Revisión Temporal: Algunos postulados *

María Laura Cobo ** **Marcelo Alejandro Falappa**

Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación – Universidad Nacional del Sur
Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial (L.I.D.I.A)
Instituto de Ciencias de la Computación y Tecnología
Av. Alem 1253 – B8000CPB Bahía Blanca, Argentina
Email: `[mlc,mfalappa]@cs.uns.edu.ar`

Resumen

Uno de los aspectos que no ha sido considerado en forma profunda en el área de revisión de creencias es el de la información temporal. La mayoría de los formalismos de revisión de creencias utilizan un lenguaje proposicional. Algunas aproximaciones intentan atacar el problema de revisar información modal pero sin mencionar operadores temporales, sino como una interpretación modal, dejando muchas veces de lado las particularidades del tiempo. Previamente se ha intentado el desarrollo de este tipo de teorías de revisión sobre un conjunto demasiado complejo y extenso de operadores. Es por ello que se presentará un punto de partida más reducido, pero que permita futuras extensiones.

Palabras Clave: Revisión de Creencias, Lenguajes Lógico-Temporales, Razonamiento Temporal.

1. Introducción

Desde áreas como la filosofía y la lógica, los investigadores han desarrollado formalismos en un intento de capturar la noción de tiempo. Estos desarrollos condujeron a concepciones del tiempo totalmente diferentes y de hecho contrapuestas. Además de diferencias en la concepción surgieron diferencias en la forma de representar el tiempo, y de esta variedad, surgieron diversas lógicas del tiempo, algunas más expresivas que otras. Las lógicas más conocidas fueron desarrolladas por Arthur Prior [11, 12]. Estas lógicas han servido de base para muchos lenguajes de especificación [5, 4, 7, 2]. Un conjunto de operadores diferente fue propuesto por Kamp [10]. Este conjunto de operadores resultó ser el más expresivo en su clase, demostrándose que los operadores de Prior pueden rescribirse en términos de ellos.

Las herramientas para manipulación de información, en general, no preveen la inclusión del tiempo, a pesar de que la relevancia del tiempo en muchos entornos concretos ha sido puesta de manifiesto a lo largo de las últimas décadas. Este hecho hace que sea de interés el desarrollo de técnicas y herramientas para el correcto manejo de información afectada temporalmente.

*Financiado parcialmente por SeCyT Universidad Nacional del Sur (subsidio: 24/ZN09) y por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT 2002 Nro 13096)

**Becaria de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC).

Así, por ejemplo, se requieren teorías para revisar el conocimiento "temporal" de un agente. De esta manera lograremos que los agentes sean capaces de razonar adecuadamente con este tipo de información, vital en entornos de tiempo real por ejemplo.

En trabajos previos [6] se ha intentando comenzar un proceso tendiente a cubrir esta falencia de las teorías de revisión que, en general, solo trabajan sobre lenguajes proposicionales. La tarea resulta ser bastante dificultosa debido principalmente a la gran variedad de operadores temporales propuestos para el lenguaje original. Es por ello que en el presente trabajo, se plantea como línea de investigación el desarrollo de métodos de revisión para lenguajes temporales basados en los operadores temporales de Kamp [10], intentando de esta manera alcanzar el objetivo previsto pero sobre un conjunto más reducido de operadores, aunque no menos expresivo [10, 8].

2. Lenguaje Temporal $\mathcal{L}$

Presentaremos en primera instancia los operadores de interés para luego dar la definición del lenguaje que utilizaremos. Es importante notar que a diferencia de trabajos previos [6] se toma un lenguaje basado en un conjunto más reducido de operadores. A fin de poder realizar el análisis de las situaciones conflictivas más fácilmente. De todos modos hay aproximaciones en este sentido desde que pueden utilizarse de guía para el proceso que se intenta seguir [3].

2.1. Los operadores temporales

Presentaremos los operadores temporales desarrollados por Kamp [10] y Prior [11, 12] junto a su significado intuitivo. Los operadores propuestos por Kamp [10] son:

$\mathcal{U}(\phi, \psi)$ "Hasta que ψ sea verdadero, ϕ será verdadero" fuerte y reflexivo.
$\mathcal{S}(\phi, \psi)$ "Desde que ψ fue verdadero, ϕ ha sido verdadero" fuerte y reflexivo.
$\mathsf{U}(\phi, \psi)$ "Hasta que ψ sea verdadero, ϕ será verdadero" débil y reflexivo.
$\mathsf{S}(\phi, \psi)$ "Desde que ψ fue verdadero, ϕ ha sido verdadero" débil y reflexivo.

Los operadores desarrollados por Prior pueden encontrarse en cualquier bibliografía que trate de temas temporales [11, 12]. Se ha demostrado que los operadores propuestos por Kamp son mas expresivos que los de Prior [10](un texto más moderno es [8]). Los operadores presentados tienen su semántica ligada a ciertas propiedades, en este caso en particular *reflexividad* y *fortaleza*. Intuitivamente la semántica que aportan estas propiedades puede describirse de la siguiente manera:

Reflexividad o Irreflexividad: cuando un operador es reflexivo su semántica necesariamente debe considerar el momento de evaluación de dicho operador, si se consideran operadores unarios como los de Prior. En el caso de los operadores binarios como *Since* y *Until*, la *reflexividad* del operador implica que para un par de proposiciones, A y B puede darse que B sea verdadera *ahora*, provocando que *Since*(A, B) se verifique ante la sola presencia de B en el momento actual. En cambio, si se pide que verifique *irreflexividad*, al menos debe ser verdadera A en el presente, para que verifique la proposición en cuestión.

Fortaleza o Debilidad: un operador fuerte asegura la existencia de un próximo instante donde la proposición debe verificarse. El contrapuesto, un operador *débil*, no asegura siempre la existencia de un próximo instante de tiempo. El pedir que un operador binario como *Since*(A, B) sea *fuerte* implica que la proposición B debe ser verdadera en algún momento, mientras que el pedir que sea *débil* implica que puede darse el caso de que B no sea verdadera en ningún momento. Esto podría darse si siempre se da A y no B en la base de datos.

2.2. El lenguaje $\mathcal{L}$

Para definir nuestro lenguaje $\mathcal{L}$ definiremos primero un lenguaje básico que llamaremos $\mathcal{L}_{\mathcal{B}}$. Este último está formado por sentencias de la lógica proposicional o por sentencias de esta lógica afectadas por los operadores $\mathcal{S}(\alpha, \beta)$, $\mathsf{S}(\alpha, \beta)$, $\mathcal{U}(\alpha, \beta)$ y $\mathsf{U}(\alpha, \beta)$.

La sintaxis del lenguaje puede observarse en la siguiente gramática dada en notación BNF:

$$\begin{aligned} \textit{sentencia} \; = \; & \mathbf{True} \mid \textit{atomo} \mid \neg \textit{sentencia} \mid \textit{sentencia}_1 \wedge \textit{sentencia}_2 \mid \\ & \mathcal{S}(\textit{sentencia}_1, \textit{sentencia}_2) \mid \mathsf{S}(\textit{sentencia}_1, \textit{sentencia}_2) \mid \\ & \mathcal{U}(\textit{sentencia}_1, \textit{sentencia}_2) \mid \mathsf{U}(\textit{sentencia}_1, \textit{sentencia}_2) \end{aligned}$$

True es una constante que representa el valor verdadero, es decir es una tautología. Esta constante es necesaria para poder redefinir los operadores de Prior.

El lenguaje $\mathcal{L}$ es una modificación del lenguaje básico $\mathcal{L}_{\mathcal{B}}$ recién presentado. La modificación consiste en hacer explícito el momento en el cual la sentencia es aseverada. La tarea de asociar a una sentencia el momento a partir del cual la sentencia es válida recae en un nuevo operador que se define de la siguiente manera:

$\mathsf{At}(\phi,\ n)$ "La sentencia ϕ se verifica (holds) en el momento de tiempo n"

Luego, las sentencias de $\mathcal{L}$ son sentencias de $\mathcal{L}_{\mathcal{B}}$ afectadas por el operador $\mathsf{At}(\ ,\ )$ o simplemente sentencias del lenguaje básico. Para que este último tipo de sentencias tengan determinado su momento de validez el lenguaje debe contar con una constante *"now"* que represente al momento "presente". Para mantener toda la información en un formato estandarizado, las sentencia ϕ a las que no se les especifica otro momento de validez las escribiremos: $\mathsf{At}(\phi,\ now)$.

3. Postulados para el lenguaje $\mathcal{L}$

Como primer paso, resulta necesario establecer cuales serán las propiedades o postulados que deberían respetar los operadores de cambio que traten con información temporal. En las siguientes subsecciones presentaremos postulados característicos de tales operadores sin referencia a la construcción de los mismos.

3.1. Postulados para los operadores de cambio

Se cuenta con los postulados presentado como parte del modelo AGM [1, 9], reformulados para una estructura temporal T. Así para un operador de contracción tenemos [6]: *Clausura, Inclusión, Vacío, Éxito, Recuperación* y *Preservación.* Mientras que para un operador de revisión se tiene: *Clausura, Éxito, Inclusión, Vacío. Consistencia* y *Preservación.*

Además de estos postulados, es necesario definir otros que sean capaces de determinar las acciones a tomar frente a información específicamente temporal. Para ello y antes de abocarnos a dicha tarea, es fundamental definir el operador de consecuencia $Cn(\mathcal{K}_{\mathcal{T}})$. El operador de consecuencia establece la clausura deductiva de la base de conocimiento $\mathcal{K}_{\mathcal{T}}$, en este caso es la clausura de la base en el momento T del sistema e involucra la clausura de la información temporal teniendo en cuenta los axiomas propios de la lógica subyacente.

Uno de estos nuevos postulados intenta capturar la idea de que la revisión de los operadores *since* y *until* en sus dos versiones (débil y fuerte) pueden cambiarse ya sea que se conozca la veracidad de la condición de corte en algún momento o que se deje de creer en ella. Esta idea da lugar al siguiente postulado:

Fortalecimiento: Si $\mathsf{At}(\mathsf{S}(\phi,\psi),\ n) \in Cn(\mathcal{K}_{\mathcal{T}})$ entonces $\mathsf{At}(\mathcal{S}(\phi,\psi),\ n) \in Cn(\mathcal{K}_{\mathcal{T}})\star(\mathsf{At}(\phi,\ m))$ para todo $n > m$.

Análogamente: Si $\mathsf{At}(\mathsf{U}(\phi,\psi),\ n) \in Cn(\mathcal{K}_{\mathcal{T}})$ entonces $\mathsf{At}(\mathcal{U}(\phi,\psi),\ n) \in Cn(\mathcal{K}_{\mathcal{T}})\star(\mathsf{At}(\phi,\ m))$ para todo $n < m$.

Sea $\mathcal{K}_{\mathcal{T}}$ una base de conocimiento que contiene o deduce $\mathsf{U}(a,b)$, de acuerdo a la definición del operador a siempre es verdadera hasta que b lo sea. El hecho de que el operador sea débil asegura que puede darse el caso que b no sea verdadero nunca provocando como consecuencia la eterna validez de a. Gráficamente la situación se puede observar en la figura 3.1: Si a este tipo de base

Figura 1: Base $\mathcal{K}_{\mathcal{T}}$ que deduce $\mathsf{U}(a,b)$

de conocimiento se le agrega información sobre b, indicando que la misma es verdadera en algún momento de tiempo, vamos a tener la garantía de que existe un momento de tiempo concreto en el cual la misma se verifica. El operador *until* en su versión débil permite capturar la semántica

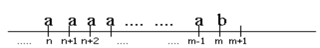

Figura 2: Base $\mathcal{K}_{\mathcal{T}}$ revisada con $\mathsf{At}(m+1,\ b)$

del operador *siempre* de Prior, en caso de que el segundo parámetro del operador efectivamente no sea verdadero en ningún momento. El postulado de fortalecimiento en este caso cumple el rol de interrumpir la creencia ilimitada de un conocimiento al saber explícitamente que esto es posible, tiene de alguna manera un comportamiento similar al expuesto por Blackburn [3] sobre operadores modales. De la misma manera y siguiendo un razonamiento similar, se puede escribir un postulado de debilitamiento análogo al recién expuesto.

Analicemos el postulado a través de un ejemplo. Un agente puede creer que en Bahía Blanca siempre hay viento, a menos que la atmósfera esté en calma. Esta información en término de los operadores *Since* y *Until* puede escribirse como *hay viento en Bahía* **hasta que haya calma**, i.e. $\mathsf{U}(hay\_viento, hay\_calma)$. En este caso, se utiliza la versión débil del operador, ya que puede no existir un momento en el que se verifique la sentencia *hay_calma*, o puede que se tenga conocimiento al respecto. Ahora bien, si en algún momento futuro de tiempo se adquiere la información de que hay calma en la atmósfera, por ejemplo mediante un reporte del estado del tiempo o pronóstico sobre algún día del futuro, la situación cambia, ya que se conoce la existencia de un momento en el cual se verifica la condición de corte, haciendo que se den las condiciones del operador en su versión fuerte. Podemos, a su vez, suponer una situación similar, pero a la inversa.

Supongamos que el pronóstico es erróneo y llega información al respecto, es natural que queramos seguir creyendo la sentencia *siempre hay viento en Bahía Blanca*, razón por la cual volveremos a la versión débil del operador *until*. Esto nuevamente se puede garantizar debido a que volvemos a la incertidumbre de la veracidad de la condición de corte de operador en algún momento de tiempo.

4. Conclusiones y Trabajos Futuros

En este trabajo se presentan los postulados preliminares para el desarrollo de una teoría de cambio de creencias temporal. No obstante, es necesario definir algoritmos para operadores de contracción y revisión que respeten los postulados presentados en este trabajo. Como trabajo futuro, resta obtener conjuntos más completos de postulados.

Referencias

[1] C. Alchourrón, P. Gärdenfors, and D. Makinson. On the logic of theory change: Partial meet contraction and revision functions. *The Journal of Symbolic Logic*, 50:510–530, 1985.

[2] H. Barringer, M. Fisher, D. Gabbay, R. Owens, and M. Reynolds. *The Imperative Future: Principles of Executable Temporal Logic*. Research Studies Press Ltd., 1996.

[3] P. Blackburn, J. Jaspars, and M. de Rijke. Reasoning about changing information. *South African Computer Journal*, (19):2–26, 1997.

[4] M. L. Cobo and J. C. Augusto. Fundamentos lógicos e implementación de una extensión a temporal prolog. *The Journal of Computer Science and Technology (JCS&T), sponsored by ISTEC (Iberoamerican Science & Technology Education Consortium*, 1(2):22–36, 1999.

[5] M. L. Cobo and J. C. Augusto. Towards a Programming Language Based on Prior's Metric Temporal Operators. In *Proceedings del VI Congreso Argentino de Cs. de la Computación, CACiC2000*, pages 453 –464, 2000.

[6] M. L. Cobo and M. A. Falappa. Hacia una teoría de revisión temporal. In *IX Congreso Argentino de ciencias de la Computación (CACiC2003)*, pages 1526–1535, 2003.

[7] D. M. Gabbay. Modal and temporal logic programming. In A. Galton, editor, *Temporal Logic and their Applications*, pages 197–236. Academic Press, 1987.

[8] D. M. Gabbay, I. Hodkinson, and M. Reynolds. *Temporal Logic: Mathematical Foundations and Computational Aspects*. Oxford University Press, 1994.

[9] P. Gärdenfors. *Knowledge in Flux: Modelling the Dynamics of Epistemic States*. The MIT Press, Bradford Books, Cambridge, Massachusetts, 1988.

[10] J. A. W. Kamp. *On Tense Logic and the Theory of Order*. PhD thesis, University of California - Los Angeles, 1968.

[11] A. Prior. *Past, Present and Future*. Clarendon Press, 1967.

[12] A. Prior. Stratified metric tense logic. *Theoria 33*, pages 28–38, 1967.