

基于 QoS 的网格错误处理服务选择模型

姬晓波¹ 陈蜀宇² 常光辉¹ 田东^{2,3} 黄剑⁴

(重庆大学计算机学院 重庆 400044)¹ (重庆大学软件学院 重庆 400044)²

(贵州省电子计算机软件开发中心 贵阳 550000)³ (重庆大学自动化学院 重庆 400044)⁴

摘要 在检测到错误发生的情况下,错误管理服务如何针对实际的不同网格应用程序,选择恰当的错误处理服务,是保证可靠网格容错能力的一个关键问题。针对网格计算环境下的错误处理需求,提出一种基于服务质量 QoS 的错误处理服务选择模型。在分析网格错误处理的相关背景及需求基础上,给出几种常用错误处理技术的形式化定义,提出相应的服务质量标准;将基于 QoS 的错误处理服务选择问题抽象为多属性决策问题,建立相应的决策模型。

关键词 网格,容错,服务质量,服务选择

中图法分类号 TP393 文献标识码 A

Grid Fault Handling Service Selection Model Based on QoS

Ji Xiao-bo¹ CHEN Shu-yu² CHANG Guang-hui¹ TIAN Dong^{2,3} HUANG Jian⁴

(College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China)¹

(College of Software Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400044, China)²

(Guizhou Electronic Computer Software Development Center, Guiyang 550000, China)³

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)⁴

Abstract Aiming at the problem that how to select fault handling service for different grid application programs, a fault handling strategy in terms of clients' QoS requirements was put forward. On the basis of defining several normal fault handling technologies in formal, an extensible QoS model for grid fault handling was presented. Meanwhile, the QoS based decision problem was abstracted as a multi-property decision problem and the decision model was constructed.

Keywords Grid, Fault-tolerance, QoS, Service selection

网格环境下,在错误检测服务检测到错误发生后,错误管理服务必须针对错误采用及时、有效的错误处理措施,以确保网格系统的高可靠性与高可信性。由于网格应用程序的多样性,出现的错误类型是多种多样的;由于资源分布的特殊性,网格对于错误的处理与传统的分布式系统中错误处理在技术和策略上也有很大的区别。网格环境下如何针对实际的不同网格应用程序,选择恰当的错误处理服务,是一个极为重要的关键问题。

1 错误处理服务的定义与假设

网格环境下的错误处理技术主要涉及重试、副本、检查点等,在实际应用中也存在几种主流技术的组合使用情况。目前,对于错误处理大多集中在对于某一种错误的处理方法,而不能处理多种语义下的网格错误。此外,对于动态服务选择问题,在 Web 服务选择中研究较多,并取得了大量的研究成果,但在网格错误处理服务选择方面,相关研究较少。

本文将讨论 4 种在分布式系统以及高性能计算领域中常

用到的错误处理服务,即重试、副本、检查点及带有重试技术的副本。

由于网格环境下错误处理服务的选择牵涉到很多属性的定义,因此本节首先给出与这 4 种错误处理服务相关的基本定义和假设。

定义 1(任务, Task) 任务是一个状态流程序列 $[t_1, t_2, \dots, t_n]$,其中 t_1 是起始状态, t_n 是结束状态。

定义 2(重试, Retrying) 指给定一个任务 $[t_1, t_2, \dots, t_n]$,如果任务在 t_i 状态出错,系统将从 t_1 状态开始重新执行任务。

定义 3(副本, Replication) 指给定一个任务 $[t_1, t_2, \dots, t_n]$,有 m 个同样的任务运行于网格之上,它们是 $[t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1n}]$, $[t_{21}, t_{22}, \dots, t_{2n}]$, \dots , $[t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mn}]$,如果其中某一个任务在某一个状态出错,例如 t_{ij} ,就终止该副本任务 i ,只要其中某一个副本任务成功,系统终止其他副本任务。当所有副本任务出错时,则该任务出错。

定义 4(检查点, Checkpointing) 指给定一个任务 $[t_1,$

到稿日期:2008-11-20 本文受教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-04-0843),重庆市自然科学基金项目(2007BB2194),贵州省科技攻关计划项目(黔科合 GZ 字(2007)3005),贵州省科学技术基金项目(黔科合 J[2007]2232 号)资助。

姬晓波(1979—),男,博士研究生,主要研究方向为网格计算与可信计算等, E-mail: bati0716@126.com; 陈蜀宇(1963—),男,教授,博导,主要研究方向为可信计算等; 常光辉(1980—),男,博士研究生,主要研究方向为可信计算等; 田东(1975—),男,博士,主要研究方向为可信计算与网格计算等; 黄剑(1963—),男,工程师,主要研究方向为可信计算等。

t_2, \dots, t_n], 系统在任务执行过程中按照一定的时间间隔把任务的状态保存到一个文件中, 如果任务在状态 t_i 出错, 任务将通过从检查点文件中读取状态 t_i 最近保存的状态 $t_i(t_j)$, 并从状态 t_j 开始继续执行任务。

定义 5(带重试的副本, Replication with retrying) 指给定一个任务 $[t_1, t_2, \dots, t_n]$, 创建 m 个副本任务在运行, 他们分别是 $[t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1n}]$, $[t_{21}, t_{22}, \dots, t_{2n}]$, \dots , $[t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mn}]$, 如果某一个副本任务在某一状态 t_{ij} 出错, 该副本任务将从状态 t_{ij} 开始重新执行, 当任一副本任务成功完成时, 也就是该副本任务到达状态 t_m , 终止其他副本任务。

基于上述定义, 方便为系统建模, 给出相应的假设说明网络上错误的发生状况。

假设 1

① 任务 $[t_1, t_2, \dots, t_n]$ 在状态 t_i 的时间是一个时间间隔, 在该间隔内任务对某一个具体的服务请求执行某一个操作;

② 任务 $[t_1, t_2, \dots, t_n]$ 从状态 t_i 切换到状态 t_{i+1} 的时间为 0, 即任务在状态 t_i 结束后立即进入状态 t_{i+1} 。

假设 2

① 任务 $[t_1, t_2, \dots, t_n]$ 在某个状态出错的概率是 λ (即错误率), 并且服从 Poisson 分布。平均出错间隔 (Mean Time to Failure, MTTF) 可以按照数学方法计算出来 $(1/\lambda)$;

② 任务 $[t_1, t_2, \dots, t_n]$ 在每个状态 t_i 中, 任务出错的概率同样服从 Poisson 分布;

③ 每个错误出现后该错误的持续时间是 T_F ;

④ 平均的系统当机时间 (down time) 是 T_D 。

假设 3

① 所有不同的错误处理服务中, 带副本的错误处理服务中的副本任务数目是 N_R ;

② 所有不同的错误处理服务中, 带检查点的错误处理服务中检查点操作的额外开销是相同的, 都是 T_C ;

③ 所有不同的错误处理服务中, 带检查点的错误处理服务中检查点操作的错误恢复时间是相同的, 都是 T_R ;

④ 所有不同的错误处理服务中, 带检查点的错误处理服务中检查点操作的时间间隔是 T_I 。

2 错误处理的服务质量模型

现有服务质量模型方面的研究^[4-6]主要存在以下问题: 没有统一的服务质量定义; 注重整个服务质量的真实性, 无法度量单个服务质量属性的可信程度。针对上述问题, 本文结合网格环境下的错误处理需求, 根据上节定义的 4 种错误处理服务, 构造一种可扩展的服务质量模型, 同时引入服务质量的真实度 (Fidelity) 来增强该模型的公正性和开放性, 使其既满足用户需求又体现服务质量属性值的客观性。

2.1 可扩展的服务质量模型

根据网格错误处理服务的属性, 引进四维通用的服务属性, 建立可扩展的 $n+1$ 维服务质量模型。为切合网格错误处理服务的实际, 定义如下:

1) 执行时间 (Execution time): 指一个任务从提交开始到任务完成的时间区间。在该区间内, 可能对任务采用了某一种或者某几种错误处理服务。另外任务既可以是一个单独的运行服务也可以是一些服务的组合。记为 Q_e 。

2) 执行费用 (Execution cost): 指服务请求者支付执行某

一种错误处理服务的费用, 记为 Q_c 。

执行费用可以根据式 (1) 来计算:

$$Q_c = Q_{price} * Q_{e,t} * R_{num} \quad (1)$$

其中, Q_{price} 是指被请求资源的价格, R_{num} 是指需要该指定资源的数目。

3) 可靠性 (Reliability): 指错误处理服务满足用户需要的可能性, 通常定义为成功执行与总调度执行的比率, 记为 Q_{rel} 。

错误处理服务 fhs 的可靠性可以根据式 (2) 来计算:

$$[Q_{rel}(fhs)]_n = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} [\delta(fhs)]_i}{n-1} \quad (2)$$

其中, $[Q_{rel}(s)]_n$ 表示第 n 次访问服务前 fhs 所具备的成功率, $[\delta(fhs)]_i$ 定义为

$$[\delta(fhs)]_i = \begin{cases} 1 & \text{第 } i \text{ 次访问服务 } s \text{ 成功返回的结果} \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

4) 可用性 (Availability): 指错误处理服务的可访问概率, 记为 Q_{av} 。

错误处理服务的可用性可以根据式 (3) 来计算:

$$Q_{av} = \frac{T(fhs)}{T} \quad (3)$$

表示在过去时间区间 T 内, 错误处理服务 fhs 可用时间 $T(fhs)$ 的所占比率。

上述四维通用服务质量属性无法满足所有的应用需求, 但制定一个标准的服务质量属性集也是不可行的。因此, 定义一个可扩展的服务质量模型 $QoS = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_n\}$, 用户可以根据应用定制或加入新的服务质量属性而无需改变模型结构。另一方面, 声誉作为度量整个服务的可信程度, 主要依赖于用户的反馈信息。用户一般对同一服务质量属性有不同的评价, 服务提供者也需要针对个别用户的需求对其服务质量进行调整。因此, 引进真实度 (Fidelity) 来评价不同服务质量属性的可信程度。

定义 6(服务质量真实度, Fidelity) 服务质量的真实度是指用户对 n 维服务质量属性的评价, 记为 $Q_{fid} = \{fid_1(fhs), fid_2(fhs), \dots, fid_n(fhs)\}$ 。

其中, $fid_i(fhs) = \frac{\sum_{j=1}^{N_i} [R(fhs)]_{ij}}{N_i}$ 表示用户对第 i 个服务质量

属性的评价, $[R(s)]_{ij}$ 表示第 i 个服务质量属性被第 j 次访问给出的评价, N_i 表示第 i 个服务属性被评价的总次数, n 表示错误处理服务 s 的服务质量模型的维数。

为保持服务质量模型 $QoS = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_n\}$ 的完整性, 真实度作为一个附加属性。例如一个 $4+1$ 维 QoS 模型:

$$QoS = \{Q_e, Q_c, Q_{rel}, Q_{av}\} \cup \{Q_{fid}\}$$

2.2 服务质量属性的计算方式

在服务质量模型中, 执行时间和执行费用是两个核心的服务质量属性。对于单纯的副本错误处理服务, 按照概率论的知识, 最后系统的执行时间与单个任务执行的情况下执行时间相同, 唯一不同的是任务的开销是单个任务执行开销的 N_R 倍, 故在以下阐述中只给出 3 种错误处理服务的两种服务质量属性的计算方式, 即重试、检查点、带有重试技术的副本。

2.2.1 重试

重试错误处理服务的任务执行时间 Duda 在文献 [7] 中

(下转第 199 页)

- [13] Gokhale S, Wong W E, Trivedi K S, et al. An Analytic Approach to Architecture-based Software Performance and Reliability Prediction. Performance Evaluation, 2004, 58(4): 391-412
- [14] Xie M, Wohlin C. An additive reliability model for the analysis

- [15] Everett W. Software component reliability analysis // Proceedings of the Symposium on Application-specific Systems and Software Engineering Technology (ASSET'99). 1999: 204-211

(上接第 191 页)

讨论过, 本文按照前述假设作相应调整, 具体如式(4)所示:

$$Q_{e,t(ret)} = \frac{e^{\lambda T_D} (e^{\lambda T_F} - 1)}{\lambda} \quad (4)$$

对于某种错误处理服务的执行费用按照资源数目、资源价格以及执行时间 3 个方面来计算。重试错误处理服务的执行费用按照式(5)来计算。

$$Q_{c,o} = Q_{price} * Q_{e,t(ret)} \quad (5)$$

2.2.2 检查点

Vaidya 最早在文献[8]中讨论了检查点错误处理技术下任务的执行时间, 本文根据前述定义与假设, 按照概率相关理论, 网络上检查点错误处理服务的执行时间如式(6)所示。

$$Q_{e,t(ch)} = \left(\frac{T_F}{T_I}\right) \frac{e^{\lambda(T_D - T_C + T_R)} (e^{\lambda(T_I + T_C)} - 1)}{\lambda} \quad (6)$$

与重试错误处理服务类似, 检查点错误处理服务的执行费用可以按照式(7)计算:

$$Q_{c,o} = Q_{price} * Q_{e,t(ch)} \quad (7)$$

2.2.3 带有重试的副本

按照前面的分析, 带有重试的副本错误处理方法的任务执行时间可以按照式(8)来计算。

$$Q_{e,t(rep)} = \frac{e^{\lambda N_R T_D} (e^{\lambda N_R T_F} - 1)}{\lambda / N_R} \quad (8)$$

带有重试的副本处理方法的执行代价是:

$$Q_{c,o} = Q_{price} * Q_{e,t(rep+rep)} * N_R \quad (9)$$

3 基于服务质量的通用决策模型

3.1 模型的建立

根据多属性决策方法的思想, 基于 QoS 的错误处理服务选择问题可抽象为如式(10)所示的决策模型:

$$FHS_{QoS} = \{A, D_m, C_s\} \quad (10)$$

其中, $A = [a_{ij}]_{m \times n}$ 是服务质量决策矩阵, $a_{ij} = Q_i(fh_{sj})$ 是服务 $fh_{sj} \in FHS$ 在服务质量属性 $Q_i \in QoS$ 的取值, 这里 $QoS = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_n\}$ 表示服务质量属性集, $FHS = \{fh_{s1}, fh_{s2}, \dots, fh_{sm}\}$ 表示错误处理服务的集合; $D_m = \{dm_1, dm_2, \dots, dm_u\}$ 表示决策模式集, 如一个包含单赋权模式、主观赋权模式、客观赋权模式和主客观赋权模式的集合记为: $D_m = \{single\ weight\ mode, subjective\ weight\ mode, object\ weight\ mode, subjective-objective\ weight\ mode\}$;

$C_s = \{cs_1, cs_2, \dots, cs_v\}$ 表示对决策矩阵的约束集, 如对不同服务属性设定一定的阈值。

3.2 决策矩阵的标准化

为了正确评价各种错误处理服务, 决策矩阵 A 需要标准化, 本质是给出某个属性值在决策评价优劣时的实际价值。通过下列公式获得 $A = [a_{ij}]_{m \times n}$ 标准化后对应矩阵 $B = [b_{ij}]_{m \times n}$:

• 效益型属性 (Benefit Property)

$$b_{ij} = \begin{cases} \frac{a_{ij} - a_j^{\min}}{a_j^{\max} - a_j^{\min}} & a_j^{\max} \neq a_j^{\min} \\ 1 & a_j^{\max} = a_j^{\min} \end{cases} \quad (11)$$

其中, $a_j^{\max} = \max_i a_{ij}$, $a_j^{\min} = \min_i a_{ij}$, $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$ 。

• 成本型属性 (Cost Property)

$$b_{ij} = \begin{cases} \frac{a_j^{\max} - a_{ij}}{a_j^{\max} - a_j^{\min}} & a_j^{\max} \neq a_j^{\min} \\ 1 & a_j^{\max} = a_j^{\min} \end{cases} \quad (12)$$

其中, $a_j^{\max} = \max_i a_{ij}$, $a_j^{\min} = \min_i a_{ij}$, $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$ 。

由属性值的标准化后, 每个属性值的最优值都是 1 且最差值为 0。

结束语 本文根据网格计算环境下的错误处理需求, 给出了错误处理服务的服务质量标准, 建立了相应的服务质量模型, 将基于 QoS 的动态错误处理服务选择问题抽象为多属性决策问题, 建立了相应的决策模型。下一步的工作, 将在本文的基础上, 提出基于服务质量的错误处理服务选择算法, 并通过仿真实验验证模型及算法的正确性和有效性。

参考文献

- [1] Nguyen - Tuong A. Integrating Fault - Tolerance Techniques in Grid Applications[D]. Ph. D Dissertation. University of Virginia, 2000
- [2] Hwang S. Grid workflow : a flexible framework for fault tolerance in the grid[D]. Ph. D Dissertation. University of Southern California, 2003
- [3] 石宣化. 可信赖网络理论与关键技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2005, 9
- [4] Zeng Liangzhao, Benatallah B, Dumans M, et al. Quality driven web services composition[C] // Proc. of 12th International Conference on World Wide Web (WWW-03). Budapest, Hungary, 2003
- [5] Sheth A, Cardoso J, Miller J, et al. QoS for service-oriented middleware[C] // Proc. of the 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informations (SCI02). Orlando, FL, 2002
- [6] Liu Yutu, Ngu A H H, Zeng Liangzhao. QoS computation and policing in dynamic web service selection[C] // Proc. of 13th International Conference on World Wide Web (WWW-04). New York, USA, 2004
- [7] Duda A. The effects of checkpointing on program execution time [J]. Information Processing Letters, 1983, 16: 221-229
- [8] Vaidya N H. Impact of checkpoint latency on overhead ratio of a checkpointing scheme [J]. IEEE Transactions on Computers, 1997, 46(8): 942-947
- [9] Hwang C L, Yoon K. Multiple attribute decision making [M]. Berlin Heidelberg New York, Springer-Verlag, 1981
- [10] Nguyen - Tuong A. Integrating Fault - Tolerance Techniques in Grid Applications[D]. Ph. D Dissertation. University of Virginia, 2000