

Razonamiento basado en la tolerancia a la inconsistencia

Mariana Virginia Etcheber María Vanina Martínez
Guillermo R. Simari

Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial
Departamento de Ciencias e Ingenierías de la Computación
Universidad Nacional del Sur
Alem 1253 - Bahía Blanca - Buenos Aires - Argentina
(0291) 459-5135
mve@cs.uns.edu.ar, mvm@cs.uns.edu.ar, grs@cs.uns.edu.ar

Resumen

En los últimos 20 años se ha dado un gran incremento en la proliferación masiva de datos originado por la aplicación de nuevas tecnologías. Estas cantidades de información se almacenan en grandes repositorios de datos que quedan disponibles para su uso cotidiano como bases de conocimiento (KB), por ejemplo para utilizar como soporte en la toma de decisiones. En este contexto la presencia de información conflictiva (inconsistencia) es ubicua; dada la cantidad y variedad de procesos y aplicaciones que modelan situaciones del mundo real, las actualizaciones de los mismos producen inevitablemente inconsistencias que se almacenan en las KB. Por lo tanto, la inconsistencia es ineludible y esperable en KBs del mundo real. Dependiendo del dominio de aplicación pueden aparecer inconsistencias que necesitan ser resueltas pero la decisión de resolverlas, el enfoque de la resolución y cuando deben ser resueltas deberían ser procesos sensibles al contexto. Por ejemplo, ciertos tipos de conflictos en los datos puede ser visto como aceptable y hasta deseable en un sistema con razonamiento utilizado para detectar fraudes; en otros escenarios la resolución inmediata de inconsistencias puede resultar en pérdida de información valiosa. Esta línea de investigación propone explorar el área de razonamiento basado en tolerancia a la inconsistencia en Inteligencia Artificial y en Teoría de Base de Datos. Esta tarea consiste en realizar la recolección, análisis y crítica de los diferentes métodos propuestos en la literatura sobre el manejo de inconsistencias en el proceso de razonamiento y respuesta a consultas y su consolidación en un trabajo que relacione estas perspectivas diferentes.

Palabras Clave: Representación de conocimiento y razonamiento, Razonamiento tolerante la inconsistencia, Bases de datos, Lenguajes ontológicos

1. Contexto

La presente línea de investigación se encuentra inserta en el marco del proyecto PRH-2014-0007 “*Respuesta*

de consultas a bases de conocimiento sociales con incertidumbre utilizando las preferencias de los usuarios”, coordinado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, Ministerio de Ciencias, Tecnología e Innovación Productiva, y llevado a cabo dentro del Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación, Universidad Nacional del Sur.

2. Introducción

Esta investigación se centra en el estudio de métodos y arquitecturas para razonamiento tolerante a la inconsistencia. En las últimas dos décadas se han desarrollado en diferentes sub-áreas de la Inteligencia Artificial y Teoría de Bases de Datos, varias propuestas al respecto enfocadas a resolver problemas de distinta naturaleza pero que comparten el mismo espíritu de conservar la mayor cantidad de información posible en presencia de potenciales conflictos. Sin embargo, las propuestas no son completamente satisfactorias en relación al compromiso en la calidad del resultado y la eficiencia computacional del proceso de razonamiento realizado bajo estas condiciones; por lo tanto, se considera que el problema de investigación aún está abierto. La influencia de la informática en las comunicaciones ha producido una situación en la que la sociedad se nutre de información. La mayor parte de la información está en forma “cruda”, no elaborada como datos elementales. La tecnología informática disponible, actuando sobre el espacio comunicacional, permite capturar, administrar y almacenar grandes cantidades de datos en repositorios masivos que quedan disponibles para su uso cotidiano como base de conocimiento. Estos repositorios alimentan una gran variedad de sistemas de computación, tales como los que brindan soporte para la toma de decisiones, sistemas de comando para control de emergencias, gestión de desastres, aplicaciones en la web semántica, entre muchos otros. En este contexto, la inconsistencia en las bases de conocimiento es ubicua. Esto se explica a través de la cantidad y variedad de procesos y aplicaciones que modelan situaciones del mundo real, que inevitablemente produce in-

formación conflictiva durante las actualizaciones y que es almacenada en las bases de conocimiento. La inconsistencia en la información es ineludible y esperable en las bases de conocimiento del mundo real, y como tal, su existencia reconocida en los sistemas de información con los que interactuamos cotidianamente y su manejo debería ser formalizado. Cuanto más grande es una base de conocimiento, menos posibilidades existen que los datos contenidos en ella sean completos y coherentes (o consistentes). Durante mucho tiempo, en diferentes áreas de Ciencias de la Computación, se sostuvo la postura general de que las bases de datos, bases de conocimiento, y especificaciones de software, debían estar completamente libres de inconsistencia; posteriormente, el problema se abordó formalmente aislando o resolviendo las inconsistencias localmente. Desde el punto de vista del sentido común, un conjunto de datos que contenga la forma α y $\neg\alpha$ no debería existir en una base de conocimiento. De existir el conflicto, este debería resolverse. Sin embargo, hay situaciones en las que pueden aceptarse su almacenamiento conjunto, dado que no debería entorpecer el razonamiento sobre el resto de la información que mantiene su consistencia. También es posible considerar la inconsistencia como conocimiento extra que permite identificar situaciones anómalas y razonar adecuadamente con esa información. Consideremos, por ejemplo, una base de datos del impuesto sobre la renta donde la información contradictoria sobre un contribuyente puede ser una prueba útil en una investigación de fraude. Tal vez el contribuyente haya completado un formulario que indique que tiene seis hijos (de ahí los beneficios fiscales para eso) y completado otro que establece que no tiene ninguno. Aquí, esta información contradictoria necesita ser almacenada, descubierta y utilizada apropiadamente para resolver la situación. La inconsistencia puede ser útil para dirigir el razonamiento y la investigación de procesos naturales de argumentación, búsqueda de información, interacción multi-agente, adquisición y perfeccionamiento, adaptación y aprendizaje de conocimiento. En un sentido, la inconsistencia puede ser vista como aceptable y hasta deseable en un sistema, siempre y cuando el sistema tenga los mecanismos apropiados para actuar sobre ellas, esto es, el razonamiento que se utiliza es supra-clásico. Otro conjunto de problemas de gran interés es la cuestión de cuándo resolver las inconsistencias. La resolución inmediata de inconsistencias puede resultar en la pérdida de información valiosa si se elige arbitrariamente sobre lo que debe rechazar. Consideremos por ejemplo la etapa de ingeniería de software de captura de requerimientos. Aquí una resolución prematura puede forzar una decisión arbitraria hecha sin que la elección sea ponderada adecuadamente. Esta forma de proceder puede limitar excesivamente la captura de requisitos del proceso. Por supuesto, dependiendo del dominio de aplicación, pueden aparecer inconsistencias que necesitan ser resueltas, pero la decisión de resolverlas, el enfoque de la resolución y cuando deben ser resueltas deberían ser procesos sensibles al contexto. En los últimos veinte años, a raíz de la aplicación de las

nuevas tecnologías de información se ha producido la proliferación masiva de datos en la ciencia básica (Big Data) lo que dificulta a los científicos mantenerse al día con los resultados y tecnologías desarrolladas. Esto lleva, por ejemplo, a que los científicos malgasten tiempo, esfuerzo, recursos y talento. Los grandes repositorios de datos de la experiencia están disponibles a costos bajos e incluso gratuitos, listos para ser explotados por procesos informacionales. Por esta razón, este plan de trabajo propone una investigación exploratoria del área de razonamiento basado en tolerancia a la inconsistencia en Inteligencia Artificial y en Teoría de Base de Datos. Esta tarea implica realizar la recolección, análisis y crítica de los diferentes métodos propuestos en la literatura sobre el manejo de inconsistencias en el proceso de razonamiento y respuesta a consultas y su consolidación en un trabajo que relacione estas perspectivas diferentes.

3. Líneas de Investigación y Desarrollo

Intuitivamente, una base de conocimiento es inconsistente cuando el proceso de inferencia que opera sobre ella obtiene conclusiones conflictivas. La gravedad de esta situación depende de la infraestructura inferencial disponible. En el caso de la deducción en lógica clásica (proposicional o de primer orden), la maquinaria deductiva es capaz de deducir cualquier sentencia del lenguaje. Este problema es descrito como el principio de explosión o de trivialización (*ex falso quodlibet* en Latín), que resulta claramente en una situación indeseable. Un sistema que usa el lenguaje de la lógica de primer orden para representar el conocimiento almacenado en la KB, puede tener diferentes respuestas de acuerdo la máquina inferencial que se elija. Si se sigue una aproximación deductiva clásica, una KB conteniendo inconsistencia sufrirá el problema del *ex falso quodlibet*, pero podría evitarlo si su máquina de inferencia está construida modelando alguna forma de razonamiento rebatible cuya misma definición contempla este problema resolviéndolo por medio del análisis de las consecuencias de aceptar alguna de las alternativas considerando como se llega a las conclusiones. La tolerancia a la inconsistencia trata sobre la definición de estos procesos inferenciales [6]. La presente línea de investigación se enfoca en el estudio de las diversas (a veces aparentemente distintas) maneras de hacer frente a la presencia de información inconsistente o conflictiva. Describiremos brevemente algunos enfoques “clásicos” de abordar esta problemática.

Chequeo y reparación de inconsistencia. En bases de datos (DB), la inconsistencia es una noción relativa a la satisfacción de un determinado conjunto de restricciones de integridad (CI), estas restricciones de integridad establecen propiedades de los estados de una DB admisible; imponen restricciones semánticas sobre los datos con el fin de capturar su correspondencia con lo que está siendo modelado en la DB. Decimos que una DB (que es posible modelar como una estructura de lógica de primer

orden [27] es inconsistente cuando las restricciones de integridad, expresadas como fórmulas lógicas, no están satisfechas por la DB. De esta manera, el chequeo de satisfacción de las restricciones de integridad se puede hacer fácilmente planteando y respondiendo una consulta desde/a la DB. Si bien este es un proceso simple, la dinámica y evolución en el contenido de las DBs hacen necesario realizar este chequeo periódicamente. A partir del trabajo de Arenas *et al.* [3] el área de “reparación y respuesta consistente” (CQA Consistent Query Answering en Inglés) a consultas en bases de datos relacionales ha ganado mucha atención ya que, en ese trabajo se define la construcción de un modelo teórico para una reparación de una DB: un reparación de una DB inconsistente es un modelo del conjunto de restricciones de integridad (ICs) que es minimal con respecto a la DB original, *i.e.*, “tan cercano a la DB original como sea posible”. Las reparaciones a realizar a una DB pueden no ser únicas, y en el caso general pueden existir muchas de ellas. Una semántica ampliamente aceptada para consultar una DB posiblemente inconsistente es la de “respuestas consistentes”. Una respuesta consistente para una consulta sobre una DB posiblemente inconsistente es el conjunto de tuplas que aparecen en la respuesta a la consulta para cada posible reparación. CQA impone consistencia en el tiempo de consulta como una alternativa al requerimiento a nivel de instancia como lo hacen las técnicas convencionales de limpieza de datos. Esto permite centrarnos en una pequeña parte de la base de datos para la cual las reparaciones no necesitan ser computadas o pueden ser computadas más fácilmente. En [12] se presenta un marco formal para reparación de DBs basado en costos, el cual permite encontrar “buenas” reparaciones para bases de datos que exhiben inconsistencia en forma de violación de dependencias funcionales o de inclusión. Claramente, CQA propone un enfoque cauteloso, y puede conducir a una gran pérdida de información. Aunque existen varios trabajos sobre el problema de reparación y consulta inconsistente de datos considerando diferentes clases de consultas y restricciones, solo recientemente se han desarrollado propuestas que centran la atención en mejorar la calidad de las respuestas [10, 29]; estos enfoques se centran en el desarrollo de estrategias de reparación específicas y en mejorar su calidad de acuerdo a algún criterio especificado por el administrador de base de datos de acuerdo con las preferencias del usuario.

Lógicas Paraconsistentes. Dados los inconvenientes que genera la inconsistencia en la lógica clásica, es evidente que el razonamiento con inconsistencia implica un compromiso con la maquinaria de inferencia de la lógica que se utiliza para modelar el conocimiento. Algunos de los tipos de lógica paraconsistente que han sido usados en sistemas computacionales inteligentes incluyen:

- Lógicas Débilmente Negativas, utilizan el lenguaje clásico completo para un subconjunto de la teoría clásica de prueba [13],
- Lógicas de Cuatro Valores, utilizan subconjuntos del lenguaje clásico y subconjuntos de la teoría clásica de prueba y semántica de cuatro valores [4],

- Sistemas Signados que implican renombrar todos los literales en una teoría y luego restaurar algo de la teoría original de forma progresiva añadiendo equivalencias formales entre los literales originales y sus cambios de nombre [8].
- Lógicas Cuasi-Clásicas que utilizan la teoría de prueba clásica pero restringen la noción de prueba de deducción natural [18].

Cada una de las propuestas tiene ventajas y desventajas, y en general se comportan de manera muy diferente. Seleccionar una lógica paraconsistente apropiada para una aplicación depende de los requisitos de esta aplicación y ninguno puede ser considerado como perfecto para el manejo de información inconsistente en general.

Sistemas de Argumentación. Argumentar es un proceso natural que los seres humanos usan para decidir cuáles son sus creencias. Al argumentar se comparan razones (en la forma de argumentos) en favor y en contra de aceptar una afirmación. Un argumento estructuralmente sostiene una afirmación, y el sostén se obtiene siguiendo alguna forma de razonamiento a partir de un conjunto de premisas. Un contraargumento es un argumento que ataca la conclusión, las premisas o la conexión entre las premisas y la afirmación que representa la conclusión. Argumentación es dar razones para justificar afirmaciones e involucra una audiencia que decide si la afirmación se acepta o no, todo esto en el contexto de un desacuerdo. Esta forma de razonamiento ha encontrado un lugar importante en el estudio de los procesos asociados con el pensamiento de sentido común y también en el modelamiento computacional de muchas actividades humanas. En particular, la aplicación del análisis dialéctico del contenido de bases de conocimiento posiblemente inconsistentes ha dado lugar un número importante de propuestas, entre las que podemos mencionar las siguientes:

- Sistemas basados en la formación de coaliciones: Se basan en la identificación de grupos de argumentos que se defienden unos a otros contra contraargumentos al unirse para defensa propia [15].
- Sistemas basados en coherencia: La estrategia es razonar con subconjuntos consistentes de la base de conocimiento. Esto está estrechamente relacionado con un enfoque de eliminación de información de la base de conocimiento que está causando inconsistencia [24, 11, 5, 2, 7].
- Sistemas basados en lógica rebatible: Existen diferentes propuestas para considerar la rebatibilidad en argumentación; la característica común es la incorporación de una implicación rebatible en un lenguaje lógico (puede ser clásico o de programación en lógica). A partir de la conceptualización de Pollock [26] de las nociones básicas del proceso de argumentación tales como la noción de razones, razones prima facie, derrotadores, refutadores de derrotadores y subvaloración de derrotadores, en términos de una lógica formal, surgieron otras propuestas como las de argumentos abstractos [30], lógica

condicional [25], programación en lógica rebatible (DeLP) [16], ASPIC framework [9], entre otras.

Medidas de Inconsistencia. Dado una KB inconsistente, es posible que necesitemos saber más sobre la naturaleza de esa inconsistencia y de la información que ofrece la KB. En cierto sentido, podemos desear hacer el análisis de inconsistencia en base a nociones que puedan ser medidas. El trabajo seminal sobre la medición de inconsistencia es de Shannon [28], el cual se basa en la teoría de probabilidades y puede ser utilizado en un entorno lógico cuando los mundos son los eventos posibles. Este trabajo es también la base de la obra de Lozinskii [23] para la definición de cantidad de información de una fórmula (o KB) en lógica proposicional. Pero esta definición no es adecuada cuando la base de conocimiento es inconsistente. En este caso, la base de conocimiento no posee un modelo clásico, por lo que no existen “eventos” para contar. Para hacer frente a esto, se consideran modelos de subconjuntos consistentes maximales de la base de conocimiento. Alternativamente, se puede medir la contradicción contenida en una base de conocimiento. En la lógica clásica se utiliza una medida binaria de contradicción: consistente o inconsistente; claramente, esta medida carece de sentido en la presencia de inconsistencia. Sin embargo, dado que en la actualidad hay una serie de lógicas paraconsistentes desarrolladas para obtener conclusiones no triviales de una base de conocimiento inconsistente, es necesaria la utilización de medidas más finas. Algunas propuestas interesantes incluyen: análisis basado en consistencia que se centraliza en los subconjuntos consistentes e inconsistentes de la base de conocimiento [19], análisis teórico de información que se adapta la medida de información de Shannon [23, 31], análisis semánticos probabilísticos que consideran distribuciones de probabilidad consistente maximal sobre un conjunto de fórmulas [21] entre otros.

Revisión de Creencias. Dada una base de conocimiento KB y una fórmula p de revisión, la teoría de revisión de creencias se refiere a las propiedades que debe contener una noción racional para la actualización con respecto a la fórmula p . Si $KB \cup \{p\}$ es inconsistente, la teoría de revisión de creencias asume el requisito que el conocimiento debe ser revisado de manera que la base de conocimiento resultante sea consistente. Los axiomas del sistema AGM [1, 17] delimitan el comportamiento de las funciones de revisión de conjuntos de creencias (conjunto de todas las inferencias obtenidas a partir de un conjunto de fórmulas). Un operador de revisión intenta cambiar lo menos posible del conjunto de creencias con el fin de incluir la nueva información. Este requerimiento de cambiar lo menos posible se opone al cambio de un conjunto consistente a uno inconsistente, i.e., algunas creencias serán eliminadas con el fin de mantener la consistencia. Obtener sistemas computacionalmente eficientes y efectivos que cumplan con los postulados de AGM ha resultado ser un reto. Ha habido muchos desarrollos de teoría de revisión de creencias como iteración de revisión de creencias [14, 22] y revisión de creencias para actualización de base de datos [20].

4. Resultados y Objetivos

En esta investigación se estudiarán los diferentes formalismos para el razonamiento en presencia de conocimiento inconsistente que se han desarrollado en las áreas de Inteligencia Artificial y Teoría de Bases de Datos en las últimas dos décadas. El objetivo principal de este plan de trabajo es generar un panorama global del estado del arte en esta área que permitirá, por un lado, clarificar el grado de avance en el área y, por otro, identificar posibles caminos de investigación a seguir con el objetivo de desarrollar formalismos que manejen la información inconsistente de una manera adecuada para la utilización en sistemas verdaderamente inteligentes y útiles para los seres humanos. Para este desarrollo se han fijado varios objetivos parciales tales como:

- Se estudiarán las diferentes propuestas desde un punto de vista formal que demuestre claramente las bondades y/o falencias de cada propuesta.
- Se clasificarán y compararán los distintos formalismos; esta clasificación permitirá realizar una comparación formal entre los métodos, como así también identificar nuevas direcciones de investigación y desarrollo en pos de la generación de sistemas inteligentes con capacidades de razonamiento más cercanas a la de los seres humanos que permitan un mejor desempeño de éstos últimos en diversas tareas computacionales.

Los objetivos listados tienen como fin clarificar el grado de avance en el área y, por otro lado, identificar nuevas vertientes de investigación. Los resultados esperados pueden resumirse de la siguiente manera:

- Estudio de los formalismos existentes en las siguientes áreas: (1) Lógicas paraconsistentes, (2) Reparación y respuestas consistentes a consultas en bases de datos relacionales y lenguajes ontológicos, (3) Sistemas argumentativos y (4) Revisión de creencias.
- Desarrollo de ejemplos que muestren pros y contra para cada formalismo.
- Definición de un conjunto de propiedades deseables para el razonamiento basado en la tolerancia a la inconsistencia para la clasificación de las diferentes propuestas dependiendo de si cumplen con dichas propiedades (o hasta qué punto lo hacen) o no.
- Clasificación y comparación de los diferentes formalismos en base al conjunto de propiedades.

5. Formación de Recursos Humanos

En la presente línea de investigación se enmarca el desarrollo de una tesis de posgrado en el Master en Ciencias de la Computación del Departamento de Ciencias e Ingenierías de la Computación de la Universidad Nacional del Sur.

Referencias

- [1] ALCHOURRÓN, C. E., GÄRDENFORS, P., AND MAKINSON, D. On the logic of theory change: Partial meet contraction and revision functions. *J. Symb. Log.* 50, 2 (1985), 510–530.
- [2] AMGOUD, L., AND CAYROL, C. On the acceptability of arguments in preference-based argumentation. In *Proc. of UAI* (1998), pp. 1–7.
- [3] ARENAS, M., BERTOSSI, L. E., AND CHOMICKI, J. Consistent query answers in inconsistent databases. In *PODS* (1999), pp. 68–79.
- [4] BELNAP, N. D. *Modern Uses of Multiple-Valued Logic*. Springer Netherlands, 1977, ch. A Useful Four-Valued Logic, pp. 5–37.
- [5] BENFERHAT, S., DUBOIS, D., AND PRADE, H. *Proc. of ECSQARU*. Springer Berlin Heidelberg, 1995, ch. A local approach to reasoning under inconsistency in stratified knowledge bases, pp. 36–43.
- [6] BERTOSSI, L., HUNTER, A., AND SCHAUB, T. *Inconsistency Tolerance*. Springer Berlin Heidelberg, 2005, ch. Introduction to Inconsistency Tolerance, pp. 1–14.
- [7] BESNARD, P., AND HUNTER, A. A logic-based theory of deductive arguments. *Artif. Intell.* 128, 1-2 (2001), 203–235.
- [8] BESNARD, P., AND SCHAUB, T. Signed systems for paraconsistent reasoning. *Journal of Automated Reasoning* 20, 1-2 (1998), 191–213.
- [9] BEX, F., PRAKKEN, H., AND REED, C. A formal analysis of the aif in terms of the aspic framework. In *Proc. of COMMA* (2010), IOS Press, pp. 99–110.
- [10] BOHANNON, P., FAN, W., FLASTER, M., AND RASTOGI, R. A cost-based model and effective heuristic for repairing constraints by value modification. In *Proc. of ACM SIGMOD* (2005), ACM, pp. 143–154.
- [11] BREWKA, G. Preferred subtheories: an extended logical framework for default reasoning. pp. 1043–1048.
- [12] CHOMICKI, J. *Proc. of ICDT*. Springer Berlin Heidelberg, 2006, ch. Consistent Query Answering: Five Easy Pieces, pp. 1–17.
- [13] DA COSTA, N. C. A., BÉZIAU, J.-Y., AND BUENO, O. A. S. Aspects of paraconsistent logic. *Logic Journal of the IGPL* 3, 4 (1995), 597–614.
- [14] DARWICHE, A., AND PEARL, J. On the logic of iterated belief revision. *Artificial intelligence* 89 (1996), 1–29.
- [15] DUNG, P. M. On the acceptability of arguments and its fundamental role in nonmonotonic reasoning, logic programming and n-person games. *Artif. Intell.* 77, 2 (1995), 321–357.
- [16] GARCÍA, A. J., AND SIMARI, G. R. Defeasible logic programming: An argumentative approach. *TPLP* 4, 1-2 (2004), 95–138.
- [17] GÄRDENFORS, P. *Knowledge in Flux: Modeling the dynamics of epistemic states*. MIT Press, 1988.
- [18] HUNTER, A. Reasoning with contradictory information using quasi-classical logic. *J. Log. Comput.* 10, 5 (2000), 677–703.
- [19] HUNTER, A. Logical comparison of inconsistent perspectives using scoring functions. *Knowledge and Information Systems* 6, 5 (2004), 528–543.
- [20] KATSUNO, H., AND MENDELZON, A. O. On the Difference between Updating a Knowledge Base and Revising it. In *Belief Revision*. 1992, pp. 183–203.
- [21] KNIGHT, K. Measuring inconsistency. *Journal of Philosophical Logic* 31, 1 (2001), 77–98.
- [22] LEHMANN, D. J. Belief revision, revised. In *Proc. of IJCAI* (1995), pp. 1534–1540.
- [23] LOZINSKII, E. L. Information and evidence in logic systems. *J. Exp. Theor. Artif. Intell.* 6, 2 (1994), 163–193.
- [24] MANOR, N. R. A. R. On inferences from inconsistent premises. *Theory and Decision* 1, 2 (1970), 179–217.
- [25] NUTE, D. Defeasible reasoning and decision support systems. *Decision Support Systems* 4, 1 (1988), 97–110.
- [26] POLLOCK, J. L. Defeasible reasoning. *Cognitive Science* 11, 4 (1987), 481–518.
- [27] REITER, R. Towards a logical reconstruction of relational database theory. In *On Conceptual Modelling (Intervale)* (1982), pp. 191–233.
- [28] SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.* 5, 1 (2001), 3–55.
- [29] STAWORKO, S., CHOMICKI, J., AND MARCINKOWSKI, J. Prioritized repairing and consistent query answering in relational databases. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence* 64, 2 (2012), 209–246.
- [30] VREESWIJK, G. A. Abstract argumentation systems. *Artificial Intelligence* 90, 1-2 (1997), 225 – 279.
- [31] WONG, P., AND BESNARD, P. Paraconsistent reasoning as an analytic tool. *Logic Journal of the IGPL* 9, 2 (2001), 217–230.