

网络任务 workflow 及其分割方法研究

曹耀钦, 刘之光, 张文波, 宋建社
(第二炮兵工程大学, 陕西 西安 710025)

摘 要: 网络环境下大多数任务之间存在关联关系, 如何实现这些任务的高效并发执行是网络任务调度的关键. 针对网络环境下关联任务具备 workflow 特点, 通过定义网络 workflow 的五种复合关系, 设计了网络任务 workflow 分割算法. 基于该算法可将网络 workflow 分割为一系列具有优先关系的基本 workflow 集合, 为这些任务的并发调度提供了依据. 通过实例分析, 验证了文中所提分割算法的有效性.

关键词: 网络计算; 网络任务; workflow; 分割方法

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)07-0145-04

Research on Network Task Workflow and Segmentation Algorithm

CAO Yao-qin, LIU Zhi-guang, ZHANG Wen-bo, SONG Jian-she

(The Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China)

Abstract: The majority of tasks in network environment are correlative among each other, and the key of the task scheduling is how to execute task efficiently and concurrently. In this paper, five compound relationships of network workflow are defined in according to correlative network task workflow characteristic. Then, a network task workflow segmentation algorithm is proposed, based on which the network workflow can be divided into a series of basic workflow set with precedence relationship. The analysis result proves that the proposed algorithm is effective.

Key words: network computing; network task; workflow; segmentation algorithm

1 引言

在网络环境下, 绝大多数任务是存在约束关系的, 任务之间存在一定的依赖和时序关系, 这些任务构成网络任务 workflow, 其研究成果主要集中于调度算法研究. 如文献[1]研究了基于高效负载均衡的网络任务分配技术, 提出了一种基于遗传算法负载均衡的网格 workflow 算法; 文献[2]研究了移动网格可分任务调度问题, 主要解决了独立、等长度任务在性能异构且随时间动态变化的一组固定和移动资源上的调度问题. 文献[3]则研究了网格环境下基于惩罚策略的任务调度模型及动态算法. 从有关文献资料看^[4-5], workflow 模型已成为网络环境下关联任务的一种重要描述模型, 已成为关联任务调度算法研究的基础之一. 但从研究成果看, 围绕 workflow 描述、基于

workflow 的调度算法方面取得的研究成果较多, 有关 workflow 任务如何分割方面的研究成果相对较少, 而 workflow 的有效分割是实现关联任务高效调度的关键. 本文首先给出网络 workflow 定义, 提出一种 workflow 分割算法, 最后通过实例分析说明分割方法的有效性.

2 网络 workflow 及相关定义

定义 1 网络 workflow 是一组可并行执行的任务, 定义为一个四元组 $NF = (T, R, D, A)$, 满足:

① $T = (T_1, T_2, \dots, T_n)$ 是一组网络任务, 对于 $T_i (i = 1, 2, \dots, n) \in T$, 称 T_i 是网络 workflow 任务调度的基本元素;

② R 是 T 上的一个偏序关系, 用来说明各子任务之间优先关系;

收稿日期: 2012-10-16; **修回日期:** 2012-11-08

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(61132008)

③ D 是一个 $n \times n$ 的通信矩阵, 其中 $d_{ij} (1 \leq i, j \leq n)$ 是从 T_i 传送到 T_j 的数据量;

④ A 是一个 n 维向量, 它表示计算量, $A_i > 0$ 即为 T_i 的计算量。

定义 2 网络候选基本工作流 CNWF (Candicady NetWork-Flow, CNWF) 定义为一个二元组, $CNWF = (T_c, R_c)$, 满足:

① $T_c = \{U_1, U_2, \dots, U_k\}, T_c \subseteq T$;

② R_c 是 T_c 上的一个全序关系, 即对任意 $U_i, U_j \in T_c$, 当 $1 \leq i, j \leq k$ 时, 或者 $U_i < U_j$, 或者 $U_j < U_i$ 。

由集合论知识可知, 构成全序关系的多个任务用哈斯图表示是一直线的节点序列, 如图 1 所示。

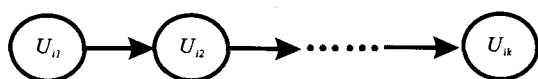


图 1 网络基本工作流的哈斯图表示

图 1 中, $U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{ik} \in T_c$ 且 $U_{i1} < U_{i2} < \dots < U_{ik}$ 。

定义 3 网络基本工作流 BNWF (Basic Network-Flow, BNWF) 定义为一个二元组, $BNWF = (T_B, R_B)$, 满足:

① $T_B = \{U_1, U_2, \dots, U_k\}, T_B \subseteq T$;

② R_B 是 T_B 上的一个全序关系, 即对任意 $U_i, U_j \in T_B$, 当 $1 \leq i, j \leq k$ 时, 或者 $U_i < U_j$, 或者 $U_j < U_i$ 。

③ 对于所有 $U_i \in T_B$, U_i 仅属于一个 BNWF。

网络基本工作流 BNWF 与网络候选基本工作流 CNWF 的区别在于 CNWF 中可能存在某个任务同时属于两个不同的网络候选基本工作流, 而在网络基本工作流中不会出现这种情况。

为了描述问题方便, 可用 k 元序偶 $(U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{ik})$ 或者集合 $\{(U_{i1}, U_{i2}), (U_{i2}, U_{i3}), \dots, (U_{ik-1}, U_{ik})\}$ 表示候选工作流或基本工作流。

构成网络基本工作流的各子任务由于是全序关系, 它们只能按照前后顺序调度, 但不一定在同一个资源上运行。

一个网络任务通常由多个基本工作流组成, 这些基本工作流之间存在着不同的关系, 把这些关系称作基本工作流的复合关系^[5]。分析表明, 这些复合关系可分为五种, 分别是优先、条件、重复、并行及条件并发关系, 下面给出其定义。

定义 4 网络基本工作流之间的关系定义如下:

① 优先(顺序)关系, 用“ $<$ ”表示: 若 NWF_1 先

于 NWF_2 执行, 则有 $NWF_1 < NWF_2$;

② 条件(分支)关系, 用“ $Cond(_;_)$ ”表示: 若根据某条件逻辑值判断值为真时执行 NWF_1 , 否则执行 NWF_2 , 则有 $(NWF_1; NWF_2)$;

③ 重复(循环)关系, 用“ $Cond[_]$ ”表示: 若根据某条件逻辑值重复执行 NWF_1 , 则有 $Cond[NWF_1]$;

④ 并发关系, 用“ $||$ ”表示: 若 NWF_1 与 NWF_2 可以并发调度, 则有 $NWF_1 || NWF_2$;

⑤ 条件并发关系, 用“ $||(_ < _)$ ”表示: 若 NWF_1 与 NWF_2 可以有条件并发调度, 其前提是先执行完某个 NWF , 则有 $NWF_1 || (NWF < NWF_2)$ 。

定义 5 网络复合工作流 UNWF (United NWF): 由若干基本工作流 (NWF) 通过五种复合关系定义, 即:

$UNWF ::= NWF | Cond(NWF_1; NWF_2) | (Cond[NWF_1]) | (NWF_1 || NWF_2) | (NWF_1 < NWF_2) | (NWF_1 || (UNWF < NWF_2))$

其中, NWF, NWF_1, NWF_2 是基本工作流, $UNWF$ 是复合工作流, $Cond(_;_)$, $Cond[_]$, $||$, $<$ 及 $||(_ < _)$ 表示条件、重复、并行、优先及条件并发关系。

例如, 一个复合工作流如图 2 所示, 可形式化表示为:

$(NWF_1 < NWF_2) < (NWF_3 || (NWF_4 < NWF_5))$ 。

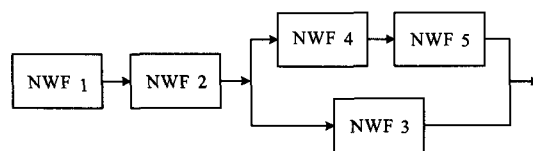


图 2 一个网络复合工作流的例子

3 网络工作流的分割方法

网络工作流的分割步骤主要有三步:

(1) 求各个基本工作流的初始节点集合

一个网络应用程序可以用一个有向无环图 DAG 表示^[2], 由图论知识可知, 该 DAG 至少有一个节点无父节点。因为 $DAG = (U, E)$, U 是节点集合, E 是有向边集合, 我们可从 E 的所有元素序偶对出发, 判断序偶对中第一序元是否出现在第二序元位置, 若没有出现, 则该序元就是初始结点。据此, 可设计求网络复合工作流中基本工作流初始源节点集合的算法, 如算法 1 所示。

算法 1 求网络复合工作流中基本工作流初始节点集合的算法

输入: E , 有向边集合

输出: S , 初始节点集合

S_1 : for 对 E 中的每条边 (U_i, U_j) 的第一序元

U_i

flag=0;

S_2 : for 对 E 中的每条边 (U_i, U_j) 的第二序元

U_j

if $(U_i = U_j)$ flag=1 exit;

endfor

if (flag=0) $S = S \cup \{U_i\}$;

endfor

算法简要分析: 由于网络任务构成有向无环图, 设共有 n 个任务, 则图中边的最大数不超过 n^2 . 上述算法 S_1 步最多需要花费 $O(n^2)$ 个时间单位, S_2 步最多也需要花费 $O(n^2)$ 个时间单位, 因而算法总共最多需要花费 $O(n^4)$ 个时间单位, 即存在多项式时间复杂度的算法求得初始结点集合.

(2) 求各个候选网络基本工作流

具体方法是从初始源节点出发, 沿 DAG 遍历, 直到没有后续有向边为止. 其求解算法如算法 2.

算法 2 求候选基本工作流的算法

输入: U , 所有结点集合; E , 所有有向边集合; S , 初始节点集合

输出: $\{NWF_1, NWF_2, \dots, NWF_p\}$

$k=0$; // 候选基本流总数的初始值置为 0

S_1 : for S 中的每个结点 U_i

将所有边标记为“new”

S_2 : While 有以 U_i 开始的新路径

$k=k+1$; // 候选基本流总数+1

// 候选基本工作流起始结点是 U_i

$NWF_k = \{U_i\}$;

Call search(U_i, k, NWF_k);

endwhile

endfor

Procedure search(U_i, k, NWF_k)

begin

S_3 : while $(U_i, U_j) \in E$

将边 (U_i, U_j) 标记为“old”;

// 在候选基本工作流中添加序元 U_j

$NWF_k = NWF_k \cup (U_j)$;

$U_i = U_j$; // U_j 作为下条边的起始结点

endwhile

end

算法分析: 算法 S_1 步最多需要 $O(n)$ 个时间单位, S_2 步最多需要 $O(n^2)$ 各时间单位, S_3 步最多需要 $O(n^2)$ 各时间单位, 因而算法的时间复杂度是 $O(n^5)$.

(3) 对候选基本工作流进行分析和分解, 列出所有基本工作流.

4 实例分析

设某网络工作流由八个任务组成, 如图 3 所示.

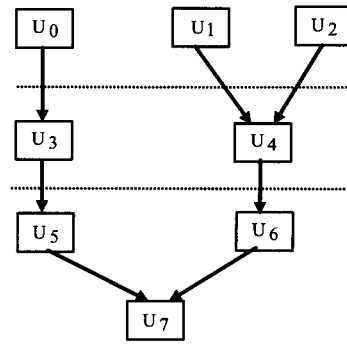


图 3 一个网络任务工作流

(1) 求各个基本工作流的初始节点集合 S :

$S = (U_0, U_1, U_2)$;

(2) 候选基本工作流有三条:

$U_0 \rightarrow U_3 \rightarrow U_5 \rightarrow U_7$

$U_1 \rightarrow U_4 \rightarrow U_6 \rightarrow U_7$

$U_2 \rightarrow U_4 \rightarrow U_6 \rightarrow U_7$

(3) 对三条候选基本工作流进行分解, 得到基本工作流如下:

$NWF_1 = \{U_0, U_3, U_5\}$;

$NWF_2 = \{U_1\}$;

$NWF_3 = \{U_2\}$;

$NWF_4 = \{U_4, U_6\}$;

$NWF_5 = \{U_7\}$

(4) 确定基本工作流之间的复合(优先)关系:

$NWF_1 || NWF_2 || NWF_3$

$NWF_1 < NWF_5$

$NWF_2 < NWF_4$

$NWF_3 < NWF_4$

$NWF_4 < NWF_5$

$NWF_1 || ((NWF_2 || NWF_3) < NWF_4)$, 这里 $(NWF_2 || NWF_3)$ 构成一个 UNWF.

5 结束语

网络工作流的分割是具有工作流特征的关联任

务调度运行的基础. 如何确定网络 workflow 任务的调度顺序, 是实现网络任务调度的基础. 本文基于图论理论, 研究了具有网络 workflow 特征的任务分割方法, 经实验分析和软件实现验证, 能够较好地实现网络任务 workflow 的分割, 可以满足网络分布环境下具有 workflow 特征的任务调度需求.

参考文献:

- [1] 苏恒阳. 基于高效负载均衡的网络任务分配技术[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(7): 175-178.
- [2] 鞠宏军, 杜丽娟. 移动网格可分任务调度研究[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(8): 62-65.
- [3] 王春莲, 马景奕. 网格环境下基于惩罚策略的任务调度模型及动态算法[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(10): 154-157.
- [4] 张卫民, 刘灿灿, 骆志刚. 科学 workflow 技术研究综述[J]. 国防科技大学学报, 2011, 33(6): 56-65.
- [5] 肖飞, 张为华, 王东辉. 面向科学过程的工作流技术研究

究现状与趋势[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(11): 4013-4019.

作者简介:



曹耀钦 男, (1962—), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为计算机网络与分布计算、软件工程.

刘之光 女, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为计算机网络与分布计算.

张文波 男, (1983—), 博士研究生. 研究方向为计算机网络与分布计算.

宋建社 男, (1954—), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为系统工程与信息处理.