

一种带有负载均衡的军事信息服务聚合模型^{*}

沈迪¹, 李建华¹, 张强¹, 朱瑞²

(1. 空军工程大学信息与导航学院, 西安 710077; 2. 中国人民解放军 93801 部队, 陕西 咸阳 712200)

摘要: 针对在军事信息栅格体系内, 服务聚合后的部署状态对网络节点性能和服务质量(QoS)产生反馈影响的问题, 提出了一种带有负载均衡的服务聚合模型(load balancing composition model for military information service, LBCMMS), 通过重新构建 QoS 参数组, 使得对服务的优选评估更符合军事需求; 引入动态削弱矩阵(dynamic weakening matrix, DWM), 并定义矩阵中的两种负指数削弱因子, 促使聚合的服务流在节点的分布上具有负载均衡效果; 分别基于回溯—贪婪算法(BGA)和遗传算法(GA)设计了服务聚合流程, 解决了模型多条件决策下的 NP-complete 问题; 通过仿真验证了模型的有效性。

关键词: 军事信息栅格; 服务聚合; 负载均衡; 回溯—贪婪算法; 遗传算法

中图分类号: TP302.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2014)01-0147-05

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2014.01.035

Load balancing composition model for military information service

SHEN Di¹, LI Jian-hua¹, ZHANG Qiang¹, ZHU Rui²

(1. School of Information & Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China; 2. PLA 93801 Troop, Xianyang Shaanxi 712200, China)

Abstract: In system of military information grid, disposition state after service compositing has feedback influence on performance of network node and QoS of service cluster. Due to this problem, this paper proposed a new model LBCMMS. By resetting QoS parameters, assessment of service got more fitter for military demands. It introduced DWM, and defined two kinds of negative exponent weakening factors in it, which would impel disposition state of services has effect of load balancing. Based on BGA and GA, designed the services compositing process, which solved the NP-complete problem of decision-making with multi-condition in this model. Through simulation experiments, effectiveness of the model is verified.

Key words: military information grid; service composition(SC); load balancing; backtracking-greedy algorithm(BGA); genetic algorithm(GA)

服务聚合是指为了更好地满足用户的需求, 在现有服务组群中按照一定的算法遴选, 并根据业务逻辑进行集成、构建服务流的过程^[1]。在互联网环境中, 具有相同功能但 QoS 参数不同的服务存在多个, 如何从中选择合适的个体, 组成服务全局效益最大的服务流是服务聚合模型需要解决的主要问题。文献[2]基于遗传算法就服务聚合中 QoS 全局最优化问题提出了求解算法, 通过将服务动态选择全局最优化问题转换为一个带 QoS 约束的多目标服务组合优化问题, 实现多个目标优化。文献[3,4]分别基于赋权模式以及带约束的整数规划模型就服务聚合中 QoS 局部最优化问题提出了求解模型。文献[5~7]分别基于复杂网络理论和可信度网络就复杂异构网络中的服务 QoS 评估与选择问题提出了求解算法。文献[8]研究了混合数据类型描述服务 QoS 和服务组合计划规模较大情况下的服务选择问题, 并提出一种基于多属性决策理论的混合 QoS 聚类算法。近年来, 随着体系作战逐渐成为信息化条件下的主流作战方式, 建设以“去中心化”为特征的军事信息栅格(military information grid, MIG)已成为各主要军事大国关注的重点。随着 MIG 规模扩大, 同类军事信息服务多点并存情况

逐渐普遍, 服务聚合同样可应用于 MIG。但 MIG 具有许多与互联网环境不同的特点, 如 QoS 无价格参数、时效参数要求高、服务的系统开销普遍高、服务对节点安全性具有前馈影响等, 互联网的服务聚合模型不能很好地适用于 MIG。本文将针对 MIG 特征, 提出一种带有负载均衡的服务聚合模型(LBCMMS), 通过该模型聚合的服务流在节点分布上具有负载均衡效果, 适应于体系作战背景下信息域的强对抗环境。

1 问题描述

设 $G=(N, S, P_{SN})$ 为服务聚合的对象网络, 其中: N 表示组成网络的节点集, S 表示网络中的服务集合, P_{SN} 表示信息服务与网络节点之间的映射关系。

在国际互联网环境中, 由于网络规模庞大, 信息服务在节点的分布上具有离散性, 即不同种类的信息一般由不同企业的不同网络节点提供, 且每个节点所承载服务的种类和数量较少, P_{SN} 一般为“1-1”映射或少量的“N-1”映射, 在服务聚合模型中一般不考虑网络节点与服务 QoS 之间的动态影响。但在 MIG 中, 由于网络规模小、开放程度低, 大量系统开销高

收稿日期: 2013-04-06; 修回日期: 2013-05-17 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61174162)

作者简介: 沈迪(1986-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为空天信息系统规划与建设(hanshanyueyin@sina.com); 李建华, 教授, 博士, 主要研究方向为军事通信理论; 张强, 博士研究生, 主要研究方向为空天信息系统规划与建设; 朱瑞, 助理工程师, 硕士, 主要研究方向为军事信息系统保密与安全。

的信息服务集中于数量较少的若干节点中,如一个信息情报中心可能同时提供的服务包括卫星、雷情、水文、技侦、气象、决策等, P_{SN} 一般表现为“ $N-1$ ”映射,且 $N \gg 1$ 。当聚合的服务流中有多个服务驻同一节点时,该节点的通信质量、处理能力、安全性等均受到影响,继而动态地影响所承载服务的 QoS。故在本文模型的设计中,网络节点与服务之间的相互影响将予以充分考虑,模型的基本设定如下:

设 $N_i = (S_h, S_{Fij}, NQ_i, NQ_f, NQ_s)$ 表示对一个 MIG 网络节点的描述, S_h 为节点所能提供的服务集合, S_{Fi} 为节点已承载的关于第 j 个工作流节点的服务数量, NQ_i 为节点的即时通信质量, NQ_f 为即时计算处理能力, NQ_s 为即时安全质量。

设 $S_i = (QoS_i, N_k, F_{lj})$ 表示对一个 MIS 的描述, QoS_i 为其服务质量参数组, N_k 为 S_i 所在节点, F_{lj} 为 S_i 所属工作流节点。

设 $Fl_i = (D, S_k, \sigma, \omega)$ 表示对一工作流节点的描述, D 为工作流序号, S_k 为该工作流节点所需服务集, σ 为整数枚举值 $\{0, 1, 2\}$, 分别表示该工作流由串联型服务、并联型服务和循环型服务支撑, ω 为该工作流对应服务的计算权值集合。

QoS 参数在互联网信息服务聚合模型中通常有四元组^[2,6] (价格、可用度、信誉、可靠度)、五元组^[2,4,8] (价格、响应时间、可用度、信誉、可靠度)或混合组^[9]等,但均不符合军事信息服务的需求和特征。通过对 MIG 特征的分析,本文重新定义 MIS 的四元组 QoS 参数:设 $QoS = (q_t, q_a, q_r, q_s)$, 则 q_t 为服务时间响应参数, q_a 为服务可用度参数, q_r 为服务可靠度参数, q_s 为服务安全度参数,而互联网服务中重要的价格参数在 MIG 中不存在。设 $SC = (Fl, S_g, CQ, CQ_t, CQ_a, CQ_r, CQ_s)$ 表示对聚合服务流的描述, Fl 为工作流,由其指定聚合所需的服务集, S_g 为聚合后的服务集合, CQ 为综合服务 QoS, CQ_t 为综合服务响应时间质量, CQ_a 为综合服务可用度质量, CQ_r 为综合服务可靠度质量, CQ_s 为综合服务安全性质量,服务流综合 QoS 将在建模过程中依照一定算法求得,则建模的目标为:充分考虑 MIG 中网络节点 N_i 与其承载服务 S_i 之间的相互影响,在保证聚合服务流各项 QoS 参数符合门限要求的情况下,寻求服务流综合效益 CQ 最优值,即

$$SC. CQ = \max \left\{ \sum_{i=1}^n S_i. QoS \right\}$$

$$\text{where } SC. CQ_t \geq \gamma_t, SC. CQ_a \geq \gamma_a, SC. CQ_r \geq \gamma_r, SC. CQ_s \geq \gamma_s \quad (1)$$

2 LBCMMS 设计

2.1 QoS 计算法则

MIS 的 QoS 参数计算将通过引入节点影响系数反映网络节点质量对其所承载服务的影响,同时服务自身的历史运行数据也是 QoS 的重要计算因子。为便于聚合服务流综合效益的评估,在 QoS 参数计算定义中,将融入归一化处理。定义响应时间参数计算公式为

$$q_t = (1 - \lambda) e^{-\frac{T_{res}}{T_{sta}}} + \lambda NQ_i \quad (2)$$

其中: $\lambda \in (0, 1)$ 表示网络节点通信质量影响系数; $\overline{T_{res}}$ 表示该服务历史访问响应时间均值; t_{sta} 表示同类服务访问响应时间标准值; $\hat{\eta} \in (0, 1)$ 为常系数,用于 $\overline{T_{res}}$ 对服务质量计算的影响。定义服务可用度参数计算公式为

$$q_a = (1 - \lambda - \theta - \mu) e^{-\hat{\eta}(1 - \frac{m_a}{m_s})} + \lambda NQ_i + \theta NQ_f + \mu NQ_s \quad (3)$$

其中: $\lambda + \theta + \mu \in (0, 1)$ 表示网络节点通信质量、业务质量和安

全性对服务的影响系数; m_a 和 m_s 分别表示该服务历史成功访问次数和历史访问总次数; $\hat{\eta} \in (1, \infty)$ 为常系数,用于调节历史成功访问率对服务质量计算的影响。定义服务可靠度参数计算公式为

$$q_r = (1 - \lambda - \theta) \hat{a} + \lambda NQ_i + \theta NQ_f \quad (4)$$

其中: $\lambda + \theta \in (0, 1)$ 表示网络节点通信质量和业务质量对服务的影响系数, $\hat{a} \in [0, 1]$ 表示用户历史评估均值,用户评价为映射模糊区间,语义集合为 {很好, 好, 较好, 一般, 较差, 差, 很差}, 对应区间为 $\{[0.9, 1], [0.75, 0.9], [0.6, 0.75], [0.4, 0.6], [0.25, 0.4], [0.1, 0.25], [0, 0.1]\}$ 。则定义服务安全性参数计算公式为

$$q_s = NQ_s \hat{b} \quad (5)$$

其中: $\hat{b} \in [0, 1]$ 表示对服务安全性综合评估值,由技术专家通过对服务的功能结构、通信协议、数据库安全、运行环境等指标综合评估后获得,语义集合为 {高, 较高, 中等, 较低, 低}, 对应区间为 $\{[0.8, 0.1], [0.6, 0.8], [0.4, 0.6], [0.2, 0.4], [0, 0.2]\}$ 。

2.2 聚合服务流 QoS 计算法则

2.2.1 静态 QoS 计算

文献[2]列举并阐释了四种模型(串联型、并联型、选择型和循环型)的聚合服务流计算方法,但在 MIG 中,由于工作流具有强针对性,所需服务具有不可替代性,故只考虑除选择型之外的三种模型。模型之间的具体关系如图 1 所示。

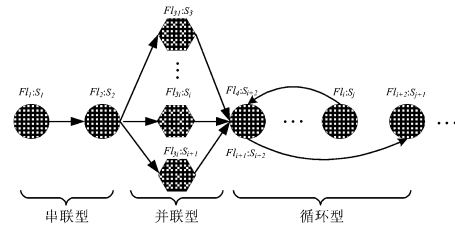


图 1 信息服务之间的影响关系

由于在本模型中 QoS 计算方法已预先归一化处理,故采用加权求和的方法计算聚合服务流的静态 QoS。

$$CQ = \sum_{Fl_i, \sigma=0} \omega_i QoS + \sum_{Fl_i, \sigma=1} \omega_{ij} QoS + \sum_{Fl_i, \sigma=2} \omega_i QoS \quad (6)$$

式(6)中, CQ 由三部分构成,分别为串联服务、并联服务、循环服务的 QoS 加权和值,其中部分服务可以重复出现在三个部分中,其 QoS 不变,但由工作流节点的权值决定其在服务聚合流中的影响程度, SC 中的其他参数 CQ_t 、 CQ_a 、 CQ_r 、 CQ_s 同上原则计算。

2.2.2 动态 QoS 削弱矩阵

网络节点与军事信息服务之间的动态影响是指:当多个 MIS 驻同一节点时,并行服务对节点的通信质量、处理能力产生影响,串联、循环型服务对节点的安全性产生影响,继而动态反馈影响服务 QoS。以下通过引入动态 QoS 削弱矩阵描述节点与服务之间的相互关系对聚合过程的影响。设

$$A_{PSN} (m \times n) = \begin{bmatrix} N_1, S_{F11} & N_2, S_{F11} & \cdots \\ N_1, S_{F12} & N_2, S_{F12} & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中: A_{PSN} 为节点服务承载矩阵; m 为工作流节点的数量; n 为网络节点数量; a_{ij} 为一个网络节点承载某个工作流节点服务的数量。则服务对网络节点的反馈影响包括:

a) 并联服务影响节点通信质量、处理能力。设 $R_{(t,a)} (m \times$

n 为通信质量和处理能力的动态削弱矩阵, $r(t, a)_{ij}$ 表示在某个工作流节点中服务聚合对网点的动态削弱因子,则定义

$$r(t, a)_{ij} = \begin{cases} e^{\lambda(1-a_{ij})} & a_{ij} \neq 0 \\ 1 & a_{ij} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

其中:同一节点并联服务数量 a_{ij} 为影响因子的负指数幂, $\lambda \in (0, 1]$ 为其调节系数。式(8)表达的意义为:当承载的并行服务数量增加时,网络节点的通信质量和处理能力呈指数级削弱。

b) 承载服务总数影响节点安全性。设 $R_{(s)}(m \times n)$ 为节点安全性动态削弱矩阵, r_{ij} 表示在某个工作流节点中服务聚合对网点的动态削弱因子,则定义

$$r(s)_{ij} = \begin{cases} e^{\lambda(\frac{1}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} - 1)} & a_{ij} \neq 0 \\ 1 & a_{ij} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

其中:同一节点承载服务总数 $\sum_{k=1}^n a_{kj}$ 的倒数为影响因子的负指数幂, $\lambda \in (1, \infty)$ 为其调节系数。式(9)表达的意义为:当网点承载服务的总数增加时,网络节点的安全性降低,但趋势渐缓。这符合实际情况,因为当承载服务数较大时,节点隐蔽性已经很弱,多增加的服务对安全性影响的意义较小。则某个网络节点在某个工作流的动态节点质量表现为节点初始质量与动态削弱因子的乘积,即

$$\begin{cases} NQ_t = NQ_{t0} \times r(t, a)_{ij} \\ NQ_a = NQ_{a0} \times r(a, a)_{ij} \\ NQ_s = NQ_{s0} \times r(s)_{ij} \end{cases} \quad (10)$$

而服务的QoS计算中包含网络节点质量的计算因子,由此通过引入动态削弱矩阵,模型将服务与节点之间的影响关系完整表述。

2.3 服务聚合流程

2.3.1 基于BGA的聚合流程

回溯法^[10]是基于对问题实例进行自学习、有组织地检查和处理问题实例的解空间,并在此基础上对解空间进行归约和修剪的一种方法。回溯法求解问题的解空间一般由笛卡尔积 $A = S_1 \times S_2 \times \cdots \times S_n$ 构成,其中 $S_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \cdots, a_{im}\}$ 代表解向量 $X = \{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$ 的每一个分量 x_i 的取值范围。此时,可以把状态空间树视为一棵高度为 n 的树,第 i 层具有的分支节点数为 $m_1 \times m_2 \times \cdots \times m_i$,则对问题的求解过程是在满足约束方程的条件下,在回溯往复的步骤中对状态空间树遍历搜索的过程。贪婪法^[10]通常用于解决最大值或最小值的优化问题,它主要从某个初始状态出发,根据当前局部的而不是全局的最优决策,基于满足约束方程为条件,以使得目标函数值增加最快或最慢为准则,选择一个能够最快达到要求的输入元素,以便尽快构成问题的可行解。

基于回溯-贪婪法聚合流程的基本思想是:依照军事任务工作流的时序,由工作流 Fl_i 构成其解空间结构,由每个 N_i 及其在每 Fl_i 中可提供的 S_i 依序构成解的状态空间树,在服务流整体质量 SC 、 CQ 的约束下,基于回溯法搜索求解的基本过程,并利用贪婪法设定对每个工作流节点的服务选择原则,构成其聚合过程。具体描述如下:

- Initialize: Fl_m, N_n, S, QoS ;
- Judge: while($i < m$);
- Choose: $Fl_i, S_k \leftarrow \{S_x \mid S_x \cdot \text{QoS} = \max[N_i, S_k, \text{QoS}]\}$;
- Depict: $A_{\text{PSN}}(m \times n)$;
- Compute: $R_{(t,a)}(m \times n), R_{(s)}(m \times n)$;
- Compute: NQ_t, NQ_a, NQ_s ;

- Compute: $S_k \cdot \text{QoS}_k \cdot (q_t, q_a, q_r, q_s)$;
- Compute: $SC \cdot (CQ, CQ_t, CQ_a, CQ_r, CQ_s)$;
- Judge: SC is qualified?
- if (True): $i \leftarrow i + 1$,
goto b);
- if (False): delete S_g ,
if $\{N_i, S_j \mid S_j \in [Fl_i, S_k]\} \neq \emptyset$,
goto b);
else $i \leftarrow i - 1$, goto b);
- Output: SC

其中:步骤a)为初始化工作流、网络节点集和信息服务集所有参数;c)表示在每一步搜索中,依照贪婪法则首先选择每类服务中综合QoS最大的作为 Fl_i 的选择服务(集合);d)表示新服务(集合)选择后对节点服务承载矩阵的重新描述,e)~h)表示根据新的 $A_{\text{PSN}}(m \times n)$ 重新计算 $R_{(t,a)}(m \times n)$ 和 $R_{(s)}(m \times n)$ 以及网络节点质量,并依次计算服务和流服务的QoS;i)表示对服务流QoS的判定,此时判别门限为

$$\gamma_i = \frac{\sum_{j=1}^i Fl_j \cdot \omega}{\sum_{j=1}^m Fl_j \cdot \omega} \gamma \quad (11)$$

即当前工作流节点的权值与占总工作流权值和的比重乘上标准门限;j)表示当前SC的各参数满足门限条件时进行下一步搜索;而k)表示当SC不满足门限条件时,首先删除服务集 S_x ,如果删除后当前工作流所需的服务为 $?$ 时,则进入回溯步骤,否则继续转入b)。当搜索完成 Fl_m 后,输出服务流聚合结果SC。

对BGA聚合过程的时间复杂度分析如下:假设工作流节点总数为 m 、网络节点总数为 n 、网络可提供服务总数为 p ,即平均每个工作流节点的可选服务为 p/m ,聚合过程中回溯步骤总数为 k ,则在每一步搜索中,最大QoS服务选择时间复杂度为 $O((p/m)^2)$,动态削弱矩阵计算时间复杂度为 $O(nm!)$,动态网络节点质量参数计算时间复杂度为 $O(m)$,动态服务QoS计算时间复杂度为 $O(np)$,服务流QoS计算时间复杂度为 $O(m)$,则BGA聚合过程总的时间复杂度为 $O((k+m)((p/m)^2 + nm! + np))$ 。由分析的结果可知,BGA聚合过程的时间复杂度与工作流节点的总数以及聚合回溯步骤数紧密相关,而回溯的步骤数又与服务的QoS相关,因此算法运行时间具有较大的波动性。

2.3.2 基于GA的聚合流程

GA是一种宏观意义下的仿真算法^[10],是对生物自然演化过程的模拟,生物自然演化过程的实质是染色体的杂交变异,使得子代染色体不同于父代染色体,产生新的染色体。染色体的变异、选择与重组形成了遗传算法的基本概念。在GA中,称 $l-X$ 为个体, l 表示个体的链长, $l-X$ 的全体称做个体空间,个体的表现形式一般为 $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \cdots, x_{im}\}$ 。其中: x_{ij} 称为第 i 个个体的第 j 个基因。所谓 N -种群是 N 个个体组成的集合(个体允许重复),简称种群。而种群进化的过程实质是个体基因组变异、置换、杂交的过程,在一定条件约束下,这一过程将使得种群向更优的方向发展。GA对解决多目标同时优化问题具有很强的优势^[2],符合多质量参数约束下服务聚合要求。基于GA聚合流程的基本思想是将每个工作节点流所需服务(集合)为一个基因 Fl_i, S_k ,则整个聚合服务流定义成一个个体SC,根据对每组SC、CQ及其他参数的验算结果,依照一定概率和原则对部分基因进行选择性的变异,经过一定代数进化

后输出结果。具体描述如下:

- a) Initialize: Fl_m, N_n, S, QoS, T ;
- b) Judge: while ($i < T$);
- c) Form: $SC_i \leftarrow \{SC_i, S_g | S_{gj} \in Fl_j, S_k\}$;
- d) Depict: $A_{PSN} (m \times n)$;
- e) Compute: $R_{(t,a)} (m \times n), R_{(s)} (m \times n)$;
- f) Compute: NQ_i, NQ_f, NQ_s ;
- g) Compute: $S_k, QoS_k (q_i, q_a, q_r, q_s)$;
- h) Compute: $SC (CQ, CQ_i, CQ_a, CQ_r, CQ_s)$;
- i) Judge: SC is qualified?
- j) if (True)
 - if $SC_i > SC_q$,
 - record ($SC_{q+1} = SC_i$), $i \leftarrow i + 1, q \leftarrow q + 1$,
 - variate (SC_i, S_g),
 - goto b);
 - else
 - secect $\{SC, S_u | S_u, QoS = \min(\lambda m) \{S_{gj}, QoS\}\}$,
 - variate (SC, S_u), $i \leftarrow i + 1$,
 - goto b);
- k) if (False)
 - secect $\{SC, S_u | S_u, q_x = \min(\lambda m) \{S_{gj}, q_x\}\}$,
 - variate (SC, S_u), $i \leftarrow i + 1$, goto b);
- l) Output: SC_q

其中:步骤 a) 仍为参数初始化,并设定总进化代数 T ; c) 表示组合新的服务流基因; d) ~ i) 意义与 BGA 算法相同; j) 表示对服务流 QoS 的考察结果为分量参数满足门限要求情况下,当综合质量参数 SC_i, CQ 比上一代 SC_{i-1}, CQ 高时,记录这一服

务流为优良基因组,并通过随机变异进入下一代进化,当综合质量参数 $SC_i, CQ \leq SC_{i-1}, CQ$ 时,按 λ 的比率对基因组中 QoS 最低的若干服务进行变异,进入下一代进化; k) 表示对服务流 QoS 的考察结果为某一分量参数未满足门限要求 $SC, CQ_x < \gamma_x$ 时,按 λ 的比率对服务中这一分量参数最低的若干服务进行变异,进入下一代进化。经过 T 代进化后输出最优良基因组 SC_q 。

对 GA 聚合过程的时间复杂度分析如下: 设 T 为 GA 进化代数,其他假设不变,在每一代的进化中步骤 d) ~ i) 的时间复杂度与 BGA 相同,步骤 j) 和 k) 均包含一次排序计算和一次变异计算,总时间复杂度为 $O(m^2)$, 因此,GA 的总时间复杂度为 $O(T((p/m)^2 + nm! + np + m^2))$ 。一般情况下,进化代数 T 的值远大于 m ,所以当回溯步骤数 K 较小时,GA 的时间复杂度远大于 BGA。

3 算例分析及仿真验证

以空中时敏打击 (time sensitive strike, TSS) 任务工作流为算例分析 RMISC 的有效性,并应用 MATLAB (v2010a) 仿真验证。TSS 是由发现目标 (find)、确认目标 (fix)、跟踪目标 (track)、任务规划 (task)、目标打击 (engage)、效果评估 (assess) 六大部分,共 20 个节点组成的工作流,所需的信息服务包括卫星成像分析、雷达信息融合、目标识别等共 45 个,具体如图 2 所示。

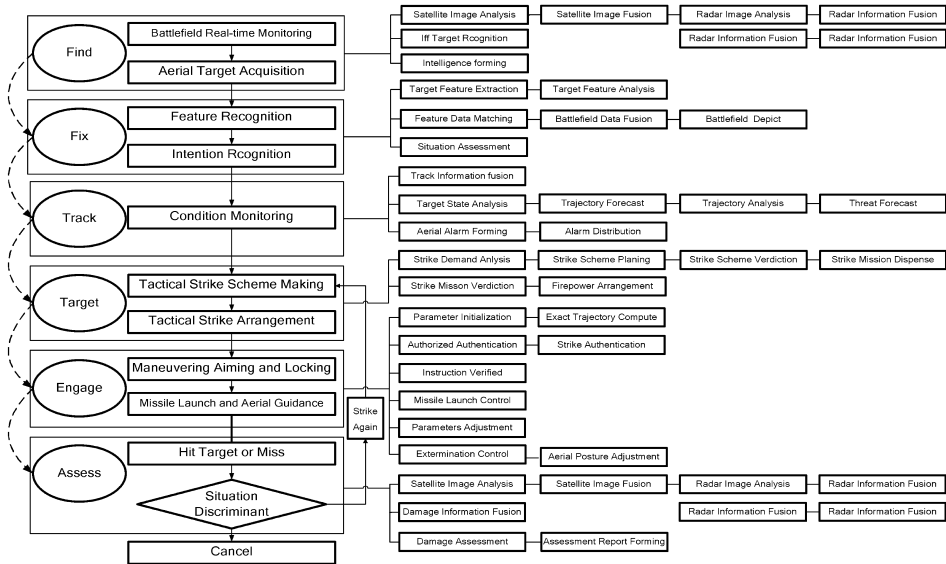


图 2 TSS 工作流及其所需 MIS

算例的基本参数设定如下: MIG 的网络节点数 $\text{size}(N) = 15$, 可用服务总数 $\text{size}(S) = 275$, 设节点 3 和 6 为中心节点, 可承载较多服务, 且 QoS 较高。工作流步骤数 $\text{size}(Fl) = 20$, 服务流规模 $\text{size}(S_g) = 45$, 所有网络节点的初始化质量参数 NQ_i, NQ_f 和 NQ_s 均设为 1。在 q_i 计算中, $\lambda = 0.5$; 在 q_a 计算中, $\lambda = 0.2, \theta = 0.2, \mu = 0.1$; 在 q_r 计算中, $\lambda = 0.2, \theta = 0.3$; 在动态 QoS 削弱矩阵计算中, 两类服务的调节系数 λ 分别设为 0.5 和 3。为计算简便, 在本算例中认为所有服务地位相等, 即所有权值 $\omega = 1$, 而服务流 QoS 各分量参数的门限要求不低于满分的 50%, 即 $\gamma_x = 20 \times 1 \times 0.5 = 10$ 。

仿真实验拟对两组 QoS 样本值进行演算, 其中样本 2 的总体 QoS 优于样本 1。由于篇幅过大, 样本不标示, 表 1 只罗列了其计算因子的期望和方差统计值。

表 1 两组样本的期望和方差统计值

参数	$\bar{T}_{res}/t_{sta}$		m_a/m_s		$\hat{a}$		$\hat{b}$	
统计值	ε	σ^2	ε	σ^2	ε	σ^2	ε	σ^2
样本 1	0.47	0.14	0.43	0.09	0.53	0.11	0.49	0.10
样本 2	0.68	0.11	0.64	0.05	0.78	0.09	0.65	0.09

实验 1 利用 BGA 服务聚合过程对两组样本进行处理, 聚合过程分别如图 3 和 4 所示。由于样本 1 的 QoS 整体较低, 聚合时出现较多回溯步骤, 次数为 37, 总搜索步骤为 96, 运行时间为 53 s; 而样本 2 由于其 QoS 整体较好, 回溯步骤少, 仅为 8 次, 总搜索步骤为 38 次, 运行时间为 14 s。根据 BGA 聚合算法的设计, 在聚合中后期, 每一步搜索以及回溯所需的时间开销远大于前期, 所以样本 1 的运算时间远大于样本 2。而两个样本的 SC, CQ 值分别为 55.3 和 58.7, 比较接近, 这是由算法

中贪婪择优的设计决定的。

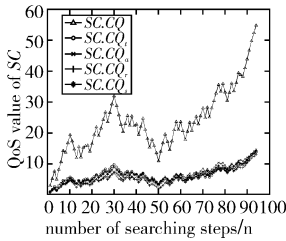


图3 BGA对样本1处理过程

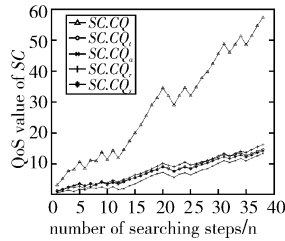


图4 BGA对样本2处理过程

实验2 利用GA服务聚合过程对两组样本进行处理,设遗传代数为500,图5和6分别显示了两组样本SC.CQ的进化过程。样本1总进化代数为17,SC.CQ的值为52.2,比BGA算法的结果略低;样本2总进化代数为28,SC.CQ的值达到62.5,比BGA有所提高。由于遗传代数设置相同,两组运行时间基本相同,分别为28 s和31 s。

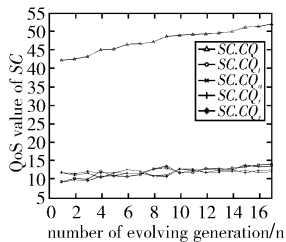


图5 GA对样本1处理过程

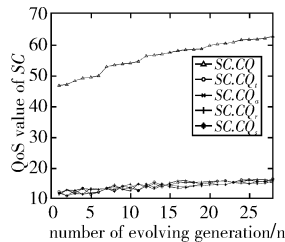


图6 GA对样本2处理过程

实验3 取消在LBCMMS中QoS计算时的动态QoS削弱矩阵计算步骤,即在 q_t 、 q_a 、 q_r 以及 q_s 计算中, NQ_i 、 NQ_f 和 NQ_s 保持初始静态值1不变,利用GA服务聚合过程对样本2进行处理。计算结果如表2所示,表中 T 表示运行时间, N_g 表示总进化代数, $S_{\max}$ 表示聚合完成后节点承载服务数的最大值, $S_{\min}$ 表示节点承载服务数的最小值, σ^2 表示节点承载服务数的方差, η 表示节点利用率,即承载服务的节点数与总节点数的比。

表2 实验2和实验3结果数据统计对比

统计值	T	N_g	CQ	$S_{\max}$	$S_{\min}$	σ^2	$\eta/\%$
实验2	31	28	62.5	11	1	7.2	100
实验3	20	19	78.9	28	0	64.3	40

从表2中可知,实验3无DWM聚合模型的运行时间较短,且聚合后所得的服务流CQ值高于实验2完整LBCMMS。但如果分析服务流的具体分布,如图7、8所示,图中实心圆表示对应工作流中节点可承载的服务,空心圆表示已承载服务,可以发现,实验3结果中服务分布极不均匀,节点3和6承载了服务流中绝大多数服务,许多网络节点空闲,节点利用率低,而实验2完整LBCMMS结果中服务分布相对均匀,节点承载服务数的方差明显小于实验3,节点利用率高。在实际作战对抗中,大量军事服务集中于少数节点时,不仅相互影响严重,且整体隐蔽性差,当受到敌方网络攻击时,损失较大,而LBCMMS使服务的分布具有明显负载均衡性,很好地体现了MIG建设“去中心化”的原则。

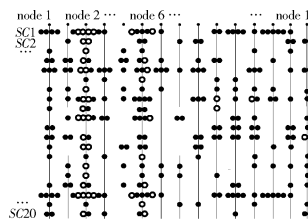


图7 无DWM计算的聚合结果

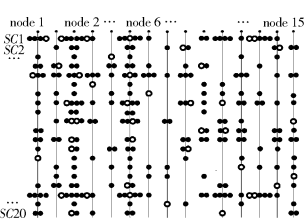


图8 完整LBCMMS的聚合结果

4 结束语

互联网环境下的服务聚合模型一般不考虑网络节点的负载均衡问题,但在规模较小的MIG中,服务的负载均衡将对网络节点的性能产生影响,并影响信息服务流自身的QoS和战时抗毁性。本文设计的信息服务聚合模型旨在通过设计服务节点下的QoS动态削弱矩阵,促使遴选的服务在节点的分布上具有负载均衡效果,从而更好地体现MIG“去中心化”的建设思想。本模型不仅适用于MIG,对于规模较小的城域网、企业内网、校园网等也同样具有适用性。但由于条件有限,在本文的研究中,实验结果主要通过对仿真样本数据测试获得,对于如算法运行时间、服务对网络节点性能影响效果等数据缺乏说服力。因此,在下一步的研究中,将结合实战MIG环境进一步研究模型的应用。

参考文献:

- [1] MAJITHIA S, WALKER D W, GRAY W A. A framework for automated service composition in service-oriented architectures [C] // Lecture Notes in Computer Science, vol 3053. Berlin: Springer, 2004: 269-283.
- [2] 刘书雷, 刘云翔, 张帆. 一种服务聚合中QoS全局最优服务动态选择算法[J]. 软件学报, 2007, 18(3): 646-656.
- [3] 胡建强, 李涓子. 一种基于多维服务质量的局部最优服务选择模型[J]. 计算机学报, 2010, 33(3): 526-534.
- [4] 齐连永, 奚万春. 跨组织协同中基于局部服务质量优化的Web服务组合方法[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(8): 1647-1653.
- [5] LI Chang-bao, CHENG Bo, CHEN Jun-liang, et al. A discovery approach for Web services composition flows [C] // Proc of IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference. 2010: 700-706.
- [6] HU Chun-hua, LIU Ji-bo. Web services composition approach based on trust computing mode [C] // Proc of IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference. 2010: 664-670.
- [7] 李端戎, 吴松. 面向复杂异构网络环境的服务聚合系统[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2011, 39(1): 38-41.
- [8] 张龙昌, 张成文. 混合QoS聚类服务组合[J]. 北京邮电大学学报, 2011, 34(5): 57-62.
- [9] 李硕士, 黄宁, 李瑞莹, 等. 通信网络服务可靠性参数分析[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(9): 1146-1150.
- [10] 郑宗汉, 郑晓明. 算法设计与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011: 202-228.
- [11] 于晓浩, 胡丹. 军事信息系统服务资源分配并行优化方法[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(9): 2078-2086.
- [12] ALGHAMDI A S, SIDDIQUI Z, QUADN S S A. A common information exchange model for multiple C4I architectures [C] // Proc of the 12th International Conference on Computer Modelling and Simulation. 2010: 538-542.
- [13] WAUGH S, RHODES C. Time critical targeting concept of operations (CONOPS) interactions, DSTO-TR-2543 [R]. [S. l.]: Australia Air Operations Division DSTO Defence Science and Technology Organisation, 2011.
- [14] 王强. 空间信息服务聚合的关键技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2010.
- [15] LI Hai-feng, QING Zhu, OUYANG Y. Non-cooperative game based QoS-aware Web services composition approach for concurrent tasks [C] // Proc of IEEE International Conference on Web Services. 2011: 444-451.