

Extensiones a la Programación en Lógica Rebatible para Modelar Reglas con Disyunciones en la Cabeza: Aplicaciones al Razonamiento con Ontologías Potencialmente Inconsistentes

†Sergio Alejandro Gómez, †Guillermo Ricardo Simari

†Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial (LIDIA)*
 Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación
 Universidad Nacional del Sur
 Av. Alem 1253 - (8000) Bahía Blanca - Argentina
 Tel/Fax: (+54) 291-4595135/6
 E-mail: {sag, grs}@cs.uns.edu.ar

Resumen

Esta propuesta de investigación se basa en el estudio de las posibilidades de extender la sintaxis del lenguaje de la Programación en Lógica Rebatible (DeLP) para permitir la representación de disyunciones en la cabeza de las reglas y, luego, redefinir acordemente las nociones de construcción de argumentos, ataque, derrota, garantía y resultados de consultas. Este nuevo marco argumentativo permitirá modelar el razonamiento sobre ontologías Description Logics que posean disyunciones en el miembro derecho de los axiomas de inclusión de sus respectivas terminologías.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, Razonamiento no-monótono, Argumentación rebatible, Programación en Lógica Rebatible, Web Semántica, Ontologías, Lógicas para la Descripción, Programación en Lógica Disyuntiva, Agentes inteligentes

Contexto

Esta línea de investigación está enmarcada en el Proyecto de Grupos de Investigación “Representación de conocimiento y Razonamiento Argumentativo: Herramientas Inteligentes para la Web y las Bases de Datos Federadas” (Código 24/N030) de la Universidad Nacional del Sur.

*LIDIA es un miembro del IICyTI (Instituto de Investigación en Ciencia y Tecnología Informática).

1. Objetivos de investigación

El **objetivo general** de esta propuesta de investigación es brindar un lenguaje de representación de conocimiento con capacidades extendidas en el entorno de la Web y el esfuerzo por introducir en ella la capacidad de representar conocimiento y razonar acerca de su contenido. A continuación, primero daremos el contexto global de la investigación y luego mencionaremos los objetivos específicos.

La *World Wide Web* está formada por documentos formateados para su consumo por usuarios humanos. La *Web Semántica* [3] es una visión alternativa de la Web donde los recursos tienen un significado exacto dado por medio de ontologías. Así, agentes inteligentes con poder delegado por sus usuarios propietarios son capaces de razonar sobre el contenido de la Web incrementando la precisión de los resultados de búsquedas de documentos y servicios. Las ontologías se definen en el lenguaje OWL (una sintaxis XML para *Lógicas para la Descripción* o DL) y están formadas por definiciones de clases (o conceptos) y relaciones entre tales clases junto con la especificación de a qué clases los individuos pertenecen y las relaciones (ambos dados en la forma de axiomas de inclusión) que se mantienen entre ellos de tal manera que razonadores pueden determinar automáticamente la pertenencia de individuos a clases especificadas en forma implícita. Sin embargo, cuando las ontologías son inconsistentes (situación capturada en términos de una contradicción lógica) los razonadores brindan un descripción de la ubicación del error y el ingeniero de conocimiento debe *depurar* la ontología (es decir, hacerla consistente) antes de poder continuar. Esta si-

tuación no es deseable ya que muchas veces la construcción de una ontología depende del contenido de otras ontologías importadas sobre las que el ingeniero de conocimiento no tiene autoridad para modificar o de la especificación de un campo de conocimiento inherentemente contradictorio. Con esta motivación, Gómez *et al.* [6] desarrollaron un formalismo llamado *δ -ontologías* que permite razonar con ontologías potencialmente contradictorias utilizando la *Programación en Lógica Rebatible* (DeLP), el cual se basa en la idea de interpretar ontologías DL en el lenguaje de la DeLP. Así, la pertenencia de un individuo a una clase determinada es determinada por medio de un análisis dialéctico llevado a cabo sobre el programa obtenido a partir de una ontología (que tiene significado equivalente a la misma).

Sin embargo, el acercamiento mencionado arriba tiene varias limitaciones. Una de ellas está dada por el caso de la traducción de axiomas de inclusión que generan reglas con disyunciones en la cabeza no es tratable dentro del marco de la Programación en Lógica Rebatible.

El **objetivo específico** de esta propuesta de investigación es el estudio y formalización de una extensión a la Programación en Lógica Rebatible que permita razonar con reglas que posean disyunciones en la cabeza. Se extenderá el lenguaje de la programación en lógica rebatible, la noción de derivación de literales, construcción de argumentos, ataque y derrota y garantía. Se estudiarán también las posibilidades de implementación computacional del marco desarrollado con miras al razonamiento con ontologías posiblemente inconsistentes cuya traducción a DeLP generen disyunciones en la cabeza de las reglas. Esto último redundará en la construcción de agentes inteligentes que razonen sobre la información presente en la Web Semántica.

2. Antecedentes de investigación

2.1. Marco teórico de la propuesta

Argumentación en Inteligencia Artificial: Uno de los objetivos de la Inteligencia Artificial es lograr que un agente inteligente tenga la capacidad de extraer conclusiones plausibles basadas en información incompleta y manejar de manera adecuada información potencialmente inconsistente. Las limitaciones de la lógica de primer orden para lograr este objetivo han llevado a diferentes enfoques alternativos, siendo la argumentación rebatible [2, 5] es uno de los acerca-

mientos que ha ganado mayor aceptación en los últimos años.

El estudio de la argumentación involucra analizar cómo las aserciones son propuestas, discutidas y resueltas en el contexto de cuestiones en las cuales se pueden mantener varias opiniones divergentes [2]. Tales opiniones divergentes son llamadas argumentos. Dado un argumento todos los contraargumentos del mismo son considerados, los contraargumentos de estos últimos y así sucesivamente para formar un árbol de dialéctica. Cuando un contraargumento es derrotado por otro contraargumento, se dice que el argumento inicialmente atacado es reinstaurado. Los argumentos que son raíz de algún árbol de dialéctica en el cual todos sus derrotadores (si los hubiera) se hallan derrotados se dicen argumentos garantizados y los mismos son considerados las conclusiones válidas del sistema argumentativo.

Ontologías para representar conocimiento: La Web Semántica es una visión futura de la Web donde el significado de los recursos web se define en forma precisa para permitir su procesamiento por agentes [3]. La Web actual está formada por documentos HTML textuales formateados para su presentación a usuarios humanos, lo que hace que no sean adecuados para su entendimiento por agentes o programas inteligentes, quienes deben recurrir a la presencia o ausencia de palabras claves para determinar el significado de un determinado documento web. En la Web Semántica el significado de los términos presentes en una página web se halla definido precisamente por medio de una o varias ontologías. Una ontología es una formalización de una parte de un dominio de aplicación [16]. Existen varios lenguajes de representación de ontologías en la Web Semántica. El lenguaje RDF [17] es el más simple a nivel conceptual, pero al brindar demasiada flexibilidad hace que el tratamiento de su caso general sea indecible computacionalmente. Otro lenguaje de representación de ontologías es RDFSchema [4], que permite definir una jerarquía de clases o conceptos junto con atributos y relaciones con dominio y codominio en tales clases. Sin embargo, la necesidad de expresar restricciones más adecuadas (como por ejemplo, expresar que dos clases son disjuntas) llevó a la necesidad del desarrollo de un nuevo lenguaje llamado OWL [18], que define el estándar actual. OWL contiene tres sublenguajes: OWL-Lite (el cual es simple y debería ser suficiente para muchos usuarios finales), OWL-DL (el cual se halla basado en las Lógicas para la Descripción) y OWL-Full (que provee los mismos

constructores que OWL-DL pero permite representar situaciones más ricas que lo hacen computacionalmente indecidible).

La semántica del lenguaje OWL-DL se halla basada en las Lógicas para la Descripción. Las Lógicas para la Descripción (DL) [1] son una familia de formalismos de representación de conocimiento basados en las nociones de conceptos (predicados unarios, clases) y roles (relaciones binarias), y están principalmente caracterizados por constructores que permiten describir conceptos complejos y roles a partir de otros atómicos usando conjunción, disyunción, negación, restricciones (cuantificaciones) existencial y de valor, entre otros. Una ontología DL consiste de dos conjuntos finitos y mutuamente disjuntos: una Tbox que introduce la terminología y una Abox que contiene aserciones acerca de objetos particulares en el dominio de aplicación. Una de las tareas de razonamiento que se pueden realizar con ontologías es el chequeo de instancia, el cual consiste en determinar si un individuo determinado es o no instancia de un concepto dado. Las anomalías que pueden surgir a la hora de computar el chequeo de instancia son dos: la incoherencia y la inconsistencia. Una ontología es incoherente cuando contiene definiciones de conceptos vacíos. En cambio, una ontología es inconsistente cuando no tiene modelo (i.e., la ontología es incoherente pero además se han declarado explícita o implícitamente individuos en las clases incoherentes). Como fue mencionado en los objetivos de esta propuesta el éxito de la iniciativa para la Web Semántica se apoya en la existencia de razonadores existentes (e.g., Racer, Fact, y Pellet), los que permiten razonar con ontologías coherentes y consistentes exclusivamente. Desde un punto de vista lógico, el problema con las ontologías inconsistentes estriba en que no es posible decidir si un individuo pertenece o no a una determinada clase. Sin embargo, si bien tales razonadores son capaces de reconocer ontologías incoherentes e inconsistentes, el ingeniero de conocimiento solamente es notificado de tal situación, debiendo él mismo decidir cómo reparar la ontología.

Aplicaciones de la argumentación rebatible al razonamiento con ontologías inconsistentes: En los trabajos previos publicados [8, 14] se abordó el tratamiento de ontologías inconsistentes a través de argumentación rebatible. La importancia de la definición de ontologías para poder llevar a cabo la realización de la iniciativa de la Web Semántica junto con la presencia de ontologías incompletas y potencialmente contradictorias motivó el desarrollo de un

marco de razonamiento con las llamadas δ -ontologías; se determinó que un subconjunto de las Lógicas para la Descripción pueden ser traducidas efectivamente a un conjunto de la Programación en Lógica Rebatible, manteniendo el significado de la ontología original. El acercamiento involucra asignar semántica a ontologías expresadas en Lógicas para la Descripción por medio de Programas Lógicos Rebatibles para lidiar con definiciones de ontologías inconsistentes en la Web Semántica. Esto es, dada una ontología expresada en el lenguaje OWL-DL, es posible construir un programa lógico rebatible equivalente. Por lo tanto, dada una consulta acerca de la pertenencia de una instancia a un cierto concepto expresada con respecto de la ontología original se realiza un análisis dialéctico con respecto al programa rebatible para determinar todas las razones a favor y en contra de la plausibilidad de la afirmación sobre la pertenencia de tal individuo a una clase.

Por otro lado, la integración de datos es el problema de combinar datos residiendo en diferentes fuentes y el brindar al usuario una vista unificada de dichos datos. El problema de diseñar sistemas de integración de datos es particularmente importante en el contexto de aplicaciones en la Web Semántica donde las ontologías son desarrolladas independientemente unas de otras, y por esta razón pueden ser mutuamente inconsistentes. Dada una ontología, nos interesa conocer en qué condiciones un individuo es una instancia de un cierto concepto. Debido a que cuando se consideran varias ontologías, los mismos conceptos pueden tener nombres distintos para un mismo significado o aún nombres iguales para significados diferentes, para relacionar los conceptos entre dos ontologías diferentes se utilizaron reglas puente o de articulación. En [6, 14, 13], se mostró también bajo qué condiciones la propuesta del razonamiento con δ -ontologías puede ser adaptada a los dos tipos de integración de ontologías *global-as-view* y *local-as-view*; además, en [11, 12] se mostró cómo extender el marco de las δ -ontologías para agregar una capa de reglas sobre ontologías inconsistentes.

Entre las aplicaciones comerciales de la propuesta podemos hallar las siguientes. El razonamiento en presencia de ontologías inconsistentes brinda la posibilidad de abordar de una manera eficaz ciertos problemas de aplicación del ámbito del comercio electrónico, donde el modelo de reglas de negocio puede ser especificado en términos de ontologías. Entonces, la capacidad de razonar frente a ontologías inconsistentes permite abordajes alternativos conceptualmente más

claros, ya que es posible automatizar ciertas decisiones de negocios tomadas a la luz de un conjunto de reglas de negocio posiblemente inconsistentes expresadas como una o varias ontologías y tener un sistema capaz de brindar una explicación del porqué se arribó a una conclusión determinada. En consecuencia, presentamos entonces una aplicación del razonamiento sobre ontologías inconsistentes por medio de la argumentación rebatible al modelado de formularios en la World Wide Web. La noción de los formularios como una manera de organizar y presentar datos ha sido utilizada desde el comienzo de la World Wide Web. Los formularios Web han evolucionado junto con el desarrollo de nuevos lenguajes de marcado, en los cuales es posible proveer guiones de validación como parte del código del formulario para verificar que el significado pretendido del formulario es correcto. Sin embargo, para el diseñador del formulario, parte de este significado pretendido frecuentemente involucra otras características que no son restricciones por sí mismas, sino más bien atributos emergentes del formulario, los cuales brindan conclusiones plausibles en el contexto de información incompleta y potencialmente contradictoria. Como el valor de tales atributos puede cambiar en presencia de nuevo conocimiento, los llamamos atributos rebatibles. Gómez *et al.* propusieron entonces extender los formularios web para incorporar atributos rebatibles como parte del conocimiento que puede ser codificado por el diseñador del formulario, por medio de los llamados δ -formularios; dicho conocimiento puede ser especificado mediante un programa DeLP, y posteriormente, como una ontología expresada en Lógicas para la Descripción [7, 9, 10].

Representación de la disyunción en la cabeza de reglas: Para asignar semántica a una δ -ontología, en [14] se definieron funciones de traducción de DL a DeLP basadas en [15]. La premisa básica para realizar la traducción de ontologías DL a DeLP está basada en la observación de que un axioma de inclusión de clases “ $C \sqsubseteq D$ ” (los individuos pertenecientes a la clase C también pertenecen a la clase D) es interpretado como una sentencia de Lógica de Primer Orden “ $(\forall x)(C(x) \rightarrow D(x))$ ”, la cual, a su vez, es vista como una cláusula de Horn “ $d(X) \leftarrow c(X)$ ”. Naturalmente, “ $C \sqcap D \sqsubseteq E$ ” es tratada como “ $e(X) \leftarrow c(X), d(X)$ ”. Las transformaciones de Lloyd-Topor son usadas para manejar casos especiales como conjunciones en las cabezas de las reglas y disyunciones en el cuerpo de las reglas; así “ $C \sqsubseteq D \sqcap E$ ” es interpretado como dos reglas “ $d(X) \leftarrow c(X)$ ” y

“ $e(X) \leftarrow c(X)$ ” mientras que “ $C \sqcup D \sqsubseteq E$ ” es transformado como “ $e(X) \leftarrow c(X)$ ” y “ $e(X) \leftarrow d(X)$ ”. De la misma manera, los axiomas de la forma “ $\exists r.C \sqsubseteq D$ ” son tratados como “ $d(X) \leftarrow r(X, Y), c(Y)$ ”. Un caso que no es posible tratar actualmente en DeLP está dado por la traducción de axiomas de inclusión de la forma “ $C \sqsubseteq D \sqcup E$ ”, que interpretados como “ $(\forall x)(c(x) \rightarrow d(x) \vee e(x))$ ” generan disyunciones en la cabeza de las reglas.

Programación en Lógica Disyuntiva: La *Programación en Lógica Disyuntiva (Disjunctive Logic Programming)* [19] surge en 1982 a partir del trabajo de Jack Minker. Dado un lenguaje de primer orden \mathcal{L} , un programa lógico disyuntivo está formado por reglas lógicas de inferencia de la forma:

$$A_1 \vee \dots \vee A_k \leftarrow B_1 \wedge \dots \wedge \text{not } C_1 \wedge \dots \wedge \text{not } C_n,$$

donde A_i , B_i y C_i son átomos en el lenguaje \mathcal{L} ; k, m, n son números naturales, y not denota la negación *default*. Para dar semántica a los programas lógicos disyuntivos hay tres alternativas: modelos estables y parcialmente estables, semánticas bien-fundadas, y semánticas de conjuntos de respuestas. Note que en este último caso, los programas pueden contener *negación clásica* (llamados *programas lógicos disyuntivos extendidos*).

2.2. Hipótesis de trabajo

Dada una ontología DL, los axiomas de inclusión de la forma $A \sqcap B \sqsubseteq C \sqcup D$ serán interpretados como reglas de inferencia:

$$c(X) \vee d(X) \leftarrow a(X) \wedge b(X)$$

Dado que la semántica actual de DeLP es procedural, la hipótesis de trabajo consiste en que es posible dar una definición denotacional de la semántica de DeLP. Tal acercamiento consistirá primero en extender la sintaxis de DeLP para permitir la representación de disyunciones en la cabeza de las reglas. Luego, se deberán redefinir acordemente las nociones de construcción de argumentos, ataque, derrota, garantía y resultados de consultas.

Referencias

- [1] Franz Baader, Diego Calvanese, Deborah McGuinness, Daniele Nardi, and Peter Patel-Schneider, editors. *The Description Logic Handbook – Theory, Implementation and Applications*. Cambridge University Press, 2003.

- [2] T. J. M. Bench-Capon and Paul E. Dunne. Argumentation in artificial intelligence. *Artif. Intell.*, 171(10-15):619–641, 2007.
- [3] Tim Berners-Lee, James Hendler, and Ora Lasila. The Semantic Web. *Scientific American*, 284(5):34–43, 2001.
- [4] Dan Brickley and R.V. Guha. Resource Description Framework (RDF) Schema Specification W3C Proposed Recommendation 03 March 1999. <http://www.w3.org/TR/1999/PR-rdf-schema-19990303/> (checked 2009/03/18), 1999.
- [5] Carlos Iván Chesñevar, Ana Maguitman, and Ronald Loui. Logical Models of Argument. *ACM Computing Surveys*, 32(4):337–383, December 2000.
- [6] Sergio Alejandro Gómez. *Integración de Argumentación Rebatible y Ontologías en el Contexto de la Web Semántica: Formalización y Aplicaciones*. PhD thesis, Universidad Nacional del Sur, 2009.
- [7] Sergio Alejandro Gómez, Carlos Iván Chesñevar, and Guillermo Ricardo Simari. Incorporating Defeasible Knowledge and Argumentative Reasoning in Web-based Forms. *Third Workshop of Intelligent Techniques for Web Personalization (ITWP'05), International Joint Conference in Artificial Intelligence (IJCAI'05)*, pages 9–16, 2005.
- [8] Sergio Alejandro Gómez, Carlos Iván Chesñevar, and Guillermo Ricardo Simari. An Argumentative Approach to Reasoning with Inconsistent Ontologies. In Thomas Meyer and Mehmet A. Orgun, editors, *Proc. of the Knowledge Representation in Ontologies Workshop (KROW 2008)*, volume CPRIT 90, pages 11–20, Sydney, Australia, 2008.
- [9] Sergio Alejandro Gómez, Carlos Iván Chesñevar, and Guillermo Ricardo Simari. Defeasible Reasoning in Web Forms Through Argumentation. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 7:71–101, 2008.
- [10] Sergio Alejandro Gómez, Carlos Iván Chesñevar, and Guillermo Ricardo Simari. Integration of Web-based Forms with Ontologies in the Semantic Web. In Antonio Castro Lechtaler Norberto Caminoa, Fernanda Carmona, editor, *Actas del XIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2008)*, pages 529–540, Chilecito, Argentina, 6-10 octubre 2008, 2008.
- [11] Sergio Alejandro Gómez, Carlos Iván Chesñevar, and Guillermo Ricardo Simari. Integration of Rules and Ontologies with Defeasible Logic Programming. In *XV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2009)*, pages 90–99, 2009.
- [12] Sergio Alejandro Gómez, Carlos Iván Chesñevar, and Guillermo Ricardo Simari. A Defeasible Logic Programming Approach to the Integration of Rules and Ontologies. *Journal of Computer Science & Technology*, 10(2):74–80, 2010.
- [13] Sergio Alejandro Gómez, Carlos Iván Chesñevar, and Guillermo Ricardo Simari. Local-As-View Integration of Ontologies in Defeasible Logic Programming. In *XVI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2010)*, page (Submitted), 2010.
- [14] Sergio Alejandro Gómez, Carlos Iván Chesñevar, and Guillermo Ricardo Simari. Reasoning with Inconsistent Ontologies Through Argumentation. *Applied Artificial Intelligence*, 1(24):102–148, 2010.
- [15] Benjamin Grosz, Ian Horrocks, Raphael Volz, and Stefan Decker. Description Logic Programs: Combining Logic Programs with Description Logics. *WWW2003, May 20-24, Budapest, Hungary*, 2003.
- [16] T. R. Gruber. A translation approach to portable ontologies. *Knowledge Acquisition*, 5(2):199–220, 1993.
- [17] Frank Manola and Eric Miller. *RDF Primer*, 2004.
- [18] Deborah L. McGuinness and Frank van Harmelen. *OWL Web Ontology Language Overview*, 2004.
- [19] Jack Minker and Dietmar Seipel. Disjunctive Logic Programming: A Survey and Assessment. *Lecture Notes in Computer Science*, 2407/2002:171–197, 2002. DOI: 10.1007/3-540-45628-7-18.