

Infra-Estruturas de Dados Espaciais: Potencial para Uso Local

CLODOVEU AUGUSTO DAVIS JÚNIOR
LEONARDO LACERDA ALVES

Palavras-chave

Infra-estruturas de dados espaciais; sistemas de informação geográficos; sistemas distribuídos; arquitetura orientada para serviços; serviços Web.

Resumo

Compartilhar informação geográfica é uma atividade essencial, que vem sendo estudada desde o advento dos sistemas de informação geográficos (SIG), principalmente devido ao custo de levantamento e manutenção da informação. Inicialmente, o compartilhamento dependia da criação e adoção de padrões para transferência de dados, mas as iniciativas de compartilhamento na prática evoluíram gradualmente em direção à criação de clearinghouses. Estes são recursos baseados na Web que centralizam conexões a diferentes fontes de informação, mas são também orientados aos dados. O foco atual em infra-estruturas de dados espaciais muda essa situação, definindo sistemas baseados em uma arquitetura orientada para serviços, o que permite a criação de ambientes compartilhados, distribuídos e interoperáveis através de serviços Web. Este artigo explora, de maneira preliminar, tal arquitetura e seu uso em aplicações geográficas distribuídas, com ênfase no potencial para a criação de serviços locais, propondo também a definição de serviços especializados considerados essenciais para aplicações geográficas em escala urbana.

1. Introdução

O compartilhamento de grandes volumes de informação espacial vem se tornando cada vez mais importante. Sistemas de informação geográficos (SIG) deixaram de ser apenas ferramentas ligadas a projetos para se tornarem gerenciadores de recursos informacionais corporativos. Aspectos sociais da informação geográfica também emergiram como recursos fundamentais para a ação governamental. Com isso, os SIG estão se tornando o núcleo de ambientes computacionais que envolvem grandes quantidades de usuários, espalhados em várias localidades, e acessando grandes volumes de dados [Ins02].

O estabelecimento da localização geográfica como meio de ligação entre conjuntos de dados de origens aparentemente diversas, que é uma das principais promessas originais dos SIG, faz muito mais sentido se considerarmos um ambiente computacional em que os dados são livremente compartilhados de maneira integrada. Não é essa a prática atual. As organizações que têm a intenção de compartilhar dados normalmente se deparam com questões significativas quanto a formatos de codificação e armazenamento, parâmetros de qualidade desses dados, limitações de conteúdo, parâmetros de projeção cartográfica e, até mesmo, estruturas de dados (orientadas a objeto ou orientadas a topologia, por exemplo) [RaWi01]. Uma grande variedade de ferramentas de tradução de

¹ www.geocomm.com

formato de dados tornou-se disponível para resolver parcialmente esses problemas, tanto como parte de pacotes de SIG, quanto desenvolvidas independentemente por usuários (vide, por exemplo, a seção “data translation” do site GeoCommunity¹).

Assim, as comunidades de SIG têm experimentado uma evolução gradual de um passado no qual nenhuma integração era possível, para um presente em que a replicação e a tradução de dados offline constituem o procedimento padrão. Para o futuro, observa-se que as ferramentas comerciais existentes estão ainda distantes da interoperabilidade semântica, mesmo considerando que sua promessa gerou o benefício do aumento de interesse em metadados [FG01] e em ontologias [FoEg+00] por toda a comunidade de usuários de SIG. Mesmo assim, para viabilizar acordos de troca de informação, são necessárias alternativas de desenvolvimento de sistemas em que dados fornecidos por instituições externas possam ser usados diretamente, sem tradução de formato, e sem os atrasos de atualização decorrentes do uso offline.

Este estudo continua o trabalho publicado em [DaAl05] e propõe uma nova arquitetura para o desenvolvimento de aplicações geográficas, na qual dados são providos por diferentes serviços de informação através de redes de computadores, assim formando uma infra-estrutura de dados espaciais (ou SDI, do inglês “Spatial Data Infrastructure”) [PhWi99]. Neste artigo, é proposta a criação de uma SDI local (urbana) como fonte de dados detalhados e especializados sobre uma cidade ou região metropolitana.

Para a SDI, múltiplos provedores de informação, cada qual especialista em um conjunto de dados temáticos ou em dados sobre uma região específica, catalogam seus serviços em um servidor público, de acordo com metadados padronizados. Usuários podem então selecionar os serviços de informação segundo seu interesse e conectar-se a eles através da Internet. Essa abordagem é benéfica primeiramente porque usuários sempre têm acesso à versão mais atual dos dados. Um segundo benefício é a capacidade de manterem-se menores os programas, sem necessidade de muito espaço local de armazenamento de dados um fator importante para aplicações de computação móvel. Além disso, arquiteturas orientadas para serviços promovem maior interoperabilidade de fato, uma vez que as aplicações-cliente não necessitam conhecer detalhes sobre os sistemas que mantêm os dados de seu interesse, inclusive detalhes sobre formatos de armazenamento, estruturas de dados e métodos de acesso. Pretende-se também contribuir com a especificação de serviços de interesse e relevância para usuários urbanos, em contraste com os serviços de maior amplitude que são comuns em iniciativas de desenvolvimento de SDI regionais ou nacionais. Este artigo apresenta algumas alternativas nessa direção.

Na seção 2 deste artigo é explorada a evolução do compartilhamento de dados usando tradução entre formatos de arquivo, passando pelas clearinghouses até chegar às SDI. Na seção 3 apresentam-se conceitos sobre arquiteturas de software orientadas para serviços. Na seção 4, introduzimos uma discussão sobre a funcionalidade básica de uma SDI local. Finalmente, na seção 5, apresentamos conclusões e indicamos trabalhos futuros a partir dos temas apresentados aqui.

2. Dos Padrões de Transferência de Dados e Data Clearinghouses às SDI

A criação de bancos de dados para SIG é reconhecidamente complexa e de custo elevado. No passado, esforços redundantes nesse processo de criação eram comuns: organizações com interesse nas mesmas áreas e, conseqüentemente, potenciais parceiros para compartilhamento de dados básicos, não cooperavam devido às suas diferentes estratégias tecnológicas e realidades diferenciadas quanto a orçamento e timing de projetos. Muitos provedores de dados em potencial não foram tão ágeis quanto seus clientes ao adotar novas tecnologias SIG e, portanto, muita conversão de dados se tornou necessária. Tal

fenômeno facilitou o aparecimento de grande mercado de conversão de dados, no qual empresas privadas convertiam mapas existentes para formatos digitais e solucionavam apenas os casos em que a cartografia básica estava disponível apenas em papel.

Naturalmente, tal nível de redundância mostrou-se incompatível com os orçamentos de alguns projetos, o que resultou em acordos de cooperação que promoveram o desenvolvimento de comunidades de usuários que começaram a interagir para atingir objetivos comuns, tais como a criação de bancos de dados comuns, evitando a redundância de esforços. Um grupo assim existe atualmente em Belo Horizonte (MG): um acordo de cooperação amplo, que envolve 29 diferentes organizações, dentre as quais se incluem universidades, empresas do setor privado e agências de governo municipal, estadual e federal. Esse grupo tem atuado nos últimos treze anos [DaFo05]. Os usuários desse acordo interagem regularmente (a cada duas semanas), formaram grupos temáticos de interesse e, recentemente, reuniram 350 pessoas para um seminário anual de dois dias, no qual todos os projetos em desenvolvimento foram apresentados em sessões de 15 minutos.

Grupos de interesse amplos, como o de Belo Horizonte, exigem elevado esforço no processo de coordenação da obtenção e distribuição de dados, uma vez que, para diferentes tipos de informação, é necessária a disponibilização de metadados e atualização não automática do banco de dados [DaFo05]. Conseqüentemente, tais acordos de cooperação dependem de uma comunicação eficiente e constante para garantir que os requisitos de cada organização sejam atendidos, o que limita seu potencial de crescimento em função do número de participantes envolvidos na manutenção e uso dos dados.

2.1. Padrões de Transferência de Dados

Tais grupos de cooperação normalmente dependem de tradução de dados, uma vez que cada participante pode usar SIG diferente. No passado, muitos esforços concentraram-se no desenvolvimento de um formato neutro, de modo que cada SIG apenas precisasse dispor de conversores de entrada e de saída para esse formato [LiCa+01]. Entretanto, tal abordagem tende a concentrar-se em questões sintáticas apenas, evitando problemas de semântica. Conseqüentemente, múltiplas cópias dos mesmos dados acabam por ser disseminadas entre os parceiros em épocas diferentes, causando graves problemas de sincronização.

Em face dessas dificuldades, nenhum formato tornou-se amplamente aceito, com a possível exceção daqueles que são impostos por lei ou regulamentação governamental, como o SDTS [USGS98] nos EUA. Na prática, formatos de conversão comerciais são usados na maioria das situações, refletindo a influência de determinados pacotes sobre a comunidade de usuários. Em algumas situações, desenvolvedores de software SIG tentaram resolver essa situação através da distribuição de tradutores de/para cada formato padrão de jure para/de cada formato padrão de facto estabelecido pela indústria [LiCa+02], embora isso também não resolva os problemas de incompatibilidade semântica, nem direcione a um novo enfoque em que seja possível o acesso simultâneo online a diversas fontes de dados.

2.2. Clearinghouses de Dados Espaciais

A partir da definição de um padrão de intercâmbio (ou, pelo menos, de alguns padrões de facto), muitas agências nacionais de mapeamento criaram clearinghouses de dados espaciais. Trata-se de um aparato computacional baseado na Internet que facilita o acesso a dados espaciais, pela criação de um local centralizado onde podem ser encontrados dados de diversas fontes diferentes, e onde estão disponíveis serviços complementares, tais como busca, visualização, transferência e manipulação de dados espaciais [CrBr+04]. Clearinghouses permitem que os provedores tornem os recursos informacionais disponíveis conhecidos pelos usuários, fornecendo ainda descrições (metadados) e instruções sobre como acessá-los e usá-los.

Segundo [CrBr+04], há diferentes entendimentos quanto ao conceito de clearinghouse. Mais

recentemente, *clearinghouses* têm sido descritas de forma muito similar ao de um portal Web, ou seja, um local onde diversos serviços de uso comum são oferecidos, ou um concentrador através do qual tais serviços são acessados [Ins02]. A ênfase em serviços é recente, se comparada com definições anteriores, em que *clearinghouses* eram vistas principalmente como uma combinação de ferramentas técnicas, mecanismos de cooperação institucional, e questões comerciais [FG97].

Exemplos de *clearinghouses* nacionais de dados espaciais são: National Spatial Data Clearinghouse (EUA), GIGateway (Reino Unido), Nationaal Clearinghouse Geo-Informatie (Holanda), e Australian Spatial Data Directory (Austrália). Uma pesquisa recente analisou e comparou características de 67 *clearinghouses* nacionais de dados espaciais, juntamente com 13 projetos em vias de implantação [CrBr+04] (nenhuma iniciativa brasileira foi incluída provavelmente porque não existe nenhuma). O estudo percebeu uma crescente insatisfação, com relação às suas respectivas funcionalidades, entre usuários desses serviços [CrBr+04]. Isso claramente assinala a necessidade de mudar o foco do desenvolvimento, de dados para usuários e aplicações, algo que pode ser concebido com base em arquiteturas orientadas para serviço e SDI.

2.3. Infra-estruturas de Dados Espaciais

Segundo Maguire e Longley [MaLo05], a expressão “infra-estrutura de dados espaciais” (ou *spatial data infrastructure*, SDI) foi proposta pelo Mapping Sciences Committee, do U.S. National Research Council, em 1993. Ela foi usada inicialmente para descrever o provimento de acesso padronizado à informação geográfica. Porém, a maior parte das discussões sobre esse tema enfoca particularmente o conteúdo idealizado para uma infra-estrutura de dados espaciais de âmbito nacional (ou NSDI, *national spatial data infrastructure*, exatamente o mesmo acrônimo de uma SDI americana, criada em 1994 e auto-definida como sendo “o conjunto de tecnologias, políticas e pessoas necessárias para promover o compartilhamento de dados geoespaciais em todas as esferas do governo, no setor privado, nas organizações sem fins lucrativos e na comunidade acadêmica”).

Muitas *clearinghouses* evoluíram para o que Masser [Ma99] chama de “primeira geração de SDI nacionais”, mesmo observando que o termo “infra-estrutura” implica na existência de alguma coordenação quanto à formulação de políticas e implementação. Exemplos de SDI incluem a SDI da Austrália, a Geospatial Data Infrastructure do Canadá, o Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG) de Portugal, a National Infrastructure for Land Information Systems da Malásia, e a NSDI dos Estados Unidos.

A primeira geração de SDI volta sua atenção para a garantia de um escopo temático amplo, o que está de acordo com objetivos que permitem uma analogia entre SDI e outros tipos de infra-estrutura: fomentar o desenvolvimento econômico pela garantia de acesso a serviços e produtos disponíveis publicamente e de interesse para um grupo significativo de pessoas. Observe-se que a disponibilidade pública de serviços e produtos não significa que sejam custeados pelo governo. Tais serviços podem ser oferecidos tanto por agências do governo, quanto por empresas privadas, ou até mesmo por cidadãos, e mantidos através da cobrança de taxas de acesso, por fomento governamental, ou por empresas, dentre outras modalidades de financiamento. Além disso, embora SDI sejam vistas como condutoras de desenvolvimento econômico, algumas iniciativas analisadas por Masser [Ma99] não garantem acesso ao setor privado, ou o fazem pela cobrança de taxas para que exista um retorno do investimento realizado para criação e disseminação dos dados e serviços. Por outro lado, há uma exigência legal nos EUA para que os dados de suas agências sejam disponibilizados ao público de forma essencialmente gratuita.

A primeira geração de SDI contribuiu com muitas lições. Maguire e Longley [MaLo05], por

exemplo, observam que nos EUA o foco foi predominantemente técnico, pelo resultado do controle centralizado do United States Geological Service (USGS). Isso resultou em carência de atenção sobre aplicações potenciais em governança e política, o que contribuiu para um nível insatisfatório de aceitação entre diferentes agências do governo e no setor privado. Masser [Ma99] também observa que isso ocorreu em outros SDI nacionais tratados em seu trabalho, e chama a atenção para o fato de que, no futuro, “consciência, não somente dentro dos governos, mas também do público em geral, será provavelmente o fator crítico no sucesso dessas estratégias”.

A evolução necessária da primeira para a segunda geração dos SDI nacionais foi possível pela rápida evolução, nos últimos anos, dos sistemas de informação baseados na Web. Nos EUA, por exemplo, o NSDI passou por uma revisão em 2002, no programa federal de governo eletrônico. A partir daí, uma nova iniciativa, chamada Geospatial One-Stop (GOS), foi criada, com o objetivo de prover acesso amplo à informação geográfica através de um portal Web (<http://www.geo-one-stop.gov>). Essa iniciativa inaugurou o atual conceito de geoportais [MaLo05, Ta05].

2.4. GeoPortais

O termo **portal** tem sido amplamente usado nos últimos anos com o sentido geral de um “ponto de entrada” para informação e serviços disponíveis na Web, ou seja, um Web site através do qual muitos outros sites podem ser alcançados. Portais são, numa definição genérica, coleções organizadas de referências a itens de interesse de seus usuários. Aplicando esse conceito à geoinformação, um geoportal é, portanto, um “Web site que constitui um ponto de entrada para conteúdo geográfico disponível na Web” [Ta05]. A funcionalidade esperada de um geoportal inclui (1) a descoberta de fontes de informação e conteúdo, e (2) acesso on-line a aplicações.

Alguns exemplos de geoportais existentes atualmente são o já citado Geospatial One-Stop, dos EUA, o National Geospatial Data Framework [BeLo+05] e o MultiAgency Geographic Information for the Countryside (MAGIC) [AsEv+05], do Reino Unido, e o EU-Geoportal, um componente do projeto Infrastructure for Spatial Information in Europe (INSPIRE) [Ins02].

É importante estabelecer uma distinção entre os conceitos de SDI e geoportal. Uma SDI pode ser entendida como a confluência entre diversos (em potencial) provedores de dados geográficos, cada qual

fornecendo acesso a dados através de serviços Web específicos, aplicações cujas interfaces e conexões são expressas em XML e podem ser encontrados através de mensagens em XML [W3C02]. Para escolher quais dados e, conseqüentemente, quais serviços preenchem suas necessidades, o usuário ou cliente realiza buscas através de um repositório de metadados sobre informações e serviços geográficos disponíveis. Naturalmente, os provedores de tais informações e serviços devem ter, previamente, cadastrado os metadados nesse repositório. No caso de um usuário humano, buscas são realizadas interativamente, através de um geoportal, possivelmente usando interfaces de busca e outras ferramentas interativas. Por outro lado, no caso de um

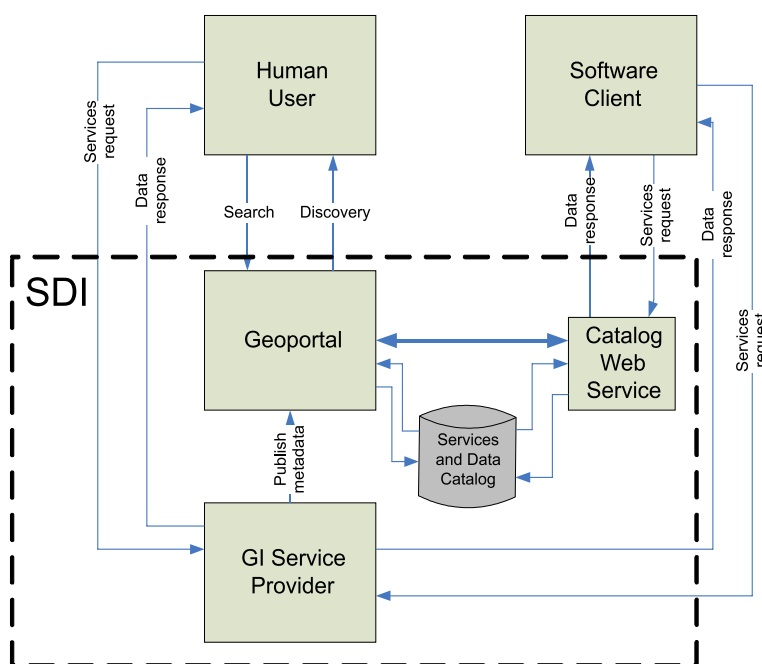


Figura 1 - Geoportais e SDI

software-cliente, a busca pode realizar-se através de um Web service de catálogo. Logo, é possível considerar que geoportais são compo-nentes de uma SDI (Figura 1).

O uso de serviços Web para garantir acesso direto aos dados é a mais importante diferença entre SDI de primeira e segunda geração. As possibilidades do uso de serviços que encapsulem dados de múltiplas fontes e que, conseqüentemente, favoreçam a interoperabilidade, levaram Bernard e Craglia [BeCr05] a propor uma nova tradução para a sigla SDI: Service-Driven Infrastructures ou infra-estruturas orientadas a serviços.

Neste trabalho, nossa intenção é melhor explorar o conceito de SDI para que seja possível propor serviços específicos para aplicações e usuários locais. A intenção é definir serviços básicos e projetar recursos quem implementem mecanismos de composição para gerar serviços mais complexos. Todavia, antes de discutir esses serviços, serão apresentados os conceitos de arquiteturas orientadas a serviços e serviços Web na seção 3, incluindo a visão do Open Geospatial Consortium com relação a essas arquiteturas (Percivall 2003). De fato, uma arquitetura orientada para serviços está sendo usada em um experimento de interoperabilidade em Web semântica geospacial da OGC, lançado em abril de 2005 [LiPe+05].

3. Arquiteturas de Sistemas Distribuídos Baseados em Serviços

O desenvolvimento de software baseado em componentes não é recente, mas tem sido alvo de muito interesse atualmente, devido ao seu potencial de reduzir custos e tempo de desenvolvimento e, especialmente, devido ao interesse na instalação e atualização de sistemas distribuídos. Uma das abordagens mais interessantes nessa área é a de arquiteturas orientadas para serviço (do inglês, service-oriented architecture SOA) [PaGe03].

Serviços, acompanhados de suas descrições e operações fundamentais, tais como descoberta, seleção e chamada, constituem a base da SOA. A arquitetura suporta sistemas grandes com compartilhamento de dados e de capacidade de processamento, através da alocação distribuída de aplicações e recursos computacionais através de redes de computadores. Em SOA, serviços são auto-contidos, o que significa que informações que descrevem os serviços, incluindo suas funcionalidades, interface dos métodos, comportamento, e qualidade, podem ser obtidas do próprio serviço, através de um conjunto padronizado de métodos. Serviços podem ser primários, se programados em uma linguagem de programação qualquer e independentes de outros serviços, ou compostos, se parte do seu processamento depender de outros serviços [CuKh+03].

Provedores, integradores e usuários de serviço são os atores que participam desse cenário. Provedores implementam e publicam serviços, enquanto integradores projetam regras de composição baseadas em serviços primários. Os serviços disponíveis devem ser listados em diretórios para que sirvam como referência aos usuários, e para que sejam localizados (ou “descobertos”). Os usuários podem ser humanos ou clientes de software. Ambos têm a necessidade de acessar os serviços através de redes de comunicação. Já o compartilhamento de recursos computacionais, possível através da arquitetura orientada para serviços, permite o uso de “clientes magros”, dispositivos que normalmente têm restrições na capacidade de armazenamento e processamento, como os telefones celulares [DaAl05].

3.1. Serviços Web

Serviços Web, ou Web services, constituem uma classe particular que usa padrões abertos adotados na Internet, tais como o Hypertext Transfer Protocol (HTTP) para conexão e comunicação, Uniform Resource Identifier (URI) para identificação, eXtensible Markup Language (XML) para especificação de conteúdo, Web Services Definition Language (WSDL) para descrições de serviço, e

Universal Description, Discovery and Integration Protocol (UDDI) para implementar serviços de diretório [W3C02, FeFa03].

Assim, enquanto serviços em geral provêm interoperabilidade entre diferentes componentes de software, serviços Web avançam um passo ao facilitar o intercâmbio inter-institucional de dados e serviços através da Internet, e ao promover o compartilhamento de recursos entre diversas fontes de dados.

As principais operações para serviços Web são publicação, localização, seleção, chamada e composição de serviço.

A operação de publicação é realizada por um provedor de serviço, e consiste na criação de uma descrição em WSDL e sua publicação em canais de localização ou descoberta, na Web. Esses canais usam o protocolo UDDI para registrar o serviço, com metadados através dos quais usuários podem localizá-lo em catálogos ou diretórios.

Os usuários podem então selecioná-lo usando o UDDI, pela requisição do endereço em URI do serviço web e do seu arquivo de descrição em WSDL. Através da URI será possível usar o serviço, mas é em sua descrição em WSDL onde o cliente pode conhecer como usá-lo e quais respostas obterá.

A chamada ao serviço, por sua vez, se dá após o conhecimento sobre os métodos publicamente disponíveis, descritos no arquivo em WSDL, e o estabelecimento de uma comunicação direta entre o software-cliente e o provedor do serviço propriamente dito, o que se dá pelo protocolo HTTP, quando uma requisição pode ocorrer. Uma requisição é constituída pela chamada de um método com possível passagem de parâmetros ao mesmo, todos empacotados em uma mensagem SOAP (Simple Object Access Protocol) codificada em XML. A chamada normalmente termina com a recepção de uma segunda mensagem, também codificada em XML, com o resultado do processamento do serviço web. Todo o processo até então é ilustrado na figura 2.

Finalmente, um conjunto de serviços mais complexos pode ser criado pela composição (ou encadeamento) de serviços primários. Composições são projetadas principalmente por integradores de serviço. Nesse caso, usuários acessam serviços compostos da mesma forma que os primários, mas diferentes resultados são possíveis. Assim, diversas alternativas em termos de desempenho, custos ou qualidade tornam-se possíveis através da configuração apropriada de cadeias de serviços Web [Al03].

3.2. Serviços Web do OGC

O Open Geospatial Consortium (OGC) propôs uma arquitetura para distribuição de dados e funcionalidades geográficas sobre a Internet, assim liderando o processo de padronização de formatos de dados, métodos e especificações de interfaces. Essa arquitetura é chamada OpenGIS Services Framework [Pe03].

A arquitetura OpenGIS Services Framework não usa necessariamente os padrões usuais para serviços Web, tais como SOAP e WSDL, embora a adoção desses padrões seja desejável para garantir interoperabilidade entre serviços Web comuns e os padronizados pelo OGC. Ao invés da UDDI, por exemplo, a OGC propõe o uso de serviços de catálogo para a implementação das operações de publicação, localização e seleção. Entretanto, serviços Web OGC têm uma interface particular para chamadas, sem uso de descritores de serviço (em WSDL, por exemplo). Essa alternativa impõe restrições para sua indexação e busca. Além disso, os serviços OGC usam Geographic Markup Language (GML) para codificar e transmitir objetos, enquanto os Web comuns usam XML genérico (embora isso não constitua uma diferença significativa, já que a GML é baseada em XML). Assim, as diferenças mais significativas entre serviços OGC e Web especificados pela W3C precisam ser sanadas tão logo seja possível, especialmente para incentivar a adoção dos padrões propostos de uma forma mais universal [So04].

Alguns dos serviços primitivos, especificados pela OGC, são apresentados abaixo [DaBo+05]:

? Web Feature Service: provê uma interface para inserção, seleção, atualização e remoção de

feições geográficas (objetos).

- ? *Web Coverage Service*: provê acesso a geocampos, da mesma maneira como no *Web Feature Service*. Entretanto, este serviço não retorna imagens dos geocampos, mas sim detalhes semânticos sobre os mesmos.
- ? *Web Gazetteer Service*: estende o *Web Feature Service* com recursos para a implementação de interfaces para gazetteers [SoDa+05]. Este serviço ainda está em discussão pela OGC.
- ? *Web Registry Service* e *OpenGIS Catalog Service (OCS)*: implementam uma funcionalidade operacional similar ao UDDI.
- ? *Web Coordinate Transformation Service*: provê algoritmos que convertem coordenadas de objetos espaciais entre diferentes sistemas de referência espacial.
- ? *Web Map Service*: um serviço para produção de mapas on-line, para que sejam visualizados diretamente na Web ou em aplicativos gráficos genéricos. Nesse serviço, os mapas são renderizações (apresentações) da realidade, e não incluem, portanto, o dado geográfico atual, a partir do qual o mapa foi criado.
- ? *Web Terrain Service*: similar ao *Web Map Service*, mas destinado à visualização tridimensional de superfícies. Ambos podem produzir apresentações em formatos de imagem ou no formato SVG (Scalable Vector Graphics), que é vetorial.

Os serviços OGC também podem ser combinados. Um tipo especial de serviços OGC, o *Web Notification Service* (Serviço de Notificação Web), pode enviar notificações de atualização para clientes registrados que participam de uma cadeia na qual algum serviço será alterado. Interfaces de interoperabilidade também estão sendo desenvolvidas pela OGC para redes de sensores, sob nomes tais como *Sensor Collection Service* e *Sensor Planning Service*. Isto demonstra o grau de comprometimento

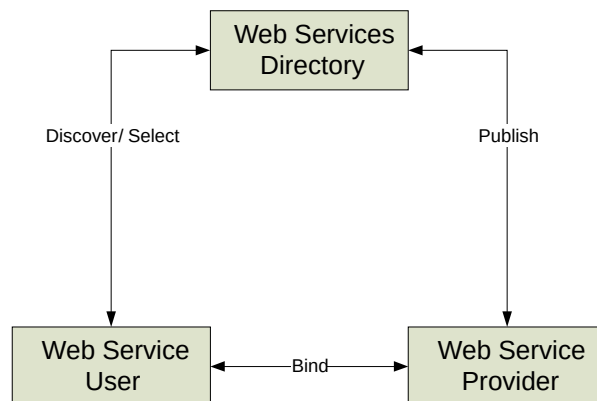


Figura 2 - Operações de serviços Web

da OGC com arquiteturas orientadas para serviço com propósitos de interoperabilidade, que historicamente representam a essência de seus intentos.

Uma arquitetura assim aberta e distribuída encontrará seus principais usos em situações muito parecidas àquelas apresentadas nas discussões sobre SDI. Sumarizando nossos argumentos anteriores, as SDI devem ser distribuídas, suportar múltiplas aplicações, clientes de diversos tipos, inúmeras fontes de dados, múltiplos grupos para manutenção e atualização, todos formando um ambiente computacional heterogêneo. As SDI também não devem impor a adoção de produtos específicos por parte de seus participantes, mas devem, ao contrário, prover uma visão arquitetural e determinar o conjunto mínimo de padrões necessários para que exista interoperabilidade. Além disso, esses padrões precisam ser aceitos

tão amplamente quanto possível, e os padrões de Internet típicos, como aqueles mencionados anteriormente, atendem a tal requisito.

Partindo de uma arquitetura orientada para serviços, e considerando as necessidades de infra-estruturas de dados espaciais, a próxima seção propõe um conjunto de serviços que devem estar disponíveis para SDI locais, considerando características particulares do espaço urbano e prováveis demandas de usuários potenciais de SDI locais.

4. O Projeto de uma SDI Local

Como já mencionado, a maior parte das SDI reflete as necessidades de agências nacionais [Ma99, CrBr+04] e abrange grandes volumes de dados sobre um número limitado de assuntos, normalmente em escalas regionais e nacionais.

Em contrapartida, a riqueza de aplicações locais de SIG e a diversidade de interesses entre seus usuários impõem novas necessidades para as SDI. Assim, iniciativas tais como serviços baseados em localização, planejamento de rotas e outros podem se beneficiar de uma SDI local orientada para serviços Web. Por outro lado, um conjunto tão amplo de dados dificilmente será sustentado apenas pela administração municipal, já que muitos dos itens necessários estão na área de interesse de outros atores, como empresas

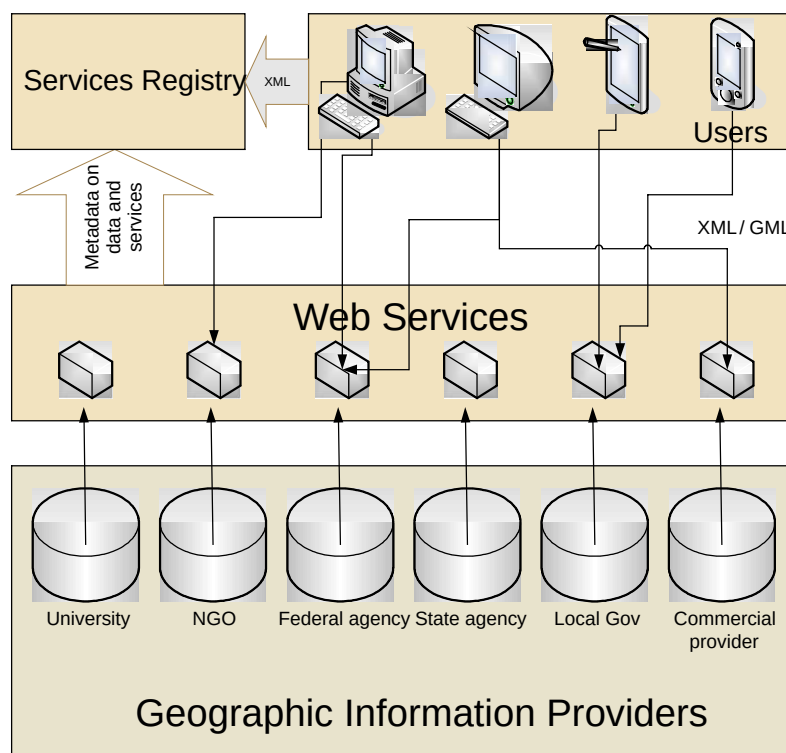


Figura 3 - Uma SDI local

concessionárias de serviços públicos, agências estaduais e federais, associações de classe, ONGs e outras instituições (Figura 3).

Observamos que uma arquitetura orientada para serviços estabelece clara distinção entre SDI e SIG local. Em nossa opinião, o conceito de SDI reflete a existência de dados de uso geral livremente disponibilizados, enquanto um SIG é normalmente construído em organização segundo objetivo, ou conjunto de objetivos, muito bem definido. Porém, na medida em que os objetivos tornam-se mais abrangentes, também as aplicações e dados tornam-se abrangentes, o que produz alguma confusão conceitual. Por exemplo, Jacoby, Smith et al [JaSm+02] definem que “(...) muitas cidades ou governos locais têm estabelecido suas próprias SDI,

embora estas sejam normalmente denominadas sistemas de informação geográficos”. De fato, um SIG local pode ou não servir como base para uma SDI local, dependendo de como (quão livremente, quão bem) a informação é distribuída (ou não) pelo governo. Por outro lado, mesmo com informação livremente disponibilizada e conteúdo muito abrangente, um SIG direcionado apenas para questões administrativas pode não preencher os requisitos mínimos para ser classificado como uma SDI.

Dessa forma, nossa discussão começa na definição dos principais requisitos de uma SDI local, o que precisa ser feito através da composição de conjunto de serviços fundamentais. Estes serviços são discutidos a seguir, mas pensamos que uma SDI local não deve limitar-se a somente estes:

- ? **Mapa base:** serviço que provê acesso ao mapa básico da cidade, com nomes de ruas, bairros, principais pontos de referência e outras informações, apresentadas preferencialmente através de imagens de alta resolução. A interpretação e o reconhecimento do espaço urbano em tais imagens são bastante intuitivos e, portanto, esse recurso é fundamental para a popularização da informação geoespacial (considere-se, por exemplo, o impacto recente e potencial do serviço Google Earth). O resultado do serviço, por conseguinte, é a apresentação do mapa por meio de um software cliente, que seria responsável por adaptar a visualização segundo seus próprios parâmetros, bem como por se adaptar ao dispositivo de visualização ou impressão em uso. No último caso, uma aplicação cliente para esse serviço pode transformar dados de GML para SVG, por exemplo, usando a tecnologia XSLT [GuZh+03, MaKu+04].
- ? **Localização pessoal:** serviço capaz de prover coordenadas geográficas a partir de diferentes tipos de informação, baseado na localização de cliente móvel (endereços próximos, nomes de ruas concorrentes, nomes de lugares, ou identificação da Estação Rádio Base mais próxima), retornando coordenadas que poderão ser usadas em outros serviços de maneira precisa (vide “Emergência”, adiante). O resultado também pode trazer um indicador sobre sua precisão ou confiabilidade [DaFo+03].
- ? **Geocodificação/reconhecimento e localização de endereços:** constitui serviço essencial, uma vez que endereços são a mais importante forma de localização espacial em áreas urbanas. Ao invés de simplesmente associar uma coordenada geográfica aos endereços e pontos de referência da região, deve ser capaz de localizar um ponto através do endereço, o qual pode ser incompleto ou parcialmente incorreto, associando ao serviço de geocodificação as funções de um gazetteer [DaFo+03, So05, SoDa+05].
- ? **Serviços básicos de roteamento:** deve ser capaz de criar descrição ou mapa de uma rota entre um endereço e outro, e se adapta ao meio pelo qual o itinerário será percorrido como, por exemplo, através de veículo próprio, transporte público, a pé ou uma combinação desses.
- ? **Sistema público de transporte:** o serviço provê direções para o acesso mais próximo aos meios de transporte público, que inclui ônibus, estações de metrô, táxis e até mesmo locação de veículos. Mas também os integra e permite a combinação dos diferentes meios de transporte para itinerário definido pelo cliente.
- ? **Serviços públicos:** responsável por localização de escritórios de agências públicas, serviços de saúde, correios, etc.
- ? **Serviços privados:** responsável por localização de atividades comerciais, como lojas, restaurantes, hotéis, etc. Se reunido a outros, pode levar a um serviço de “assistência ao visitante/turista”.
- ? **Emergência:** responsável por apresentar detalhes sobre o que fazer em situações de

- emergência, o que inclui a localização do serviço de saúde mais próximo e o caminho para ele.
- ? Auto-seleção de serviços de roteamento: responsável por localizar e/ou selecionar dinamicamente serviços de roteamento de outras fontes de dados, como de outras cidades e até estados, para a produção de rotas inter-municipais. Consiste em um componente capaz de explorar os catálogos de serviços e localizar aqueles que correspondam à região externa de interesse do cliente.

Tais serviços diferem daqueles propostos em SDI nacionais, uma vez que requerem mais detalhes que simplesmente dados básicos, assim como acesso a diferentes fontes de dados, mantidas por vários provedores. Além disso, tais serviços adaptam-se facilmente a clientes móveis, como telefones celulares, o que torna seu uso mais abrangente. De fato, uma SDI local constitui passo significativo em direção à proposta de Egenhofer [Eg99] para o desenvolvimento de dispositivos de informação espacial.

Outro grupo de serviços que poderiam se incorporar a SDIs locais é o acesso público a informação espacial do governo, como cadastro urbano, registro de propriedade, atividades públicas e controle ambiental. Através deles é possível intensificar a participação dos cidadãos na administração pública e obter resultados positivos em atividades tais como de proteção ambiental [Gh01].

Finalmente, essa arquitetura orientada para serviços pode desenvolver-se de acordo com as especificações da OGC para serviços Web, mas com interfaces ajustadas a aplicações urbanas e ao uso de dados mais detalhados. A interoperabilidade e interconexão de diferentes serviços da SDI local mostra-se interessante nesta pesquisa [EiLu+03, GrGo+05], uma vez que facilitam o desenvolvimento de serviços mais complexos a partir dos mais simples, e permitem o desenvolvimento de SDI regionais e nacionais a partir dos SDI locais [RaWi+00, RaWi01], possivelmente utilizando-se de técnicas de múltiplas representações em SIG [DaLa99]. Outro benefício potencial é integrar SDI e SIG em aplicações não-geográficas via serviços Web, o que se torna possível através da introdução dos atuais padrões da World-Wide Web Consortium (incluindo SOAP e WSDL) aos serviços Web definidos pela OGC [LiPe+05, So04].

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

O projeto de um protótipo de SDI é necessário e objetiva assegurar condições para implementar e testar muitas idéias e conceitos aqui apresentados, e avaliar outros aspectos como aplicabilidade, desempenho, consumo de recursos computacionais e facilidade de disseminação, através da implementação de serviços Web para localização de endereços, geocodificação e roteamento, a partir dos quais serviços mais complexos e outras aplicações podem ser implementados.

Constituem questões importantes com relação às SDI locais (1) desenvolver uma melhor compreensão da abordagem SDI, incluindo seus requisitos por recursos computacionais; (2) desenvolver uma metodologia para o projeto e desenvolvimento de serviços Web conectados à SDI; (3) projetar meios para publicação de metadados sobre serviços; e (4) estudar as possibilidades arquiteturais para serviços Web compostos com foco em gerenciamento distribuído de dados e processamento distribuído.

O último desses objetivos proverá um framework interessante para aplicações móveis em SIG, onde o conhecimento geográfico local (urbano) é indispensável. Questões importantes, tais como privacidade e segurança, serão consideradas nesta pesquisa, e nosso instrumento de testes abrangerá dados e serviços de diferentes organizações, participantes de um acordo de cooperação existente na cidade de Belo Horizonte para intercâmbio de informação.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece à Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (PRODABEL), onde as idéias iniciais deste trabalho foram concebidas, e ao International Institute for Geo-

Information Science and Earth Observation (ITC), de Enschede (Holanda), por ter possibilitado sua participação no First Research Workshop on Cross-Learning Between Spatial Data Infrastructures and Information Infrastructures, em 2005.

O segundo autor é bolsista de mestrado junto à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), cujo suporte agradece.

Keywords:

Spatial data infrastructures; geographic information systems; distributed systems; service-oriented architecture; Web services

Abstract:

Sharing geographic information is an essential activity which has been sought since the early days of GIS, mostly due to the cost of information collection and maintenance. Having once depended on the establishment of data transfer standards, sharing initiatives gradually evolved towards the creation of clearinghouses, Web resources that centralize links to various GI sources, but are still data-oriented. The current focus on spatial data infrastructures changes that, by establishing a service-oriented view, thus allowing for the creation of shared, distributed, and interoperable environments through Web services. This paper explores, in a preliminary fashion, such an architecture as applied to distributed geographic applications, focusing on the potential for local services and local uses, and proposing specialized services deemed essential for urban-scale applications.

Referências

- [Al03] Alameh, N. Chaining geographic information web services. IEEE Internet Computing, 7(5):2229, 2003.*
- [AsEv+05] Askew, D., S. Evans, et al. (2005). "MAGIC: a geoportal for the English countryside." Computers, Environment and Urban Systems 29(1): 71-85.*
- [BeLo+05] Beaumont, P., P. A. Longley, et al. (2005). "Geographic information portals - a UK perspective." Computers, Environment and Urban Systems 29(1): 49-69.*
- [BeCr05] Bernard, L. and M. Craglia (2005). SDI - From Spatial Data Infrastructure to Service Driven Infrastructure. Research Workshop on Cross-Learning Between Spatial Data Infrastructures and Information Infrastructures, Enschede, The Netherlands.*
- [CrBr+04] Crompvoets, J., A. Bregt, et al. (2004). "Assessing the worldwide developments of national spatial data clearinghouses." International Journal of Geographic Information Science 18(7): 665-689.*
- [CuKh+03] Curbera, F., R. Khalaf, et al. (2003). "The next step in Web services." Communications of the ACM 46(10): 29-34.*
- [DaAl05] Davis Jr, Clodoveu Augusto; Alves, Leonardo Lacerda. Local Spatial Data Infrastructures Based on a Service-Oriented Architecture. Brazilian Symposium on Geoinformatics. Proceedings of, p. 30-45, 2005.*
- [DaBo+05] Davis Jr, C. A., K. A. V. Borges, et al. (2005). O Open Geospatial Consortium. Bancos de Dados Geográficos. M. A. Casanova, G. Câmara, C. A. Davis Jr, L. Vinhas and G. R. d. Queiroz. Curitiba (PR), Editora MundoGEO: 379-395.*
- [DaFo+03] Davis Jr, C. A., F. T. Fonseca, et al. (2003). A flexible addressing system for approximate urban geocoding. V Brazilian Symposium on GeoInformatics (GeoInfo 2003), Campos do Jordão (SP).*

- [DaLa99] Davis Jr, C. A. and A. H. F. Laender (1999). *Multiple Representations in GIS: materialization through map generalization, geometric, and spatial analysis operators*. 7th International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM GIS), Kansas City, MO.
- [DaFo05] Davis Jr, C. A. and F. T. Fonseca (2006). "Considerations from the Development of a Local Spatial Data Infrastructure." *Information Technology for Development* (to appear).
- [Eg99] Egenhofer, M. (1999). *Spatial information appliances: a next generation of geographic information systems*. I Brazilian Symposium on GeoInformatics (GeoInfo 1999), Campinas (SP).
- [EiLu+03] Einspanier, U., M. Lutz, et al. (2003). *Towards a Process Model for GI Service Composition*. GI-Tage 2003, Münster, Germany.
- [FeFa03] Ferris, C. and J. Farrell (2003). "What Are Web Services?" *Communications of the ACM* 46(6): 31.
- [FG97] FGDC (1997). *Metadata to Clearinghouse Hands-On Tutorial*. Washington, DC, Federal Geographic Data Committee.
- [FG01] FGDC (2001). *Content Standard for Digital Geospatial Metadata Workbook*. Reston, VA, Federal Geographic Data Committee.
- [FoEg+00] Fonseca, F., M. Egenhofer, et al. (2000). *Ontologias e Interoperabilidade Semântica entre SIGs*. II Workshop Brasileiro de GeoInformática (GeoInfo 2000), São Paulo (SP).
- [Gh01] Ghose, R. *Use of information technology for community empowerment: transforming geographic information systems into community information systems*. *Transactions in GIS*, 2(5):141163, January 2001.
- [GrGo+05] Granell, C., M. Gould, et al. (2005). *Service Composition for SDIs: integrated components creation*. 2nd International Workshop on Geographic Information Management (GIM'05), Copenhagen, Denmark.
- [GuZh+03] Guo, Z., S. Zhou, et al. (2003). *G2ST: A novel method to transform GML to SVG*. 11th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM GIS), New Orleans (LA).
- [Ins02] INSPIRE Architecture and Standards Working Group (2002). *INSPIRE Architecture and Standards Position Paper*. Brussels, Commission of the European Communities.
- [JaSm+02] Jacoby, S., J. Smith, et al. (2002). "Developing a common spatial data infrastructure between State and Local Government -- an Australian case study." *International Journal of Geographic Information Science* 16(4): 305-322.
- [LiPe+05] Lieberman, Pehle et al. (2005) *Semantic Evolution of Geospatial Web Services*. W3C Workshop on Frameworks for Semantic Web Services. Innsbruck, Austria, The World-Wide Web Consortium.
- [LiCa+01] Lima, P., G. Câmara, et al. (2001). *Intercâmbio de Dados Geográficos: Modelos, Formatos e Conversores*. III Workshop Brasileiro de GeoInformática (GeoInfo 2001), Rio de Janeiro (RJ).
- [LiCa+02] Lima, P., G. Câmara, et al. (2002). *GeoBR: Intercâmbio Sintático e Semântico de Dados Espaciais*. IV Brazilian Symposium on GeoInformatics (GeoInfo 2002), Caxambu (MG).
- [MaLo05] Maguire, D. J. and P. A. Longley (2005). "The emergence of geoportals and their role in spatial data infrastructures." *Computers, Environment and Urban Systems* 29(1): 3.
- [Ma99] Masser, I. (1999). "All shapes and sizes: the first generation of national spatial data infrastructures." *International Journal of Geographic Information Science* 13(1): 67-84.
- [MaKu+04] Mathiak, B., A. Kupfer, et al. (2004). *Using XML languages for modeling and Web-visualization of geographical legacy data*. VI Brazilian Symposium on GeoInformatics (GeoInfo 2004), Campos do Jordão (SP).
- [PaGe03] Papazoglou, M. P. and D. Georgakopoulos (2003). "Service-Oriented Computing." *Communications of the ACM* 46(10): 25-28.
- [Pe03] Percivall, G. e. (2003). *OpenGIS Reference Model*, Open Geospatial Consortium, Inc.
- [PhWi99] Phillips, A., I. Williamson, et al. (1999). "Spatial Data Infrastructure concepts." *The Australian*

Surveyor 44(1): 20-28.

[RaWi01] Rajabifard, A. and I. P. Williamson (2001). *Spatial Data Infrastructures: Concept, Hierarchy, and Future Directions*. GEOMATICS'80, Tehran, Iran.

[RaWi+00] Rajabifard, A., I. P. Williamson, et al. (2000). *From Local to Global SDI Initiatives: a pyramid of building blocks*. 4th Global Spatial Data Infrastructure Conference, Cape Town, South Africa.

[So04] Sonnet, J. (2004). *OWS 2 Common Architecture: WSDL SOAP UDDI*, Open Geospatial Consortium, Inc.

[So05] Souza, L. A. (2005). *Locus: Um Sistema de Localização Geográfica através de Referências Espaciais Indiretas*. Departamento de Ciência da Computação. Belo Horizonte (MG), Universidade Federal de Minas Gerais.

[SoDa+05] Souza, L. A., C. A. Davis Jr, et al. (2005). *The Role of Gazetteers in Geographic Knowledge Discovery on the Web*. 3rd Latin American Web Congress (LA Web 2005), Buenos Aires, Argentina.

[Ta05] Tait, M. G. (2005). "Implementing geoportals: applications of distributed GIS." *Computers, Environment and Urban Systems* 29(1): 33-47.

[USGS98] United States Geological Service (USGS). *Spatial Data Transfer Standard*. Rolla, MO, 1998.

[W3C02] W3C Web Services Architecture Working Group (2002). *Web Services Architecture Requirements*, W3C Working Draft, World-Wide Web Consortium.

Sobre os Autores

Clodoveu Augusto Davis Júnior

Professor do Instituto de Informática da PUC Minas

Doutor em Ciência da Computação - UFMG (2000)

Mestre em Ciência da Computação - UFMG (1992)

Engenheiro Civil - UFMG (1985)

Leonardo Lacerda Alves

Mestrando em Informática - PUC Minas