

Integración de bases de creencias manteniendo coherencia y consistencia con criterio unificado de credibilidad

Cristhian A.D. Deagustini^{1,2}, Cristian D. Pacifico², Juan C.L. Teze^{1,2}, M. Vanina Martinez¹, Marcelo A. Falappa¹

¹Laboratorio de I+D en Inteligencia Artificial, Instituto de Ciencias e Ingeniería de la Computación (ICIC), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional del Sur, Alem 1253, (B8000CPB) Bahía Blanca, Arg.

²Área de Agentes y Sistemas Inteligentes, Fac. Cs Administración, Universidad Nacional de Entre Ríos, Tavella 1424, (E3202KAC) Concordia, Arg
cadd@cs.uns.edu.ar; cripac@fcad.uner.edu.ar; jcarlt02@gmail.com, {mvm,mfalappa}@cs.uns.edu.ar

RESUMEN

Esta línea de I+D propone desarrollar *frameworks* para la integración de bases de conocimientos provenientes de diferentes fuentes. Estos *frameworks* modelan escenarios de Revisión de Creencias en entornos de múltiple agentes, con mecanismos para solucionar conflictos de inconsistencia e incoherencia recurrentes al integrar varios repositorios masivos locales y de gestión diferente. Se pretende que el proceso de integración, logre consensuar un criterio unificado de credibilidad que refleja la confianza global en cada fuente; y posteriormente, efectivice la integración como una vista unificada de la información de los repositorios locales, basándose en el orden de credibilidad establecido.

Palabras clave: revisión de creencias, bases de credibilidad, sistemas multiagentes.

CONTEXTO

La presente investigación surge en el marco del proyecto **PID-UNER 7053** “Integración de bases de creencias manteniendo coherencia y consistencia: teoría y aplicaciones”, que es desarrollado en la Fac. Cs. de la Administración de la UNER y tiene integrantes de dicha Universidad y del Inst. de Ciencias e Ingeniería de la Computación de UNS-CONICET.

1. INTRODUCCIÓN

En sistemas que manejan e intercambian grandes volúmenes de información es necesario contar con métodos automáticos que solucionen los conflictos que aparecen cuando el conocimiento evoluciona y se integra con otras fuentes de información; más aún cuando esas porciones de conocimiento provienen de diferentes fuentes o dominios. Actualmente, es interesante poder representar tales Bases de Conocimiento como *ontologías*. En particular las *ontologías* son importantes no sólo por el conocimiento que expresan, sino también por las restricciones semánticas que pueden aplicarse. Si de expresar ontologías se trata, se destaca el lenguaje **Datalog±** [1]. Desde el punto de vista de expresividad, Datalog± permite construir representaciones de conocimiento basadas en reglas modulares que son sintácticamente fragmentos de Lógica de Primer Orden. Datalog± como máquina de inferencia, tiene la propiedad de ser decidible permitiendo manejar grandes volúmenes de datos de entornos reales.

Al contar con ontologías, surge la necesidad de manejar dinámica de la base de conocimiento. Es decir, aceptar nueva información manteniendo la integridad y consistencia de la base; reconociendo que el manejo de conflictos es un problema que debe ser atacado [2, 3], especialmente cuando se integra conocimiento proveniente de diferentes fuentes [4, 5].

El más conocido de los conflictos es la **inconsistencia** de la información. Este concepto se refiere a teorías tales que es

imposible encontrarles un *modelo* (es decir: una *interpretación* que haga verdaderas a todas sus fórmulas). En términos sintácticos, un conjunto de fórmulas es *consistente* si y sólo si, dada una fórmula **A**, no es posible deducir tanto **A** como $\neg\mathbf{A}$. Adicionalmente, en entornos ontológicos se encuentra otro tipo de conflicto denominado *incoherencia* [6, 7]. Este fenómeno surge cuando una porción de conocimiento, expresado por un conjunto de reglas, no pueda ser aplicado sin generar problemas de consistencia; es decir, las reglas no puede ser aplicadas sin violar inevitablemente alguna de las restricciones impuestas al conocimiento, haciéndolas por lo tanto insatisfacibles. Intuitivamente se puede ver a la incoherencia como una inconsistencia *latente* o *potencial*. Consecuentemente, si este conjunto de reglas *incoherente* es considerado junto con hechos relevantes (hechos que activen las reglas en cuestión) entonces la violación es inevitable, generando *inconsistencia*. En estos entornos, una posibilidad para tratar estos conflictos y recuperar la coherencia y la consistencia implica modificar la información contenida en la ontología de forma tal de recuperar la consistencia –y coherencia- de la misma.

El área de I+D *Revisión de Creencias* [8, 9] (*Belief Revision –BR-*) ha realizado significativos aportes a la resolución de tales conflictos. Los marcos de trabajos de BR proponen operaciones para la dinámica de una base de conocimiento o conjunto de creencias. En el modelo fundacional AGM [10] de BR, dado conjunto de creencias **K** y una sentencia α , se establece operaciones de: **Expansión** $\mathbf{K}+\alpha$ (agrega una nueva α a **K**), **Contracción** $\mathbf{K}-\alpha$ (elimina toda posibilidad que de **K** se infiera α), y **Revisión** $\mathbf{K}*\alpha$ (asegura que de **K** se infiera α consistentemente, eliminando la posibilidad de inferir $\neg\alpha$). Otros trabajos posteriores desarrollaron otras operaciones, como ser **Consolidación** $\mathbf{K}!$ (*aplicable con **K** inconsistente, para volverla consistente*) [11], **Combinación** $\oplus(\Psi)=\mathbf{K}'$ (aplicable a un conjunto de bases de creencias $\Psi = \{\mathbf{K}_1, \mathbf{K}_2, \dots, \mathbf{K}_n\}$ y logra una única base \mathbf{K}' consistente respetando restricciones de integridad

impuestas) [5], e **Integración** $\Delta(\Psi) = \mathbf{K}'$ (que unifica diferentes bases teniendo en cuenta la fuente respectiva) [12].

Naturalmente, Revisión de Creencias ha evolucionado para abarcar los entornos multigente; de manera de poder definir y construir operaciones de cambio sobre las creencias de un agente individual, o las bases de creencias de una sociedad de agentes. Una síntesis de estos escenarios puede verse en [13]. Los ambientes (mono)agente, se identifican con *Revisión de la Creencia Individual (IBR)*, dónde se logra satisfacer los postulados AGM o frameworks equivalentes. En sistemas multiagentes, el primer caso es de *Revisión de Creencias de Múltiples Fuentes (MSBR)* dónde un agente individual recibe información de distintos agentes informantes y, eventualmente, agrega a su base de creencias conforme a un criterio de credibilidad sobre los otros informantes. Varios trabajos han sido presentados al respecto [14, 15]; y en particular [16, 17]. En el segundo escenario es la *Revisión de Creencias de Múltiples Agentes (MABR)*, dónde una sociedad de agentes deberá poder consensuar y unificar los criterios de credibilidad locales; y posteriormente lograr la integración de las bases locales en una única base de creencias de la sociedad de agentes; algunos avances se presentaron en [10, 11]. En estos dos últimos escenarios, el desafío centrar es poder integrar bases de conocimientos de diferentes fuentes.

La *integración (merging)* de múltiples fuentes de información es particularmente interesante para bases de datos distribuidas, sistemas multiagentes y para los sistemas distribuidos en general. En cuanto al manejo de la *inconsistencia* debida a datos contradictorios, se puede decir que la integración ha recibido menos esfuerzos que las otras operaciones. Se han propuesto muchos métodos para integración de creencias [19]–[21]; y también se han propuesto metodologías para compararlos entre sí, como destacado se puede citar a [22]. En el trabajo posterior de Konieczny y Pino Pérez [12], se proponen los postulados de varios operadores en un marco lógico;

además, se presentan algunas familias de operadores de integración que se estudian a la luz de estas propiedades.

2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Generalmente los grandes volúmenes de información están expresados en repositorios o bases de datos locales; y eventualmente necesitan integrarse en una federación de repositorios; obteniendo una vista unificada del conocimiento que expresan. Por tal motivo, esta propuesta se centra en la integración de tales bases locales para lograr una vista unificada global; interpretando a cada base de conocimiento local como una base de creencias de fuente (o agente) particular; y materializando la vista global unificada como un proceso de integración (*merging*) de las bases de creencias, que debe tener en cuenta la credibilidad particular de cada fuente (o agente); o logrando un criterio de credibilidad unificado.

Se sabe que Datalog \pm tiene reconocida capacidad para expresar información de bases de datos relacionales [1, 23]. Eventualmente se pueden hacer diferentes ontologías para representar bases de datos de diferentes fuentes o administraciones. Así, Datalog \pm ofrece un buen balance entre tratabilidad y expresividad para definir una infraestructura que permita la realización de consultas sobre grandes volúmenes de datos almacenados en repositorios federados.

Si bien nuestra propuesta no excluye el uso de otros formalismos, los trabajos ya publicado posibilitan continuar con líneas de acción ya planteadas [24]. En particular resulta interesante la definición de operadores de consolidación sobre bases de creencias Datalog \pm , presentada en [25]. Aquí se explora, como trabajo futuro, la posibilidad de expandir los postulados y representaciones para especificar operadores para integración de bases de creencias respetando un único orden de credibilidad.

Así, la hipótesis planteada es:

1. Que es posible representar una vista unificada de varias bases de conocimientos de diferentes fuentes mediante un *framework* basado en BR y especificando operadores de integración que manejen los potenciales conflictos de consistencia y coherencias.
2. Que tal escenario puede representarse como un entono de múltiples agentes, siendo cada uno el representante de una fuente determinada de información, con preferencias de credibilidad referidas al resto de los agentes.
3. Que es posible definir un criterio u orden de credibilidad unificado entre todos los agentes de información, y utilizar tal criterio para lograr la vista unificada.

3. RESULTADOS ESPERADOS

La validación de la hipótesis planteada supone la concreción de un *framework* que permitirá realizar integraciones de repositorios de administración separada; obteniendo una vista global, coherente y consistente, del conocimiento que estos repositorios manifiestan. Esta vista se logra por el consenso de criterios de credibilidad que asignan un valor de confianza a cada fuente. El propósito de cada vista, define la lógica de integración y afecta el criterio de credibilidad global. Se pueden constituir varias vistas, para varios propósitos. Actualmente los grandes repositorios de información están estructurados con esquemas relacionales de bases de datos. Determinados *frameworks*, como Datalog \pm , permiten expresar la información de tales repositorios en ontologías, sobre las cuales se pueden agregar lógicas de razonamiento, permitiendo inferir más información a partir de los hechos descriptos en las bases de datos. De concretar el *framework* de integración propuesto, es posible lograr un alto nivel de automatización en este proceso;

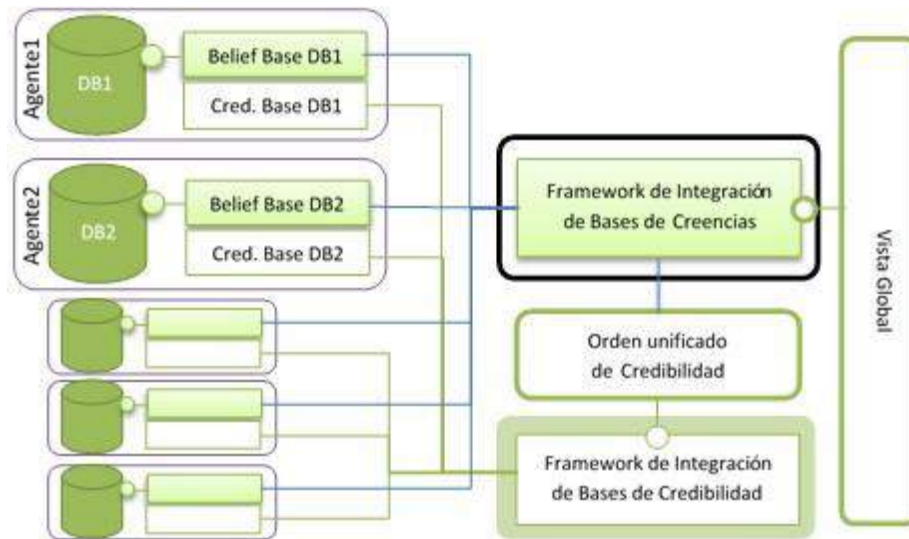


Figura 1: Estructura del *framework* propuesto

además de respetar la actualización continua que cada repositorio local pueda sufrir.

En una etapa posterior, se pueden desarrollar y construir aplicaciones informáticas que sirvan para lograr sintetizar grandes volúmenes de información distribuida, en varios campos de aplicación. En este punto es innovador la posibilidad de concretar un *framework* para ambientes de revisión de creencias de múltiples agentes (MABR), usando la expresividad de formalismos ontológicos como $Datalog_{\pm}$. La Fig. 1 resume la arquitectura propuesta.

Según las siguientes actividades, los resultados esperados son:

1. *Definición de operaciones de integración de bases de credibilidad*: se pretende definir los postulados, teorema de representación y construcciones. Se realizarán análisis comparativos.
2. *Definición de operadores de integración de bases de creencias basados en criterios de credibilidad unificados*: se pretende definir los postulados, teorema de representación y construcciones candidatas. En particular, también se definirá la estructura del estado epistémico y entradas epistémicas.
3. *Definición de operadores de integración de bases de creencias $Datalog_{\pm}$ basados en criterios de credibilidad unificados*: se espera lograr la definición de postulados, teorema de representación y

construcciones. En particular mediante relaciones de orden de credibilidad.

4. *Definición del marco de trabajo conceptual para integrar bases de creencias teniendo en cuenta la credibilidad de fuentes*: se espera definir un marco de trabajo para realizar integración de bases de creencias de fuentes diferentes, conformando escenarios del tipo MABR.

4. FORMACIÓN DE RR.HH.

La línea de I+D es llevada adelante por un equipo de integrantes de la FCAD/UNER y el ICIC/UNS. Esto permite que la experiencia de un grupo de investigación consolidado en el área sirva para el apuntalamiento y desarrollo de investigación del área “Agentes y Sistemas Inteligentes” de la FCAD/UNER, la cual cuenta con una estructura y desarrollo embrionario. Se desprende que esta sinergia favorece la formación de recursos humanos en la FCAD/UNER en cuarto nivel, especializados en el área de Sistemas de Razonamiento.

Este trabajo es el marco para 1(un) proyecto de tesis Doctoral y 1(un) proyecto de tesis de Maestría. Adicionalmente se prevé, para los detalles de implementación de herramientas, la realización de 1 (una) Tesina de grado.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Cali, G. Gottlob, y T. Lukasiewicz, «A general Datalog-based framework for tractable query answering over ontologies», *Web Semant. Sci. Serv. Agents World Wide Web*, vol. 14, pp. 57-83, 2012.
- [2] D. A. Bell, G. Qi, y W. Liu, «Approaches to Inconsistency Handling in Description-Logic Based Ontologies», en *OTM Workshops (2)*, 2007, pp. 1303-1311.
- [3] Z. Huang, F. van Harmelen, y A. ten Teije, «Reasoning with Inconsistent Ontologies», en *IJCAI*, 2005, pp. 454-459.
- [4] L. Amgoud y S. Kaci, «An argumentation framework for merging conflicting knowledge bases: The prioritized case», en *ECSQARU*, 2005, pp. 527-538.
- [5] C. Baral, S. Kraus, y J. Minker, «Combining Multiple Knowledge Bases», *IEEE Trans Knowl Data Eng.*, vol. 3, n.º 2, pp. 208-220, 1991.
- [6] G. Flouris, Z. Huang, J. Z. Pan, D. Plexousakis, y H. Wache, «Inconsistencies, Negations and Changes in Ontologies», en *AAAI*, 2006, pp. 1295-1300.
- [7] G. Qi y A. Hunter, «Measuring Incoherence in Description Logic-Based Ontologies», en *ISWC/ASWC*, 2007, pp. 381-394.
- [8] S. O. Hansson, «Belief Base Dynamics», Uppsala University, Department of Philosophy, Uppsala, Sweden, 1991.
- [9] P. Gärdenfors, *Belief revision*, vol. 29. Cambridge University Press, 2003.
- [10] C. Alchourrón, P. Gärdenfors, y D. Makinson, «On the Logic of Theory Change: Partial Meet Contraction and Revision Functions», *J. Symb. Log.*, vol. 50, n.º 2, pp. 510-530, 1985.
- [11] S. O. Hansson, *A Textbook of Belief Dynamics: Solutions to Exercises*. Norwell, MA, USA: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [12] S. Konieczny y R. P. Pérez, «Merging Information Under Constraints: A Logical Framework», *J. Log. Comput.*, vol. 12, n.º 5, pp. 773-808, 2002.
- [13] W. Liu y M.-A. Williams, «A Framework for Multi-Agent Belief Revision, Part I: The Role of Ontology», en *Advanced Topics in Artificial Intelligence, 12th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence, AI '99, Sydney, Australia, December 6-10, 1999, Proceedings*, 1999, pp. 168-179.
- [14] S. Benferhat, D. Dubois, y H. Prade, «Argumentative inference in uncertain and inconsistent knowledge bases», *CoRR*, vol. abs/1303.1503, 2013.
- [15] A. F. Dragoni y P. Puliti, «Distributed Belief Revision versus Distributed Truth Maintenance», en *Sixth International Conference on Tools with Artificial Intelligence, ICTAI '94, New Orleans, USA, November 6-9, 1994*, 1994, pp. 499-505.
- [16] L. H. Tamargo, A. J. García, M. A. Falappa, y G. R. Simari, «On the revision of informant credibility orders», *Artif Intell.*, vol. 212, pp. 36-58, 2014.
- [17] L. H. Tamargo, A. J. García, M. A. Falappa, y G. R. Simari, «Consistency maintenance of plausible belief bases based on agents credibility», en *12th International Workshop on Non-Monotonic Reasoning (NMR)*, 2008, pp. 50-58.
- [18] L. H. Tamargo, A. J. García, M. A. Falappa, y G. R. Simari, «Modeling knowledge dynamics in multi-agent systems based on informants», *Knowl. Eng. Rev.*, vol. 27, n.º 1, pp. 87-114, 2012.
- [19] C. Baral, S. Kraus, J. Minker, y V. S. Subrahmanian, «Combining Knowledge Bases Consisting of First Order Theories», en *Methodologies for Intelligent Systems, 6th International Symposium, ISMIS '91, Charlotte, N.C., USA, October 16-19, 1991, Proceedings*, 1991, pp. 92-101.
- [20] L. Cholvy y A. Hunter, «Information Fusion in Logic: A Brief Overview», en *Qualitative and Quantitative Practical Reasoning, First International Joint Conference on Qualitative and Quantitative Practical Reasoning ECSQARU-FAPR '97, Bad Honnef, Germany, June 9-12, 1997, Proceedings*, 1997, pp. 86-95.
- [21] V. S. Subrahmanian, «Amalgamating knowledge bases», *ACM Trans Database Syst.*, vol. 19, n.º 2, pp. 291-331, jun. 1994.
- [22] S. Konieczny y R. P. Pérez, «Merging with Integrity Constraints», en *Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning and Uncertainty, European Conference, ECSQARU'99, London, UK, July 5-9, 1999, Proceedings*, 1999, pp. 233-244.
- [23] T. M. Connolly y C. E. Begg, *Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation and Management*, 5th ed. USA: Addison-Wesley Publishing Company, 2009.
- [24] C. A. D. Deagustini, M. V. Martínez, M. A. Falappa, y G. R. Simari, «Inconsistency resolution and global conflicts», en *Proc. of 21st European Conference on Artificial Intelligence (ECAI '14)*, 2014, pp. 991-992.
- [25] C. A. D. Deagustini, «Consolidación de ontologías Datalog+», Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación. Universidad Nacional del Sur., 2016.