

基于语义匹配的遥感信息处理服务组合方法

朱 庆¹ 杨晓霞¹ 李海峰²

(1 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)

(2 中南大学土木建筑学院,长沙市韶山南路 22 号,410075)

摘 要:针对时域、空间、专题、分辨率等多种语义相互关联所导致的遥感信息处理服务组合的准确性难题,提出了一种基于语义匹配的遥感信息处理服务组合方法,包括多层次的遥感信息处理服务语义匹配和渐进精化的服务组合,即时构建与用户需求相关的服务关系与或图,将后续服务选择范围限定在需求相关服务的范围之内,在关系与或图中进行启发式搜索,并选择语义匹配度最高的子图作为服务组合的结果。

关键词:遥感信息服务;语义匹配;服务组合

中图法分类号:P208; P237.3

随着多平台多传感器遥感技术的发展,遥感数据已经成为空间数据最主要的来源。然而,由于缺乏有效的共享和增值应用手段,遥感数据快速获取与有用信息高效处理能力不足之间的矛盾日益突出^[1,2]。面向服务的思想为此提供了有潜力的途径,将遥感信息及其处理均作为一种服务对待,通过服务发现与组合实现网络环境下资源的按需聚合与高效协同^[3-5]。现实中的复杂应用需要通过集成单一服务所提供的各种基础性功能,以形成新的、功能更强大的服务链,实现服务增值。已有的服务组合方法主要有两大类:过程驱动的服务组合方法和语义驱动的服务组合方法。前者过于“僵硬”的流程难以适应遥感信息处理灵活多变的特点。后者通过遥感数据和处理服务语义动态构造服务链是主要的研究方向^[4,67]。

遥感信息处理服务组合面临的关键问题在于对用户需求、遥感信息及其处理服务语义关联的充分准确理解,并在组合过程中利用这些语义控制处理服务的选择和构成复杂结构的服务链。由于现有服务组合方法大多停留在接口参数匹配的层次上,对服务语义支持明显不足,难以保证结果服务链对需求的满意度。针对这一问题,本文提出了多层次的遥感信息处理服务语义匹配方法和渐进精化的组合算法。

1 基于语义匹配的遥感信息处理服务组合方法

1.1 遥感信息处理服务多层次语义匹配

选取遥感信息处理服务的分类信息以及输入输出数据的元数据进行语义匹配。由于遥感信息处理服务往往具备多个输入输出数据,因此 $I = \{I_1, I_2, \dots, I_p\}$, $O = \{O_1, O_2, \dots, O_q\}$, 其中 p 和 q 分别表示输入数据与输出数据的个数。多层次语义匹配的主要步骤为:首先通过服务分类匹配去掉不属于请求服务分类的候选服务;然后进行元数据匹配,最后将元数据匹配的结果进行“且(&)”运算,返回最终的匹配结果。根据匹配结果定义匹配度耗散,量化语义匹配程度,用于后续的服务组合过程。

1.1.1 服务分类语义匹配

服务分类描述引用了本体中的概念 c_i , 服务需求描述引用了本体中的概念 c_j 。参见文献[7], 定义基本的遥感信息概念匹配等级集合 $\{\text{Exact}, \text{PlugIn}, \text{Subsume}, \text{Fail}\}$ 。这 4 种基本等级按降序排列,等级越高则两个遥感信息处理服务分类的概念间匹配度越好。

1.1.2 遥感信息元数据语义匹配

遥感信息的内容、质量等信息主要通过元数

据进行描述,根据 ISO/TC-211 19115 等元数据规范,遥感信息元数据的描述内容包括成像时间、覆盖空间、影像分辨率、传感器平台、成像波段、影像空间参照信息等。定义一个基本的元数据匹配等级集合 {Equivalent, Superproperty, Subproperty, Fail}, 度量各元数据属性的匹配程度。假设元数据引用了属性 a_i , 需求描述引用了属性 a_j , a_i 和 a_j 可能存在以下的 4 种关系。

- 1) Equivalent: a_i 与 a_j 的属性值相等;
- 2) Superproperty: a_i 的属性值包含 a_j 的属性值, 例如 Superproperty(Area<150, Area<200);
- 3) Subproperty: a_j 的属性值包含 a_i 的属性值, 例如 Subproperty(Area:<200, Area<150);
- 4) Fail: a_i 和 a_j 没有语义关联。

将处理服务对输入输出遥感信息的元数据属性逐项取出,若遥感信息元数据的每一项均能匹配,则认为满足元数据匹配条件。

1.1.3 遥感信息处理服务多层次语义匹配

遥感信息处理服务 ws 的输入数据 ws. Input 与遥感信息 r 匹配,当且仅当:

- 1) ws. Input 对 r 的服务分类匹配等级满足 Exact 或者 Subsume;
- 2) ws. Input 对 r 的元数据匹配等级满足 Equivalent 或者 Subproperty。

遥感信息处理服务 ws 的输出数据 ws. Output 与遥感信息 r 匹配,当且仅当:

- 1) 在遥感信息概念本体中, ws. Output 对 r 的服务分类匹配等级满足 Exact 或者 PlugIn;
- 2) ws. Output 对 r 的元数据匹配等级满足 Equivalent 或者 Superproperty。

1.2 渐进精化的遥感信息处理服务组合算法

组合算法以目标驱动的方式对处理服务之间传递的遥感信息进行逆推,得到能够满足用户需求的遥感信息处理服务链,如图 1 所示。

本文的组合算法首先根据用户需求即时构建与需求相关的服务关系图,将后续服务选择范围限定在相关服务范围之内;然后在关系图中搜索可获取数据到目标数据的优化可达路径,得到语义匹配度最高的服务链。

1.2.1 建立需求相关服务关系图

普通的图无法描述合并、分支等复杂服务链结构,引入与或图(And/or Graph)描述服务关系。与或图中有两种代表性节点“与”节点和“或”节点。与节点在它的所有前驱节点都有解时才有解;或节点的各个前驱节点完全独立,只要其中一个有解它就有解。

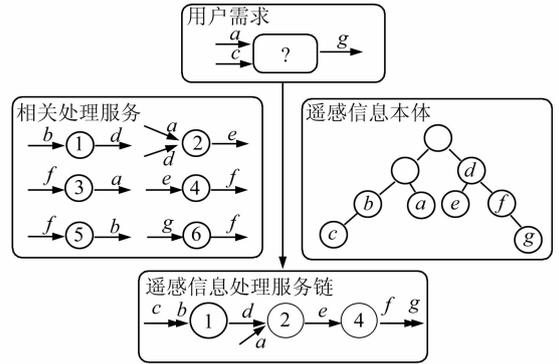


图 1 基于语义匹配的遥感信息处理服务组合
Fig. 1 Semantic Matching Based Remotely Sensed Information Processing Service Composition

给定用户请求 $r = \langle R^{out}, R^{in} \rangle$, R^{out} 为用户期望的目标数据集, R^{in} 为可获取的数据集。从检查处理服务的输出是否满足 R^{out} 开始,根据处理服务的语义匹配结果来“逆推”前驱处理服务。在推理的过程中,需求相关服务关系图不断生长,直到处理服务的输入数据都是可获取数据,或者满足了其他的终止条件。

1.2.2 基于 AO* 的启发式搜索算法

针对用户请求 r ,构造服务关系图,包含了从可获取数据 R^{in} 到目标数据 R^{out} 的所有可达路径。这样,服务组合问题转化为在与或图中寻找 R^{in} 到 R^{out} 之间子图的搜索问题。对于同一个用户需求存在多条满足需求的服务链,体现在关系图中存在从 R^{in} 到 R^{out} 的多个子图,每一个子图均可实现可获取数据到目标数据的转化。为了得到高质量的服务链,在搜索过程中不应孤立地看待每一个遥感信息处理服务,而应该考虑整个子图的语义满足程度。本文提出了一个基于语义匹配度的启发式函数,完成遥感信息处理服务链的优化选取。

启发式搜索在搜索中利用了相邻处理服务之间的语义匹配程度,并以语义匹配度指导搜索过程,从将要被搜索的节点中选择一个最有希望到达目标的节点优先搜索。在与或图的启发式算法中, AO* 算法是最广为接受的求解与或图优化路径的方法,其基本思想与 A* 算法类似,满足路径总耗散最小^[8]。通过启发式函数 $f^*(n)$ 对局部图的评价来选择待扩展的节点,引导搜索过程。

定义耗散评估函数:

$$f^*(n) = g^*(n) + h^*(n)$$

式中, $g^*(n)$ 为起始节点到处理服务节点 n 的耗散 (m_i 为 n 的前驱服务节点):

$$1) n \text{ 是“与”节点, 则 } g^*(n) = c(n) + \sum_{i=1}^k [g^*(m_i)];$$

2) 否则, $g^*(n) = c(n) + \min[g^*(m_i)]$;

$h^*(n)$ 是从处理服务节点 n 到需求节点 R^{out} 的耗散 (p_i 为 n 的后继处理服务节点)。

1) 如果 $p_i = R^{out}$, 则 $h^*(n) = 0$;

2) 否则, $h^*(n) = \min[c(p_i)]$ 。

$c(n)$ 为处理服务节点 n 的语义匹配度耗散。

AO* 搜索算法在搜索与或图时, 从可获取数据节点开始, 扩展 $f^*(n)$ 耗散值最低的节点。

2 典型案例

以基于变化检测的震害评估为典型案例, 说明本文方法的组合过程。利用地震前后同一传感器或不同传感器的遥感影像, 在影像匹配的基础上进行变化检测, 提取出变化信息。变化检测方法很多, 经常使用的主要有直接比较法、分类比较法、目视解译法等。为了达到更好的识别效果并突出目标, 在影像配准和变化检测之前, 还要对其进行校正、增强、平滑、去除噪声等预处理。设计遥感信息处理服务如表 1 所示。处理服务之间操作、产生和传递的数据如表 2 所示。可获取数据意味着可以直接获取的数据(如卫星获取的原始影像与 DEM、DLG 等基础数据), 不可获取数据意味着需要经过处理服务加工才能得到的数据。

表 1 建筑物损毁变化检测遥感信息处理服务

Tab. 1 Process Services Used in Building Damages Change Detection

序号	服务分类	输入数据 1	输入数据 2	输出数据
s_1	建筑物损毁评估	变化检测结果		建筑物损毁评估报告
s_2	灰度直接比较	配准后的新旧时相影像		变化检测结果
s_3	目视解译	配准后的新旧时相影像		变化检测结果
s_4	分类后比较	配准后的新旧时相影像		变化检测结果
s_5	影像配准	参考影像	待配准影像	配准后影像
s_6	对原始影像的校正、增强等预处理	原始影像		预处理后影像

表 2 建筑物损毁变化检测遥感信息

Tab. 2 Data Used in Building Damages Change Detection

数据序号	描述	数据状况
d_1	建筑物损毁评估	期望的目标数据
d_2	变化检测结果	不可获取数据
d_3	影像配准结果	不可获取数据
d_4	预处理后的旧时相影像	可获取数据
d_5	预处理后的新时相影像	不可获取数据
d_6	原始新时相影像	可获取数据

用户提出的需求 $r = \langle \{d_1\}, \{d_4, d_6\} \rangle$, 从检查处理服务的输出是否语义匹配用户的要求 d_1 开始“逆推”前驱处理服务, 直到所有的输入数据都是可获取数据为止。建筑物损毁评估任务的相关服务关系图如图 2 所示, 其中 s_5 是与节点, d_2 是或节点。

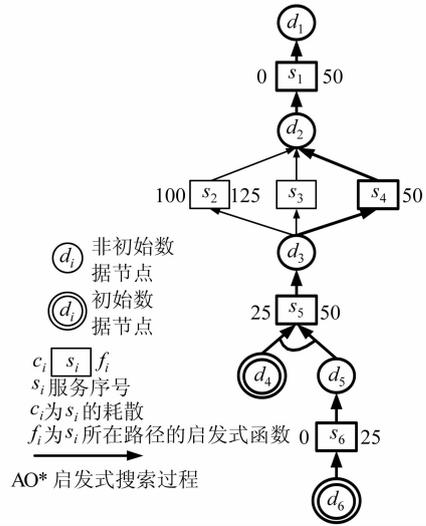


图 2 AO* 启发式搜索过程

Fig. 2 Process of AO* Heuristic Search

汶川地震发生后, 建筑物损毁评估任务要求分析都江堰市房屋破坏情况, 要求有较高的分辨率 ($< 6\text{ m}$), 响应时间要求 3 h。震前影像为 2008-05-14 FW2 全色与多光谱融合数据, 2 m 分辨率。由于地震灾害的突发性, 在短期内很难获得同一传感器成像质量都较好的灾前灾后影像数据, 提供以下震后遥感数据作为评估分析的数据源: ① 2008-05-18 的 Spot5 全色影像, 2.5 m 分辨率; ② 2008-05-20 QuickBird 全色影像, 1m 分辨率。

计算得到各个处理服务在不同输入数据源上的匹配度耗散如表 3 所示。4 个匹配等级 Equival-

表 3 服务的语义匹配度

Tab. 3 Semantic Matching Degree of Services

处理服务	输入数据	耗散	耗散来源
s_1	d_2	0	
s_2	d_3 (FW2 & Spot5)	100	传感器一致性
	d_3 (FW2 & QuickBird)	100	传感器一致性
s_3	d_3 (FW2 & Spot5)	100	处理时间
	d_3 (FW2 & Quickbird)	100	处理时间
s_4	d_3 (FW2 & Spot5)	25	空间区域
	d_3 (FW2 & Quickbird)	25	空间区域
s_5	d_4 & d_5 (FW2 & Spot5)	0	
	d_4 & d_5 (FW2 & Quickbird)	25	参考影像分辨率低于待配准影像
s_6	d_6 (Spot5)	0	
	d_6 (Quickbird)	0	

ent, Superproperty, Subproperty 与 Fail 分别对应的匹配度耗散为 0,100,25 与 100。

以 Spot5 全色影像为例, AO* 启发式搜索过程如图 3 所示。得到耗散最小也就是匹配度最高的服务链如图 3 所示。

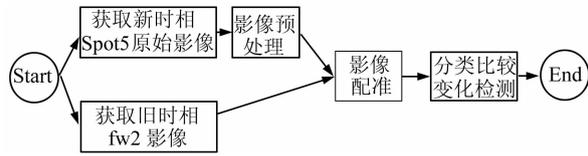


图 3 建筑物损毁变化检测服务链

Fig. 3 Service Chain of Building Damages Change Detection Application

参 考 文 献

- [1] Clery D, Voss D. All for One and One for All[J]. Science, 2005, 308(5723): 809
- [2] 李德仁, 王树良, 李德毅, 等. 论空间数据挖掘和知识发现的理论与方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2002, 27(3): 221-233
- [3] 于海龙, 邬伦, 刘瑜, 等. 基于 Web Services 的 GIS 与应用模型集成研究[J]. 测绘学报, 2006, 35(2):

- 153-159
- [4] Yue Peng, Di Liping, Yang Wenli, et al. Semantics-based Automatic Composition of Geospatial Web Service Chains[J]. Computers and Geosciences, 2007, 33(5): 649-665
- [5] 孙庆辉, 王家耀, 钟大伟, 等. 空间信息服务模式研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(3): 344-347
- [6] Lang Q, Su S. And/or Graph and Search Algorithm for Discovering Composite Web Services[J]. International Journal of Web Services Research, 2005, 2(4): 46-64
- [7] Paolucci M, Kawamura T, Payne T, et al. Semantic Matching of Web Service Capabilities[C]. The 1st International Web Conference, Sardinia, Italia, 2002
- [8] Chakrabarti P P, Ghose S, DeSarkar S C. Admissibility of AO* when Heuristics Overestimate[J]. Artificial Intelligence, 1987, 34(1): 97-113

第一作者简介:朱庆,博士,长江学者特聘教授,博士生导师,研究领域为虚拟地理环境,三维 GIS;代表性成果有《数字高程模型》、《数码城市 GIS》。
E-mail:zhuq66@263.net

Remotely Sensed Information Processing Service Composition Based on Semantic Matching

ZHU Qing¹ YANG Xiaoxia¹ LI Haifeng²

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

(2 School of Civil and Architectural Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: Aiming at the automatic service composition of remotely sensed information processing service, this paper proposes a semantic matching based composition method. Based on remote sensing information ontology, a hierarchical semantic matching methods on both service category and remotely sensed image metadata is introduced. And a progressive composition is implemented by two steps: ① the service and/or graph related to user requirement is created on-line to limit the services' selection range; ② AO* based heuristic search algorithm is used for optimal path in the and/or graph. Typical remote sensing change detection application is employed as a case study.

Key words: remotely sensed information service; semantic matching; service composition

About the first author: ZHU Qing, Ph. D, Ph. D supervisor, Changjiang scholar. His research interest includes virtual geographic environments and 3D GIS. Coauthored book, 《Digital Elevation Model》 and 《Cyber City GIS》.

E-mail: zhuq66@263.net