



Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Informática

Graduação em Ciência da Computação

Normalização de ontologias ALC para o uso com o LeanCop

Adriano Silva Tavares de Melo

Trabalho de Graduação

Recife
11 de julho de 2011

Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Informática

Adriano Silva Tavares de Melo

Normalização de ontologias ALC para o uso com o LeanCop

Trabalho apresentado ao Programa de Graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: *Frederico Freitas*

Recife
11 de julho de 2011

*Eu dedico esse trabalho a minha mãe, namorada,
familiares e amigos.*

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiro a minha mãe que me deu condições de sair de minha cidade natal para fazer uma graduação, mãe, amo-te!

<DIGITE AQUI A CITAÇÃO>
—<AUTOR> (<NOTA>)

Resumo

A World Wide Web revolucionou a comunicação entre as pessoas em todo o mundo. Com ela, o custo de enviar uma informação de qualquer lugar do mundo para qualquer lugar do mundo foi reduzida a praticamente a zero. Essa facilidade de acesso a informação global fez com que ela crescesse de forma exponencial.

Palavras-chave: método de conexões, lógica de descrição, normalização

Abstract

Keywords: <DIGITE AS PALAVRAS-CHAVE AQUI>

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Web Semântica	1
1.1.1	Aplicações	2
1.1.1.1	Gerenciamento de Conhecimento	2
1.1.1.2	Comércio eletrônico Business to Consumer (B2C)	2
1.1.1.3	Comércio eletrônico Business to Business (B2B) e agentes pessoais	2
1.1.2	Tecnologias	3
1.1.2.1	Metadados Explícitos	3
1.1.2.2	Ontologias	4
1.1.2.3	Lógica	5
1.1.2.4	Agentes	5
1.2	Organização da Dissertação	5
2	Lógica de Descrição ALC	7
2.1	Sintaxe da Lógica de Descrição	7
2.2	OWL: Web Ontology Language	8
2.2.1	OWL Full	9
2.2.2	OWL DL	9
2.2.3	OWL Lite	10
3	Normalização para o método de conexões	11
3.1	Tradução de ontologias ALC para forma normal disjuntiva	11
4	LeanCop	13
4.1	Definition 1 (First-order logic syntax).	13
5	Conclusão	15
5.1	Definition 1 (First-order logic syntax).	15

Lista de Figuras

1.1	Código HTML de uma página da americanas.com	3
1.2	Exemplo de código com semântica para um produto	4

Lista de Tabelas

2.1	Notação da lógica de descrição	8
2.2	Sintaxe e semântica de alguns constructos de lógica de descrição com anotação de expressividade	9

CAPÍTULO 1

Introdução

A World Wide Web é uma das tecnologias mais revolucionárias que o homem já inventou. Ela mudou em escala global a forma com que pessoas e empresas trocam informações, contribuindo para que o conhecimento se tornasse mais universal e que limites físicos e lingüísticos fossem cada vez mais minimizados.

A web como conhecemos hoje nasceu de uma proposta feita por Tim Berners-Lee à empresa CERN em 1989 [BL89]. O problema enfrentado pela empresa na época era a perda de informações internas por falta de documentação ou pela saída de algum funcionário. A solução proposta por Berners-Lee foi fazer uma rede de documentos interligados por hyperlinks em que cada setor da empresa poderia adicionar novos documentos.

A estrutura básica que Berners-Lee montou a 22 anos evoluiu a passos largos em relação à escalabilidade e padronização de protocolos e linguagens, tendo hoje cerca de 2 bilhões de usuários, mais de 30% da população do planeta. Mas apesar do avanço das infra-estruturas e serviços para a Web, ainda há muito o que evoluir. Uma das propostas de mudanças é prover uma maior expressividade da linguagem que descreve os documentos na Web. Hoje, esses documentos não possuem um significado que possa ser extraído de forma concisa, apresentam ambigüidade, misturam os dados com elementos visuais e muitas vezes não podem ser indexados por motores de busca.

1.1 Web Semântica

*"I have a dream for the Web [in which computers] become capable of analyzing all the data on the Web, the content, links, and transactions between people and computers. A **Semantic Web** which should make this possible has yet to emerge, but when it does, the day-to-day mechanisms of trade, bureaucracy and our daily lives will be handled by machines talking to machines. The **intelligent agents** people have touted for ages will finally materialize."*

Tradução literal: *"Eu tenho um sonho para a Web [em que os computadores] tornam-se capazes de analisar todos os dados na Web, o conteúdo, links, e as transações entre pessoas e computadores. A **Web Semântica** que deve tornar isso possível ainda está para surgir; mas quando isso acontecer, os mecanismos dia-a-dia da burocracia do comércio e nossas vidas diárias serão tratados por máquinas falando com máquinas. Os **agentes inteligentes** que as pessoas têm falado por anos vão finalmente se concretizar."*

A Web Semântica citada no texto de Berners-Lee acima é uma iniciativa de pesquisadores da área de inteligência artificial e lingüística computacional que estudam como adequar a Web de hoje a uma infra-estrutura que a tornará mais acessível às máquinas. Essa nova roupagem que os pesquisadores querem dar à Web permitirá que serviços mais sofisticados possam ser contruídos, por exemplo:

1.1.1 Aplicações

1.1.1.1 Gerenciamento de Conhecimento

Gerenciamento de conhecimento está relacionado à aquisição, acesso e manutenção de conhecimento dentro de uma empresa ou organização. Essa atividade se tornou e está se estabelecendo como uma necessidade básica em grandes empresas visto que o conhecimento que é gerado internamente agrega valor, pode se tornar um diferencial competitivo e também pode aumentar a produtividade de seus colaboradores. Com o uso de tecnologias criadas para a Web Semântica, soluções para G.C. podem melhorar em vários aspectos, entre eles:

- Organização do conhecimento existente a partir de seu significado;
- Geração de novas informações de forma automática;
- Checagem de inconsistências semânticas em documentos;
- Substituição de consultas baseadas em palavras-chave por perguntas em linguagem natural;

1.1.1.2 Comércio eletrônico Business to Consumer (B2C)

O comércio eletrônico entre vendedores e consumidores é um dos modelos de negócio na Internet que melhor se estabeleceu, sites como amazon [Bez95], americanas [Sic] e mercado livre [Gal99] possuem público fiel e que os visitam por vários objetivos. É muito comum para a geração que cresceu imersa na Web entrar em sites de compra como esses a procura do melhor preço antes de decidir fazer uma compra. Muitas vezes o produto não é adquirido em uma loja virtual, mas a pesquisa inicial de preços é que muitas vezes determina a escolha do produto. Observando esse comportamento, sites como o buscapé [RBML99] fazem o trabalho de indicar qual é a loja que está com o melhor preço.

A Web Semântica pode ajudar nesse cenário provendo interfaces de consulta mais completas aos sites que fazem comparação de preços, porém, com muito mais detalhes técnicos sobre o produto. Supondo que cada produto tem, por exemplo, uma ontologia que o descreve em detalhes (provida pelo fabricante ou por sites de review de produtos), o consumidor poderá fazer comparações muito mais detalhadas, ajudando-o a encontrar o produto que vai suprir a sua necessidade.

1.1.1.3 Comércio eletrônico Business to Business (B2B) e agentes pessoais

A maioria das pessoas que compram serviços ou produtos na Web só conhecem o comércio eletrônico do tipo B2C, mas existem tecnologias para comércio do tipo B2B, Business to Bu-

```

<div class="chosenProds infoP">
  <strong>Notebook Itaotec W7440 c/ Intel® Core i3 370M 2.5GHz 4GB 500GB DVD-RW LED 14.5q
  uot; Windows 7 Premium – Itaotec</strong>
</div>
<div class="infoProd">
  <p><strong>Design e tecnologia na ponta dos seus dedos</strong><br><br>
  ....
</div>
<dl>
  <dt>Marca</dt>
  <dd class="">Itaotec</dd>
  <dt>Processador</dt>
  <dd class="">Core i3 370M 2.4GHz.</dd>
  <dt>Barramento</dt>
  <dd class="">2.5 GT/s</dd>
  <dt>Cache</dt>
  <dd class="">3 MB</dd>
  ...
</dl>

```

Figura 1.1 Código HTML de uma página da americanas.com

siness, agentes computacionais de empresas que se comunicam para fechar acordos e otimizar o ciclo de negócios que muitas vezes já podem ser previstos e modelados.

Com a popularização da Web Semântica e a introdução de agentes pessoais e que representam negócios podem se comunicar de forma mais natural e aplicações para otimizar tarefas manuais que são recorrentes podem ser produzidos. Por exemplo, um médico que possua um agente pessoal que negocie a sua agenda com os agentes pessoais de seus clientes pode ser utilizado para remarcar seus atendimentos em caso de uma viagem ou imprevisto, agindo como uma secretária virtual.

1.1.2 Tecnologias

Aplicações como as citadas acima já existem, mas o trabalho de engenharia para conseguir bons resultados é alto devido às tecnologias que são adotadas hoje. Vamos usar o case do site de comparação de preços BuscaPé como exemplo para essa subseção da monografia.

1.1.2.1 Metadados Explícitos

A primeira tarefa de engenharia é fazer-lo visitar vários sites de compras todo dia à procura de modificações nas listas de produtos para saber quais estão disponíveis naquela loja. É feito então o *parsing* do HTML de cada site de compras à procura das informações de preço, descrição, avaliação e detalhes de cada produto. A limitação dessa abordagem é que sempre que um dos sites de compra mudar o layout (estrutura do HTML), um novo script de parsing deverá ser escrito. A grande demanda técnica de uma aplicação como essa é a escrita de agentes muito especializados para atingir bons resultados.

Na figura 1.1 está parte do código em HTML de uma página de produtos da americanas.com. As informações do produto estão cercados apenas de código para a renderização dessa página pelo browser. Ou seja, a única preocupação dos engenheiros da americanas.com foi a leitura por humanos da informação do produto. Uma aplicação que deseje usar as informações dos produtos da loja vai ter que fazer um agente especializado no parsing desse código.

```
<product
  <class>notebook</class>
  <vendor>Itautec</vendor>
  <model>W7440</model>
  <attributes>
    <attr name="processor">Intel Core i3 370M 2.4GHz</attr>
    <attr name="barramento">2.5 GT/s</attr>
    <attr name="cache">3 MB</attr>
  </attributes>
</product>
```

Figura 1.2 Exemplo de código com semântica para um produto

Motores de busca que também se baseiam em parsing de páginas para extrair informações da Web dificilmente saberão, por exemplo, qual é o preço de um produto nesse site da americanas.com, já que há várias informações de preço na página e o parsing que é feito não é otimizado para sites específicos.

A consequência para o usuário final é que ele terá que usar um site específico como o buscapé ou terá que fazer buscas a um engenho de busca por palavras-chave para achar os sites de compra que possuam um produto e em uma segunda etapa, fazer a análise de preços manualmente.

A abordagem da Web Semântica para resolver problemas como esse não é fazer agentes especializados (como os do buscapé), e sim, anotar metadados semânticos dos documentos disponíveis na Web. O exemplo dado anteriormente seria escrito na figura 1.2.

1.1.2.2 Ontologias

O termo ontologia vem da filosofia, nesse contexto, é um ramo da filosofia que se dedica a estudar a natureza da existência, concentra-se em identificar e descrever o que existe no universo. Em computação, uma ontologia é um artefato para descrever um domínio. Consiste em uma lista finita de termos e relações entre eles. Os termos denotam conceitos importantes de um domínio [AH08].

Grande parte dos trabalhos referentes à Web Semântica estão ligados a ontologias, inclusive este. As linguagem de descrição de ontologias mais importantes para a Web são:

- XML: usado para dirigir a sintaxe de documentos estruturados. Não impõe restrições semânticas no conteúdo do documento;
- XML Schema: linguagem para impor restrições na estrutura dos documentos XML;
- RDF: modelo de dados para recursos (objetos) e relações entre eles. As restrições semânticas são fixas e podem ser representados a partir da sintaxe do XML;
- RDF Schema: descreve as propriedades e classes dos objetos RDF;
- OWL: linguagem rica para modelagem de classes, propriedades, relações entre classes (e.g. disjunção), restrições de cardinalidade, características de propriedades (e.g. simetria). Mais detalhes sobre a OWL serão dados no capítulo 2 dessa monografia.

1.1.2.3 Lógica

Lógica é a disciplina que estuda os princípios do raciocínio. Ela provê linguagens formais para expressar conhecimento, a semântica formal para a interpretação de sentenças sem precisar realizar operações sobre a base de conhecimento e a transformação de conhecimento implícito em conhecimento explícito, através de deduções a partir da base de conhecimento [AH08].

Lógica é mais geral que ontologias, ela pode ser usada por agentes inteligentes para tomada de decisões e escolha de ações. Por exemplo, um agente de B2C pode dar um desconto a um cliente baseado na seguinte regra:

$$\forall xy, cliente(x) \wedge produto(y) \wedge clienteFiel(x) \rightarrow desconto(x, y, 5\%)$$

Onde $cliente(x)$ indica que x é um cliente/consumidor, $produto(y)$ indica que y é um produto de uma loja, $clienteFiel(x)$ indica que x é um cliente fiel da loja e $desconto(x, y, 5\%)$ indica que o cliente x terá um desconto de 5% no produto y .

1.1.2.4 Agentes

Um agente é tudo o que pode ser considerado capaz de perceber seu ambiente por meio de sensores e de agir sobre esse ambiente por meio de atuadores [RN02]. Agentes lógicos são aqueles que executam ações através de uma base de conhecimento e possuem um requisito fundamental, quando ele formula uma pergunta para a base de conhecimento, a resposta deve seguir o que já foi informado anteriormente.

Agentes para a Web Semântica utilizam as três tecnologias que já foram descritas:

- Metadados serão usados para identificar e extrair informações da Web;
- Ontologias serão usadas para dar assistência às consultas realizadas à Web, interpretar informações recuperadas e para comunicação com outros agentes;
- Lógica será usada para processar informações recuperadas, chegar a conclusões e tomar decisões;

1.2 Organização da Dissertação

Esta dissertação está dividida em seis capítulos. No Capítulo 1, é apresentada uma visão geral sobre redes neurais modulares, seus principais benefícios e motivações. Também são apresentados os principais objetivos desse trabalho. No Capítulo 2, são apresentadas as etapas da construção de uma rede modular, bem como os principais métodos da literatura utilizados em cada etapa. No Capítulo 3 são apresentadas as propostas para decomposição de tarefas. No Capítulo 4 são apresentadas duas propostas de arquiteturas modulares, sendo uma delas obtida a partir de uma das propostas para decomposição de tarefas. No Capítulo 5 são descritos os experimentos, mostrando as bases de dados utilizadas, os resultados obtidos e as análises. Por fim, o Capítulo 6 apresenta as considerações finais sobre o trabalho, bem como propostas de trabalhos futuros.

Lógica de Descrição ALC

Lógica de Descrição é uma família de linguagens de representação de conhecimento que podem ser usadas para representar o conhecimento de domínio de uma aplicação de forma estruturada e formal [BCM⁺03].

A motivação para estudar lógica de descrição neste trabalho vem da Web Semântica. Para que as máquinas possam fazer inferências sobre os documentos da Web, é preciso que a linguagem de descrição dos documentos vá além da semântica básica definida pelo RDF Schema e consiga definir e descrever classes e propriedades sobre os objetos encontrados na Web.

2.1 Sintaxe da Lógica de Descrição

Nessa seção será mostrada a sintaxe básica da lógica de descrição. A tabela 2.1 mostra o alfabeto de símbolos usado pela linguagem.

Os elementos mais básicos são os conceitos atômicos e propriedades atômicas. Descrições de conceitos podem ser contruídas indutivamente a partir dos contrutores com conceitos e propriedades.

$C, D \rightarrow$	$A \mid$	(conceito atômico)
	$\top \mid$	(conceito universal)
	$\perp \mid$	(conceito vazio)
	$\neg A \mid$	(negação de conceito atômico)
	$C \sqcap D \mid$	(interseção de conceitos)
	$\forall R.C \mid$	(restrição de valor)
	$\exists R.\top \mid$	(restrição existencial)

Uma interpretação \mathcal{I} consiste em um conjunto não vazio $\Delta^{\mathcal{I}}$ (domínio da interpretação) e uma função de interpretação, que para conceito atômico A é o conjunto $A^{\mathcal{I}} \subseteq \Delta^{\mathcal{I}}$ e para cada propriedade atômica R é a relação binária $R^{\mathcal{I}} \subseteq \Delta^{\mathcal{I}} \times \Delta^{\mathcal{I}}$. As funções de interpretação se estendem a descrição de conceitos a partir das definições indutivas [BCM⁺03] como as que estão abaixo:

$$\begin{aligned}
 \top^{\mathcal{I}} &= \Delta^{\mathcal{I}} \\
 \perp^{\mathcal{I}} &= \emptyset \\
 \neg A^{\mathcal{I}} &= \Delta^{\mathcal{I}} \setminus A^{\mathcal{I}} \\
 (C \sqcap D)^{\mathcal{I}} &= C^{\mathcal{I}} \cap D^{\mathcal{I}} \\
 (\forall R.C)^{\mathcal{I}} &= \{a \in \Delta^{\mathcal{I}} \mid \forall b. (a, b) \in R^{\mathcal{I}} \rightarrow b \in C^{\mathcal{I}}\} \\
 (\exists R.\top)^{\mathcal{I}} &= \{a \in \Delta^{\mathcal{I}} \mid \exists b. (a, b) \in R^{\mathcal{I}}\}
 \end{aligned}$$

alfabeto	
a, b	indivíduos
A, B	conceitos atômicos
C, D	descrição de conteitos
R, S	papeis (propriedades)
f, g	símbolos de funções
conectivos	
\sqcap	interseção
\sqcup	união
\neg	negação
relações	
\sqsubseteq	inclusão
\equiv	equivalência

Tabela 2.1 Notação da lógica de descrição

Esse trabalho é restrito à família ALC, que compreende os conceitos e propriedades atômicas, negação de conceitos, interseção, união, restrições de valor e existencial, *top* (verdade) e *bottom* (absurdo). A tabela 2.2 mostra além de ALC, outras famílias de DL existentes [BCM⁺03].

Uma ontologia ou base de conhecimento em ALC é composta pela tripla (N_C, N_R, N_O) , onde N_C é o conjunto de conceitos, N_R é o conjunto de predicados, e N_O é o conjunto de indivíduos, que são as instâncias de N_C e N_R . A base de conhecimento ou ontologia também pode ser descrita como o par (τ, α) , onde τ é a terminologia do domínio (TBox), equivalente a $N_C \cup N_R$ e α é a instanciação da base, que corresponde a N_O , também conhecida como *assertional box* (ABox).

Os axiomas são compostos por elementos de N_O e um conjunto finito de GCIs (*general concept inclusions*). Podem assumir a forma $C \sqsubseteq D$ ou $C \equiv D$ (uma equivalência (\equiv) é o mesmo que $(C \sqsubseteq D) \wedge (D \sqsubseteq C)$), onde C, D são conceitos e \sqsubseteq é uma inclusão.

2.2 OWL: Web Ontology Language

A *Web Ontology Language*, OWL, foi escolhida pela w3c¹, grupo que regula os padrões na Web, como a linguagem de descrição de ontologias para a Web Semântica [Hef04]. Alguns dos requisitos que ela atendeu foram [AH08]: i) sintaxe bem definida; Como o objetivo da Web Semântica é tornar os documentos da Web mais fáceis de serem processados por máquinas, este é um requisito básico. ii) semântica formal; Descrever a base de conhecimento de forma logicamente precisa é fundamental para fazer inferências como dedução de conceitos, checagem de consistência na base de conhecimento e instanciação de indivíduos a uma classe. iii) suporte a raciocínio; Uma vez que a linguagem possui uma semântica formal, atividades de

¹ sitio oficial: <http://w3.org>

Nome	Sintaxe	Semântica	Expressividade
Verdade	\top	Δ^I	AL
Absurdo	\perp	\emptyset	AL
Interseção	$C \sqcap D$	$C^I \cap D^I$	AL
União	$C \sqcup D$	$C^I \cup D^I$	U
Negação	$\neg C$	$\Delta^I \setminus A^I$	C
Restrição de valor	$\forall R.C$	$\{a \in \Delta^I \mid \forall b. (a, b) \in R^I \rightarrow b \in C^I\}$	AL
Restrição existencial	$\exists R.C$	$\{a \in \Delta^I \mid \exists b. (a, b) \in R^I \wedge b \in C^I\}$	ε
Restrição numérica não qualificada	$\geq nR$ $\leq nR$ $= nR$	$\{a \in \Delta^I \mid \{b \in \Delta^I \mid (a, b) \in R^I\} \geq n\}$ $\{a \in \Delta^I \mid \{b \in \Delta^I \mid (a, b) \in R^I\} \leq n\}$ $\{a \in \Delta^I \mid \{b \in \Delta^I \mid (a, b) \in R^I\} = n\}$	N
Restrição numérica qualificada	$\geq nR.C$ $\leq nR.C$ $= nR.C$	$\{a \in \Delta^I \mid \{b \in \Delta^I \mid (a, b) \in R^I \wedge b \in C^I\} \geq n\}$ $\{a \in \Delta^I \mid \{b \in \Delta^I \mid (a, b) \in R^I \wedge b \in C^I\} \leq n\}$ $\{a \in \Delta^I \mid \{b \in \Delta^I \mid (a, b) \in R^I \wedge b \in C^I\} = n\}$	Q

Tabela 2.2 Sintaxe e semântica de alguns constructos de lógica de descrição com anotação de expressividade

raciocínio podem ser realizadas. iv) expressividade; alguns domínios precisam de construtos mais elaborados para que possam ser descritos. Quanto maior a expressividade da linguagem, naturalmente fica mais fácil de descrever um domínio, apesar de aumentar a complexidade e tempo de processamento.

Entre os requisitos citados no paragrafo anterior estão expressividade e suporte a raciocínio. Apesar de ambos poderem estar na linguagem, são antagônicos, quanto maior for a expressividade da linguagem, mais complexas e demoradas serão as atividades de raciocínio sobre a linguagem. Para criar fronteiras nesse conflito entre expressividade e complexidade de raciocínio, a w3c criou três versões de OWL: OWL Full, OWL DL e OWL Lite.

2.2.1 OWL Full

A Web Ontology Language em sua versão mais expressiva, usando todas as primitivas da linguagem, é chamada de OWL Full. Essa combinação inclui, por exemplo, aplicar uma restrição de cardinalidade na classe que contém todas as outras classes, limitando a quantidade de classes que a ontologia pode ter.

OWL Full é completamente compatível com RDF, tanto sintaticamente, quanto em sua semântica. A desvantagem de OWL Full é que ela é tão poderosa que é indecidível em relação às atividades de raciocínio.

2.2.2 OWL DL

OWL DL (DL é a sigla para *Description Logic*, Lógica de Descrição em português) é a família de OWL que corresponde à lógica de Descrição. A sua grande vantagem é que ela é decidível, dando a possibilidade de realização de atividades de raciocínio de forma mais eficiente. A

desvantagem de OWL DL é que ela perde a compatibilidade com RDF, qualquer documento em OWL DL pode ser descrito como um documento em RDF, mas o contrário não é verdade.

2.2.3 OWL Lite

OWL Lite é uma família de OWL que é mais limitada do que OWL Full e OWL DL. Ela não dá suporte a, por exemplo, disjunção entre classes, união e complemento. A grande vantagem dessa linguagem é uma maior facilidade para o desenvolvimento de ferramentas, e a sua desvantagem é a perda de expressividade.

sdfsdf

Normalização para o método de conexões

O método das conexões proposto por W. Bibel [Bib82] é um método para prova automática de teoremas descritos em lógica de primeira ordem ou em lógica proposicional [BH93]. Um dos trabalhos recentes de Freitas et al [FSS10] foi a extensão desse método para lógica de descrição ALC.

O artigo intitulado *A Connection Method for Reasoning with the Description Logic ALC* [FSS10] propõe algoritmos tanto para o método, quanto para a normalização que precisa ser feita na base de conhecimento para que seja possível a representação necessária para o método das conexões usando apenas uma matriz.

O objetivo deste trabalho é implementar algum algoritmo de normalização para o método das conexões como os citados no texto de Freitas et al. Dois algoritmos foram propostos com esse objetivo [FSS10]; o primeiro utiliza-se de uma tabela com nove regras que devem ser aplicadas à base de conhecimento a fim de obter a forma normal positiva. O segundo, intitulado "*A more complex and efficient normalization*" não cria novos símbolos durante a sua execução, fazendo-o mais eficiente que o primeiro em relação ao uso de memória.

No cronograma deste trabalho estava prevista a implementação desse segundo algoritmo, porém, ao decorrer do desenvolvimento, o orientando propôs um terceiro algoritmo que é ainda mais eficiente em relação ao uso de memória, mas com o efeito colateral de precisar adicionar um símbolo a mais na base de conhecimento no pior caso. O restante desse capítulo se dedicará a dar definições para o entendimento dos últimos dois algoritmos comentados acima e também descreverá as suas implementações.

3.1 Tradução de ontologias ALC para forma normal disjuntiva

Para que o leitor consiga entender melhor os algoritmos de tradução, alguns conceitos precisam ser fixados.

Métodos diretos com o método das conexões são formulados para provar que uma fórmula ou um conjunto de fórmulas é um teorema, se e somente se cada interpretação gerada é uma tautologia. Tautologias normalmente tomam a forma $L \vee \neg L$, nesse caso, a fórmula precisa estar na Forma Normal Disjuntiva (DNF).

Definição 1 (Forma Normal Disjuntiva, cláusula). *Uma fórmula em DNF é uma conjunção de disjunções. Ou seja, tomam a forma:*

$$\bigcup_{i=1}^n C_i, \text{ ou, } C_1 \vee \dots \vee C_n.$$

onde cada C_i é uma cláusula. Uma cláusula é uma conjunção de literais. Ou seja, tomam a forma:

$$\bigcap_{j=1}^m L_{i,j}, \text{ ou, } L_{i,1} \wedge \dots \wedge L_{i,m}, \text{ também representado por } \{L_{i,1}, \dots, L_{i,m}\}$$

onde cada $L_{i,j}$ é um literal, resultando na fórmula:

$$\bigcap_{i=1}^n \bigcup_{j=1}^m L_{i,j}, \text{ ou, } (L_{1,1} \wedge \dots \wedge L_{1,m}) \vee (L_{n,1} \wedge \dots \wedge L_{n,m})$$

podendo ser chamada também de forma causal disjuntiva, representada por:

$$\{\{(L_{1,1}, \dots, L_{1,m}), \dots, (L_{n,1}, \dots, L_{n,m})\}\}$$

A definição acima é a definição herdada da lógica de primeira ordem, para ser válida também para a lógica de descrição o conceito de conjunções e disjunções deve ser estendido.

Definição 2 (Conjunção ALC). Uma conjunção ALC é um literal L , uma conjunção $(E_0 \wedge, \dots, \wedge E_n)$, ou uma restrição existencial $\exists x.E$, onde E é uma expressão qualquer em lógica de descrição.

Definição 3 (Disjunção ALC). Uma disjunção ALC é um literal L , uma disjunção $(E_0 \vee, \dots, \vee E_n)$, ou uma restrição de valor $\forall x.E$, onde E é uma expressão qualquer em lógica de descrição.

Definição 4 (Conjunção ALC pura, Conjunção ALC não pura). Uma conjunção ALC pura é uma conjunção ALC que na forma normal negada não contém restrições de valor $(\forall x.E)$ e também não contém disjunções $(E \vee, \dots, \vee E)$. O conjunto de conjunções ALC puras é representado por \hat{C} . Uma conjunção ALC não pura é uma conjunção ALC que não é pura.

Definição 5 (Disjunção ALC pura, Disjunção ALC não pura). Uma disjunção ALC pura é uma disjunção ALC que na forma normal negada não contém restrições existenciais $(\exists x.E)$ e também não contém conjunções $(E \wedge, \dots, \wedge E)$. O conjunto de disjunções ALC puras é representado por \check{D} . Uma disjunção ALC não pura é uma disjunção ALC que não é pura.

Definição 6 (Impureza em uma expressão não pura). Impureza em expressões ALC não puras são conjunções em disjunções não puras ou disjunções em conjunções não puras. O conjunto de impurezas é chamado de conjunto de impurezas ALC e é representado por I .

Definição 7 (Forma Normal Positiva). Um axioma ALC está na Forma Normal Positiva sse ele está em uma das seguintes formas:

- i) $A \sqsubseteq \hat{C}$
- ii) $\check{D} \sqsubseteq A$
- iii) $\hat{C} \sqsubseteq \check{D}$

onde A é um conceito atômico, \hat{C} é uma conjunção ALC pura, \check{D} é uma disjunção ALC pura.

CAPÍTULO 4

LeanCop

In order to describe the connection method as a formal inference system (in section 4), and the positive matricial normal form used in it, we will briefly describe the notation we use for first order logic, before examining the method. We are presuming readers to be acquainted to first order logic.

4.1 Definition 1 (First-order logic syntax).

The alphabets given by table 1 compose the FOL syntax notation. ? Table 1. First order logic syntax notation.

Conclusão

In order to describe the connection method as a formal inference system (in section 4), and the positive matricial normal form used in it, we will briefly describe the notation we use for first order logic, before examining the method. We are presuming readers to be acquainted to first order logic.

5.1 Definition 1 (First-order logic syntax).

The alphabets given by table 1 compose the FOL syntax notation. ? Table 1. First order logic syntax notation.

Referências Bibliográficas

- [AH08] Grigoris Antoniou and Frank van Harmelen. *A Semantic Web Primer, 2nd Edition (Cooperative Information Systems)*. The MIT Press, 2 edition, 2008.
- [BCM⁺03] Franz Baader, Diego Calvanese, Deborah McGuinness, Daniele Nardi, and Peter Patel-Schneider, editors. *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications*. Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
- [Bez95] Jeff Bezos. amazon.com, 1995.
- [BH93] W. Bibel and S. Hölldobler. *Deduction: automated logic*. Academic Press, 1993.
- [Bib82] W. Bibel. *Automated theorem proving*. F. Vieweg, 1982.
- [BL89] Tim Berners-Lee. Information management: A proposal, 1989.
- [FSS10] Fred Freitas, Anne Schlicht, and Heiner Stuckenschmidt. A connection method for reasoning with the description logic alc. Technical report, UFPE and University of Mannheim, 2010.
- [Gal99] Marcos Galperin. mercadolive.com.br, 1999.
- [Hef04] Jeff Heflin. Owl web ontology language use cases and requirements. 2004.
- [RBML99] Romero Rodrigues, Rodrigo Borges, Ronaldo Morita, and Mario Letelier. buscape.com.br, 06 1999.
- [RN02] Stuart Russell and Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd Edition)*. Prentice Hall series in artificial intelligence. Prentice Hall, 2 edition, December 2002.
- [Sic] Carlos Alberto Sicupira. americanas.com.