

5 Conclusões

Neste trabalho, o problema de interoperabilidade de ontologias é explorado desde seu estudo até a definição de uma estratégia para sua resolução parcial.

A estratégia definida proposta prioriza o alinhamento taxonômico de ontologias utilizando soluções simples para comparação lexical e estrutural, e uso de medidas de similaridades para tomada de decisão. Estas soluções, vindas da Ciência da Computação, foram estudadas, experimentadas e analisadas para a customização do tratamento com ontologias. Basicamente, a customização realizada foi a aplicação das soluções escolhidas à representação *OWL* para a detecção de similaridades.

A estratégia é demonstrada com sua implementação onde, após a conclusão de suas três etapas de execução, as ontologias de entrada são alinhadas automaticamente. Cada etapa de execução possui condições a serem satisfeitas que refinam os resultados conseguidos e garantam a confiabilidade da solução.

Os limites desta estratégia implementada podem ser expandidos com as adições de mais termos a serem comparados nas ontologias e de novos recursos para estas comparações.

5.1. Contribuições

Espera-se que o trabalho apresentado contribua para o entendimento do processo de alinhamento taxonômico de ontologias. Desta maneira, possibilite um maior envolvimento da comunidade acadêmica neste tipo de processo.

O trabalho contém os resultados alcançados com a aplicação da estratégia de alinhamento proposta e sua implementação, tornando-se, assim, uma possível referência para os que pretendem usar os ajustes sugeridos em um caso prático.

O texto apresentado possibilita um melhor entendimento da Web Semântica e o papel fundamental do uso de ontologias neste ambiente; um melhor entendimento do problema da interoperabilidade de ontologias existente na Web Semântica; e um melhor entendimento dos diversos mecanismos que contribuam

para a interoperabilidade de ontologias, em especial, o mecanismo de alinhamento.

As seguintes contribuições conseguidas com a realização do trabalho para o alinhamento de ontologias podem ser pontuadas:

- Elaboração de uma estratégia automática para o alinhamento taxonômico de ontologias;
- Elaboração de uma arquitetura para a estratégia proposta em que são previstas novas expansões de seus limites;
- Implementação do Componente para Alinhamento Taxonômico de Ontologias – o CATO;
- Análise e estudo dos resultados conseguidos com os experimentos do alinhamento taxonômico.

5.1.1.

Comparação com outras soluções

A estratégia elaborada e implementada tem como característica ser uma solução para um problema específico, o de alinhamento taxonômico de ontologias. Tal solução é automática (sem a intervenção do usuário) e de certa maneira é rápida (a resposta é fornecida em poucos segundos, imediatamente após sua execução) e é confiável (com baixo percentual de erro, devido às condições que devem ser satisfeitas para a efetivação dos alinhamentos identificados).

O CATO ainda possui pontos a serem tratados, descritos no tópico 5.2. deste texto sobre a avaliação da estratégia, no entanto, é uma ferramenta pública funcional para o alinhamento taxonômico de ontologias. Não foi encontrada nenhuma outra ferramenta disponibilizada que resolvesse o problema de alinhamento de ontologias, mesmo que apenas o alinhamento taxonômico, de acordo com os requisitos da solução dada.

A busca por outras soluções para o alinhamento de ontologias concentrou-se no *site* de ferramentas do programa *DARPA* (DAML Tools, 2004) e no *site* de *plug-ins* do projeto Protégé (Protege, 2004b). Ambas as localizações são bem conhecidas pela comunidade de trabalho de ontologias na Web devido ao pioneirismo de seus trabalhos desenvolvidos e à boa qualidade dos resultados disponibilizados.

O programa *DARPA Agent Markup Language - DAML* (DAML, 2004) foi iniciado oficialmente em Agosto de 2000 e tem como objetivo prover o fundamento da Web Semântica através do desenvolvimento de linguagens e ferramentas para esta Web. O programa disponibiliza em (DAML Tools, 2004) mais de duzentas ferramentas distribuídas em categorias diferentes. A categoria específica *Ontology Translation*, referente à interoperabilidade, foi investigada a procura de ferramentas para o alinhamento de ontologias. Nesta categoria, as seguintes três ferramentas foram encontradas: *Articulation Service*, *Lexicon-Based Ontology Mapping Tool* e *OntoMerge*. Destas três ferramentas, as duas primeiras tratam de ferramentas para o mapeamento de ontologias e a última para a combinação de ontologias. Nenhuma ferramenta específica para o alinhamento de ontologias foi encontrada.

O projeto Protégé (Protege, 2004a) não se resume apenas a um dos editores de ontologias e base de conhecimento mais conhecido atualmente, mas também, a uma comunidade de pesquisa com mais de dezoito mil usuários registrados, listas de discussão, workshops, publicações e documentações variadas (e.g. perguntas mais freqüentes, guia do usuário, tutoriais, entre outras). O projeto disponibiliza em (Protege, 2004b) uma série de *plug-ins*. No tópico específico a gerência de projeto, o *plug-in* PROMPT (Protege, 2004c) foi encontrado. Este *plug-in* permite ao usuário a gerência de múltiplas ontologias, de forma a: comparar as versões de mesmas ontologias, combinar duas ontologias quaisquer em uma única ontologia, extrair partes de uma ontologia, entre outras funcionalidades. No entanto, a funcionalidade de alinhamento não foi encontrada e, além disso, o uso do PROMPT requer a intervenção do usuário, ou seja, trata-se de uma ferramenta de suporte semi-automático. As demais ferramentas do conjunto *PROMPT* descritas no tópico 2.3. deste texto, sobre a revisão da literatura, não foram encontradas disponibilizadas.

5.2.

Avaliação da Estratégia

Na estratégia elaborada para o alinhamento taxonômico de ontologias foram realizadas as seguintes avaliações:

Falta de Completude

A estratégia prioriza a identificação da semântica dos conceitos das ontologias comparadas, de forma a descobrir aqueles que são semanticamente equivalentes. Propriedades, restrições, axiomas, entre outros indicativos semânticos não são analisados atualmente.

A falta de completude da estratégia existe tanto no não alinhamento de termos não investigados nas ontologias comparadas quanto nos conceitos investigados, mas que não são alinhados por não satisfazerem as condições estabelecidas de alinhamento das etapas da estratégia.

No entanto, a abordagem adotada, onde o alinhamento é tratado em etapas distintas, prevê novas comparações de termos das ontologias e melhorias para as condições de alinhamento, de forma a minimizar a falta de completude da estratégia.

Frente à possibilidade de falta de completude no alinhamento, o pior resultado encontrado pelo CATO é não ter alinhado conceito equivalente algum das ontologias comparadas. Isto acontece, normalmente, quando estas ontologias possuem uma relação fraca entre elas. Neste caso, existem poucos conceitos comuns e estes estão afastados estruturalmente, o que dificulta a identificação automática das equivalências.

Possibilidade de Existência de Inconsistências

No tópico 2.2.1. deste trabalho, sobre compatibilidade de termos, são numerados alguns pontos a serem tratados para minimizar a presença de inconsistências no processo de interoperabilidade de ontologias.

A estratégia elaborada trata apenas os três primeiros pontos listados (itens um, dois e três). A análise automática das demais inconsistências, mesmo quando aplicada a um conjunto pequeno de termos, aumentaria razoavelmente a complexidade de qualquer estratégia proposta e, conseqüentemente, seu tempo de execução. Como se deseja o alinhamento de ontologias em um tempo de execução da solução reduzido, optou-se por deixar de lado o tratamento direto das inconsistências restantes (itens quatro a onze).

Porém, a execução das etapas dois e três da estratégia, descritas nos tópicos 3.3. e 3.4. deste texto, contornam parte do problema de existência de

inconsistências através da comparação estrutural dos termos e da utilização de medidas de similaridade, em um tempo de execução reduzido.

Frente à presença de inconsistências no alinhamento, o pior resultado possível encontrado pelo CATO é o alinhamento de dois conceitos que usam o mesmo nome ou um nome e seu sinônimo, mas que são semanticamente diferentes. Tais conceitos precisam ser idênticos lexicalmente e possuir similaridade estrutural. No entanto, isto não deve acontecer se as ontologias de entrada são modeladas corretamente de acordo com as regras sugeridas em (Smith et al., 2004), (Uschold, 1996), entre outras para boas práticas de construção de ontologias.

Risco de Inviabilidade Frente às Inconsistências

O risco de inviabilidade da solução existe tanto devido à presença de inconsistências quanto à possibilidade de falta de completude no alinhamento. Tal risco é minimizado à medida que novos avanços são adicionados à solução de forma a suavizar a atuação de seus responsáveis.

Reduzindo o Efeito dos Resultados Negativos

A adição de novos recursos na implementação da estratégia elaborada possibilita o alinhamento com maior precisão de mais termos das ontologias comparadas. Isto porque fontes de dados diferentes adicionadas para a busca de informação possibilitam o uso de critérios melhores para a identificação de termos iguais semanticamente.

Na comparação lexical, além do uso de dicionário de sinônimos, pode-se também pensar no uso de thesauri e de ontologias preferenciais como bases de conhecimento. Um termo e seu sinônimo para serem alinhados precisariam também ter suas informações identificadas nestes novos recursos a serem utilizados. Desta maneira, consegue-se mais um critério para garantir a precisão nos resultados encontrados pela estratégia de alinhamento.

Na comparação estrutural, a atual implementação do algoritmo *TreeDiff*, que foi evoluída do problema base de rastreabilidade¹², ou seja, leva em conta a

¹² Entende-se por rastreabilidade a habilidade de descrever e acompanhar as alterações em ambas as direções, avante e reversa, isto é, desde as origens, passando pelo desenvolvimento e especificação, até subseqüente distribuição e utilização, através de refinamentos e interações contínuas em qualquer destas fases. Adaptado de (Bergmann, 2002).

ordem de suas entradas, deveria ser executada pelo menos duas vezes para a efetivação das respostas no alinhamento. As respostas destas duas execuções seriam cruzadas e apenas as respostas comuns, i.e., os termos identificados como *similares* em ambas as execuções realizadas, seriam consideradas.

Por exemplo, se a resposta da primeira execução (rastreadibilidade de **O1** para **O2**) identificou que o conceito exemplo “C1” da ontologia **O1** é *similar* ao conceito exemplo “C2” da ontologia **O2** e a resposta da segunda execução (rastreadibilidade de **O2** para **O1**) identificou que o conceito “C2” da ontologia **O2** é *similar* ao conceito “C1” da ontologia **O1**, então, a informação de similaridade é considerada. Caso contrário, não. De novo, tem-se mais um critério para garantir a precisão nos resultados encontrados pela estratégia de alinhamento.

Além disso, uma possível melhoria no algoritmo do *TreeDiff* seria alterá-lo de forma que a comparação estrutural só fosse aplicada depois que todas as identificações lexicais fossem encontradas. Desta maneira, os grupos de equivalência seriam formados priorizando os termos iguais lexicalmente em maior quantidade. Atualmente, a comparação estrutural é realizada assim que a igualdade lexical é identificada e seus grupos de equivalências são formados.

Limitações

O CATO traz bons resultados quando aplicado em ontologias de domínios complementares, similares e de sobreposição. Nestas ontologias, normalmente, os conceitos equivalentes estão próximos estruturalmente e são identificados com os mesmos nomes ou com seus sinônimos. Nestes casos, a identificação dos grupos de equivalência é mais precisa e, conseqüentemente, o alinhamento também.

Para ontologias com relação fraca entre elas, i.e., possuem poucos conceitos equivalentes e estes separados estruturalmente, o CATO pode demorar mais para ser executado que o alinhamento manual (quando este é viável, devido à quantidade de conceitos a serem comparados das ontologias de entrada) e trazer menos conceitos alinhados que este.

Em ontologias com conceitos semanticamente diferentes, mas estes identificados com os mesmos nomes ou com seus sinônimos e próximos estruturalmente, o CATO pode resultar em um alinhamento errôneo destes conceitos. Isto porque, o alinhamento será realizado sempre que as condições da

estratégia (igualdade lexical satisfazendo o mecanismo de poda, e classificação do conceito como *bem similar*) são satisfeitas.

5.3.

Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, propõem-se a realização de análises mais detalhadas das soluções de cada uma das etapas da estratégia implementada visando à identificação de melhorias necessárias. Algumas possíveis evoluções são apresentadas a seguir:

Utilização da Estratégia para Versionamento de Ontologias

A implementação do algoritmo *TreeDiff* dada em (Bergmann, 2002) tem como objetivo a rastreabilidade da evolução de cenários. Desta implementação obtêm-se, originalmente, como resultados da comparação de duas árvores, tanto as informações de suas similaridades quanto de suas diferenças detectadas.

A estratégia elaborada para o alinhamento taxonômico de ontologias, atualmente, não leva em consideração as informações das diferenças detectadas entre as árvores comparadas. Adicionado tais informações na estratégia e tendo como suas entradas ontologias de versões diferentes e, não ontologias de domínios complementares, esta poderia ser utilizada também para o tratamento de versionamento de ontologias.

Acredita-se que com tal mudança a estratégia teria uma ótima aplicabilidade nas identificações de similaridades e diferenças, realizadas em ontologias de versões diferentes. Isto porque, estas ontologias são evoluções umas das outras, onde as principais mudanças na edição costumam ser novas adições ou exclusões de termos e, além disso, os termos originais continuam com o mesmo nome e no mesmo nível hierárquico. Neste caso, a identificação dos grupos de equivalências é facilitada e, conseqüentemente, os resultados da estratégia para o versionamento de ontologias (diferenças e similaridades detectadas) são mais precisos.

Melhoria dos Recursos para a Comparação Lexical

Como mostrado no capítulo do estudo de caso, o uso de um banco de sinônimos que contenha uma grande quantidade de conceitos cadastrados e seus respectivos sinônimos pode aumentar, razoavelmente, a quantidade de conceitos

alinhados. Por esta razão, a qualidade do banco de sinônimos deve ser melhorada sempre que possível.

O uso dos sinônimos identificados também poderia ser, razoavelmente, melhorado caso a condição de poda de generalização da primeira etapa da estratégia, que decide sobre este uso, fosse mais flexível. Deveria ser permitido o uso de sinônimos na comparação lexical dos conceitos pai (um nível hierárquico acima) e avô (dois níveis hierárquicos acima) nesta condição de poda de generalização. No entanto, vale lembrar que a estratégia é automática e que a confiabilidade de sua resposta deve ser sempre levada em conta. Para que sinônimos sejam utilizados em maior escala é necessário, antes, a realização de alguns experimentos e análise de seus resultados.

A adição de novos recursos na comparação lexical de forma a enriquecer os conceitos das ontologias comparadas com as informações de seus relacionamentos com outros conceitos deve ser considerada. Tais informações podem ser conseguidas com o uso de thesauri como, por exemplo, o WordNet (Fellbaum, 1998). O uso deste thesaurus disponibiliza uma lista de conceitos relacionados e informações de generalização e especialização, como:

- Hiperonímia (*Hypernyms*, em inglês) do conceito: o conceito é um tipo de... (lista de conceitos);
- Hiponímia (*Hyponyms*, em inglês) do conceito: ... (lista de conceitos) é um tipo do conceito;
- Holonímia (*Holonyms*, em inglês) do conceito: o conceito é parte de... (lista de conceitos);
- Meronímia (*Meronyms*, em inglês) do conceito: ... (lista de conceitos) é parte do conceito.

Tais informações dependem do sentido do conceito. O conceito carro (*car*, em inglês) é utilizado como entrada no WordNet para exemplificar as informações pontuadas acima. A Figura 47 ilustra seus sentidos semânticos cadastrados. Para o conceito **carro** significando **veículo automotor** (primeiro sentido semântico cadastrado no WordNet), são obtidas as seguintes respostas:

- A hiperonímia do conceito, ilustrada na Figura 48. Exemplo: o conceito **carro** é hiperônimo do conceito **container** (*container*, em inglês), ou seja, carro é um tipo de container;

<p>5 senses of car</p> <p>Sense 1 car, auto, automobile, machine, motorcar -- (4-wheeled motor vehicle, usually propelled by an internal combustion engine, "he needs a car to get to work") => motor vehicle, automotive vehicle -- (a self-propelled wheeled vehicle that does not run on rails)</p> <p>Sense 2 car, railcar, railway car, railroad car -- (a wheeled vehicle adapted to the rails of railroad, "three cars had jumped the rails") => wheeled vehicle -- (a vehicle that moves on wheels and usually has a container for transporting things or people, "the oldest known wheeled vehicles were found in Sumer and Syria and date from around 3500 BC")</p> <p>Sense 3 cable car, car -- (a conveyance for passengers or freight on a cable railway, "they took a cable car to the top of the mountain") => compartment -- (a partitioned section or separate room within a larger enclosed area)</p> <p>Sense 4 car, gondola -- (car suspended from an airship and carrying personnel and cargo and power plant) => compartment -- (a partitioned section or separate room within a larger enclosed area)</p> <p>Sense 5 car, elevator car -- (where passengers ride up and down; "the car was on the top floor") => compartment -- (a partitioned section or separate room within a larger enclosed area)</p>

Figura 47 – Sinônimos do termo carro, ordenados por estimativa de frequência

<p>Sense 1 car, auto, automobile, machine, motorcar -- (4-wheeled motor vehicle, usually propelled by an internal combustion engine, "he needs a car to get to work") => motor vehicle, automotive vehicle -- (a self-propelled wheeled vehicle that does not run on rails) => self-propelled vehicle -- (a wheeled vehicle that carries in itself a means of propulsion) => wheeled vehicle -- (a vehicle that moves on wheels and usually has a container for transporting things or people; "the oldest known wheeled vehicles were found in Sumer and Syria and date from around 3500 BC") => vehicle -- (a conveyance that transports people or objects) => conveyance, transport -- (something that serves as a means of transportation) => instrumentality, instrumentation -- (an artifact (or system of artifacts) that is instrumental in accomplishing some end) => artifact, artefact -- (a man-made object taken as a whole) => object, physical object -- (a tangible and visible entity, an entity that can cast a shadow, "it was full of rackets, balls and other objects") => entity -- (that which is perceived or known or inferred to have its own distinct existence (living or nonliving)) => whole, whole thing, unit -- (an assemblage of parts that is regarded as a single entity, "how big is that part compared to the whole?", "the team is a unit") => object, physical object -- (a tangible and visible entity, an entity that can cast a shadow, "it was full of rackets, balls and other objects") => entity -- (that which is perceived or known or inferred to have its own distinct existence (living or nonliving)) => container -- (any object that can be used to hold things (especially a large metal boxlike object of standardized dimensions that can be loaded from one form of transport to another)) => instrumentality, instrumentation -- (an artifact (or system of artifacts) that is instrumental in accomplishing some end) => artifact, artefact -- (a man-made object taken as a whole) => object, physical object -- (a tangible and visible entity, an entity that can cast a shadow, "it was full of rackets, balls and other objects") => entity -- (that which is perceived or known or inferred to have its own distinct existence (living or nonliving)) => whole, whole thing, unit -- (an assemblage of parts that is regarded as a single entity, "how big is that part compared to the whole?", "the team is a unit") => object, physical object -- (a tangible and visible entity, an entity that can cast a shadow, "it was full of rackets, balls and other objects") => entity -- (that which is perceived or known or inferred to have its own distinct existence (living or nonliving))</p>

Figura 48 – Hiperonímia de **carro** significando **veículo automotor** (carro é um tipo de ...)

- A hiponímia do conceito, ilustrada na Figura 49. Exemplo: o conceito **ambulância** (*ambulance*, em inglês) é hipônimo do conceito **carro**, ou seja, ambulância é um tipo de carro;
- A meronímia do conceito, ilustrada na Figura 51. Exemplo: o conceito **buzina** (*horn*, em inglês) é merônimo do conceito **carro**, ou seja, buzina é parte do carro;
- Os termos do domínio, ilustrados na Figura 52. Exemplo: **aluguel** (*rent*, em inglês), **mapa de estradas** (*road map*, em inglês), **passageiros** (*passenger*, em inglês), etc., são termos do domínio do conceito **carro**.

A holonímia para o conceito carro significando veículo automotor não é cadastrada no WordNet. Por esta razão, as informações dos demais sentidos são ilustradas na Figura 50. Exemplo: O conceito carro é parte do conceito elevador

(*elevator*, em inglês) quando **carro** tem o sentido semântico de **carro de elevador** (*elevator car*, em inglês).

Sense 1
car, auto, automobile, machine, motorcar -- (4-wheeled motor vehicle; usually propelled by an internal combustion engine; "he needs a car to get to work")
 => ambulance -- (a vehicle that takes people to and from hospitals)
 => funny wagon -- (an ambulance used to transport patients to a mental hospital)
 => beach wagon, station wagon, wagon, beach waggon, station waggon, waggon -- (a car that has a long body and rear door with space behind rear seat)
 => shooting brake, estate car -- (another name for a station wagon)
 => bus, jalopy, heap -- (a car that is old and unreliable; "the fenders had fallen off that old bus")
 => cab, hack, taxi, taxicab -- (a car driven by a person whose job is to take passengers where they want to go in exchange for money)
 => gypsy cab -- (a taxicab that cruises for customers although it is licensed only to respond to calls)
 => minicab -- (a minicar used as a taxicab)
 => compact, compact car -- (a small and economical car)
 => convertible -- (a car that has top that can be folded or removed)
 => coupe -- (a car with two doors and front seats and a luggage compartment)

Figura 49 – Hiponímia de **carro** significando **veículo automotor** (... é um tipo de carro)

4 of 5 senses of car

Sense 2
car, railcar, railway car, railroad car -- (a wheeled vehicle adapted to the rails of railroad; "three cars had jumped the rails")
 MEMBER OF: train, railroad train -- (public transport provided by a line of railway cars coupled together and drawn by a locomotive; "express trains don't stop at Princeton Junction")

Sense 3
 cable car, **car** -- (a conveyance for passengers or freight on a cable railway; "they took a cable car to the top of the mountain")
 PART OF: cable railway, funicular, funicular railway -- (a railway up the side of a mountain pulled by a moving cable and having counterbalancing ascending and descending cars)

Sense 4
car, gondola -- (car suspended from an airship and carrying personnel and cargo and power plant)
 PART OF: airship, dirigible -- (a steerable self-propelled airship)

Sense 5
car, elevator car -- (where passengers ride up and down; "the car was on the top floor")
 PART OF: elevator, lift -- (lifting device consisting of a platform or cage that is raised and lowered mechanically in a vertical shaft in order to move people from one floor to another in a building)

Figura 50 – Holonímia de **carro** (carro é parte de ...)

Sense 1
car, auto, automobile, machine, motorcar -- (4-wheeled motor vehicle; usually propelled by an internal combustion engine; "he needs a car to get to work")
 HAS PART: accelerator, accelerator pedal, gas pedal, gas, throttle, gun -- (a pedal that controls the throttle valve; "he stepped on the gas")
 HAS PART: air bag -- (a safety restraint in an automobile; the bag inflates on collision and prevents the driver or passenger from being thrown forward)
 HAS PART: auto accessory -- (an accessory for an automobile)
 HAS PART: automobile engine -- (the engine that propels an automobile)
 HAS PART: exhaust, exhaust system -- (system consisting of the parts of an engine through which burned gases or steam are discharged)
 HAS PART: exhaust manifold -- (a manifold that receives exhaust gases from the cylinders and conducts them to the exhaust pipe)
 HAS PART: exhaust pipe -- (a pipe through which burned gases travel from the exhaust manifold to the muffler)
 HAS PART: exhaust valve -- (a valve through which burned gases from a cylinder escape into the exhaust manifold)
 HAS PART: silencer, muffler -- (a tubular acoustic device inserted in the exhaust system that is designed to reduce noise)
 HAS PART: tailpipe -- (a pipe carrying fumes from the muffler to the rear of a car)
 HAS PART: automobile horn, car horn, motor horn, horn, hooter -- (a device on an automobile for making a warning noise)
 HAS PART: horn button -- (a button that you press to activate the horn of an automobile)
 HAS PART: buffer, fender -- (a cushion-like device that reduces shock due to contact)
 HAS PART: bumper -- (a mechanical device consisting of bars at either end of a vehicle to absorb shock and prevent serious damage)
 HAS PART: bumper guard -- (vertical bars attached to a bumper to prevent locking bumpers with another vehicle)
 HAS PART: car door -- (the door of a car)

Figura 51 – Meronímia de **carro** significando **veículo automotor** (... é parte de carro)

Sense 1
car, auto, automobile, machine, motorcar -- (4-wheeled motor vehicle; usually propelled by an internal combustion engine; "he needs a car to get to work")
 CATEGORY TERM->(adj) hopped-up#1
 CATEGORY TERM->(noun) rental#2, renting#1
 CATEGORY TERM->(noun) alternator#1
 CATEGORY TERM->(noun) backseat#2
 CATEGORY TERM->(noun) road map#2
 CATEGORY TERM->(noun) showroom#1, salesroom#1, saleroom#1
 CATEGORY TERM->(noun) spark lever#1
 CATEGORY TERM->(noun) tunnel#1
 CATEGORY TERM->(noun) passenger#1, rider#4
 CATEGORY TERM->(noun) grip#4, traction#1, adhesive friction#1
 CATEGORY TERM->(noun) chattel#1, personal chattel#1
 CATEGORY TERM->(verb) prang#1

Figura 52 – Termos do domínio de **carro** significando **veículo automotor**

Utilização de Relacionamentos de Composição na Comparação Estrutural

Os relacionamentos de composição entre conceitos, i.e., relacionamentos do tipo “parte-de”, podem ser representados estruturalmente por árvores. Nesta representação, a raiz é o conceito mais geral e os conceitos de composição são suas folhas, todos no mesmo nível hierárquico, ou são suas sub-árvores, caso tenham conceitos de composição também cadastrados.

Ao contrário dos relacionamentos do tipo “é-um” (relacionamentos de especialização), não existe uma *tag* específica para a representação de relacionamentos de composição na linguagem padrão atual para ontologias adotada pela *W3C*, a linguagem *OWL* (Dean et al., 2004a). Devido à esta falta de padronização, fica a cargo do autor de ontologias o nome a ser dado para este relacionamento. Normalmente, o nome “tem” é escolhido. “Bicicleta tem roda” é um exemplo do relacionamento de composição entre os conceitos “bicicleta” e “roda” (“roda” faz parte de “bicicleta”).

Na representação em árvore do relacionamento “bicicleta tem roda”, o conceito “bicicleta” é representado como a raiz e o conceito “roda” como sua folha. No entanto, se existir o conceito “parafuso”, que faz parte do conceito “roda”, este seria representado como a folha da, agora, subárvore “roda”. Como nos relacionamentos de especialização, nesta representação também existe a propriedade de transitividade, ou seja, se o conceito “parafuso” faz parte do conceito “roda” e este faz parte do conceito “bicicleta”, então, “parafuso” também faz parte do conceito “bicicleta”. A Figura 53 ilustra os relacionamentos de composição do exemplo dado.

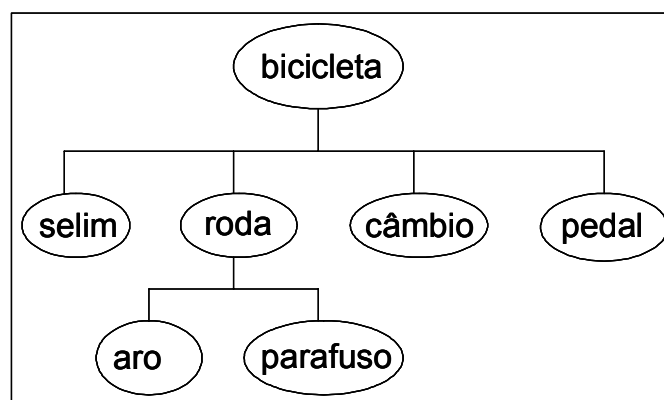


Figura 53 – Representação em árvore de relacionamentos de composição

Por não haver, atualmente, uma *tag* específica para a representação de relacionamentos de composição em *OWL* e por seu nome não ser padronizado, a

possível árvore representada por este relacionamento não é utilizada na comparação estrutural da estratégia elaborada para o alinhamento taxonômico de ontologias. Isto porque sua representação automática não é trivial.

Uma implementação com heurísticas para a identificação de relacionamentos de composição nas propriedades de uma ontologia deve ser realizada para que estes relacionamentos possam ser utilizados na estratégia atual. Tais heurísticas devem ser baseadas nas palavras comumente utilizadas por este relacionamento como: “possui”, “tem”, “têm”, entre outras.

Utilização de Grafo na Comparação Estrutural

A abordagem adotada na estratégia apresentada neste trabalho é mais restrita do que a apresentada em Noy e Musen (2001a) porque os relacionamentos entre conceitos diferentes do tipo “é-um” não são investigados. Em Noy e Musen (2001a), a estrutura de uma ontologia é representada como um grafo, ao passo que na estratégia apresentada tem-se a representação como um grafo simplificado na forma de uma árvore, representando apenas a taxonomia das ontologias a serem alinhadas.

A substituição na comparação estrutural da estratégia da representação por árvore pela representação por grafo possibilitaria novos alinhamentos de relacionamentos não contemplados na estratégia atual e o uso dos resultados conseguidos com estes alinhamentos como novos indicativos semânticos. No entanto, esta substituição causaria um aumento razoável da complexidade da estratégia devido ao maior número de ligações entre os conceitos a serem analisadas.

Utilização de Axiomas

A análise da expressividade semântica das verdades das ontologias expressa nos axiomas seria útil, por exemplo, no processo decisório de alinhamento como mais uma condição a ser satisfeita.

Por exemplo, se existir na ontologia **O1** o axioma **O1A1**: “todo carro transporta pelo menos duas pessoas” e na ontologia **O2** o axioma **O2A1**: “todo veículo automotor transporta pelo menos duas pessoas” e os conceitos carro e veículo automotor foram identificados como equivalentes nas etapas anteriores da estratégia, então, a análise destes axiomas poderia confirmar a equivalência destes conceitos.

No entanto, se na ontologia **O2** também existir o axioma **O2A2**: “todo veículo automotor tem velocidade média de deslocamento de 10 km/hora”, então, a análise deste axioma poderia não confirmar a equivalência dos conceitos carro e veículo automotor. Isto porque pode não haver equivalência do axioma **O2A2** com axioma algum de **O1** ou existir a informação em um axioma qualquer de **O1** que carros possuem velocidade média de deslocamento superior a 10 km/hora.

Utilização da Estratégia em Sistemas Multi-Agentes

A estratégia apresentada neste trabalho poderia ser exposta a casos reais de sistemas multi-agentes para: analisar seus resultados, identificar novos problemas e necessidades, tentar resolver as lacunas da implementação da solução de forma a torná-la mais genérica possível e explorar algumas das oportunidades de pesquisa já identificadas.

O plano inicial para explorar a estratégia em casos reais de sistemas multi-agentes é a criação de uma solução mais apurada, com o uso de ontologias, para o problema tratado em (Magalhães, 2002). O trabalho em questão implementa um sistema multi-agentes para a busca e classificação de documentos textuais de um domínio específico. Tal busca e classificação baseiam-se em palavras-chave como a maioria dos mecanismos de buscas da Internet, não tirando proveito, por exemplo, do poder semântico que se tem com o uso de ontologias. Acredita-se ter aí uma oportunidade de melhoria significativa na solução do problema com o uso do CATO. Com o uso deste componente, nem a busca nem a classificação seriam apenas por palavras-chave, mas sim, também pelas equivalências encontradas na ontologia local e nas ontologias onde as buscas e classificações são realizadas. Dependendo de quão equivalentes duas ontologias sejam, resultado conseguido com a aplicação do CATO, tem-se a classificação dos documentos em categorias específicas.