

文章编号: 1001- 2486(2008) 02- 0061- 06

一种完全分布式的空间服务及组合模型*

左怀玉, 景宁, 陈莹, 唐宇

(国防科技大学 电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 针对服务组合中控制流和数据流的不同协调机制, 可将组合模型分为 4 种类型, 分别是控制流集中式且数据流集中式、控制流集中式且数据流分布式、控制流分布式且数据流集中式、控制流分布式且数据流分布式。空间服务组合流程需处理较大规模的数据流, 采用控制流分布式和数据流分布式的协调机制能有效降低组合过程中系统整体通信规模并减少空间服务组合响应时间。通过对各种不同组合类型建模的定量分析对上述观点进行了正确性论证。模拟实验证明, 定量分析结果可信。

关键词: 空间服务组合; 控制流; 数据流; 分布式

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

A Full Decentralized Model for Geospatial Services and Its Composition

ZUO Hua[†] yu, JING Ning, CHEN Luo, TANG Yu

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Composite service models can be classified into four types according to the different management of their control-flow and data-flow, namely, centralized control-flow and centralized data-flow, centralized control-flow and decentralized data-flow, decentralized control-flow and centralized data-flow, and decentralized control-flow and decentralized data-flow. We also give our quantitative inference based on the mathematical models to the conclusion that the decentralized control-flow and decentralized data-flow model can reduce the whole message size and lead to lower response time in geospatial services composition. Our simulation confirms the conclusion.

Key words: geospatial services composition; control-flow; data-flow; decentralized

空间服务(Geospatial Web Services, GWS)是指能够提供对空间数据进行访问和处理的 Web 服务^[1], 它是通过 Internet 或 Intranet 发布的自包含、自描述的基础性空间信息资源。空间服务需要处理复杂的空间数据, 其计算相对复杂, 利用传统 Web 服务的规范和标准能增强空间服务的互操作性并消除各种开发平台的异构性, 但在服务集成或协同中需要降低一定程度的效率来换取。如何充分利用空间技术自身特点来组合各种空间服务是当前空间领域技术吸收 Web 服务集成优势的关键所在。

1 系统模型

1.1 组合模式分类

根据服务组合流程中控制流和数据流的不同分布方式, 可将服务组合模型分为以下 4 类(如图 1 所示)^[2]:

(1) 控制集中式和数据集中式(Centralized Control-flow and Centralized Data-flow, CCCD): CCCD 结构以组合服务为中心, 所有消息交换只发生在组合服务(Composite Service, CS)和服务(Service, S_i)之间, 服务彼此没有控制消息和数据消息。鉴于 CCCD 的简单性, 很多服务组合系统(如文献[3])采用这种结构。

(2) 控制集中式和数据分布式(Centralized Control-flow and Decentralized Data-flow, CCDD): CCDD 结构

* 收稿日期: 2007- 08- 27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60472031); 国家 863 高技术资助项目(2006AA12Z205; 2006AA701312)

作者简介: 左怀玉(1978—), 男, 博士生。

允许服务之间直接交换数据消息,但系统保留集中式控制。例如文献[4]在服务上加装 Wrapper 实现该结构。目前,有部分研究在网格环境下基于这种结构的网格工作流^[5]。

(3) 控制分布式和数据集中式(Decentralized Control-flow and Centralized Data-flow, DCCD): DCCD 中控制是分布的,而数据均通过组合服务进行路由。目前尚没有实际系统采用这种结构。

(4) 控制分布式和数据分布式(Decentralized Control-flow and Decentralized Data-flow, DCDD): DCDD 是完全分布式结构,服务之间通过分布的控制消息和数据消息协调。少量研究工作已经开始采用这种 DCDD 结构,如文献[6]等。

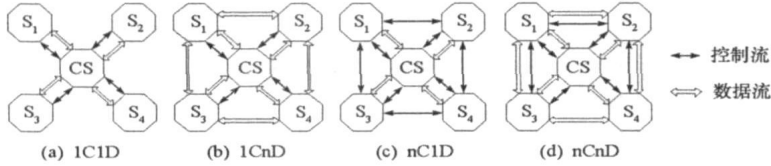


图1 服务组合模型分类

Fig. 1 The different types of service composition

在 CCCD 和 DCCD 中,组合服务节点成为路由数据的中转点,任何服务之间的数据交换均需通过组合服务节点来间接完成。当组合服务的并发请求大量增加时,组合服务节点会成为系统性能瓶颈。CCDD 要求所有控制流消息均需经过组合服务节点,因此在系统监控方面具有优势,而且在异常处理上更易采取对策,缺点是组合系统整体性能在一定程度上还要受限于组合服务节点的计算能力和通信能力。DCDD 是完全分布的控制流和数据流模型,理论上这种模型可以最小化控制流和数据流消息数量,且具有无限可扩展性。

1.2 组合系统模型

为方便评估不同组合模式的性能,给出本文空间服务组合计算环境中各个元素的形式化定义:

定义1 空间服务(Geospatial Service): 依托网络发布的自包含,自描述且能够提供对空间数据进行访问和处理的空间服务集合,表示为 $GSS = \{GS_1, \dots, GS_n\}$, 其中 GS_i 表示具有特定功能的空间数据服务或空间处理服务。

定义2 执行节点(Processing Node): 指互相连通的组合系统硬件平台集合,表示为 $PS = \{P_0, \dots, P_n\}$, CM_{ij} 表示 (P_i, P_j) 之间通信能力。

定义3 自治空间服务群(Autonomous Geospatial Service Groups): 指提供多个相同功能空间服务且能够维护其服务状态的执行节点,表示为 $AGGS = \{AGG_0, \dots, AGG_n\}$, 其中 $AGG_i = \{P_i, GSS_i\}$, $GSS_i = \{GS_1^i, \dots, GS_m^i\}$ 。通常,自治空间服务群和执行节点一一对应。

定义4 空间组合服务(Composite Geospatial Service): 由多个具有偏序关系的活动构成,活动之间存在协同控制流和协同数据流,表示为 $CGS = \{AS, CFS, DFS\}$ 。其中 $AS = \{A_1, \dots, A_n\} = IAS \cup EAS$, $IAS = \{IA_1, \dots, IA_m\}$ 为内部活动,在组合系统内部执行, $EAS = \{EA_1, \dots, EA_n\}$ 为外部活动,需调用空间服务完成; $CFS = \{CF_1, \dots, CF_k\}$ 表示活动之间控制流; $DFS = \{DF_1, \dots, DF_m\}$ 表示活动之间数据流。

给定空间组合服务 CGS , 其执行过程为: 将自治空间服务群中某个执行节点(通常假设为 P_0) 作为入口调用 CGS , P_0 首先解析 CGS 并根据其包含活动内容将 CGS 分解为多个子任务,稍后 P_0 将子任务发送到对应自治空间服务群中,由后者按照子任务规约相互协调共同完成 CGS 。在此过程中,控制流和数据流在各个自治空间服务群中根据 CGS 流程模型进行直接传递,避免了中转带来的额外代价。

2 组合代价分析

假定提供空间服务的自治空间服务群分布在不同的网络位置。包含 M 个服务的组合空间服务系统运行在自治空间服务群集合 $\{AGG_0, \dots, AGG_M\}$ 上,其中 AGG_0 是组合空间服务入口, AGG_1, \dots, AGG_M

分别为提供 m 个服务 $\{GSS_1, \dots, GSS_M\}$ 的执行节点。在代价定量分析里, 设 m 为 1 并用节点 P 来代替自治空间服务群; 再设空间组合服务 CGS 共有 M 个活动 $\{A_i\}$, 均为外部活动, 这些活动分别由 M 个执行节点完成。对于任意活动 A_i , 其输入数据量为 I_i , 输出数据量为 O_i , 执行频率为 f_i 。下面从通信规模和执行时间两个方面对空间组合系统性能进行定量分析。

2.1 通信规模

给定空间组合服务 CGS 和一组执行节点 $\{P_0, P_1, \dots, P_M\}$, 令 P_0 是 CGS 入口点, 空间组合服务系统通信规模函数为 $Cost(CGS) = \sum_{1 \leq i, j \leq M} [V(i, j) + C(i, j)]$, 其中 $V(i, j)$ 表示空间组合服务 CGS 执行过程中执行节点 P_i 到 P_j 之间的数据流消息, $C(i, j)$ 表示相应的控制流消息。

设空间组合服务执行中任何消息均具有初始化代价 λ_0 (如将消息转化为 GML 标准格式等), 控制流消息大小以常量 λ 表示。鉴于 DCCD 组合模型局限性, 其相关研究很少, 本文不再深入探讨, 下面对各种组合模型的通信规模进行定量分析。

2.1.1 模型分析

(1) CCCD 组合模型

在 CCCD 模型中, CGS 包含的所有活动均在固定节点上执行, 因此执行节点 P_i 仅与 CGS 通信。此种结构允许控制流和数据流绑定传递: 从 P_0 进入 P_i 的消息大小为 $f_i \cdot (\lambda_0 + \lambda + I_i)$, 从 P_i 到 P_0 的消息大小为 $f_i \cdot (\lambda_0 + \lambda + O_i)$, 整个系统消息代价为:

$$Cost_1(CGS) = \sum_{1 \leq i, j \leq M} [V(i, j) + C(i, j)] = \sum_{i=1}^M f_i \cdot (2\lambda_0 + 2\lambda + I_i + O_i) \quad (1)$$

(2) CCDD 组合模型

在 CCDD 模型中, CGS 保留集中式控制流, 而将数据流分布到不同自治空间服务群中。为了保证数据流在 P_i 和 P_j 间无误传递, CGS 需要增加额外控制消息用来管理数据流的直接传递。令向量 $\xi = \{\mu_{ij} \mid 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq M\}$ 表示各个执行节点之间的数据依赖, 其中 $\mu_{ij} = d_{ij}/O_i$, 表示执行节点 P_i 和 P_j 之间的数据流规模与 P_i 的输出数据流规模比率。令 $e(i, j)$ 表示 P_i 和 P_j 间是否存在数据流消息, 则下列方程式成立:

$$V(i, j) = \begin{cases} f_i \cdot [\lambda_0 + I_i - \sum_{j=1}^M \mu_{ji} \cdot O_j \cdot e(j, i)] & i = 0, j \neq 0 \\ f_i \cdot [\lambda_0 + O_i - \sum_{j=1}^M \mu_{ij} \cdot O_i \cdot e(i, j)] & i \neq 0, j = 0 \\ f_i \cdot \{ \sum_{j=1}^M [(5\lambda_0 + 4\lambda + \mu_{ij} \cdot O_j) \cdot e(j, i)] \} & i \neq 0, j \neq 0 \end{cases}$$

因此, 采用 CCDD 组合模型产生的平均消息代价为:

$$Cost_2(CGS) = \sum_{1 \leq i, j \leq M} [V(i, j) + C(i, j)] = Cost_1(CGS) - Cost_{2d} + Cost_{2c} \quad (2)$$

其中, $Cost_{2d} = \sum_{i=1}^M f_i \cdot \{ \sum_{j=1}^M [d_{ji} \cdot e(j, i) + d_{ij} \cdot e(i, j)] / 2 \}$, 表示 CCDD 模型相对于 CCCD 模型减少的数据流消息量。 $Cost_{2c} = \sum_{i=1}^M f_i \cdot \{ (5\lambda_0 + 4\lambda) \cdot \sum_{j=1}^M [\frac{e(j, i) + e(i, j)}{2}] - 2\lambda \}$, 表示 CCDD 模型相对于 CCCD 模型增加的控制流消息量。

(3) DCDD 组合模型

在 DCDD 模型中, CGS 将控制流和数据流均分布到不同自治空间服务群中, 执行节点间交换数据不再需要向 CGS 节点交送控制流消息, 同 CCDD 模型分析类似, 其平均消息代价为:

$$Cost_3(CGS) = \sum_{1 \leq i, j \leq M} [V(i, j) + C(i, j)] = Cost_1(CGS) - Cost_{3d} + Cost_{3c} \quad (3)$$

其中, $Cost_{3d} = \sum_{i=1}^M f_i \cdot \{ \sum_{j=1}^M [d_{ji} \cdot e(j, i) + d_{ij} \cdot e(i, j)] / 2 \}$, 表示 DCDD 模型相对于 CCCD 模型减少的数据流消息量。 $Cost_{3c} = \sum_{i=1}^M f_i \cdot \{ \lambda_0 \cdot \sum_{j=1}^M [\frac{e(j, i) + e(i, j)}{2}] - 2\lambda \}$, 表示 DCDD 模型相对于 CCCD 模型增加的控制流消息量。

2.1.2 结果比较

从方程(1)、(2)和(3)可以得出下列公式:

$$Cost_2 = Cost_1 - Cost_{2d} + Cost_{2c} \quad (4)$$

$$Cost_3 = Cost_2 - \sum_{i=1}^M f_i \cdot \{ (2\lambda_0 + 2\lambda) \cdot \sum_{j=1}^M [e(j, i) + e(i, j)] \} \quad (5)$$

从公式(4)和(5)可以看出, 如果不考虑控制消息和消息初始化代价, 则 CCDD 模型一定比 CCCD 模型的系统整体消息规模小, 此时 DCDD 模型和 CCDD 模型整体消息规模一样。另外还可以看出, 无论控制消息和初始化消息代价多大, DCDD 模型的整体消息规模一定不大于 CCDD 模型的整体消息规模。公式(1)、(2)和(3)说明 CCDD 和 DCDD 均是通过增加控制流消息规模并同时降低数据流消息规模来换取特定环境下的空间服务组合系统性能提升。

2.2 执行时间

空间组合服务系统数学模型不变, 仍然给定空间组合服务 CGS 和一组执行节点 $\{P_0, P_1, \dots, P_M\}$, 令 P_0 是 CGS 入口点, 则空间组合服务系统执行时间函数为 $Time(CGS) = T_p + T_c$, 其中 T_p 表示空间服务执行时间, T_c 表示消息传输时间。由于 T_p 在各种组合模型中均相同, 故仅考虑 T_c 。对于每一个执行节点 P_i 而言, 可以将 $T_c(i)$ 分解为两部分 $T_c(I_i)$ 和 $T_c(O_i)$, 前者表示消息传入时间, 后者表示消息传出时间。

2.2.1 模型分析

(1) CCCD 组合模型

在 CCCD 组合模型中, 结合 2.1.1 节分析容易得到消息传输时间满足下列方程:

$$T_{c1} = \sum_{i=1}^M f_i \cdot [T_c(I_i) + T_c(O_i)] = \sum_{i=1}^M f_i \cdot \left(\frac{\lambda_0 + \lambda + I_i}{CM_{0i}} + \frac{\lambda_0 + \lambda + O_i}{CM_{i0}} \right) \quad (6)$$

(2) CCDD 组合模型

在 CCDD 中, 对于执行节点 P_i 而言, 消息传入时间 $T_c(I_i)$ 可分解为两部分, 记作 $\{T_1, T_2\}$ 。其中 T_1

表示数据流消息从其他所有节点 P_j 传至 P_i 的消息消耗时间, 记作 $T_1 = \sum_{j=1}^M T_1(j, i)$ 。每个 $T_1(j, i)$ 又可以再分为三部分, 用来表达 P_j 到 P_i 的数据流消息消耗时间、 P_0 与 P_i 的控制流消息消耗时间和 P_0 与 P_j 的控制流消息消耗时间, 记作 $\{T_1(j, i)', T_1(0, i), T_1(0, j)\}$, 满足表达式 $T_1(j, i)' = \frac{d_{ji} + \lambda_0}{CM_{ji}} \cdot e(j, i)$ 、

$T_1(0, i) = \frac{2\lambda_0 + 2\lambda}{CM_{0i}} \cdot e(j, i)$ 和 $T_1(0, j) = \frac{2\lambda_0 + 2\lambda}{CM_{0j}} \cdot e(j, i)$; T_2 表示节点 P_0 传至 P_i 的消息时间,

满足表达式 $T_2 = \frac{\lambda_0 + I_i - \sum_{j=1}^M d_{ji}}{CM_{0i}}$ 。由于在 CCDD 模型中允许其他节点并行发送消息至 P_i , 因此, 消息传输时间满足下列方程:

$$T_{c2} = \sum_{i=1}^M f_i \cdot [T_c(I_i) + T_c(O_i)] \quad (7)$$

其中,

$$T_c(I_i) = \max\{ \max_{1 \leq j \leq M} \{ T_1(j, i) \}, T_2 \} = \max\{ \max_{1 \leq j \leq M} \{ \left(\frac{d_{ji} + \lambda_0}{CM_{ji}} + \frac{2\lambda_0 + 2\lambda}{CM_{0i}} \right) \cdot e(j, i) \}, \frac{\lambda_0 + I_i - \sum_{j=1}^M d_{ji}}{CM_{0i}} \}$$

$$+ \frac{2\lambda_0 + 2\lambda_j}{CM_{0j}} \cdot e(j, i) \}, \frac{\lambda_0 + I_i - \sum_{j=1}^M d_{ji}}{CM_{0i}} \}$$

$$T_c(O_i) = \frac{\lambda_0 + d_{i0}}{CM_{i0}}$$

(3) DCDD 组合模型

在 DCDD 组合模型中,与上节类似分析可以得到消息传输时间满足下列方程:

$$T_{c3} = \sum_{i=1}^M f_i \cdot [T_c(I_i) + T_c(O_i)] \quad (8)$$

其中, $T_c(I_i) = \max\{ \max_{1 \leq j \leq M} \{ (\frac{d_{ji} + \lambda_0}{CM_{ji}}) \cdot e(j, i) \}, \frac{\lambda_0 + I_i - \sum_{j=1}^M d_{ji}}{CM_{0i}} \}$; $T_c(O_i) = \frac{\lambda_0 + d_{i0}}{CM_{i0}}$ 。

2.2.2 结果比较

比较方程(6)、(7)和(8),有如下定理成立:

定理1 DCDD 组合模型的系统响应时间不大于 CCDD 组合模型的系统响应时间,也即 $T_{c3} \leq T_{c2}$ 。

直接比较方程(7)和(8)即可得出结论,证明略。

定理2 对于任意的 i, j , 如果当任意的 $i \neq 0, j \neq 0$ 时,条件 $CM_{ij} \geq CM_{0i}$ 满足,则 DCDD 组合模型的系统响应时间不大于 CCCD 组合模型的系统响应时间,也即 $T_{c3} \leq T_{c1}$ 。

证明 执行节点 P_j 到 P_i 之间数据流依赖 d_{ji} 满足 $I_i = \sum_{j=1}^M d_{ji} \cdot e(j, i)$, 所以条件 $d_{ji} \leq I_i$ 成立,因此有:

$$\max_{1 \leq j \leq M} \{ (\frac{d_{ji} + \lambda_0}{CM_{ji}}) \cdot e(j, i) \} \leq \frac{\lambda_0 + \lambda_j + I_i}{CM_{0i}}$$

$$\frac{\lambda_0 + I_i - \sum_{j=1}^M d_{ji}}{CM_{0i}} \leq \frac{\lambda_0 + \lambda_j + I_i}{CM_{0i}}; \quad \frac{\lambda_0 + d_{i0}}{CM_{i0}} \leq \frac{\lambda_0 + \lambda_j + O_i}{CM_{i0}}$$

根据上述条件比较方程(6)和(8),则有 $T_{c3} \leq T_{c1}$, 证毕。

3 实验验证

我们采用图2所描述的空间服务组合流程来模拟实验。其中, $b = \text{WebCoverageService}(a)$, $c = \text{boundingBox}$, $d = \text{WebFeatureService}(c)$, $d^1 = \text{CoordinateTransformationService}(d)$, $b^1 = \text{CoordinateTransformationService}(b)$, $e = \text{MapEnhancement}(b^1)$, $f = \text{Overlay}(d^1, e)$ 。

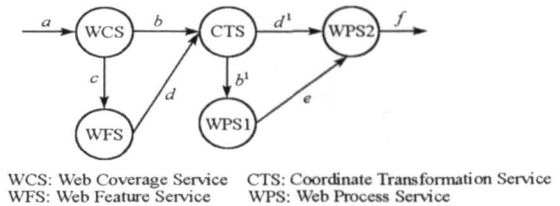


图2 实验采用的空间服务组合流程示意图

Fig.2 A geospatial service composition process of the experiment

实验中所有服务均为 Intranet 环境下的空间 Web 服务,其中 Web Coverage Service 提供分辨率为 3.2m 的某市影像,影像经纬度范围为 $[(113.303046707737, 23.1488271948499), (113.318669174665, 23.1343788193811)]$, 对应图像尺寸为 $[(0, 0), (2000, 2000)]$; Web Feature Service 提供影像区域内的 1:50 000 矢量点数据; Coordinate Transformation Service 为坐标转换模拟服务; Web Process Service1 为影像增强模拟服务; Web Process Service2 为矢栅数据叠加服务。采用以原始影像中心为中心,半径为 r 的正方形区域来表达输入参数 a , r 取值范围为 $[0, 1000]$ 。共 6 台相同配置的 PC 参与模拟执行节点 $\{P_0, P_1, \dots, P_5\}$, 其中,空间服务组合流程部署在 P_0 上,其余空间 Web 服务均匀部署在其他 5 台 P_i 上,所有 P_i 间网络带宽为 10Mbps。

实验结果如图3。其中,图3(a)实验条件为:在不同 P_i 间设置延迟点,延迟效果与消息规模和网络带宽的商成正比,正比系数为10,满足传输时间远远大于空间服务的执行时间,模拟服务的执行时间为10ms,采用100个空间服务组合流程执行的平均响应时间来回答各种不同组合模型的系统性能。图3(b)实验条件为:设置 r 为400,模拟服务的执行时间为0ms,空间服务组合数量由2000逐渐递增至10000,网络延迟节点的正比系数为1。

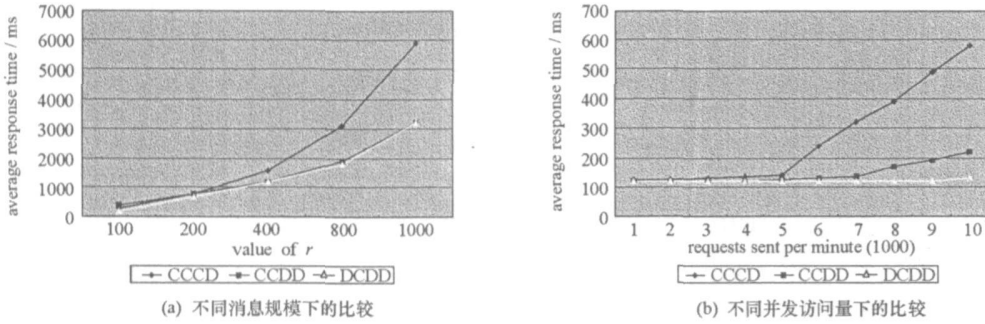


图3 3种组合模型的系统性能影响

Fig. 3 Performances comparison between three kinds of geospatial service composition

图3(a)表明,当消息规模较小时,采用DCDD组合模型的空间服务组合响应时间最优,其次是CCCD,最差的是CCDD,其原因是因为DCDD组合模型在工作中无论是控制流消息规模还是数据流消息规模均最小,而CCDD组合模型相对于CCCD而言,减少了数据流消息规模但增加了控制流规模,前者在消息规模较小时小于后者,因此性能表现较差。

图3(b)表明,在系统轻载条件下,各种组合模型的系统性能相差不大,但随着空间服务组合并发访问的增加,CCCD最先表现出性能降低趋势,其平均响应时间迅速增大;其次是CCDD;而DCDD组合模型则表现比较稳定。这主要是因为在高并发情境下,大量调度任务的积压使得组合流程的平均响应时间增大,CCCD组合模型需要 P_0 节点参与处理所有活动及其消息;CCDD则仅需要 P_0 节点参与处理活动的控制消息;而DCDD则将所有调度任务完全分摊到整个网络环境,从而表现出比较平缓的曲线。

4 总结

根据组合流程中控制流和数据流的不同协调机制可以将空间服务组合划分为4类组合模型。空间服务组合需要处理较大规模的空间数据流,因此采用数据流分布式的组合模型能有效提升系统整体性能。文章基于空间服务、空间自治服务群等概念来支持数据流分布式的空间服务模型,通过几种组合模型在通信规模和执行时间上的定量分析,最终得出结论:控制流分布式且数据流分布式的组合模型是空间服务组合的理想模型。模拟实验证明我们的结论是正确的。

如何有效地将空间服务组合流程分解到各个空间自治服务群上并保持正确语义性是需要继续深入研究的内容,该模型还带来其他问题,如分布式环境下的资源监控、负载均衡以及异常处理等复杂问题等。

参考文献:

- [1] Open GIS Consortium: Request for Quotation and Call for Participation in the OGC Web Services Initiative Initial Operating Capability and Demonstration[R]. Annex B: OWS 1.2 Architecture, http://www.opengis.org/opi2/docs/CIP2__RFQ__AnnexB.pdf, 2002.
- [2] Liu D. A Distributed Data Flow Model for Composing Software Services [D]. Ph. D. Dissertation of Stanford University, June 2003.
- [3] Casati F, Sayal M, Shan M C. Developing E-services for Composing E-services[C]// CA SE, 2001.
- [4] Liu D, Cheng J, Kincho H L, et al. An Engineering Information Service Infrastructure for Ubiquitous Computing [R]. Center for Integrated Facility Engineering Technical Report # 141, Stanford University, October 2002.
- [5] Cao J, Jarvis S A, Saint S, et al. Gridflow: Workflow Management for Grid Computing [C]// CCGRID 2003.
- [6] Benattallah B, Dumas M, Sheng Q Z, et al. Declarative Composition and Peer-to-peer Provisioning of Dynamic Web Services [C]// ICDE' 02, 2002.