

网状结构网格服务可靠性模型研究^①

赵晓映^② 董小社^③ 田红波 曾灵萍 刘菲菲

(西安交通大学电子与信息工程学院 西安 710049)

摘 要 针对已有简化网格服务可靠性模型无法精确反映网格网状拓扑结构特性的问题,提出了一种把已有简化网格服务可靠性模型扩展为网状拓扑结构的网状结构网格服务可靠性模型。同时,基于网状结构服务可靠性模型,提出了一种适用于网状结构服务可靠性模型的服务可靠性评估算法,该算法通过形式化描述模型以及化简求解获得网格服务的可靠性分布。实验表明,网状结构服务可靠性模型以及可靠性评估算法不仅兼容已有简化网格服务可靠性模型,而且适用于复杂网状结构网格系统建模。

关键词 网格,服务可靠性,网状结构

0 引言

网格作为一种新型的网络计算平台,推动了互联网中各种异构、分布和动态资源的共享与协作。对网格服务可靠性进行建模、分析和评估,有利于网格系统中服务分配和服务组合的优化,提高网格平台的运行效率。

网格服务可靠性受到网格中资源节点的计算速度、链路传输速度以及资源节点和链路的可靠性等多重因素的影响^[1],已有研究针对服务可靠性建模提出了一系列简化模型。文献[2]提出了一种适用于分布式系统可靠性评估的环形结构模型,证明求解系统可靠性分布问题为 NP 问题并基于该模型提出一种多项式近似可靠性求解算法。为了简化服务可靠性的分析和计算,文献[3]提出了星型结构服务可靠性模型和该模型的求解算法。文献[4,5]分别对考虑节点失效恢复能力和存在数据相关性约束的星型模型进行了建模和分析。由于星型模型的建模分析精确度不够,文献[1]提出了树型结构服务可靠性模型及该模型的求解算法。文献[6,7]进一步研究了数据相关性和失效相关性影响下的树型模型的建模与求解。文献[8,9]从优化资源分配和优化任务划分的角度提出了提高树型模型可靠性的算法。针对树型模型求解算法复杂度成指数增长的问题,

文献[10]提出了一种启发式近似求解算法。然而在实际网格系统中,节点之间的交互拓扑为网状结构。这种结构使得各节点能够在某些链路失效的情况下通过其他链路与目的节点通信。而这种特性在已有模型中并未得到反映,因此需要一种更通用的模型对网格系统进行建模。同时已有的可靠性求解算法均基于简化模型,难以扩展到网状拓扑结构,因而需要一种适用于网状结构模型的可靠性求解算法。针对以上问题,本文提出了一种网状结构服务可靠性模型,该模型对已有模型进行了扩展,可适用于网格系统中网状结构建模,同时兼容已有简化拓扑结构模型。同时,基于该模型,提出了一种评估网格系统服务可靠性分布的算法,该算法通过形式化描述模型以及化简求解获得网格服务的可靠性分布。

1 网状结构服务可靠性模型

1.1 网状结构服务可靠性模型描述

虽然网格系统中的资源节点和链路规模庞大,但完成一次任务所涉及的资源和链路却仅仅是网格系统中的很小一部分^[1]。本文针对参与执行一次任务所需的资源和链路进行建模。

网状结构服务可靠性模型中,网格系统通过资源管理系统(resource management system, RMS)来管理网格中的资源和用户的服务请求。RMS 接收到

① 国家自然科学基金(60773118)和 863 计划(2009AA01Z108)资助项目。

② 女,1983 年生,硕士;研究方向:计算机系统结构;E-mail: zhaoxiaoyi514@yahoo.cn

③ 通讯作者, E-mail: xsdong@mail.xjtu.edu.cn

(收稿日期:2010-06-08)

用户提交的服务请求后,立即生成一个任务来执行用户服务请求,并将该任务分解成多个子任务,分配到拥有子任务执行所需资源的节点上执行。子任务执行结束后,节点将子任务执行结果返回给 RMS。RMS 集成所有子任务的执行结果后,将最终的任务执行结果返回给用户。网格资源节点、链路和 RMS 构成了网状结构服务可靠性模型,如图 1 所示,图中 (R_1, R_2, R_3, R_4) 表示资源节点。

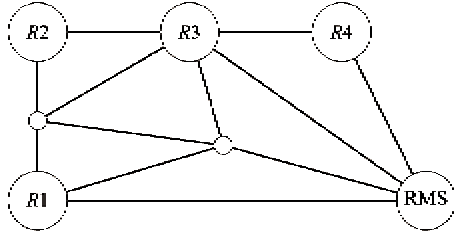


图 1 网状结构服务可靠性模型

为了提高服务可靠性, RMS 将每个子任务分配到多个资源节点上并行执行。执行同一个子任务的节点中只要有一个执行结束,则该子任务执行结束。若所有子任务均执行结束,则该任务执行完成。

网状结构服务可靠性模型与树型结构服务可靠性模型^[1]不同。在树型模型中,节点通过唯一路径与 RMS 通信。链路失效,则通过该链路与 RMS 通信的所有资源节点上的子任务执行失败。而网状结构模型中,各节点与 RMS 间有多条路径,某条链路失效时,资源节点可以通过其他链路和 RMS 通信,从而获得任务执行的高可靠性。

1.2 网状结构服务可靠性模型的假设条件

基于网状结构服务可靠性模型描述,对网格服务执行相关的资源节点和链路做出如下假设:

(1) 资源节点收到 RMS 分配的子任务及其执行所需数据后,立即开始执行。不同的资源节点可同时执行各自分配到的子任务。

(2) 由于每个服务的执行时间相较于节点及链路的运行时间来说是相当短的,因此可以假设各节点的计算速度、链路的传输速度以及各节点和链路的失效率均为常数。

(3) 节点和链路的无失效工作时间都服从指数分布。各节点和链路的失效是相互独立的。

(4) 当连接资源节点到 RMS 的一条路径上有多个节点及多条链路时,资源节点与 RMS 间的数据传输速度为该路径上所有链路的最小带宽,节点对数据传输的处理时间相较于数据在链路上的传输时间可忽略。

(5) 连接资源节点与 RMS 的任意一条路径上若存在节点或链路失效,则认为该路径失效。

(6) 由于 RMS 的可靠性较高且执行子任务分配及子任务执行结果集成等工作的时间远比子任务执行时间短,可认为它在服务执行期间不会失效

2 服务可靠性评估算法

定义 1 最小任务执行图表示能够完成任务的最少资源节点和链路的组合,其中任意一个资源节点或链路失效都会导致整个任务的执行失败。

最小任务执行图不同于文献[1]中的最小生成树。最小生成树基于树型结构服务可靠性模型,拓扑结构为树型,其中不存在环路,而最小任务执行图为网状结构,能够兼容已有的简单拓扑结构,其中可能存在环路。

定义 2 任务执行时间概率分布是时间 T 的函数,依赖于最小任务执行图的执行时间。由于最小任务执行图的执行时间为离散值,任务执行时间概率分布为离散函数,可表示为 $\Phi = f(T)$ 。

根据文献[1],服务可靠性 $R(\theta^*)$ 定义为在时间 θ^* 之前服务输出正确结果的概率,表示为

$$R(\theta^*) = \sum_{i=1}^K Q_i \cdot 1, \quad \theta_i < \theta^* \quad (1)$$

其中 Q_i 表示网格服务在 θ_i 时间输出正确结果的概率。本节将介绍式(1)的求解算法。

2.1 任务完成时间概率分布

任务的计算复杂度等于各子任务的复杂度之和,表示为 $\sum_{i=1}^n c_i = C$, 其中 n 为子任务个数, C 为任务的复杂度, c_i 为第 i 个子任务的复杂度。

在网状结构服务可靠性模型中,资源节点 j 与 RMS 按最小路径进行通信。由于系统拓扑结构为网状结构,任意两点间的最小路径可能不止一条。本文采用文献[11]中的最小路径求解算法来获取资源节点 j 到 RMS 的所有最小路径。

最小路径的带宽由该路径上所有链路的最小带宽决定,用 γ_j^k 表示从节点 j 到 RMS 的第 k 条最小路径上所有链路的集合,该路径带宽可表示为 $s_j^k = \min(b_x)$ 。若一条最小路径上的所有节点及链路在时间段 t 内均未失效,称该最小路径在时间段 t 内未失效。

若将子任务 i 分配到节点 j 上执行,只有当节点 j 以及连接节点 j 和 RMS 的至少一条最小路径在子

任务 i 在节点 j 上执行完成前未失效, 才能保障子任务 i 在节点 j 上顺利执行完成。用 k 表示在子任务完成前未失效的一条最小路径, 子任务 i 在节点 j 上执行完成并通过最小路径 k 与 RMS 通信的完成时间可表示为 $T_{ij}^k = t_{ij}^k = \frac{c_i}{v_j} + \frac{a_i}{s_j^k}$, 其中 v_j 为节点 j 的计算速度; a_i 为执行子任务 i 时节点需与 RMS 交换的数据量, 包括 RMS 向节点传送的子任务执行所需数据和节点返回给 RMS 的任务执行结果; s_j^k 表示最小路径 k 的带宽。若节点 j 或最小路径 k 在子任务 i 执行完成前失效, 则 $T_{ij}^k = \infty$ 。

分别用 λ_j 和 π_j^k 表示节点 j 和节点 j 到 RMS 的第 k 条最小路径的失效率, 节点 j 执行完子任务 i 并通过第 k 条最小路径与 RMS 通信的完成时间的概率分布可表示为: $P(T_{ij}^k = t_{ij}^k) = p_{ij}^k = e^{-(\lambda_j + \pi_j^k)t_{ij}^k}$, $P(T_{ij}^k = \infty) = 1 - p_{ij}^k$, $\pi_j^k = \sum_{x \in \gamma_j^k} \lambda_x \sum_{y \in \eta_j^k} \lambda_y$, λ_x 为 γ_j^k 中第 x 条链路的失效率, η_j^k 表示节点 j 到 RMS 的第 k 条最小路径上所有节点的集合, λ_y 为 η_j^k 中第 y 个节点的失效率。

节点到 RMS 的最小路径可能不止一条, 因此在子任务执行完成前未失效的最小路径也有可能多于一条。节点 j 将子任务 i 的执行结果通过带宽最大的未失效最小路径提交的 RMS 的时间即为子任务 i 在节点 j 上的执行时间。用 v_j 表示节点 j 到 RMS 的所有未失效最小路径的集合, 子任务 i 在节点 j 上的执行时间可表示为 $T_{ij} = \min_{k \in v_j} (T_{ij}^k)$ 。

RMS 将每个子任务分配到多个节点执行, RMS 接收到每个子任务的第一个执行结果的时间即为该子任务的执行时间。用 ω_i 表示执行子任务 i 的所有节点的集合, 子任务 i 的执行时间可表示为 $T_i = \min_{j \in \omega_i} (T_{ij})$ 。RMS 接收到所有子任务执行结果的时间即为服务执行时间, 表示为 $T = \max_{1 \leq i \leq n} (T_i)$ 。

2.2 服务可靠性求解

由上节可知, 由资源节点速度、链路带宽以及资源节点分配到的子任务复杂度和需要通信的数据量, 可计算出所有最小任务执行图的执行时间。若最小任务执行图顺利完成所有子任务, 则该最小任务执行图是有效的。当系统中有多个最小任务执行图有效时, 服务执行时间为所有有效最小任务执行图执行时间的最小值, 表示为 $Y = \min_{i=1}^l (y_i)$, 其中 y_i 为第 i 个有效最小任务执行图的执行时间, l 为有效最小任务执行图的总数。

记网状结构服务可靠性模型中最小任务执行图的执行时间有 $K (K \leq l)$ 种, 按递增顺序排列为 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_K$ 。将最小任务执行图按执行时间递增顺序排列并分组得到 $G_1, G_2, \dots, G_K$, 其中 G_i 由执行时间为 θ_i 的最小任务执行图组成。

至少有一个最小任务执行图有效时, 系统才能够获得正确输出结果。为了求解服务可靠性, 即获得服务在时间 θ^* 内执行完毕的概率, 需要求出至少存在一个执行时间小于 θ^* 的最小任务执行图有效的概率, 表示为

$$\Pr(\theta < \theta^*) = \Pr\left(\sum_{i=1, j=1}^{\theta_i < \theta^*, j \leq m_i} E_{ij}\right) \quad (2)$$

其中 E_{ij} 表示 G_i 中的第 j 个最小任务执行图有效, m_i 是 G_i 中最小任务执行图个数。

用 $F_i^{t_j}$ 表示模型中的第 i 个元素, 包括资源节点和链路, 在 t_j 时间内有效。因为系统中的节点和链路是否失效是相互独立的, 且节点和链路的无失效工作时间都服从指数分布, 根据概率的基本性质可得

$$\Pr(\overline{F_i^{t_j}}) = 1 - \Pr(F_i^{t_j}) \quad (3)$$

$$\Pr(F_i^{t_j} \cdot F_m^{t_n}) = \begin{cases} \Pr(F_i^{t_j}) \cdot \Pr(F_m^{t_n}), & i \neq m \\ \Pr(F_i^{\max(t_j, t_n)}), & i = m \end{cases} \quad (4)$$

$$\Pr(F_i^{t_j} + F_m^{t_n}) = \begin{cases} \Pr(F_i^{t_j}) + \Pr(F_m^{t_n}), & i \neq m \\ \Pr(F_i^{\min(t_j, t_n)}), & i = m \end{cases} \quad (5)$$

$$\Pr(F_i^{t_j} \cdot \overline{F_m^{t_n}}) = \Pr(\overline{F_m^{t_n}} \cdot F_i^{t_j}) = \begin{cases} \Pr(F_i^{t_j}) \Pr(\overline{F_m^{t_n}}), & i \neq m \\ 0, & i = m; t_n \leq t_j \\ \Pr(F_i^{t_j}) \Pr(\overline{F_i^{t_n-t_j}}), & i = m; t_n > t_j \end{cases} \quad (6)$$

对于式(2), 本文采用两步进行求解: 化简和概率求解。

(1) 化简

每一个 E_{ij} 都可以表示成 $E_{ij} = \prod_{k=1}^n F_k^{t_{ij}^k}$, 其中 n 为模型中的元素个数, 包括所有资源节点与链路; t_{ij}^k 表示能够确保该最小任务执行图有效的 F_k 最短无失效运行时间, F_k 不属于该最小任务执行图时 $t_{ij}^k = 0$ 。若存在 $E_{lh} (l \neq i \text{ 或 } h \neq j)$ 满足 $\theta_l < \theta^*$ 且对所有的 F_k 均有 $t_{lh}^k \leq t_{ij}^k$, 则称 E_{lh} 包含 E_{ij} 。此时若 E_{lh} 失效, E_{ij} 必然失效, 由 $E_{lh} + E_{ij} = E_{lh} + \overline{E_{lh}} \cdot E_{ij} = E_{lh}$

可知,去掉式(2)右端和式内的 E_{ij} 项并不会影响最终的概率计算结果。因此化简的第一步即是考查式(2)右端和式中的每一个 E_{ij} , 若和式中存在 E_{lh} 包含 E_{ij} , 则将 E_{ij} 从和式中移除,得到

$$\Pr\left(\sum_{i=1, j=1}^{\theta_l < \theta^*, j \leq m_i} E_{ij}\right) = \Pr\left(\sum_{l=1, h=1}^{\theta_l < \theta^*, h \leq n_l} E_{lh}\right) \quad (7)$$

其中 n_l 为经过第一步化简后 G_l 中的最小任务执行图个数。

用 D_i 表示 $\sum_{l=1, h=1}^{\theta_l < \theta^*, h \leq n_l} E_{lh}$ 中的第 i 项, m 表示总项数,对式(7)右端变形可得

$$\Pr\left(\sum_{i=1}^m D_i\right) = \Pr\left(\sum_{i=1}^m \left(\prod_{j=1}^{j < i} \overline{D_j}\right) D_i\right) \quad (8)$$

其中 $\overline{D_j} = \prod_{k=1}^n F_k^{t_j^k} = \sum_{k=1}^n \overline{F_k^{t_j^k}}$, t_j^k 为确保相应最小任务执行图有效的 F_k 最短无失效运行时间。考查 $\overline{D_j}$ 。 $D_i = \left(\sum_{k=1}^n \overline{F_k^{t_i^k}}\right) \prod_{l=1}^n F_l^{t_i^l} = \sum_{k=1}^n \left(\overline{F_k^{t_i^k}} \prod_{l=1}^n F_l^{t_i^l}\right)$, 对任意 $\overline{F_k^{t_i^k}} \prod_{l=1}^n F_l^{t_i^l}$, 若存在 $t_i^k \geq t_j^k$, 由概率基本性质可知 $\Pr(\overline{F_k^{t_i^k}} \prod_{l=1}^n F_l^{t_i^l}) = 0$, 令该项中的 $t_j^k = 0$ 不会影响最终的概率计算结果。因此化简的第二步为考查每一个 $\left(\prod_{j=1}^{j < i} \overline{D_j}\right) D_i$ 中的 $\overline{D_j}$ 项,若 $\overline{D_j}$ 中存在满足 $t_i^k \geq t_j^k > 0$ 的元素 F_k , 则令相应的 $t_j^k = 0$, 以减少概率计算时和式中的每一项需要考虑的元素个数。

将经过第二步化简的 $\overline{D_j}$ 用 H_j 表示,可得

$$\Pr\left(\sum_{i=1}^m D_i\right) = \Pr\left(\sum_{i=1}^m \left(\prod_{j=1}^{j < i} \overline{H_j}\right) D_i\right) \quad (9)$$

由于 $\prod_{j=1}^{j < i} \overline{H_j} = \sum_{j=1}^{j < i} \overline{H_j}$, 而 H_j 也可以表示为 $H_j = \prod_{k=1}^n F_k^{t_j^k}$, 第一步的化简方法同样适用于 $\sum_{j=1}^{j < i} \overline{H_j}$ 的化简。因此化简的第三步为对 $\sum_{i=1}^m \left(\prod_{j=1}^{j < i} \overline{H_j}\right) D_i$ 中的每一项,考查 $\prod_{j=1}^{j < i} \overline{H_j}$ 中的每一个 H_j , 若 $\prod_{j=1}^{j < i} \overline{H_j}$ 中存在一个 $H_l (l \neq j)$, 满足对所有 F_k 均有 $t_l^k \leq t_j^k$, 则将 $\overline{H_j}$ 从 $\prod_{j=1}^{j < i} \overline{H_j}$ 中直接移除。将 $\prod_{j=1}^{j < i} \overline{H_j}$ 的化简结果用 $\prod_{l=1}^{l < i} \overline{S_l}$ 表示,最终化简结果可表示为

$$\Pr(\theta < \theta^*) = \Pr\left(\sum_{i=1}^m \left(\prod_{l=1}^{l < i} \overline{S_l}\right) D_i\right) \quad (10)$$

(2) 概率求解

式(10)是由式(8)化简后得到的,因此

$$\sum_{i=1}^m \left(\prod_{l=1}^{l < i} \overline{S_l}\right) D_i \text{ 的各项两两互不相容,可变形为}$$

$$\Pr\left(\sum_{i=1}^m \left(\prod_{l=1}^{l < i} \overline{S_l}\right) D_i\right) = \sum_{i=1}^m \Pr\left(\left(\prod_{l=1}^{l < i} \overline{S_l}\right) D_i\right) \quad (11)$$

考查其中的第 i 项 $\Pr\left(\left(\prod_{l=1}^{l < i} \overline{S_l}\right) D_i\right)$, 由于

$$\begin{aligned} \left(\prod_{l=1}^{l < i} \overline{S_l}\right) D_i &= \prod_{l=1}^{l < i} \left(\sum_{k=1}^n \overline{F_k^{t_l^k}}\right) \prod_{q=1}^n F_q^{t_i^q} \\ &= \prod_{l=1}^{l < i} \left(\sum_{k=1}^n \left(\prod_{j=1}^{j < k} \overline{F_j^{t_l^j}}\right) F_k^{t_l^k}\right) \prod_{q=1}^n F_q^{t_i^q} \end{aligned} \quad (12)$$

可用如下算法求解 $\Pr\left(\left(\prod_{l=1}^{l < i} \overline{S_l}\right) D_i\right)$:

输入: $\overline{S_1}, \overline{S_2}, \dots, \overline{S_l}, D_i$; 输出: $\Pr\left(\left(\prod_{l=1}^{l < i} \overline{S_l}\right) D_i\right)$ 。

用到的标记及初始状态: ($Sign1, Sign2, \dots, Signl$), 其中 $Signh (h \leq l)$ 表示 $\overline{S_h}$ 中当前处理的元素序号,初始值为 $\overline{S_h}$ 中第一个失效时间不为 0 的元素序号。

$ItemSign = 1; ItemSign = h$ 表示 $\overline{S_h}$ 的当前处理元素需要更新; $Probability = 0$: 用于保存求得的概率值。

步骤 1: 令 $V = \prod_{k=1}^n F_k^{t_i^k} = D_i$, 即对所有 F_k 均有 t_o^k

$= t_i^k$, 令 $W = \prod_{k=1}^n F_k^{t_w^k}$, 对所有 F_k 均有 $t_w^k = \infty$ 。

步骤 2: 对每一个 $\overline{S_q} (1 \leq q \leq l)$ 进行如下操作:

- 考查所有的 $F_k (k < Signq)$, 若 $t_q^k > t_v^k$, 令 $t_v^k = t_q^k$;
- 考查 F_{Signq} , 若 $0 < t_q^{Signq} < t_w^{Signq}$, 令 $t_w^{Signq} = t_q^{Signq}$;
- 若 $q = ItemSign$, 且存在 $p > Signq$ 满足 $t_q^p > 0$, 令 $Signq = p, ItemSign = 1$, 对所有的 $h < q$ 令 $Signh$ 回到初始值;
- 若 $q = ItemSign$, 且不存在 $p > Signq$ 满足 $t_q^p > 0$, 令 $ItemSign = ItemSign + 1$ 。

步骤 3: 令 $Temp = 1$, 考查所有的 F_k :

- 若 $t_v^k > 0$ 且 $t_w^k = \infty$, 则 $Temp = Temp \cdot \Pr(F_k^{t_v^k})$;
- 若 $t_v^k > 0$ 且 $t_w^k \neq \infty$, 则 $Temp = Temp \cdot \Pr(F_k^{t_v^k} \cdot \overline{F_k^{t_w^k}})$;

若 $t_v^k = 0$ 且 $t_w^k \neq \infty$, 则 $Temp = Temp \cdot \Pr(\overline{F_k^k})$ 。

步骤 4: $Probability = Probability + Temp$, 如果 $ItemSign \leq l$, 转步骤 1 继续执行; 否则返回 $\Pr((\prod_{i=1}^{l < i} \overline{S_i}) D_i) = Probability$, 算法结束。

3 实验

实验 1: 基于树型结构服务可靠性模型^[1], 拓扑结构与参数如图 2 (粗线) 所示, 采用文献[1]中的求解算法对服务可靠性概率分布进行求解。

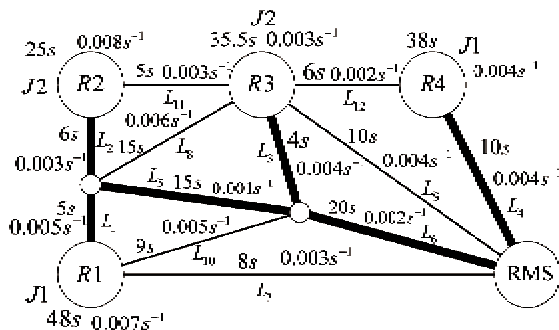


图 2 网状结构模型和树型结构模型实例图

实验 2: 基于树型结构服务可靠性模型^[1], 拓扑结构和参数如图 2 (粗线) 所示, 采用本文提出的算法对服务可靠性概率分布进行求解。

实验 3: 基于网状结构服务可靠性模型, 拓扑结构和参数如图 2 所示, 采用本文的算法对服务可靠性概率分布进行求解。

对比实验中, 资源管理系统 (RMS) 将任务分解成两个子任务 J_1 和 J_2 , J_1 分配到 R_1 和 R_4 上执行, J_2 分配到 R_2 和 R_3 上执行。 J_1 和 J_2 的执行分别需要 50kbit 和 30kbit 的输入数据, 并在子任务执行结束后向 RMS 提交 100kbit 和 60kbit 的执行结果。

表 1 显示了实验 1 和实验 2 服务可靠性分布计算结果的对比。由表 1 可知, 采用本文的求解算法计算出的服务可靠性分布与文献[1]中的算法计算出的服务可靠性分布一致, 因此本文提出的算法可

表 1 实验 1 和实验 2 的服务可靠性概率分布对比表

θ_i	53	58	78
实验 1 ^[1]	0.3738	0.5218	0.6164
实验 2	0.3738	0.5218	0.6164

有效求解树型结构模型的服务可靠性分布。

图 3 显示了实验 2 中树型结构服务可靠性模型和实验 3 中网状结构服务可靠性模型的服务可靠性分布的对比。由图可知, 网状模型的服务可靠性高于树型模型, 这是因为在网状结构服务可靠性模型中, 各节点在某条链路失效的情况下可以通过其他路径与 RMS 通信以保证任务顺利执行, 而树型结构服务可靠性模型因各节点到 RMS 只有唯一路径导致最终服务可靠性分布偏低。网状结构服务可靠性模型能够弥补树型结构服务可靠性模型计算中因简化拓扑结构导致的服务可靠性偏低问题, 可用于复杂网络系统的建模。

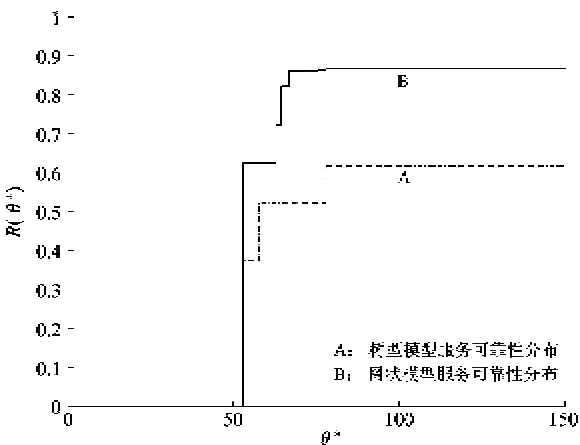


图 3 服务可靠性分布对比图

图 4 和图 5 分别显示了两种模型化简前后在可靠性分布求解过程中, 需要参加运算的时间 T 内执行完成的最小任务执行图的数量对比。由图 4 可知, 本文的可靠性求解算法对树型模型的化简效果较弱, 而由图 5 可知, 随着 T 的增加, 本文的可靠性求解算法对网状结构服务可靠性模型的化简效果非常明显。当服务可靠性模型拓展到网状结构时, 计算中所涉及的最小任务执行图数量急剧地增加, 本文的服务可靠性求解算法通过化简能够有效减少计算量, 节约计算时间。同时对比文献[1]中算法依赖于对树型拓扑结构的遍历, 本文提出的算法不依

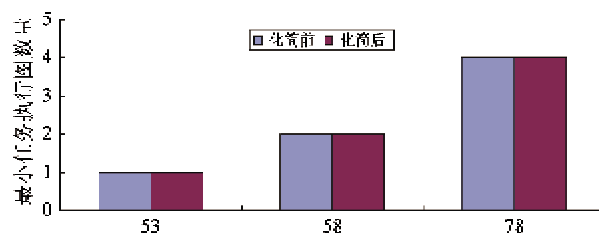


图 4 实验 2 中化简效果对比图

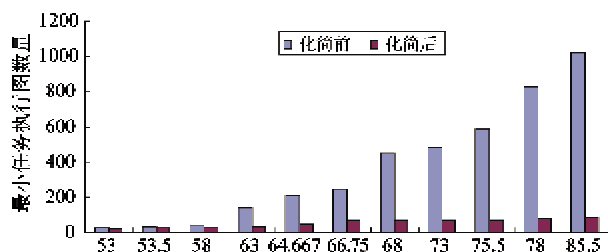


图5 实验3中化简效果对比图

赖于特定拓扑结构,不仅可用于求解树型结构也适用于各种复杂的网络结构,具有更强扩展性。

4 结论

实验结果表明,针对已有简化网格服务可靠性模型无法反映网格系统中资源节点在部分链路失效的情况下选择其他链路进行通信的特性提出的能够反映网格系统网状拓扑结构的网状结构服务可靠性模型,不仅能够兼容已有简化服务可靠性模型,而且能够适应复杂的网络拓扑结构;而基于网状结构服务可靠性模型提出的可靠性求解算法能同时适用于简化服务可靠性模型和网状结构服务可靠性模型,该算法通过增加化简步骤有效减少了算法的计算时间。

已有的可靠性模型都假设网格系统中资源节点或链路的可靠性相互独立,但是现实中各个节点或者链路失效存在某种相关性。考虑资源节点或者链路可靠性相关的研究将是我们下一步研究的重点。

参考文献:

- [1] Dai Y S, Levitin G. Reliability and performance of tree-structured grid services. *IEEE Transactions on Reliability*, 2006, 55(2): 337-349

- [2] Lin M S, Chang M S, Chen D J, et al. The distributed program reliability analysis on ring-type topologies. *Computers and Operations Research*, 2001, 28(7): 625-635
- [3] Levitin G, Dai Y S. Service reliability and performance in grid system with star topology. *Reliability Engineering and System Safety*, 2007, 92(1): 40-46
- [4] 郭凤昌, 杨波, 黄洪钟. 考虑节点失效恢复能力的网格服务可靠性建模与分析. *西安交通大学学报*, 2008, 42(6): 693-697
- [5] Levitin G, Dai Y S. Performance and reliability of a star topology grid service with data dependency and two types of failure. *IEE Trans*, 2007, 39(8): 783-794
- [6] Dai Y S, Levitin G, Trivedi K S. Performance and reliability of tree-structured grid services considering data dependence and failure correlation. *IEEE Transactions on Computers*, 2007, 56(7): 925-936
- [7] Abudhagir US, Shanmugavel S. Performance optimization of tree structured grid services considering influence of error rate. In: *Proceedings of the 2009 International Conference on Information Management and Engineering*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2009. 471-474
- [8] Dai Y S, Levitin G. Optimal resource allocation for maximizing performance and reliability in tree-structured grid services. *IEEE Transactions on Reliability*, 2007, 56(3): 444-453
- [9] Dai Y S, Levitin G, Wang X L. Optimal task partition and distribution in grid service system with common cause failures. *Future Generation Computer Systems*, 2007, 23(2): 209-218
- [10] Dai Y S, Xie M, Wang X L. A heuristic algorithm for reliability modeling and analysis of grid systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Society, Part A: Systems and Humans*, 2007, 37(2): 189-200
- [11] Yeh W C. A simple universal generating function method to search for all minimal paths in networks. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Society, Part A: Systems and Humans*, 2009, 39(6): 1247-1254

A reliability model for network-structured grid services

Zhao Xiaoyi, Dong Xiaoshe, Tian Hongbo, Zeng Lingping, Liu Feifei

(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

Abstract

To address the problem that the existing simplified reliability models for grid services can not reflect the characteristic of network-structured topology of grid services, a network-structured reliability model that extends the topologies of the existing simplified reliability models to the network-structured topology is proposed, and based on the network-structured reliability model, an algorithm for evaluating the grid service reliability distribution is presented. The algorithm obtains the reliability distribution of grid services based on formalized specification and simplified solving procedures. The experimental results show that the network-structured reliability model and the algorithm for evaluating the grid service reliability distribution can not only be compatible with the existing simplified service models, but also be adapted to the complex network-structured topology of grid.

Key words: grid, service reliability, network-structured topology