\text{for } i = 1, \dots, L$$

用上面的公式计算出每个下层 QoS 属性的概率函数分配后, 用下面的非线性模型(14)-(20)将它们融合为一个上层的评价, 仍然是概率分配函数的形式, 同样包含三部分: $m(H_1, \dots, H_n, \dots, H_N), \bar{m}_H, \tilde{m}_H$ 。需要注意的是, 由于 $m_{i,n} \in [m_{i,n}^l, m_{i,n}^p]$, 下面的计算要分两部分完成。

$$m_n = k \left[\prod_{i=1}^L (m_{i,n} + \bar{m}_{i,H} + \tilde{m}_{i,H}) - \prod_{i=1}^L (\bar{m}_{i,H} + \tilde{m}_{i,H}) \right], \quad (14)$$

$n = 1, \dots, N$

$$\tilde{m}_H = k \left[\prod_{i=1}^L (\bar{m}_{i,H} + \tilde{m}_{i,H}) - \prod_{i=1}^L \bar{m}_{i,H} \right], \quad (15)$$

$$\bar{m}_H = k \left[\prod_{i=1}^L \bar{m}_{i,H} \right], \quad (16)$$

$$k = \left[\frac{\sum_{n=1}^N \prod_{i=1}^L (m_{i,n} + \bar{m}_{i,H} + \tilde{m}_{i,H}) - (N-1) \prod_{i=1}^L (\bar{m}_{i,H} + \tilde{m}_{i,H})}{(N-1) \prod_{i=1}^L (\bar{m}_{i,H} + \tilde{m}_{i,H})} \right]^{-1}, \quad (17)$$

$$m_{n,i}^l \leq m_{n,j} \leq m_{n,j}^p, \quad n = 1, \dots, N; \quad i = 1, \dots, L, \quad (18)$$

$$\bar{m}_{i,H} = 1 - w_i \quad \text{and} \quad \tilde{m}_{i,H}^l \leq \tilde{m}_{i,H} \leq \tilde{m}_{i,H}^p, \quad i = 1, \dots, L, \quad (19)$$

$$\sum_{n=1}^N m_{i,n} + \bar{m}_{i,H} + \tilde{m}_{i,H} = 1, \quad i = 1, \dots, L. \quad (20)$$

经过各层属性向上融合, 得到最顶层 QoS 概率分配函数。然后, 用下面的方法(21)-(22)把它转变为 Vague 值表示的形如式(4)的等级评价。

$$t_n = \frac{m_n^l}{1 - \bar{m}_H} \quad \text{and} \quad f_n = 1 - \frac{m_n^p}{1 - \bar{m}_H}, \quad (21)$$

$n = 1, \dots, N$

$$t_H = \frac{\tilde{m}_H}{1 - \bar{m}_H} \quad \text{and} \quad f_H = 1 - \frac{\tilde{m}_H}{1 - \bar{m}_H}, \quad (22)$$

$n = 1, \dots, N$

2.4 QoS 期望效用函数值

把用户提出的所有 QoS 属性需求或者 GSP 提供的多 QoS 参数融合为顶层的一个综合属性后, 将用户 QoS 需求与 GSP 提供的 QoS 进行比较, 从而进行任务的调度。但通过上面的计算得到的顶层属性是具有模糊不确定性且以分布式方式描述的等级评价, 在比较之前需要将这种等级评价转化为一个具体的数值, 即多 QoS 的期望效用函数值, 以利于比较或排

序。

设 $u(H_n)$ 表示综合 QoS 每个等级 H_n 上的评估效用值, $\beta_n = [t_n, 1 - f_n]$ 为综合 QoS 在等级 H_n 上的信任度, 用 u 表示综合期望效用值, u^t 表示综合期望效用值支持度部分, 则可用式(23)计算。

$$u^t = \sum_{n=1}^N u(H_n) t_n \quad (23)$$

3 Vague 多QoS融合算例分析

根据第 1 节描述的 QoS 属性结构, 列举一个实例, 如图 2 所示。其中, $\{e_1, e_2, e_3\}$ 为物理层属性, $\{e_4, e_5, e_6\}$ 为虚拟层属性, e_6 为 $\{e_1, e_2, e_3\}$ 的上层属性, 安全 QoS 与信任 QoS 的下层属性省略。 $w_i (i=1, 2, \dots, 6)$ 为各属性对应的权重, 权重大小见图 2。

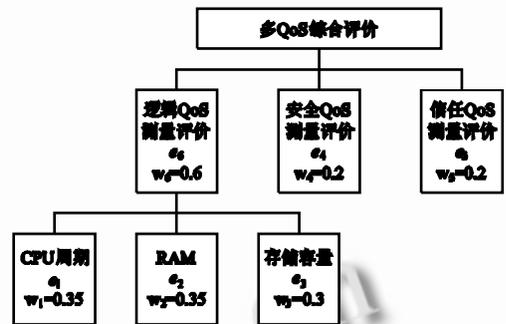


图 2 网络 QoS 属性综合评价体系

定义五个评价等级, $\{H_1, H_2, H_3, H_4, H_5\}$, 按服务质量低到高的顺序排列。专家给定的各属性等级值见表 1。各等级上的期望效用值用比率标尺法确定^[11], 这里: $u(H) = \{u(H_1), u(H_2), u(H_3), u(H_4), u(H_5)\} = \{0.1, 0.2, 0.5, 0.7, 0.9\}$ 。

表 1 各属性评价等级标准值

评估等级	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅
CPU 周期(ns)	3.0	2.0	1.0	0.5	0.25
RAM(Mb)	256	512	1024	5120	10240
存储容量(G)	80	120	160	250	320
安全 QoS	L	LR	G	HR	H
信任 QoS	L	LR	G	HR	H

表 2 为该实例中三个用户提出的模糊 QoS 需求数据。

表 2 用户 QoS 需求

e_i	User ₁	User ₂	User ₃
CPU 周期(ns)	e_1 约 1.3097	约 2.3784	约 1.5246
RAM(Mb)	e_2 约 603.56	约 6234.3	约 2324.9
存储容量(G)	e_3 约 277.25	约 96.818	约 125.36
安全 QoS	e_4 高	一般	较高
信任 QoS	e_5 一般	高	一般

根据公式(6)-(8), 将用户的 QoS 需求值映射到评价等级上, 如表 3 所示。

表 3 用户 QoS 需求在等级上的映射

	User1	User2	User3
e_1	$\{(H_5, [0.2097, 1-0.5903]), (E_5, [0.5903, 1-0.2097])\}$	$\{(H_7, [0.2784, 1-0.5216]), (E_7, [0.5216, 1-0.2784])\}$	$\{(H_3, [0.4246, 1-0.5754]), (E_3, [0.5754, 1-0.4246])\}$
e_2	$\{(H_2, [0.7212, 1-0.0788]), (H_6, [0.0788, 1-0.7212])\}$	$\{(H_4, [0.6824, 1-0.1176]), (H_8, [0.1176, 1-0.6824])\}$	$\{(H_5, [0.5824, 1-0.2176]), (H_9, [0.2176, 1-0.5824])\}$
e_3	$\{(H_4, [0.5107, 1-0.2893]), (H_6, [0.2893, 1-0.5107])\}$	$\{(H_5, [0.5107, 1-0.2893]), (H_7, [0.2893, 1-0.5107])\}$	$\{(H_6, [0.7660, 1-0.0340]), (H_9, [0.0340, 1-0.7660])\}$
e_4	$\{(E_4, [0.2000, 1-0.7000]), (E_5, [0.7000, 1-0.2000])\}$	$\{(E_5, [0.1000, 1-0.8000]), (E_7, [0.6000, 1-0.2000]), (H_4, [0.1000, 1-0.8000])\}$	$\{(E_5, [0.1000, 1-0.8000]), (E_6, [0.6000, 1-0.2000]), (H_4, [0.1000, 1-0.8000])\}$
e_5	$\{(E_5, [0.1000, 1-0.8000]), (E_6, [0.6000, 1-0.2000])\}$	$\{(E_4, [0.2000, 1-0.7000]), (E_5, [0.7000, 1-0.2000])\}$	$\{(E_5, [0.1000, 1-0.8000]), (E_6, [0.6000, 1-0.2000])\}$

对于三个用户的 QoS 需求等级评价, 用公式(9)-(22)分别将多 QoS 属性按层次融合为最上层综合评价, 结果如表 4。

表 4 QoS 综合评价

User	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5
User ₁	[0, 1]	[0.3312, 1-0.6688]	[0.3221, 1-0.6779]	[0.1735, 1-0.8265]	[0.1732, 1-0.8268]
User ₂	[0.0844, 1-0.9156]	[0.1738, 1-0.8262]	[0.0775, 1-0.9225]	[0.4435, 1-0.5565]	[0.2195, 1-0.7805]
User ₃	[0, 1]	[0.3571, 1-0.6429]	[0.4672, 1-0.5328]	[0.1630, 1-0.8370]	[0.0125, 1-0.9875]

融合后的综合评价还是 Vague 值的形式, 为了方便比较, 我们用式(23)将它们转化为期望效用值, 见表 5。

表 5 用户 QoS 需求期望效用值

	User 1	User 2	User 3
Composite expected utility	0.5046	0.5902	0.4304
Rank	2	1	3

根据表 5, 可以得到三个用户 QoS 需求期望效用的比较图, 如图 3 所示。

综上, 通过一系列的计算, 最终将用户提出的分层多 QoS 需求融合为一个综合 QoS 期望效用值。可以把这个效用值加入到网络任务的调度中, 结合其它约束条件, 得到更合理更优化的调度算法。

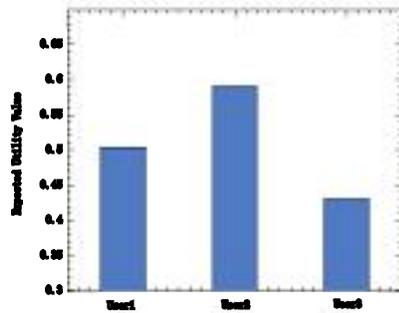


图 3 用户期望效用比较

4 网络任务调度算法

4.1 算法思想

VFSMQoS-Guided-TS 算法, 将 ER 方法合成的综合 QoS 评价加入进来, 并按照该综合 QoS 把任务分为不同的级别, 对于从高到低每一级别的任务与资源集合, 在每个被调度的资源 QoS 必须满足被调度的任务 QoS 需求的前提下, 把任务分配到执行它需要的时间最小的资源上, 使得时间跨度最小。

4.2 算法描述

算法 VFSMQoS-Guided-TS()

输入: 任务集 T 的 QoS 需求矩阵 Q_T , 资源集 R 的 QoS 矩阵 Q_R , ETC

输出: 调度方案

01 用 2.2-2.4 中的算法由 Q_T , Q_R 计算任务与资源的 QoS 综合效用向量 UT , UR

02 根据 UT 将 T 分级为 5 个部分: $\{T_1, \dots, T_5\}$, 对应的综合期望效用为: $\{UT^1, \dots, UT^5\}$

04 初始化 MCT

05 for $T^i \in T, i=5:1$

06 while $T^i \neq \phi$

07 for $t_j \in T^i$

08 $MCT_{p,q} \leftarrow \min(MCT_{j,i})$ with $<=$

09 将 $MCT_{p,q}$ 加入至集合 C 中

10 end for

11 从 C 中选出期望完成时间最小的任务-资源对并调度之

12 $T^k = T^i - \{t_j\}$

13 更新 MCT

14 end while

15 end for

5 算法仿真与分析

仿真实验设计了 20 个计算资源, 分别对应 20 个

QoS 参数向量, 以及 100~200 个独立任务, 分别对应 100~200 个 QoS 需求向量。另外, ETC 矩阵中每个元素设计为 1~100 之间的某个数值。模拟实现了 QoS Guided Min-Min 与 VSFMQoS-Guided-TS 两种算法并进行了比较。主要对任务数分别为 100, 120, 140, 160, 180, 200 时调度 makespan 进行了对比, 如图 4 所示, 其中每个结果都是 100 次测试后的平均值。

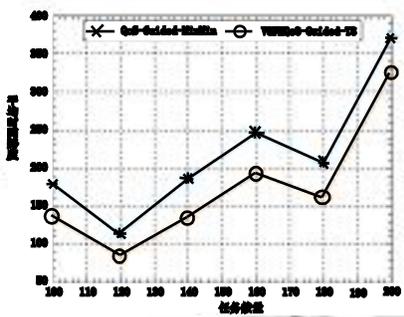


图 4 不同算法调度时间跨度比较

由图 4 可以看出, 算法 VSFMQoS-Guided-TS 明显优于算法 QoS Guided Min-Min, 对于各个任务数量级的调度, 前者的时间跨度都比后者有所缩短, 具体的优化效率见图 5。

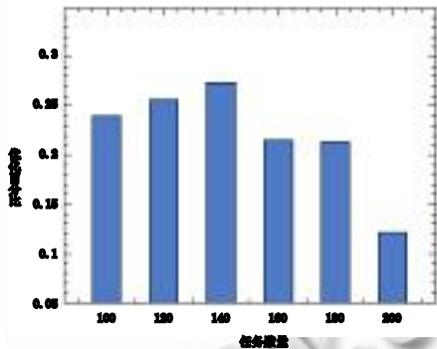


图 5 不同任务数时优化效率

如图 5 所示, 不同任务数量下算法有从 12.13%~27.42% 不等的提高。任务数为 140 时, 算法提高的效率最高, 达到 27.42%。而任务数为 200 时算法提高的效用最低, 为 12.13%。

综上, 算法 VSFMQoS-Guided-TS 能很好的保留 QoS 的不确定性, 并能减小调度时间跨度, 提高调度效率, 可以有效地应用于网格任务调度。

6 结语

本文提出了基于 ER 算法的以 Vague 值模糊多 QoS

为约束的网格任务调度算法。该算法有效的保留了 QoS 的不确定性和模糊性, 在调度过程中避免了低 QoS 的任务占用高 QoS 资源的情况, 合理利用资源, 并且使时间跨度进一步减小, 提高调度效率。当然该算法也存在不足, 它只是把 QoS 最终的综合效用值作为约束加入到调度中, 没有考虑任务与资源的具体 QoS 参数匹配, 而且把调度中所有的指标考虑进来之后, 仍然以时间跨度为目标不尽合理。在这些方面上还需要进一步研究。

参考文献

- 1 Foster I. What is the grid? A three point checklist [2009-03-06]. <http://www-fp.mcs.anl.gov/~foster>.
- 2 梁泉, 梁开健, 杨扬. 基于服务的服务质量参数匹配策略及价格模型. 计算机集成制造系统, 2007, 13(2): 262-267.
- 3 He XS, Sun XH, von Laszewski G. QoS Guided Min-Min Heuristic for Grid Task Scheduling. Journal of Computer Science and Technology, 2003, 18(4): 442-451.
- 4 Allenator D, Thulasiram RK. A Fuzzy Grid-QoS Framework for Obtaining Higher Grid Resources Availability. Advances in Grid and Pervasive Computing, 2008, 5036: 128-139.
- 5 Benjamin Khoo, Veeravalli Bharadwaj. A Dynamic Estimation Scheme for Fault-Free Scheduling in Grid Systems. Cluster Computing and Grid 2005 Works in Progress. IEEE Distributed Systems Online, 2005, 6(9): 1541-4922.
- 6 Gau WL, Buehrer DJ. Vague sets. IEEE Trans Syst Man Cybern, 1993, 23(2): 610-614.
- 7 Wang YM, Yang JB, Xu DL. The evidential reasoning approach for multiple attribute decision analysis using interval belief degrees. European Journal of Operational Research, 2006, 175(1): 35-66.
- 8 伍之昂, 罗军舟, 宋爱波. 基于 QoS 的网格资源管理. 软件学报, 2006, 17(11): 2264-2276.
- 9 梁泉, 杨扬, 梁开健. 网格系统的服务质量保障与控制综述. 控制与决策, 2007, 22(2): 121-126.
- 10 Yang JB, Singh MG. An evidential reasoning approach for multiple-attribute decision making with uncertainty. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: systems and Humans, 1994, 24(1): 1-18.
- 11 Guilford JP. Psychometric Method. 2nd ed, New York: Mc-Graw-Hill, 1954.