

Semantics-based automatic composition of geospatial Web service chains

Peng Yue^{a,b}, Liping Di^a, Wenli Yang^a, Genong Yu^a, Peisheng Zhao^a

^a Center for Spatial Information Science and Systems (CSISS), George Mason University, 6301 Ivy Lane, Suite 620, Greenbelt, MD 20770, USA

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

Abstract

Este trabalho apresenta uma abordagem para composição automática de Web Services geoespaciais utilizando uma semântica geoespacial e a arquitetura orientada a serviços (SOA). Por meio desta composição pretende-se integrar um conjunto de Web Services e Informações Geoespaciais com o objetivo de aumentar o compartilhamento destas informações com redução de volume de dados transmitidos e otimização dos recursos de processamento.

Introdução

Trabalhos com dados geoespaciais são geralmente executados em várias etapas de processamento sobre um grande volume de dados em diferentes formatos. Estes dados e processamentos são fornecidos e/ou manipulados por diferentes instituições. A tecnologia de Web Services pode fornecer uma solução para construção de uma composição de serviços de geoprocessamento necessários para execução destes tipos de trabalhos. Este artigo propõe uma estratégia de composição automática dos Web Services geográficos baseada em três pontos principais:

- construção de Web Services Geográficos interoperáveis tanto sintaticamente quanto semanticamente.
- Seleção de Web Service ou dado geográfico mais adequado a partir de sua descrição sintática e semântica.
- Criação de serviços compostos a partir da composição dos Web Services e dados selecionados.

1.1 Interoperabilidade de Web Services

Interoperabilidade é a capacidade que duas ou mais unidades funcionais têm de se comunicarem, executarem programas ou transferirem dados entre si sendo que para isto seja necessário pouco ou nenhum conhecimento das suas características internas (Percivall, 2002).

Interoperabilidade sintática/semântica.

Web Services/interoperabilidade sintática/WSDL e SOAP.

OGC- specs WFS, WMS, WCS, WCTS, WICS. Estas specs seguem princípios da ISO 19119, definindo os tipos de mensagens e a interface dos serviços, porém não define conceitos relativos aos conteúdos das mensagens. Este é um requisito para obtenção da interoperabilidade semântica. Ontologias podem ser utilizadas para expressar formal e explicitamente os conceitos e desta forma possibilitar a interoperabilidade semântica. A W3C propôs a OWL (Ontology Web Language) como linguagem para representação da semântica.

Semantic Web Services Initiative (SWSI) ([Ler mais sobre](#)) propôs o OWL-S, como uma alternativa para descrição semântica de Web Services Individuais. A OWL-S permite especificar a semântica dos dados de entrada e saída do Web Service, das suas funcionalidades, das suas pré e pós-condições. Estas descrições habilitam a busca de um Web Service. OWL-S é a base de vários trabalhos sobre composição automática de Web Services na área de e-business (Srivastava and Koehler, 2003; Sycara et al., 2003; Zhang, 2004 [Procurar estes trabalhos](#)). Este trabalho focaliza-se sobre o domínio geoespacial.

1.2 – Integração de Web Services

A arquitetura orientada a serviços (SOA) fornece os elementos básicos (fornecedor do serviço, requisitor do serviço, catalogo de serviços) sobre o qual pode ser definida a composição de serviços em uma abordagem sintática realizada manualmente.

Em contextos mais complexos de composição tais como os necessários em processos em geoprocessamento, esta abordagem necessita ser complementada com novos recursos. Neste trabalho a composição de Web Services é realizada de maneira automática e “inteligente” explorando aspectos semânticos disponíveis na arquitetura SOA baseados em ontologias de “DataType” e “ServiceType”. Um protótipo da NASA englobando a composição de serviços OGC com descrições de ontologias em OWL/OWL-S foi implementado.

2. Um Caso de Uso

Exemplo criado com base na questão do usuário:

“Qual era a susceptibilidade de deslizamento no Dimond Canyon, California, United States em 10 de janeiro de 2005 ?”.

Uma resposta razoável para esta questão seria a geração de um mapa de susceptibilidade de deslizamento.

Esta resposta poder ser obtida por uma das formas abaixo:

- Este mapa poderia ser obtido de uma base de mapas catalogados, previamente criados. Para entrada no catalogo são necessárias parâmetros temáticos (susceptibilidade de deslizamento), espacial (Dimond Canyon, California, United States) e temporal (10 de janeiro de 2005).
- O mapa pode ser gerado sob demanda manualmente, porém para isto um especialista precisa obter informações necessárias para geração deste mapa. Para isto o especialista pode também necessitar consultar um catalogo. No processo de criação do mapa o especialista pode precisar criar informações intermediárias. As informações necessárias geradas nas etapas intermediárias da execução do processo podem ser armazenados e catalogados (cache). As etapas podem ser definidas como blocos de construção do processo que poderiam ser reusados em novos processos. Para geração do mapa seriam necessários então gerar e atualizar somente os dados básicos, o restante poderia ser gerado automaticamente sob demanda. Um encadeamento de serviços pode ser utilizado para ligar de maneira ordenada os serviços e dados para obtenção do mapa de susceptibilidade de deslizamento.

Para a automação do processo de composição é necessária a realização de processo de raciocínio lógico baseado nas descrições semânticas dos serviços. Desta forma os serviços que são pré-requisitos para geração de uma resposta a uma dada requisição podem ser procurados, descobertos e conectados na cadeia formando o serviço composto.

3. Semântica Geoespacial

A semântica Geoespacial descreve o conteúdo de informação geoespacial de dados, entidades, fenômenos , funcionalidades, relações, processos, serviços, etc. SWEET (Raskin and Pan, 2005) é um exemplo de projeto tratando de semântica geoespacial.

Para uso da semântica geoespacial sobre Web Services é necessária uma descrição semântica destes serviços. A semântica sobre Web Services é classificada em 4 tipos (Sheth, 2003), (Cardoso and Sheth, 2005):

- semântica sobre informações/dados – semântica anotada sobre os dados de entrada e saída das operações de um Web Service.
- semântica operacional/funcional – Semântica da funcionalidade do serviço
- semântica de execução
- semântica de qualidade de serviço (QoS).

Este trabalho trata da composição automática de Web Services baseada na semântica dos dados e funcionalidade. Semântica de execução e QoS são deixadas para trabalhos futuros.

3.1. Esquema da Semântica Geoespacial

Existem 3 níveis de ontologias baseados em seu grau de generalidade:

Top-Level – ontologia que descreve conceitos gerais independentes de domínio.

De domínio – ontologia que descreve conceitos de um domínio.

De aplicação – definida para uso em uma aplicação específica.

Neste artigo são tratadas principalmente ontologias de domínio e aplicação.

Uma ontologia de domínio, tal como a GCMD (Bermudez, 2004), definida através da conceitualização de um conjunto de vocabulários de domínio aceitos por uma comunidade, fornece uma representação de alto nível de conceitos do domínio geoespacial e uma estrutura organizacional que permite a classificação de dados e serviços. Uma ontologia de domínio é de uso comum por um conjunto de aplicações, diferentemente de uma ontologia de aplicação definida para uso específico. Uma ligação entre a ontologia de domínio e de aplicação é necessária para viabilizar a descoberta de conhecimento em uma base de conhecimento mais ampla.

A figura 1 ilustra esta ligação.

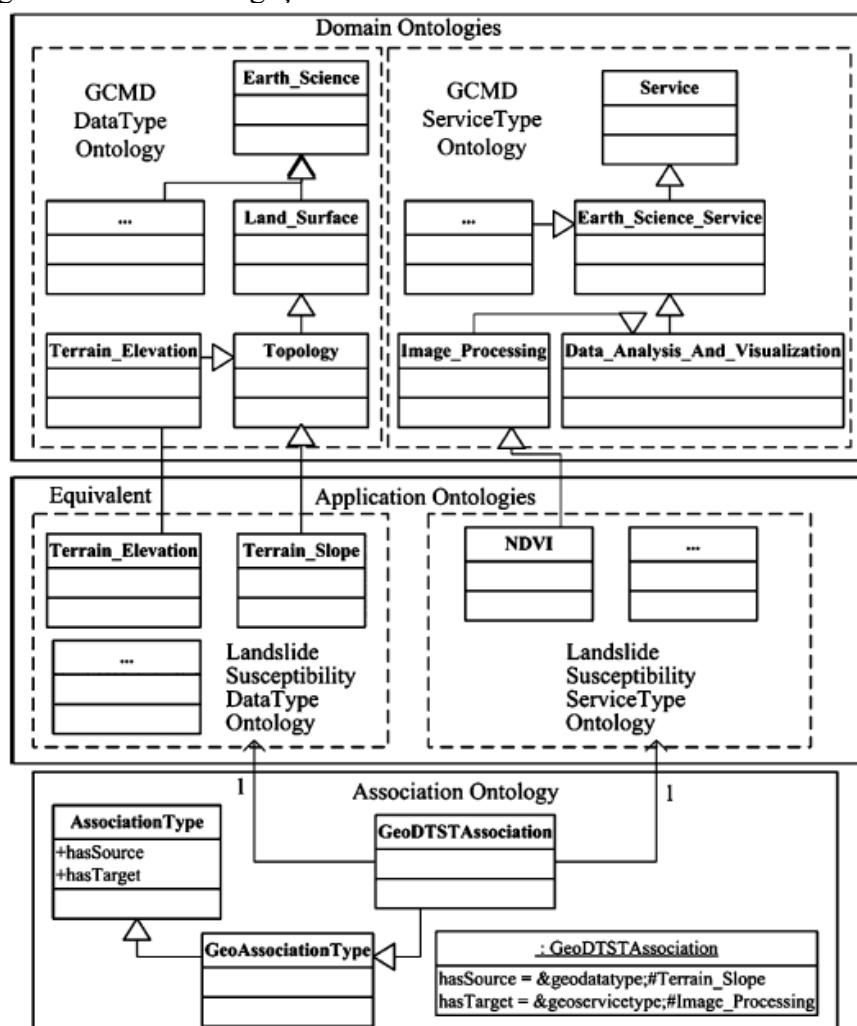


Figura 1 – Esquema de semântica geoespacial.

Neste esquema são definidas duas ontologias de domínio: GCMD DataType e GCMD ServiceType. A ontologia de aplicação Landslide Susceptibility DataType é definida com base na

GCMD DataType através da ligação de *Terrain_Slope* **subClassOf** *Topology*, que indica que *Terrain_Slope* é uma categoria de *Topology*. O axioma ? *Terrain_Elevation* **equivalentClass** *Terrain_Elevation* é adicionado ao esquema para indicar que os conceitos *Terrain_Elevation* em GCMD DataType (ontologia de domínio) e Landslide Susceptibility DataType (ontologia de aplicação) são equivalentes. As ontologias DataType descrevem a semântica dos dados do Web Service. Para a semântica funcional são definidas as ontologias de domínio GCMD ServiceType e de aplicação Landslide Susceptibility ServiceType.

A ontologia *Association* foi criada com o propósito de melhorar o desempenho do processo de inferência e permite a ligação de ServiceType com DataType. Usar as relações definidas nesta ontologia permite a redução do espaço de busca, e daí a melhora de desempenho. Na figura 1 o tipo de dados *Terrain_Slope* esta associado ao tipo de serviço *Image_Processing*. Associações são definidas como instâncias da classe *GeoDTSTAssociation*. Associações fortes podem orientar o processo de busca por um serviço de maneira mais eficiente, porém são muito restritivos finalizando o processo de busca caso o serviço necessário não exista. Associações fracas geram buscas mais ineficientes porém fornecem um mecanismo mais flexível para seleção de um serviço. Esta ontologia não é obrigatória, e foi criada somente com o objetivo de melhorar o desempenho dos processos de inferência.

O conjunto de classes utilizadas nas ontologias *DataType* e *ServiceType* descrevem quais entidades podem existir no domínio geoespacial e estas por sua vez são utilizadas na representação semântica dos dados e funcionalidades dos Web Services. Este conjunto de classes é denominado como “geospatial semantics schema”.

3.2. Semântica Geoespacial para fornecedores

Requisito: OWL-S (**Livro de Web Semântica Casanova**).

O OWS-L é utilizado para descrever semanticamente um Web Service em uma estrutura contendo 3 partes:

- Service profile: O que o serviço faz (anúncio, divulgação)
- Service model: como funciona (descrição detalhada)
- Service grounding: como invocar um serviço (execução)

As partes Service profile e Service Model são utilizadas na descrição semântica do Web Service. A Service Grounding mapeia a descrição semântica com a descrição sintática do Web Service. A transformação entre mensagens do Web Service e parâmetros OWL-S é realizada utilizando XSLT. Na descrição deste mapeamento os elementos da mensagem devem ser diferenciados em valores provenientes de outros Web Services (encadeamento) e elementos não recebidos de outros Web Services.

Neste trabalho foram definidos dois grupos de OWL-S, um para Web Services compatíveis com as especificações OGC e outro para os demais WS. O Web Services compatíveis com OGC podem compartilhar uma parte do OWS-L Service Grounding assumindo que a semântica das interfaces e mensagens são as mesmas (refletindo a especificação dos padrões OGC).

3.3. Semântica Geoespacial nos brokers (intermediários)

Armazenam metainformação sobre os Web Services, servindo como catalogo de Web Services.

Padrões existentes:

- ebRIM (<http://www.oasis-open.org/committees/regrep/documents/2.5/specs/ebRim-2.5.pdf>)
- UDDI (<http://uddi.org/pubs/uddi-tech-wp.pdf>)

Este trabalho adotou o modelo ebRIM, justificando “For the geospatial community, ebRIM is more general and extensible because it provides comprehensive facilities, based on the iso 11179 set of standards, to manage metadata”.

O OGC definiu e recomendou um perfil ebRIM, chamado catalog service for Web (CSW). Uma desvantagem do CSW é a falta de uma abordagem semântica no processo de busca de dados e serviços.

Estudos tem sido realizados para incorporação desta característica por meio de OWL-S (Dogac et al., 2004; Wei et al., 2005a). Este trabalho implementou a capacidade de busca semântica com suporte a três tipos de casamentos semânticos: EXACT, SUBSUME, RELAXED.

Estas três condições de *matching* podem ser expressas como:

EXACT OntR equivalent to OntP

SUBSUME OntP is a subClassOf OntR

RELAXED OntR is a subClassOf OntP

onde OntR é o conceito requisitado (requested concept) e OntP é o conceito do fornecedor (provider concept)

3.4. Semântica geoespacial para clientes

Clientes são consumidores ou usuários de informações geoespaciais. O usuário pode solicitar a geração de um dado por um serviço específico ou não. A solicitação de um dado sem o conhecimento específico de que serviço o fornece é o modo de solicitação mais conveniente para o usuário. Neste segundo caso a solicitação é expressa por meio de um conceito na ontologia DataType representando um conteúdo ou tema do produto requisitado e de restrições espaciais e temporais.

Abaixo esta um exemplo de solicitação.

```
<TimeRange>
  <Start> 2005-01-10T00:00:00Z </Start>
  <End> 2005-01-10T23:59:59Z </End>
</TimeRange>
<PlaceBoundingBox crs = "EPSG:4326">
  <WestBoundingLongitude> -122.262908 </
WestBoundingLongitude>
  <SouthBoundingLatitude> 37.597494 </
SouthBoundingLatitude>
  <EastBoundingLongitude> -122.005009 </
EastBoundingLongitude>
  <NorthBoundingLatitude> 37.875999 </
NorthBoundingLatitude>
</PlaceBoundingBox>
<Ontology> </Ontology>
```

3.5. Semântica geoespacial na cadeia de serviços

Existem várias linguagens para composição de Web Services baseadas em uma abordagem sintática (XML/WSDL). Para o encadeamento adequado de Web Services algumas vezes são necessários *adaptadores* (Figura 3) de dados adequando as mensagens geradas por um Web Service a entrada de outro. Estes adaptadores mapeiam os esquemas das mensagens de entrada e saída de um Web Service. Uma abordagem na construção de cadeias de Web Services é previamente criar todos os adaptadores necessários aos encadeamentos, gerando um total de $C(n,2)$ com n igual ao número de Web Services. O uso de Web Services compatíveis com o padrão OGC pode reduzir este número uma vez que alguns esquemas podem ser compartilhados. A utilização de ontologia geoespacial pode reduzir o número de “adaptadores” para n , uma vez que toda mensagem mapeamento de mensagem é indiretamente incorporado no mapeamento da estrutura do esquema da mensagem do serviço para uma estrutura RDF mediada.

Uma Estrutura RDF mediada segue as definições da ISO19115 para estrutura de metadado. A figura 4 apresenta uma estrutura RDF “leve” para todas as entidades das classes

DataType e serve para transmitir os valores dos elementos das mensagens WSDL. Nesta figura a URL dos dados é identificada pela propriedade “linkage” e o formato pela propriedade “name_MD_Format”.

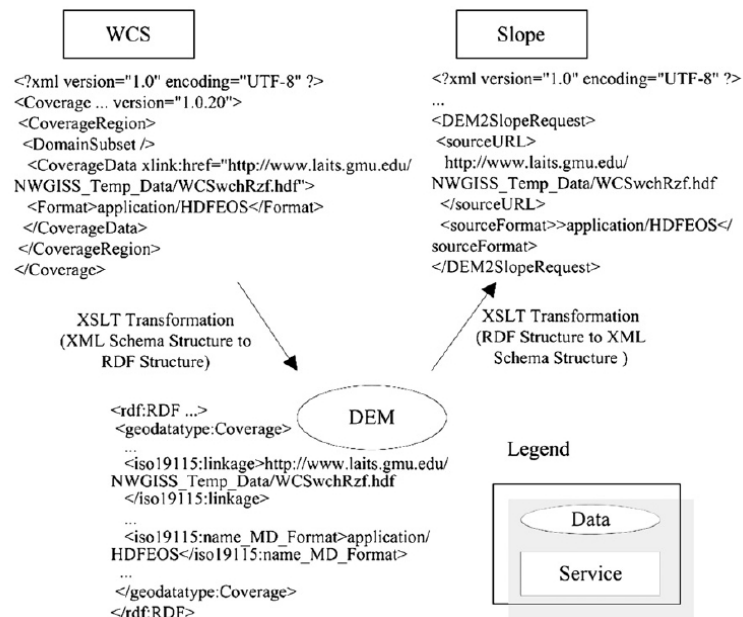


Figura 3 – Fluxo de dados em uma cadeia de serviços

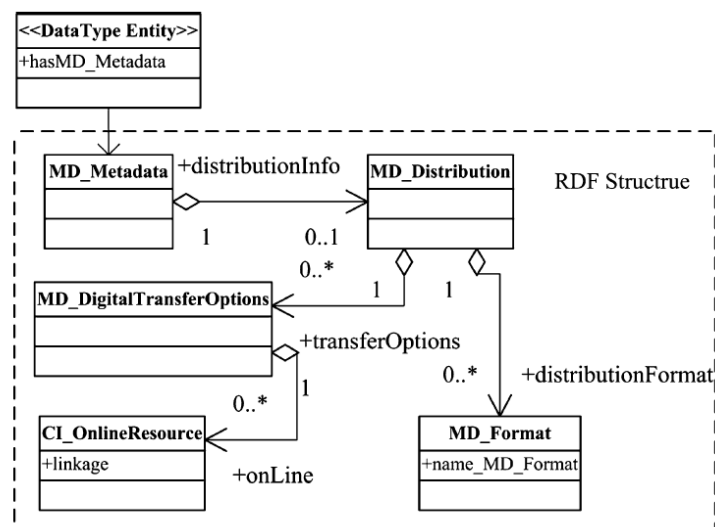


Figura 4 – Estrutura RDF “leve” para entidade DataType

van der Aalst (2003) - comparação de linguagens para composição de Web Services.

OWL-S fornece uma ontologia “Composite Process” contendo construções de controle de fluxo padrão para Workflow. Processos compostos são aqueles que podem ser decompostos em outros processos compostos ou não. A decomposição pode ser especificada usando construções de controle. Processos de negócios especificados utilizando linguagens para composição de Web Services podem ser mapeados para “Composite Process” uma vez que as construções de controle são mapeáveis. O inverso também é possível, com processos compostos em OWL-S podendo ser mapeados para linguagens de composição de Web Services.

4. Composição de Cadeias de Serviços orientada por “DataType”

Atualmente neste projeto o mecanismo de inferência é baseado nas relações de

hierarquia de classes definidas nas ontologias de dados e serviços. O mecanismo utilizado na busca do *match* semântico segue a seguinte ordem de precedência: 1-EXACT, 2-SUBSUME, 3-RELAXED.

O diagrama de sequência UML na Figura 5 ilustra o processo de composição.

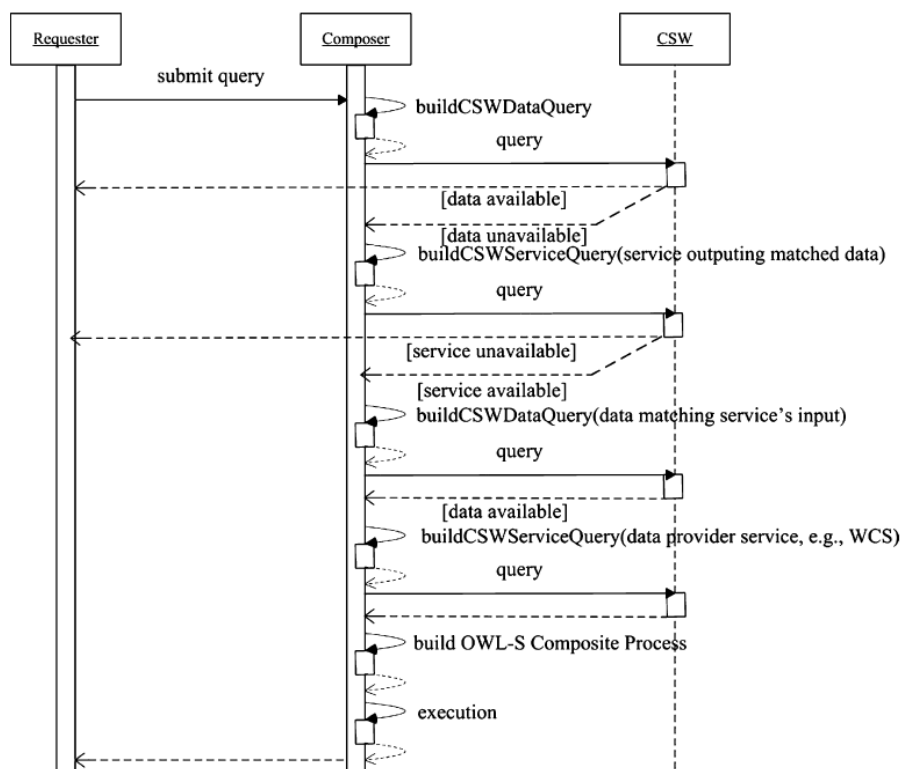


Figura 5 – Composição automática de serviços orientada por *DataType*

Neste processo de composição são realizados os seguintes passos, a opção de matching deve ser previamente definida:

- 1 – O usuário submete a sua solicitação ao componente *Composer* na forma de um documento XML (Exemplificado na seção 3.4).
- 2 – O composer constroe uma query para o catalogo CSW, com base no XML e na opção de matching (*EXACT* ou *SUBSUME* ou *RELAXED*) para *DataType*. Esta query será usada para busca do dado no Catalogo.
Se a opção de matching é *EXACT*, então um matching exato com *DataType* é pesquisado no catalogo. Se a opção é *SUBSUME*, um matching exato é pesquisado e caso não seja encontrado um subsume-matching é tentado. Se a opção é *RELAXED*, uma pesquisa *EXACT*, e em seguida um *SUBSUME* são realizadas nesta sequência. Se nenhum dado for encontrado uma pesquisa usando relaxed-match é realizada. Esta estratégia permite a obtenção de resultado de busca mais preciso e de maneira mais eficiente.
- 3 - Se nenhum dado é encontrado a ontologia *Association* é utilizada para descobrir qual serviço pode gerar o dado requisitado.
- 4 - O composer constroe uma query para busca de um serviço no catalogo CSW, e segue a mesma estratégia do passo 2.
- 5 – Os serviços recuperados na busca são selecionados pelo composer, identificando quais deles geram o tipo de dado *DataType* solicitado pelo usuário. Se um serviço for encontrado o composer inicia um novo processo de busca para localização de dados com mesmo *DataType* de entrada deste serviço. Se nenhum dado for encontrado, o composer, volta um nível e seleciona outro serviço, caso contrário composer busca novos serviços ou dados.

6 – Depois que todos os dados e serviços estão definidos o composer converte a composição em uma descrição de processo composto em OWL-S e o executa retornando o dado resultante para o usuário.

5. Implementação de protótipo e análise de resultados.

5.1. Implementação

A implementação utiliza os conceitos descritos anteriormente. O sistema é baseado na arquitetura SOA suportada por uma base de conhecimento sobre dados e serviços no domínio geoespacial. O principal elemento do sistema é o *composer* que interliga os 3 elementos da arquitetura SOA (request, provider, broker) e implementa as seguintes funcionalidades:

- Base de Conhecimento – formada pelas ontologias de domínio geoespacial de dados e serviços. Um mecanismo de inferência processa esta base.
- Encadeamento – monta as cadeias de serviços baseado na base de conhecimento. As cadeias são representadas como *Composite Process* do OWL-S. Composições intermediárias podem também ser registradas como novos Web Services no catalogo.
- Executor – o serviço resultante da composição é interligado a um mecanismo de execução, o qual executa os Web Services na ordem adequada. A serviço resultante pode também ser traduzido para uma linguagem de composição de Web Services.

A linguagem OWL é utilizada na representação dos esquemas semânticos no domínio geoespacial. Uma **API OWL-S** (<http://www.mindswap.org/2004/owl-s/api/>) é utilizada no parsing e execução do OWL-S (descrição do serviço composto) . A ferramenta **Jena Transitive Reasoner** (<http://jena.sourceforge.net/inference/index.html>) foi a escolhida como mecanismo de inferência sobre a base de conhecimento. Os esquemas semânticos geoespaciais e a semântica dos dados geoespaciais são armazenados num catalogo no padrão CSW, sendo acessados por sua interface. O *OWL-S* manager e *composer* forma uma aplicação Web com as seguintes funcionalidades:

a) Funções de gerenciamento de arquivos OWL-S:

- Armazenar esquemas (esquema semântico geoespacial) - Fornece a base de conhecimento para o mecanismo de inferência.
- Adicionar *Associations* – adiciona associações entre DataType e ServiceType (**Pode ser criado como um índice de busca dos serviços**).
- OWL-S deploy – deposita uma ontologia de serviço (OWL-S) na base de conhecimento.
- OWL-S undeploy – remove uma ontologia de serviço da base de conhecimento.
- Get Capabilities – recupera uma ontologia de serviço da base de conhecimento.

b) Funções de matching semântico

c) Função de encadeamento de serviços.

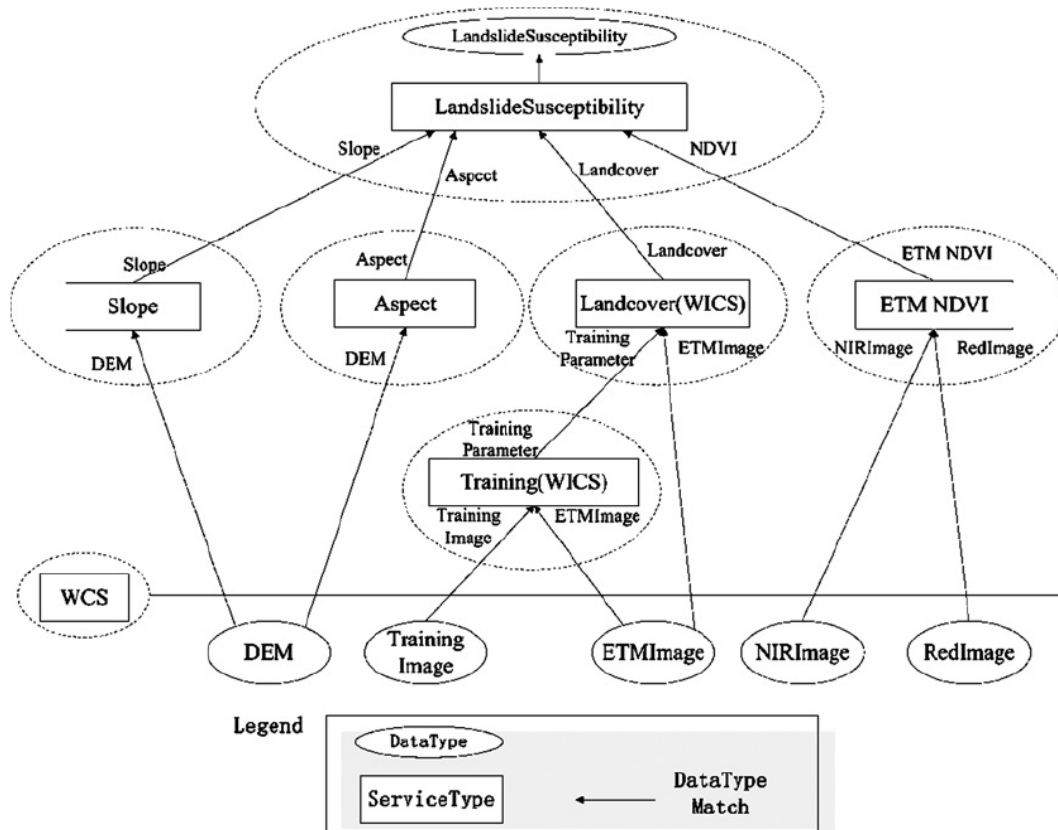
d) Função de execução do encadeamento.

A linguagem OWL-S possui limitações quanto a suporte a tratamento de erros/falhas e de eventos . Estas limitações são bem resolvidas em linguagens de composição de serviços, como por exemplo, BPEL4WS. No sistema foi implementado um conversor OWL-S – BPEL4WS.

Demonstração on-line disponível em <http://www.laits.gmu.edu/geo/nga/index.html>.

5.2. Análise de resultados

O sistema foi testado utilizando o problema de susceptibilidade a deslizamento, descrito na seção 2. O fluxo de dados e serviços envolvidos neste problema é ilustrado na figura 6.



O opção de matching EXACT não resolve a composição devido a necessidade do serviço LandslideSusceptibility de um NDVI (*normalized difference vegetation index*). O serviço ETM NDVI calcula um ETM NDVI a partir das bandas near-infrared e red de uma imagem ETM (imagem a ser classificada para tipo de cobertura de solo). A opção de matching SUBSUME deve então ser escolhida para que o serviço ETM NDVI seja encontrado. O serviço composto pode ser registrado como um novo serviço no catalogo CSW, dispensando a execução de um novo processo de composição quando um nova solicitação de por susceptibilidade a deslizamento for realizada. Alguns fluxos intermediários dentro da composição final também podem ser armazenados e catalogados.

6. Trabalhos relacionados

Trabalhos relacionados:
Srivastava and Koehler
Sirin et al., 2003
Klusck et al., 2005

No trabalho de Sirin et al (2003) o matching é realizado com base no *matching* entre entradas e saídas dos serviços. São considerados tanto aspectos funcionais quanto não funcionais. Os aspectos funcionais estão descritos utilizando a parte service profile da ontologia OWL-S. Quando um *matching* ocorre entre os tipos de entrada e saída descritos no *service profile*, os atributos não-funcionais são utilizados para refinar o resultado.

Este trabalho utiliza uma abordagem similar no matching de entrada e saída, porém as entradas e saídas de serviços geográficos são bastante complexos, apresentando restrições

complexas quanto a formato de dados, projeções, resolução espacial/temporal, etc. O tratamento destas restrições está incorporado no sistema como uma extensão dos atributos não-funcionais.

O projeto GEON (geosciences network) (Jaeger et al., 2005) é um trabalho relacionado na área geoespacial. Neste projeto um serviço composto é obtido manualmente por meio da construção de um workflow na ferramenta Kepler (. Esta ferramenta abstrai os detalhes de baixo nível necessários para execução do workflow e pode usar como base tanto de *grids* quanto *web services*. O uso de uma descrição semântica dos dados propiciaria a este sistema um maior nível de automação e conseqüentemente um menor custo na geração do workflow. O mecanismo para adaptação das entradas e saídas entre os serviços no Kepler é baseado no mapeamento de ontologias e esquemas, enquanto no sistema proposto neste artigo é realizado via XSLT apoiada por uma estrutura RDF mediada, o que o torna mais flexível na ligação do OWL-S com o ambiente de execução. Neste trabalho são utilizadas principalmente ontologias taxonômicas, representadas por classes, porém se pretende no futuro explorar ontologias mais complexas. Muitos trabalhos tratam a composição de Web Services como um problema de geração de plano de execução de Web Services, esta será uma abordagem futura deste trabalho.

7. Conclusões e Trabalhos futuros

Este trabalho apresenta uma abordagem baseada em semântica geoespacial e SOA para composição automática de Web Services geoespaciais. A semântica é formalizada como ontologias geoespaciais empregadas na descrição tanto dos Web Services geoespaciais quanto dos conteúdos de informação geoespaciais. Foram definidos 3 tipos de ontologias: ServiceType, DataType e Associations, as quais são usadas como esquema semântico na arquitetura SOA. A abordagem trata tanto de serviços OGC-complaint quanto não OGC-complaint. Uma implementação integrando os 3 elementos da arquitetura SOA foi realizada. Um OWL-S engine baseado numa OWL-S API foi também implementado e fornece funcionalidades básicas para gerenciamento de OWL-S.

Este trabalho demonstra que ontologias são úteis na transmissão da semântica geoespacial e na construção automática de modelos geoespaciais. Uma estrutura RDF mediada pode ser útil na redução do número de adaptadores necessários aos mapeamentos de esquemas e mensagens dos serviços.

a) A semântica necessita de avanços na automação da composição de serviços – Exemplo: O OGC WCTS (OGC Web Coordinate Transformation Service) realiza operações geométricas que alteram o sistema de coordenadas de referência espacial, sem alterar o conteúdo ou o tema da entrada, daí o tipo da entrada e saída do serviço são idênticos. Este tipo de serviço não será encadeado automaticamente a não ser que seja utilizada a opção de encadeamento RELAXED onde o tipo de saída considerado será um tipo genérico. O encadeamento resultante será ? Incorreto (qual). Novas regras serão acrescentadas ao sistema de inferência para resolver este tipo de problema. Os encadeamentos resultantes obtidos usando a opção RELAXED devem ser observados com cautela, necessitando de uma avaliação por um especialista humano antes que possa ser utilizado.

b) Uma segunda linha que deverá ser explorada no trabalho refere-se ao raciocínio espacial. A lógica de inferência atual está baseada no *matching* semântico sobre ontologias geoespaciais em temas científicos. Uma abordagem mais avançada poderia ser utilizada na restrição dos dados, além de restrições sobre o tempo e espaço, as características espaciais dos dados geoespaciais, tais como suas relações topológicas poderia ser necessária.

O uso de inferência geoespacial na Web Semântica é ainda tópico em início de pesquisa. Neste sistema, regras de inferência serão acrescentadas na base de conhecimento para descrever estas relações (overlaps, within, disjoint, etc...) , os quais serão utilizados no processo de descoberta de dados e serviços durante o encadeamento dos serviços. **TALVEZ UMA ABORDAGEM automatizada de anotação semântica**

como a sugerida por (Eva Klien, A Rule-Based Strategy for the Semantic Annotation of Geodata) possa ser utilizada.

3) Uma terceira linha de pesquisa tratará a incorporação de AI planning (Rao and Su, 2004) na automação da composição.

Referências Bibliográficas

BERMUDEZ, E.L., 2004. *Ontomet: ontology metadata framework*. Ph.D. Dissertation, Drexel University, Philadelphia, USA, 177pp. (Verificar se é necessário)

Cardoso, J., Sheth, A., 2005. Introduction to semantic web services and web process composition. In: Cardoso, J., Sheth, A. (Eds.), First International Workshop on Semantic Web Services and Web Process Composition (SWSWPC 2004). Lecture Notes in Computer

JAEGER, E., ALTINTAS, I., ZHANG, J., LUDA SCHER, B., PENNINGTON, D., MICHENER, W., 2005. A scientific workflow approach to distributed geospatial data processing using web services. In: 17th International Conference on Scientific and Statistical Database Management (SSDBM'05), Santa Barbara, CA, 27–29th June, pp. 87–90.

Outro do Jaeger et al:

The GEON portal: accelerating knowledge discovery in the geosciences

Outros sobre o projeto Kepler:

Kepler User's Guide – Getting Started

SRIVASTAVA, B., KOEHLER, J., 2003. *Web service composition - current solutions and open problems*. In: ICAPS 2003 Workshop on Planning for Web Services, Trento, Italy, pp. 28–35.

RAO, J., SU, X., 2004. A survey of automated web service composition methods. In: Proceedings of the First International Workshop on Semantic Web Services and Web Process Composition (SWSWPC 2004), San Diego, CA, USA, pp. 43–54. (resumo de metodos)

RASKIN, R., PAN, M., 2005. *Knowledge representation in the semantic web for earth and environmental terminology* (SWEET). Computer and Geosciences 31 (9), 1119–1125.

Sirin, E., Hendler, J., Parsia, B., 2003. Semi-automatic composition of web services using semantic descriptions. In: First Workshop on Web Services: Modeling, Architecture and Infrastructure. In conjunction with the Fifth International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2003), Angers, France, 22nd–26th April, pp. 17–24. (+lido) – Mecanismo para seleção de WS baseado em busca em base de conhecimento/linguagem Prolog

Outros do Evren Sirin et al:

Dan Wu, Evren Sirin, Bijan Parsia, James Hendler, and Dana Nau. Automatic web services composition using SHOP2. In *Proceedings of Planning for Web Services Workshop in ICAPS 2003*, Trento, Italy, June 2003. - Composição de WS como construção de plano/ ferramenta SHOP2 de Workflow/Geração de Planos.

Evren Sirin, Bijan Parsia, and James Hendler. Filtering and Selecting Semantic Web Services with Interactive Composition Techniques. *IEEE Intelligent Systems*, 19(4):42-49, 2004.

Tese de Doutorado - Title of dissertation: COMBINING DESCRIPTION LOGIC REASONING WITH AI PLANNING FOR COMPOSITION OF WEB SERVICES
Evren Sirin, Doctor of Philosophy, 2006

SYCARA, K., PAOLUCCI, M., ANKOLEKAR, A., SRINIVASAN, N., 2003. *Automated discovery, interaction and composition of semantic web services. Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, vol. 1(1), December, 27–46. (Procurar).

ZHANG, R., 2004. *Ontology-driven web services composition techniques*. M.S. Thesis, University of Georgia, Georgia, USA, 63pp. (Procurar).

PERCIVALL, G. (Ed.), 2002. The OpenGIS abstract specification, topic 12: OpenGIS service architecture. Version 4.3. OGC 02-112. Open Geospatial Consortium, Inc., 78pp.

VAN DER AALST, W., 2003. *Don't go with the flow: web services composition standards exposed*, *IEEE Intelligent Systems* January/February, pp. 72–76. (Lido)

Outros trabalhos de VAN DER AALST:

Formalismo:

W.M.P. van der Aalst, *Pi calculus versus Petri nets: Let us eat “humble pie” rather than further inflate the “Pi hype”* disponível em <http://is.tm.tue.nl/research/patterns/download/pi-hype.pdf>

Sobre Cálculo PI, Rede de Petri e BPM:

[BPM Theory for Laymen](http://webservices.sys-con.com/read/89786_1.htm) disponível em http://webservices.sys-con.com/read/89786_1.htm

SOBRE Rede de Petri e Web Framework

TIM BERNERS-LEE, WENDY HALL, JAMES A. HENDLER, KIERON O'HARA, NIGEL SHADBOLT, DANIEL J. WEITZNER January 2006 [A framework for web science](http://portal.acm.org/results.cfm?coll=GUIDE&dl=GUIDE&CFID=54500910&CFTOKEN=10961969) **Foundations and Trends in Web Science**, Volume 1 Issue 1 **Publisher:** Now Publishers Inc disponível em <http://portal.acm.org/results.cfm?coll=GUIDE&dl=GUIDE&CFID=54500910&CFTOKEN=10961969> (O código não está correto no portal acm)