

# QoS 感知的多任务遥感信息服务优化组合非合作博弈模型

李海峰<sup>1,2</sup> 朱 庆<sup>2</sup> 杨晓霞<sup>2</sup> 欧阳怡强<sup>2,3</sup>

(1 中南大学土木建筑学院, 长沙市韶山南路 22 号, 410075)

(2 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(3 佛罗里达大学城市与区域规划系, 美国佛罗里达州盖恩斯维尔市, 32611)

**摘要:**提出了 QoS 感知的多任务服务优化组合非合作博弈模型, 准确刻画了不同任务之间的竞争关系, 在此基础上设计了顾及 QoS 的遥感信息服务优化组合反应函数, 为求解遥感信息服务优化组合奠定理论基础。理论和实验分析表明, 该模型有利于减少任务并发时的资源冲突, 最大化所有任务的平均效用。

**关键词:**遥感信息服务; QoS 感知; 优化组合

**中图法分类号:** P237.9

遥感信息处理服务组合<sup>[1]</sup>是一种实现遥感信息高效处理的新型计算模型, 然而, 面向危机处置的遥感应用往往存在大量并发任务, 如在汶川地震中, 不仅需要针对不同地区进行监控和灾害评估, 而且还要持续监控滑坡、崩塌、泥石流等次生灾害。现有的 QoS 感知的服务链组合方法以最优理论为基础, 追求在满足用户 QoS 约束条件下的性能最优(如时间最优、价格最优、稳定性最优等)<sup>[2]</sup>, 但这些方法假设每一个任务以“自私”行为寻求最优解, 而不考虑整个服务系统的性能, 在实际应用中, 大量任务会被同时分配到相同的“最优”服务上, 致使所有服务链的服务质量下降。关键问题在于缺乏有效的模型描述并发任务对最优资源的竞争, 尤其在多任务情况下, 资源竞争形成的处理队列及其服务链自身控制流结构的复杂性, 使得遥感信息服务的最重要指标即响应时间更加难以估计<sup>[3,4]</sup>。如局部最优的 QoS 感知方法<sup>[5]</sup>, 每次选取一个支持执行的最佳候选服务; 全局最优的 QoS 感知方法<sup>[6]</sup>综合考虑处理服务的 QoS, 将 QoS 感知的服务组合问题规约为混合整数线性规划问题; 动态环境下的 QoS 重规划<sup>[6]</sup>处理当服务 QoS 变化时, 如何重规划以保证服务链执行的最优性能。

针对多任务并发引起的遥感信息服务优化组

合的最优资源竞争问题, 本文提出了基于排队论的服务响应时间计算方法, 并在此基础上进一步引入非合作博弈模型, 以 QoS 为全局性能指标, 刻画任务之间的竞争关系, 建立定量分析模型, 达到多任务并发下遥感信息服务优化组合的目的。

## 1 基于排队论的响应时间计算模型

多任务并发条件下, 响应时间不仅和处理服务本身的处理能力相关, 而且与处理服务的任务负载情况相关。针对任务达到的连续性和并发性形成的处理服务等待队列, 本文提出基于 M/M/1 排队模型计算处理服务的响应时间。

在 M/M/1 排队模型中, 每个任务  $i$  的任务到达时间间隔服从速率为  $\lambda_i$  的指数分布, 每个处理服务的处理时间服从参数为  $\mu$  的指数分布, 则每一个处理服务的处理时间为  $W = 1/(\mu - \lambda_i)$ 。在有排队遥感信息的服务链中, 根据 Burke's 定理, 一个到达率为  $\lambda$  的 M/M/1 队列, 其输出也是一个速率为  $\lambda$  的泊松过程。所有顺序结构中的处理服务到达和离开的过程都服从泊松分布, 因此, 控制流结构中的每一个处理服务都可以看成是 M/M/1 排队模型。响应时间计算方法如图 1 所示。

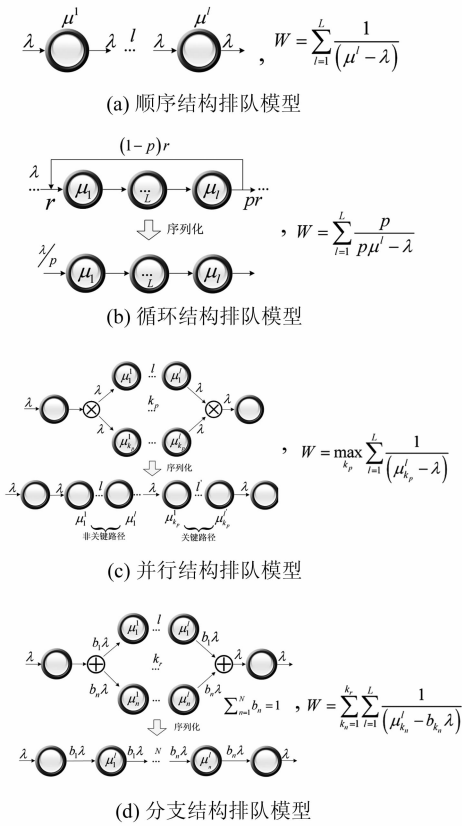


图1 基于 M/M/1 队列的控制流结构响应时间  
Fig. 1 Response Time with Control Flow Structure Based on M/M/1 Queue

在上述响应时间计算模型的基础上,进一步定义每个具体处理服务的剩余计算能力,描述在考虑其他任务策略的条件下,任务  $i$  可用的处理能力。

定义1 剩余计算能力是任务  $i$  在第  $l$  个抽象服务中的第  $j$  个具体服务中的可用处理能力:

$$\mu_{i,j}^l = \mu_j^l - \sum_{m=1, m \neq i}^l s_{m,j}^l \lambda_m \quad (1)$$

所以,  $\mu_j^l - \sum_{m=1}^l s_{m,j}^l \lambda_m = \mu_{i,j}^l - s_{i,j}^l \lambda_i$ 。其中,  $s_{i,j}^l$  表示在步骤  $l$  任务流  $i$  的将任务分配到处理服务  $j$  的比例; 向量  $\mathbf{s}_i^l = (s_{i,1}^l, \dots, s_{i,j}^l)$  表示任务流  $i$  在第  $l$  步的服务选择策略, 由此给定一个服务链, 任务流  $i$  的服务选择策略为  $s_i = (s_i^1, \dots, s_i^l)$ , 向量  $\mathbf{s} = (s_1, \dots, s_l)$  称为服务优化组合博弈的组合策略。

## 2 多任务遥感信息服务优化组合非合作博弈模型

### 2.1 非合作博弈模型的 Nash 均衡

解决多任务并发条件下遥感信息服务优化组合的基本思想是: 寻求一种优化组合方法, 使得每

个任务的服务链组合策略在考虑其他任务的策略下都是最优的。非合作博弈模型研究竞争条件下, 决策主体的偏好能获得最大效用的策略, 可有效刻画多任务在竞争条件下达到策略优化<sup>[7]</sup>。Nash 均衡是非合作博弈的核心概念, 在这种均衡状态下, 每一个任务在顾及其他任务组合策略情况下都能获得最大的效用, 保证了所有具体服务链的整体性能最优。综上所述, 本文提出了一种基于非合作博弈的多任务遥感信息服务优化组合模型, 如图 2 所示。

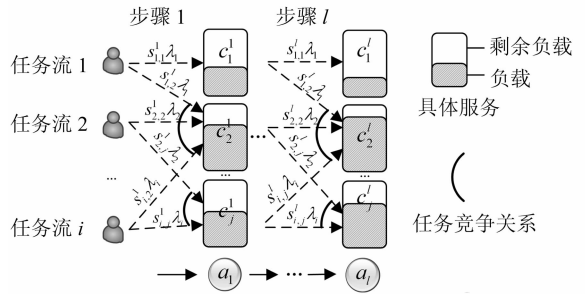


图2 服务优化组合非合作博弈模型  
Fig. 2 Remote Sensing Service Chain for Multi-Task

定义2 (服务优化组合 Nash 均衡) 服务优化组合非合作博弈的 Nash 均衡定义为一个策略组合  $s^*$ , 使得对于每一个任务流  $i, s_i^* = \arg \min_{s_i} U_i(s_1, \dots, s_i, \dots, s_l)$ 。其中,  $U_i(s)$  表示每个任务对服务选择所获得的期望性能, 并且任务选择  $s$  而不选择  $s'$ , 当且仅当  $U_i(s) < U_i(s')$ 。

服务优化组合非合作博弈中的 Nash 均衡是一种组合策略, 在这种组合策略下, 给定其他任务的服务组合策略, 没有哪个任务可以通过选择其他的服务组合策略来增加它的效用。也就是说, 一个策略组合是一个 Nash 均衡, 那么没有哪个任务可以通过单方面地改变当前策略来获得更大的效用。Nash 均衡可以通过最优反应来定义。

### 2.2 最优反应函数

求解服务优化组合非合作博弈问题实质上就是找到它的 Nash 均衡点。Nash 均衡也可以采用最优反应函数来定义, 也就是在任务  $i$  对策略组合  $s_{-i}$  的最优反应是  $s_i^* \in s$ , 而该任务  $i$  的其他策略  $s_i$  对  $s_{-i}$  带来的效用都不会高于  $s_i^*$ :

$$U_i(s_i^*, s_{-i}^*) < U_i(s_i, s_{-i}^*) \quad (2)$$

其中,  $s_{-i} = (s_1, \dots, s_{i-1}, s_{i+1}, \dots, s_n)$  表示由除参与者  $i$  之外所有参与者的策略组成的向量。

每个任务  $i$  的最优反应函数提供了在给定其他任务策略的条件下, 该任务期望的最大效用。这个定义为服务优化组合非合作博弈的 Nash 均

衡提供了可行的方法。

求解任务  $i$  的最优反应策略可以归结为一个任务  $i$  在到达率为  $\lambda_i$  以及服务链中的每个具体服务相对于任务  $i$  具有剩余计算能力  $\mu_{i,-j}^l$  的条件下,求解每一个任务的最优解问题,即

$$\min U_i(s) = \sum_{h=1}^3 w_i^h v_i^h \quad (3)$$

$$\text{s. t. } s_{i,j}^l \geq 0, \forall l \in L, i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^J s_{i,j}^l = 1, \forall l \in L \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^I s_{i,j}^l \lambda_i \leq \mu_j, \forall l \in L \quad (6)$$

$$\frac{(-1)^{h+1} U_i^h}{\lambda_i} \leq (-1)^{h+1} D_h, \forall h = 1, 2, 3 \quad (7)$$

其中,  $U_i^1$  表示费用函数;  $U_i^2$  表示可得性函数;  $U_i^3$  表示响应时间函数;  $v_i^h$  表示上述相应的效用函数的归一化;  $w_i^h$  表示对相应 QoS 偏好的权重, 详细讨论见文献[2, 6]。

### 3 实验及其分析评价

为验证遥感信息服务优化组合非合作博弈模型的有效性, 本文进行了仿真实验。首先模拟了如图 3 所示的抽象服务链, 其中每一个抽象服务包含 10 个具体服务。具体服务被建模为  $M/M/1$  处理队列系统, 每个队列都以先来先服务 (first-come-first-served, FCFS) 的方式进行。然后随机生成每个服务的 QoS 的指标值, 使得它们都服从正态分布[8]。在此基础上, 对遥感信息服务优化组合非合作博弈方法进行性能评价。

基于遥感信息服务优化组合非合作博弈模型的最优反应迭代算法 (best reply, BR) 在多任务环境下减少多任务最优资源选择的冲突, 达到协同优化的目的, 使得所有任务的效用最优。任务预期效用为服务链规划阶段, 任务不考虑其他任务的分配情况下, 服务优化组合策略。任务的实

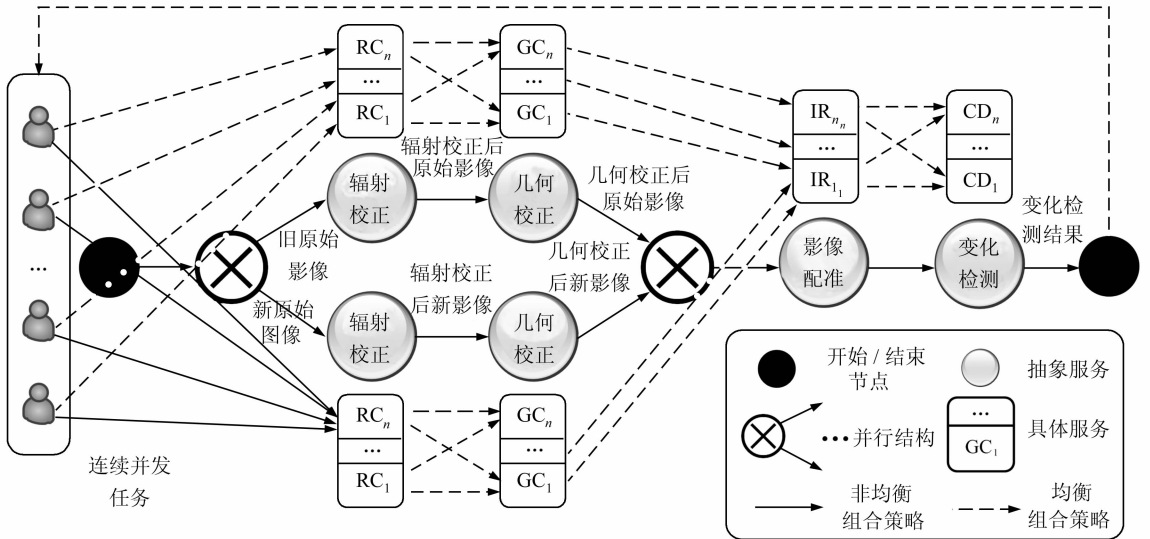


图 3 多任务遥感信息服务链

Fig. 3 Remote Sensing Information Services Chain for Multi-task

际效用为运行中任务实际得到的效用, 效用误差为任务实际效用和任务预期效用的差。如图 4 所示, 相对于比例分配方法 (proportional scheme, PS) [9], 由于 BR 方法考虑了其他任务之间的组合策略的冲突, 因此, 基于混合整数线性规划 ((mixed) integer linear programming, MILP) [2,6] 方法的实际效用和效用误差都最小。

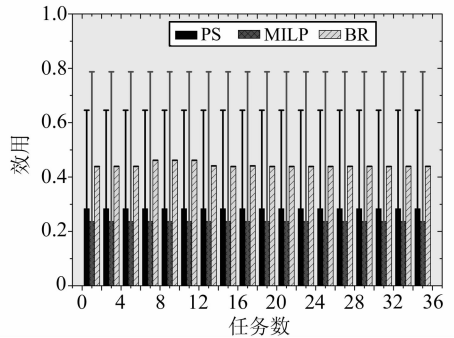


图 4 任务期望效用和实际效用对比

Fig. 4 Compare Expectation Utility to Actual Utility

## 4 结 语

QoS感知的遥感信息服务多任务服务优化组合非合作博弈模型的 Nash 均衡解,保证多任务竞争条件下每个任务的组合策略相对于其他任务都最优,因此,避免了竞争有限的最优资源引发的冲突问题,最大化所有任务的平均效用。进一步的工作将研究求解 Nash 均衡的最优反应函数迭代算法。

### 参 考 文 献

- [1] Yue P, Di L, Yang W, et al. Semantics-based Automatic Composition of Geospatial Web Service Chains[J]. Computers & Geosciences, 2007, 33(5): 649-665
- [2] Ardagna D, Pernici B. Adaptive Service Composition in Flexible Processes[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2007, 33(6): 369-384
- [3] 朱庆, 杨晓霞, 李海峰. 基于关键路径和响应时间约束的空间信息服务优化组合算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(11): 1 042-1 045
- [4] 朱庆, 李海峰, 杨晓霞. 遥感信息聚焦服务多层次

- 语义约束模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(12): 1 454-1 457
- [5] Casati F, Ilnicki S, Jin Lijie, et al. eFlow: A Platform for Developing and Managing Composite e-Services[C]. The Academia/Industry Working Conference on Research Challenges, Washington D C, USA, 2000
- [6] Zeng L, Benatallah B, Ngu A H H, et al. QoS-Aware Middleware for Web Services Composition[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2004, 30(5): 311-327
- [7] Fudenberg D, Tirole J. Game Theory[M]. Cambridge: MIT Press, 1991
- [8] Cardoso J, Sheth A. Semantic e-Workflow Composition[J]. Journal of Intelligent Information Systems, 2003, 21(3): 191-225
- [9] Chow Y C, Kohler W H. Models for Dynamic Load Balancing in a Heterogeneous Multiple Processor System [J]. IEEE Transactions on Computers, 1979, 28(5): 354-361

第一作者简介:李海峰,博士,研究方向为遥感信息服务。  
E-mail:lehaifeng@gmail.com

## A Non-Cooperative Game Model for QoS-Aware Optimal Composition of Remote Sensing Information Services for Multi-task

LI Hai feng<sup>1,2</sup> ZHU Qing<sup>2</sup> YANG Xiaoxia<sup>2</sup> OUYANG Yiqiang<sup>2,3</sup>

(1 School of Civil and Architectural Engineering, Central South University, 22 South Shaoshan Road, Changsha 410075, China)

(2 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(3 Department of Urban and Regional Planning, University of Florida, 32611, USA)

**Abstract:** A non-cooperative game model for QoS-aware optimal composition for multi-task is proposed to analyze services optimal composition strategies of tasks in competition situation, the competition relationships among concurrency tasks are described, and defines the best reply functions for QoS-aware optimal composition of remote sensing information services. Theoretical analysis shows that the proposed non-cooperative game model can reduce the conflicts among concurrency tasks effectively and maximize expectation utility of all tasks.

**Key words:** remote sensing information services; QoS aware; optimal composition

**About the first author:** LI Haifeng, Ph.D. His research interest is remote sensing information services.

E-mail: lehaifeng@gmail.com