

INSTITUTO TECNOLÓGICO AUTÓNOMO DE MÉXICO



POR DEFINIR

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
Maestro en Ciencias en Computación

PRESENTA

Aarn Christian Sánchez Padilla

ASESOR

Dr. Jos Octavio Gutiérrez García

MÉXICO, D.F.

2016

”Con fundamento en los artículos 21 y 27 de la Ley Federal de Derecho de Autor y como titular de los derechos moral y patrimonial de la obra titulada “**POR DEFINIR**”, otorgo de manera gratuita y permanente al Instituto Tecnológico Autónomo de México y a la biblioteca Ral Baillres Jr., autorización para que fijen la obra en cualquier medio, incluido el electrónico, y la divulguen entre sus usuarios, profesores, estudiantes o terceras personas, sin que pueda percibir por tal divulgación una prestación”

Aarn Christian Snchez Padilla

Fecha

Firma

Resumen

Este documento presenta una plantilla para usar en las tesis y tesinas del ITAM.
Se provee de manera gratuita y sin ninguna responsabilidad bajo la licencia
creative commons BY-SA 3.0.

Abstract

In this work we present a template for thesis and titulation works presented at ITAM. It is provided freely and without any responsability underdededsdsdddss the *creative commons BY-SA 3.0*.

ndice general

| | |
|--|----------|
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Antecedentes | 1 |
| 1.2. Objetivos | 4 |
| 1.3. Alcance | 4 |
| 1.4. Justificación | 5 |
| 1.5. Metodología | 6 |
| 1.5.1. Análisis del Problema | 6 |
| 1.5.2. Investigación | 6 |
| 1.5.3. Comparación de métodos | 6 |
| 1.5.4. Implementación | 7 |
| 1.5.5. Comparación de resultados | 7 |
| 2. Marco Teórico | 8 |
| 2.1. Arquitecturas de Computadoras | 8 |
| 2.1.1. Conjunto de Instrucciones | 9 |
| 2.1.2. Arquitectura Von Neumann | 9 |
| 2.1.3. Arquitectura Harvard | 9 |
| 2.2. Inteligencia Artificial | 10 |
| 2.3. Cómputo Cognitivo | 11 |
| 2.4. Arquitecturas Cognitivas | 12 |

NDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| 2.5. Redes Bayesianas | 12 |
| 2.6. Modelos de Markov Ocultos | 12 |
| 2.7. Grafos de Factor | 12 |
| Bibliografía | 13 |

Captulo 1

Introduccin

1.1. Antecedentes

El C3mputo Cognitivo es un nuevo paradigma de la computaci3n. Esta disciplina tiene como objetivo el desarrollar un mecanismo coherente inspirado en las capacidades de la mente humana. Se busca implementar una teor3a universal unificada de la mente humana. De esta forma, al querer estudiar la mente, se ve implicada la participaci3n de la Neurociencia. El campo de la Computaci3n Cognitiva lleva los conceptos de la computaci3n a un nivel completamente nuevo [12].

Uno de los temas m3s relacionados con este nuevo paradigma es descubrir de qu3 forma ocurren los procesos cognitivos en los seres humanos. Este no es un problema trivial ya que incluso hoy en d3a se cuentan con diferentes teor3as. Este problema se extiende al C3mputo Cognitivo, pues hist3ricamente, diferentes campos han cuentan con diversos enfoques para estudiar el tema.

Por el lado de la Inteligencia Artificial, como rama de las Ciencias Cognitivas, cuenta con un enfoque a nivel de un sistema computacional. Esto significa que los avances de estudiar el C3mputo Cognitivo, por una parte, estar3n dirigidos a obtener nuevos sistemas de aprendizaje, arquitecturas de computadoras diferente a las tradicionales (t3mese por ejemplo las arquitecturas Von Neuman), sistemas capaces de analizar y sintetizar grandes cantidades de datos no

CAPTULO 1: INTRODUCCIN

estructurados, por mencionar algunos ejemplos.

Hoy en día, una de las principales empresas interesadas en el desarrollo de esta nueva ciencia, es IBM. Esta empresa es famosa por crear una computadora con la capacidad de ganarle a cualquier ser humano en un juego televisivo llamado Jeopardy”. Esta computadora fue llamada Watson”. En este juego se demostró la capacidad de IBM de construir computadoras poderosas con capacidades sorprendentes.

Ahora, IBM busca imitar las capacidades del cerebro ya que este es capaz de integrar procesamiento y memoria en un solo lugar, pesa menos de tres libras, ocupa un volumen de aproximadamente dos litros y utiliza menos energía que una bombilla de luz. De acuerdo con IBM, el cerebro es un sistema de aprendizaje capaz de ser modificado y tolerante a fallas, además de ser extremadamente eficiente al momento de reconocer patrones.

La Computación Cognitiva hace referencia a un sistema con la capacidad de aprender a escala, razonar con propósito e interactuar con humanos de forma natural. En lugar de estar estrictamente programadas, los sistemas cognitivos aprenden y razonan de sus interacciones. Con base en modelos probabilísticos, estos sistemas cuentan con la habilidad de generar hipótesis, argumentos racionales y recomendaciones con base en una gran cantidad de datos no estructurados [1].

Como se mencionó anteriormente, IBM presentó al mundo en Febrero del 2011 a “Watson”, actualmente es considerado como el primer sistema cognitivo y fue capaz de vencer a dos de los mejores jugadores de “Jeopardy” del mundo. Esta fue la primera demostración de lo que son capaces los sistemas cognitivos. De acuerdo con IBM, el nivel de éxito de los sistemas cognitivos ya no será medido con base en la prueba de Turing o la capacidad de la computadora de imitar capacidades humanas, sino por de manera más práctica: oportunidades en nuevos mercados, retorno de la inversión, vidas salvadas [1].

Debido al gran crecimiento y beneficios que presentan los sistemas cognitivos, la necesidad de su implementación y divulgación se hace por medio de arquitecturas cognitivas. Una arquitectura cognitiva especifica la infraestructura en la cual se construye un sistema inteligente. En general, una arquitectura involucra ciertos elementos necesarios para la construcción de agentes cognitivos, como lo

son: una arquitectura de almacenamiento (análogo a las memorias de largo y corto plazo de la mente humana) en donde se almacenan las creencias, metas y conocimientos del agente; una representación de los elementos contenidos en la memoria, es decir, una representación del conocimiento y su organización; por último, una descripción de su proceso funcional (la forma en que adquiere conocimiento) que opera en las estructuras antes mencionadas [10]. Sin embargo, cabe aclarar que análogo a una computadora, el conocimiento y las creencias de un agente cognitivo no se consideran como embebidas en la arquitectura. Así como diferentes programas de software pueden ser ejecutados en una misma computadora, distintas creencias y conocimiento pueden ser interpretados por una misma arquitectura.

Por otro lado, a diferencia de los sistemas expertos, una arquitectura se enfoca en ampliar el conocimiento que pueda adquirir por medio de diversas tareas y entornos; los sistemas expertos cuentan con un comportamiento que busca desarrollar un nivel de maestría en contextos reducidos y bien definidos.

Para ejemplificar los avances realizados en el desarrollo de arquitecturas cognitivas, se pueden mencionar diferentes marcos de trabajo los cuales comparten las características antes mencionadas. La principal razón por la cual se mencionan estos trabajos se debe a su popularidad. En primer lugar, como se ha mencionado anteriormente "Watson" de IBM es uno de los primeros sistemas cognitivos y ha planteado el camino a seguir para las investigaciones futuras hoy en día ya se cuenta con un marco de trabajo que permite aprovechar las herramientas de "Watson" para sistemas expertos. En segundo lugar *ACT-R* [2] es de las arquitecturas cognitivas más recientes y se enfoca principalmente en el modelado del comportamiento humano. En tercer lugar, *Soar* [8] es una de las arquitecturas más importantes y populares debido a su enfoque, el cual consiste en que todas las tareas son formuladas como metas que, a su vez, estas metas se organizan de forma jerárquica. En cuarto lugar, *ICARUS* [11] se distingue debido a que almacena dos tipos distintos de conocimiento: conceptos, que describen clases de situaciones ambientales y habilidades que especifican cómo cumplir con las metas establecidas. Por último, *PRODIGY* [5] que utiliza reglas de dominio y reglas de control para representar el conocimiento.

1.2. Objetivos

Esta tesis se enfoca en el desarrollo de las arquitecturas cognitivas, particularmente, en el marco de trabajo *SOAR*, el cual es capaz de: trabajar sobre una gran variedad de diversas tareas; utiliza métodos de resolución de problemas y aprende de cada tarea realizada y analiza su propio desempeño. Gracias a que *SOAR* es de libre código, esta tesis implementa grafos de factor como herramienta para lograr una implementación unificada y al mismo tiempo contar con una gran diversidad al nivel de la arquitectura, es decir, que esta sea capaz de realizar un gran número de actividades y desempeñar distintas tareas.

Adicionalmente, con base en el trabajo realizado por Roosenbloom se demuestra los beneficios que ofrece la implementación de grafos de factor en comparación con otros métodos de resolución de problemas. Debido a que los grafos de factor integran razonamiento simbólico y probabilístico, lo que genera un razonamiento más general bajo incertidumbre, permiten uniformidad a nivel de la implementación en arquitecturas cognitivas como *SOAR*[14].

Por último, la intención es contribuir en el desarrollo de las arquitecturas cognitivas, ya que representan una gran y novedosa herramienta [11] con capacidades de resolución de problemas a un nuevo nivel computacional.

1.3. Alcance

Debido a la gran complejidad que representa la implementación de una arquitectura cognitiva, este trabajo se limita a aumentar la capacidad de un solo marco de trabajo, en particular, la arquitectura *SOAR*. Partiendo del artículo de Roosenbloom, esta tesis implementa los grafos de factor para demostrar que representan una herramienta útil en este tipo de arquitecturas.

Por otro lado, al tratarse de un marco de trabajo, la validación de la implementación consiste en medir el desempeño del sistema al realizar diferentes tareas de resolución de problemas que, con anterioridad, *SOAR* es capaz de desempeñar y este trabajo analiza la mejora o deterioro de la implementación.

1.4. Justificación

La investigación y desarrollo de las arquitecturas cognitivas es importante pues ayuda a fundamentar el objetivo central de la Inteligencia Artificial y las Ciencias Cognitivas. El objetivo es la creación y entendimiento de agentes sintéticos que tengan las mismas capacidades cognitivas de los humanos.

Sin embargo, aunque los campos de estudio entre la Psicología y la Inteligencia Artificial se han distanciado en los últimos veinte años, la investigación dentro de este paradigma cognitivo, permitirá ahondar en el entendimiento del funcionamiento y naturaleza de la mente humana. De la misma forma, se puede reconstruir las relaciones que se han perdido con la psicología y sustentarlas con principios neurológicos para la creación de nuevas teorías de aprendizaje y modelos de representación del conocimiento.

No solo por beneficiar a las teorías de aprendizaje se justifica el estudio en arquitecturas cognitivas, también es importante resaltar que la complejidad de los procesos cognitivos en el ser humano son dignas de estudio al ser un paradigma que representa grandes retos y oportunidades de desarrollo [9] .

Adicionalmente, la creación de arquitecturas cognitivas como fundamentos para sistemas más complejos implica una mayor capacidad de creación de agentes inteligentes capaces de resolver problemas de manera eficiente, lo cual beneficia a la humanidad como una herramienta más de procesamiento y desarrollo tecnológico.

Por último, las arquitecturas cognitivas conforman una oposición.^a los sistemas expertos, ya que estas arquitecturas amplían su dominio del conocimiento con base en procesos funcionales que modifican su propio conocimiento, creencias y objetivos por medio de mecanismos de aprendizaje que dependen, en su mayoría de situaciones del entorno del agente. Mientras que los sistemas expertos, son orientados a lograr una mayor eficiencia en actividades con límites bien definidos y reducen su dominio del conocimiento a problemas en específico.

1.5. Metodología

1.5.1. Análisis del Problema

Los grafos de factor permiten el modelado de problemas de estimación complejos. Esta herramienta cuenta con capacidades funcionales útiles para las arquitecturas cognitivas. Sin embargo, no es la única herramienta capaz de desempeñar dichas funciones. Por lo tanto, se analizaron diferentes métodos capaces de ejercer las mismas actividades. Por lo tanto, se deben hacer las comparaciones adecuadas para justificar la superioridad de los grafos de factor ante las demás herramientas. No obstante, se debe tener en cuenta que el problema se delimita a comprobar dichos beneficios únicamente en la arquitectura *SOAR*.

Por último, se debe conocer con profundidad el funcionamiento del marco de trabajo *SOAR* para poder adecuar una solución que sea compatible con esta arquitectura. Afortunadamente, este marco de trabajo es de libre código y es de los más populares y utilizados. Sin embargo, eso no implica que el nivel de dificultad disminuya.

1.5.2. Investigación

En primer lugar, hay que analizar qué se entiende por una arquitectura de computadoras, sus componentes, especificaciones, tipos, utilidad, entre otras características útiles que nos permitirán comprender el problema con el que se está trabajando. En segundo lugar, ya que este trabajo se enfoca solamente en la arquitectura *SOAR*, se indagó en la funcionalidad de este marco de trabajo para poder implementar una solución. En tercer lugar, se realizó una investigación exhaustiva referente a los grafos de factor y sus propiedades, ya que es necesario conocer a detalle el funcionamiento, ventajas y desventajas que presenta esta herramienta para poder construir una implementación adecuada y sin errores.

1.5.3. Comparación de métodos

Se investigaron diversos métodos capaces de desempeñar las mismas tareas. De esta forma, se justifica la implementación de grafos de factor y la anexión de un

nuevo módulo a la arquitectura cognitiva *SOAR*.

Se utilizó su desempeño y facilidad de implementación como factor para llevar a cabo su comparación. Por lo tanto, se modelaron diversas tareas y problemas que los diferentes modelos debían ejecutar y resolver, respectivamente.

1.5.4. Implementación

De acuerdo con los resultados obtenidos, se llevó a cabo la implementación de los grafos de factor. Adicionalmente, debido a que gran parte del marco de trabajo *SOAR* se encuentra implementado con ayuda de lenguajes como Python y Java, se decidió construir una solución con base en estos mismos lenguajes.

1.5.5. Comparación de resultados

Con el propósito de verificar que existe una mejora con respecto al estado previo de la arquitectura cognitiva con la implementación de los grafos de factor. Por lo tanto, se mide el desempeño con respecto al tiempo y eficiencia de los resultados obtenidos después de haber ejecutado diversas pruebas construidas especialmente para medir esta rúbrica.

Captulo 2

Marco Teórico

2.1. Arquitecturas de Computadoras

En concreto, una arquitectura de computadora nos ayuda a especificar los estándares de tecnología se usaran con respecto al software y de hardware de una computadora. Esto quiere decir que una arquitectura ayuda a establecer el diseño de una computadora y las tecnologás con las que este es compatible. Cualquier persona que se dedique a diseñar una arquitectura, debe estar consciente de que debe crear un diseño lógico capaz de cualquiera de las necesidades que presente un usuario o un sistema.

La tarea de un diseñador es compleja. Este debe poder determinar los atributos elementales con los que debe contar su diseño con el fin de maximizar el desempeño y gastar energía de forma eficiente cumpliendo siempre con las restricciones de costo, poder y disponibilidad.

Dentro de las diversas tareas de un diseñador de arquitecturas de computadora, encontramos dos principales: el diseño del conjunto de instrucciones y la implementación. Ninguna de las dos tareas es trivial, adicionalmente, estas van de la mano [7].

2.1.1. Conjunto de Instrucciones

El conjunto de instrucciones o ISA (por sus siglas en inglés, Instruction Set Architecture”) es un grupo de reglas con las cuales el software y el hardware se comunican entre sí. Estas reglas definen las operaciones, los estados y las localidades que soporta el hardware.

Existen diversos modelos de ISA, entre los más conocidos, podemos encontrar: CISC (por sus siglas en inglés Complex Instruction Set Computing”) que como su nombre lo indica, permite realizar operaciones muy complejas y se caracterizan por que cada instrucción cuenta con una gran longitud. RISC es otro modelo (Reduce Instruction Set Computing”) el cual cuenta con instrucciones de tamaño fijo y un reducido número de formatos, el objetivo de este modelo es propiciar la segmentación y el paralelismo.

2.1.2. Arquitectura Von Neumann

Además de ISA la implementación de los componentes representa un papel muy importante. Dentro de las principales arquitecturas, encontramos la de *Von Neumann*. Esta arquitectura se describe por primera vez en 1945 en el reporte escrito por Von Neumann [17]. Los sistemas con microprocesadores se basan en esta arquitectura, en la cual la unidad central de proceso (CPU), está conectada a una memoria principal única donde se guardan las instrucciones del programa y los datos. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único.

2.1.3. Arquitectura Harvard

Por otro lado, contamos con la arquitectura Harvard. El término proviene de la computadora *Harvard mark I*, que almacenaba las instrucciones en cintas perforadas y los datos en interruptores. Esta computadora fue el primer ordenador electromecánico construido en la Universidad Harvard por Howard H. Mark en 1944. En esta arquitectura se utilizan dispositivos separados para las instrucciones y los datos, para que haya mayor rapidez se utiliza la memoria cache dividida, para procesar los datos e instrucciones, es efectivo cuando la lectura de datos e instrucciones es la misma.

Como se puede notar, dentro de la arquitectura de von Neumann, el procesador puede estar bien leyendo una instrucción o escribiendo datos desde o hacia la memoria pero ambos procesos no pueden ocurrir al mismo tiempo, ya que las instrucciones y datos usan el mismo sistema de buses. En una computadora que utiliza la arquitectura Harvard, el procesador puede tanto leer una instrucción como realizar un acceso a la memoria de datos al mismo tiempo.

2.2. Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) como disciplina formal ha sido estudiada por más de 50 años. En sus inicios, uno de los principales objetivos de esta disciplina era determinar si una computadora era capaz de pensar”, esta pregunta es igualmente abordada por Alan Turing[16] en su obra *Computing Machinery and Intelligence*. La Inteligencia Artificial de manera simple puede ser definida como: el estudio de procesos mentales o intelectuales en términos de procesos computacionales [15]. Sin embargo, esta definición varía dentro de la literatura [6, 3, 18].

Como se puede apreciar, la Inteligencia Artificial tiene una relación intrínseca con la Psicología, las Ciencias Cognitivas y, a su vez, con las Ciencias en Computación. Sin embargo, la Inteligencia Artificial no es Psicología, la distinción recae en que una de las mayores preocupaciones de la Inteligencia Artificial es comprender de qué manera es posible otorgarle a las computadoras una capacidad tan sofisticada como lo es actuar de forma inteligente”.

Adicionalmente, podemos decir que la Inteligencia Artificial intenta entender y crear *agentes inteligentes* capaces de pensar racionalmente. Se enfoca en la inteligencia a través del pensamiento y la razón. Si este es el caso, se tiene que poder determinar cómo los seres humanos piensan. Se necesita indagar en el funcionamiento de las mentes humanas [4].

Actuar racionalmente significa desempeñar alguna actividad para alcanzar los objetivos, con base en las creencias de una persona. Un agente es simplemente algo que percibe y actúa. En este enfoque, la IA es vista como el estudio y construcción de agentes racionales [15].

La IA es un componente base de las ciencias en computación debido a su abstrac-

cin, programación y formalismos lógicos. La IA desarrolla herramientas conceptuales para poder comprender cómo se procesa la información y estas herramientas son indispensable para que la psicología pueda entender cómo la información es procesada por los seres humanos [13].

El campo interdisciplinario de ciencia cognitiva rene modelos informáticos de IA y técnicas experimentales de psicología para tratar de construir teorías precisas y comprobables del funcionamiento de la mente humana.

2.3. Cómputo Cognitivo

A lo largo de nuestras vidas, nosotros, los seres humanos, observamos, percibimos y reflexionamos sobre nuestro medio ambiente y el mundo que nos rodea. Recibimos información del mundo a través de nuestras acciones, experiencias y sentidos. De tal forma, que para poder internalizar toda esta información, es lógico pensar que nuestra comunicación es difusa, ambigua, esencial para expresar nuestras experiencias.

Hoy en día, los humanos crean sistemas virtuales que emulan e interactúan con nuestro medio ambiente físico. El propósito de estos sistemas, es lograr que interactúen de forma dinámica y autónoma, que razonen, actúen y se comuniquen de manera similar a como lo hacen los seres humanos. El principal objetivo del Cómputo Cognitivo es crear sistemas complejos que imiten los procesos de cognición que llevan a cabo los humanos [?].

En general, se entiende a la mente como una colección de procesos de sensación, percepción, acción, emoción y cognición. La Computación Cognitiva se enfoca a desarrollar un enfoque coherente, mecanismo unificado y universal con base en las capacidades de la mente. El argumento principal del Cómputo Cognitivo es que las neuronas y las sinápsis pueden ser descritas por modelos matemáticos relativamente compactos, funcionales y fenomenológicos.

La motivación primordial del Cómputo Cognitivo es el hecho de que el comportamiento del cerebro aparentemente se rige de manera no aleatoria, con interacciones entre unidades funcionales individuales de control. Esto describe la formación de sistemas complejos, los cuales, cabe la posibilidad de ser modelados por computadora y simulados para su análisis [12]

CAPTULO 2: MARCO TEÓRICO

Inteligencia cognitiva real tiene varias manifestaciones, incluyendo la capacidad de adaptarse a situaciones desconocidas en entornos cambiantes dinámicamente.

2.4. Arquitecturas Cognitivas

2.5. Redes Bayesianas

2.6. Modelos de Markov Ocultos

2.7. Grafos de Factor

Bibliografia

- [1] www.research.ibm.com/software/ibmresearch/multimedia/computing_cognition_whitepaper.pdf.
http://www.research.ibm.com/software/IBMResearch/multimedia/Computing_Cognition_WhitePaper.pdf. (Visited on 10/27/2015).
- [2] John R Anderson, Michael Matessa, and Christian Lebiere. Act-r: A theory of higher level cognition and its relation to visual attention. *Human-Computer Interaction*, 12(4):439–462, 1997.
- [3] Richard Bellman. *An introduction to artificial intelligence: Can computers think?* Boyd & Fraser Publishing Company, 1978.
- [4] Rodney A Brooks. Intelligence without reason. *The artificial life route to artificial intelligence: Building embodied, situated agents*, pages 25–81, 1995.
- [5] Jaime Carbonell, Oren Etzioni, Yolanda Gil, Robert Joseph, Craig Knoblock, Steve Minton, and Manuela Veloso. Prodigy: An integrated architecture for planning and learning. *ACM SIGART Bulletin*, 2(4):51–55, 1991.
- [6] John Haugeland. *La inteligencia artificial*. Siglo XXI, 1988.
- [7] John L Hennessy and David A Patterson. *Computer architecture: a quantitative approach*. Elsevier, 2011.
- [8] John E. Laird, Allen Newell, and Paul S. Rosenbloom. Soar: An architecture for general intelligence. *Artificial Intelligence*, 33(1):1 – 64, 1987.

BIBLIOGRAFA

- [9] Pat Langley. Intelligent behavior in humans and machines. Technical report, Technical Report). Computational Learning Laboratory, CSLI, Stanford University, 2006.
- [10] Pat Langley, John E Laird, and Seth Rogers. Cognitive architectures: Research issues and challenges. *Cognitive Systems Research*, 10(2):141–160, 2009.
- [11] Pat Langley, Kathleen B McKusick, John A Allen, Wayne F Iba, and Kevin Thompson. A design for the icarus architecture. *ACM SIGART Bulletin*, 2(4):104–109, 1991.
- [12] Dharmendra S. Modha, Rajagopal Ananthanarayanan, Steven K. Esser, Anthony Ndirango, Anthony J. Sherbondy, and Raghavendra Singh. Cognitive computing. *Commun. ACM*, 54(8):62–71, August 2011.
- [13] Nils J Nilsson. *Principles of artificial intelligence*. Morgan Kaufmann, 2014.
- [14] Paul S Rosenbloom. Towards a new cognitive hourglass: Uniform implementation of cognitive architecture via factor graphs. In *Proceedings of the 9th international conference on cognitive modeling*, 2009.
- [15] Stuart Russell and Peter Norvig. Artificial intelligence: a modern approach. 1995.
- [16] Alan M Turing. Computing machinery and intelligence. *Mind*, pages 433–460, 1950.
- [17] John Von Neumann. First draft of a report on the edvac. *IEEE Annals of the History of Computing*, (4):27–75, 1993.
- [18] P Winston. Learning by building identification trees. *Artificial intelligence*, pages 423–442, 1992.