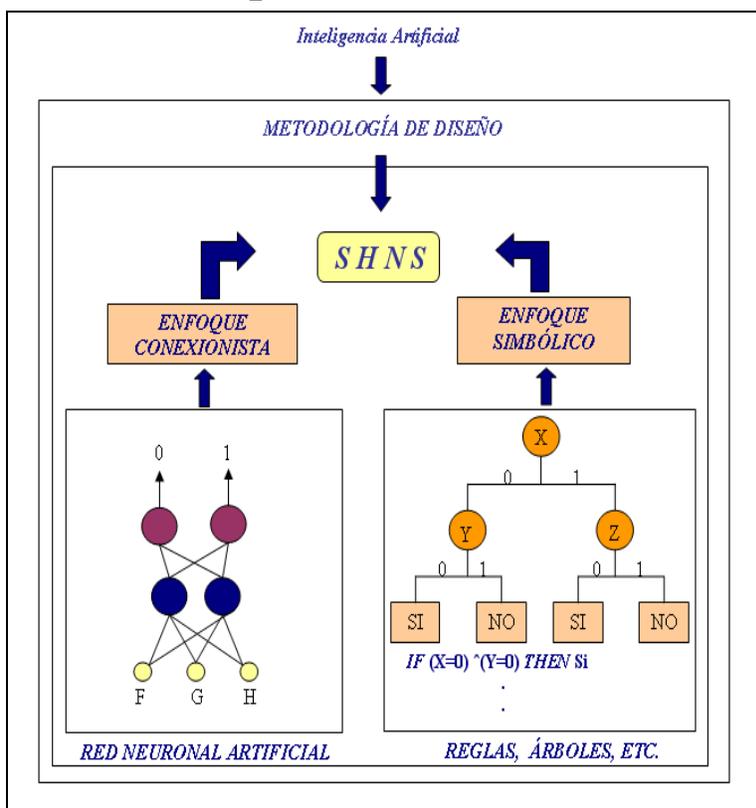


Diseño de Sistemas Híbridos Neuro-Simbólicos: Aspectos a Considerar



RESUMEN

Este artículo, proporciona un marco conceptual para toda persona interesada en el estudio de los sistemas híbridos neuro-simbólicos (SHNS). Presenta las características más importantes de los SHNS, algunas de las áreas en las cuales han sido aplicados, los esfuerzos encontrados en la literatura por crear una metodología de diseño y el trabajo pendiente en torno al estudio y desarrollo de estos sistemas.

PALABRAS CLAVES

Sistemas Híbridos Neuro-Simbólicos, Metodología de diseño.

ABSTRACT

This paper provides a conceptual framework for all people interested in the study of the neuro-symbolic hybrid systems (NSHS). It present the most important characteristics of the SHNS, some of the areas in which they have been applied, the efforts that have been found in the literature to create the design of a methodology and the pending work about the study and development of these systems.

Vianey Gpe. Cruz Sánchez., M.C. Licenciada en Informática. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, (cenidet). México.

Osslan O. Vergara Villegas., M.C. Ingeniero en Sistemas. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, (cenidet). México.

Gerardo Reyes Salgado., Ph. D. Profesor-Investigador. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, (cenidet). México.

Grupo Visión Artificial. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, (cenidet). Interior Internado Palmira s/n. Col. Palmira. Cuernavaca, Morelos, México. C. P. 62490.

KEYWORDS

Neuro-Symbolic Hybrid Systems, Methodology of Design.

1. INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo la inteligencia artificial, había utilizado el enfoque conexionista (redes neuronales artificiales) y el enfoque simbólico (reglas, árboles, etc.) en forma independiente. La mayoría de los trabajos desarrollados competían entre sí para demostrar que el enfoque empleado en cada uno de ellos era el mejor para resolver el problema. Buscando obtener mejores resultados se propusieron formas diversas de combinar diferentes representaciones del conocimiento. Primero se exploró la transformación de una representación a otra dentro del mismo enfoque, por ejemplo: transformar un conjunto de reglas a una forma de árbol, e incluso de ser necesario regresar a la representación inicial.

Posteriormente, se crearon módulos de integración, donde el usuario seleccionaba entre varias representaciones la que mejor se adaptara a su problema con la posibilidad de ser transformada de acuerdo a sus necesidades. Sin embargo, los expertos en representación del conocimiento observaron que cada uno de los enfoques tenía ciertas debilidades que podían ser reemplazadas por las fortalezas del contrario, por ejemplo: la dificultad de las redes neuronales artificiales (RNA's) para explicar los resultados obtenidos y por otro lado la dificultad de una representación simbólica para generalizar el conocimiento, trajo como consecuencia que ambas técnicas se integraran y se complementaran en un solo enfoque llamado Sistema Híbrido Neuro-Simbólico (SHNS). Entonces, surgieron trabajos relacionados con la inserción, el refinamiento y la extracción de conocimientos.

El enfoque híbrido neuro-simbólico poco a poco ha tomado fuerza, siendo utilizado para el desarrollo de sistemas grandes y complejos. Sin embargo, una nueva necesidad surge: crear una metodología que proponga la forma en la cual los diferentes enfoques pueden ser organizados para alcanzar los resultados esperados.

2. SISTEMAS HÍBRIDOS NEURO-SIMBÓLICOS

“Divide y vencerás” es una técnica que ha sido muy utilizada para resolver problemas grandes y complejos, donde cada una de las partes es más fácil de manipular y de encontrar su solución. Para ello, cada una de las partes debe de actuar en forma cooperativa, por ejemplo para resolver, la subtarea_3 será necesario tener la salida de la subtarea_1, para ello, se debe tener cierto orden de

ejecución y establecer la forma de comunicación (relaciones) entre las subtareas. Para poder resolver una subtarea será necesario conocer el tipo de entradas y salidas esperadas, así como el problema al que se está intentando dar solución (ver figura 1). En esta figura se observa que para resolver un problema es necesario dividir la tarea global en las subtareas S1, S2...S5. Cada una de estas subtareas tiene una relación de entrada/salida con las demás, por lo tanto, para que la subtarea S3 sea resuelta mediante alguna técnica, debe de considerar las entradas recibidas de las subtareas S1 y S4, así como, la salida que deberá ser enviada a la subtarea S5.

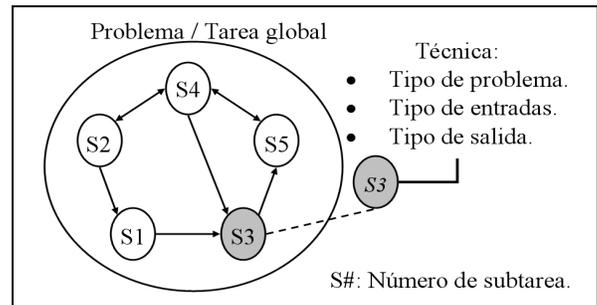


Figura 1. División de la tarea global en subtareas para solucionar problemas complejos.

La implementación de varias técnicas y la posibilidad de relacionarlas entre sí, requiere de mecanismos tales como los sistemas híbridos. Una clase particular de estos sistemas son los neuro-simbólicos los cuales se definen como: “sistemas basados principalmente en redes neuronales artificiales que permiten una interpretación simbólica o una interacción con componentes simbólicos” [1]. Algunas de las propiedades de los sistemas híbridos son las siguientes:

- Posibilidad de utilizar varias clases de representación del conocimiento.
- Mejor eficiencia del sistema global.
- Fuerte acoplamiento entre los componentes.
- Posibilidad de aprendizaje global.
- Complementariedad entre los conocimientos simbólicos y numéricos.

3. CLASIFICACIÓN DE LOS SHNS

Para clasificar a los SHNS se consideran varios criterios entre los cuales los más importantes son los que se muestran en la tabla 1. Estos criterios son utilizados comúnmente por la mayoría de los trabajos desarrollados [1]. A continuación, se da una breve explicación de cada uno de ellos.

Tabla 1. Criterios para clasificar SHNS.

Criterio	Clasificación
a) Tipo de integración	Enfoque unificado, Semi-híbrido, Híbrido.
b) Grado de acoplamiento	Acoplamiento débil, Acoplamiento medio, Acoplamiento fuerte.
c) Modo de integración	En cadena, Sub-tratamiento, Meta tratamiento, Co-tratamiento.
d) Transferencia de conocimientos	$S \rightarrow C$, $S \leftarrow C$, $S \leftrightarrow C$.

a) Tipo de integración

La integración neuro-simbólica puede ser clasificada en tres grupos principales, según el "tipo de hibridación" del enfoque utilizado.

- **Enfoque unificado.** Intenta integrar las propiedades de los sistemas simbólicos en los sistemas conexionistas. Los sistemas puramente conexionistas intentan realizar procesos de inferencia simbólica, a través de la utilización de redes neuronales. Los sistemas puramente simbólicos, tratan de realizar los procesos de inferencia simbólica, a fin de utilizar el razonamiento de incertidumbre como son: los valores continuos y aproximados.
- **Enfoque semi-híbrido.** Este enfoque es utilizado para realizar traducciones. Por ejemplo, la compilación de una base de reglas en una red (inserción del conocimiento) y la explicitación de reglas a partir de una red (extracción del conocimiento). Ciertos sistemas son llamados semi-híbridos porque sólo realizan uno de los dos tipos de transferencias del conocimiento entre los módulos simbólico y conexionista.
- **Enfoque híbrido.** Este tipo de enfoque pueden existir varios módulos simbólicos y conexionistas integrados entre sí, para ello se tendrá al menos un sistema de inferencia simbólico que trabaja en cooperación con un sistema de inferencia conexionista.

b) Grado de acoplamiento

Define la fuerza de interacción entre los dos módulos. La clasificación de diferentes grados de acoplamiento se realiza a través de un nivel progresivo que va desde un extremo (ningún acoplamiento) a otro (acoplamiento completo).

Esta clasificación consta de tres niveles:

- **Acoplamiento débil.** En este tipo de arquitectura, los distintos módulos (dos en general) son conectados por una simple relación de entrada/salida, y las comunicaciones son unidireccionales.
- **Acoplamiento medio.** En esta categoría, las interacciones entre los módulos son más flexibles, ya que son bidireccionales; no se trata simplemente de relaciones de entrada/salida sino que además cada uno de los módulos puede influir sobre el funcionamiento del otro.
- **Acoplamiento fuerte.** En estos sistemas los conocimientos y los datos no solamente se transfieren, también se comparten entre los módulos mediante estructuras internas comunes.

c) Modo de integración

Representa la forma en la cual el módulo neuronal y el simbólico están configurados en relación de uno a otro y del sistema completo.

- **En cadena.** Los dos módulos operan en secuencia. Uno es el procesador principal y es asistido por el otro módulo, actuando como un pre o postprocesador. La relación entre módulos es de entrada/salida.
- **Sub-tratamiento.** En este modo de integración, uno de los módulos es subordinado de otro para realizar alguna función. El módulo principal decide en qué momento llamarlo y cómo utilizar sus salidas.
- **Meta-tratamiento.** Un módulo es el que soluciona el problema y el otro juega un papel meta nivel, tal como llevar el control o mejorar los resultados.
- **Co-tratamiento.** Ambos módulos son iguales en el proceso de solución del problema. Por ejemplo: uno de los módulos puede dedicarse a resolver un problema específico y otro módulo puede dedicarse al resto del problema.

d) Transferencia de conocimientos

La transferencia de conocimientos entre los módulos simbólico y conexionista (tipos de integración semi-híbrido e híbrido) pueden ser clasificados según la dirección del intercambio.

- **De simbólico a conexionista.** Los conocimientos simbólicos son transferidos desde un módulo simbólico y se integran a un módulo conexionista. ($S \rightarrow C$). Existe también la posibilidad de crear bases de aprendizaje a partir de los conocimientos simbólicos.
- **De conexionista a simbólico.** Los conocimientos adquiridos por aprendizaje en las redes conexionistas pueden explicitarse en forma de reglas simbólicas ($S \leftarrow C$). La extracción de reglas a partir de una red va a permitir a la vez su utilización en un módulo simbólico.
- **Transferencias bilaterales.** Los conocimientos pueden transferirse en ambos sentidos: simbólico y conexionista ($S \leftrightarrow C$). Los sistemas con transferencias bilaterales incluyen normalmente mecanismos de compilación y extracción de reglas a partir de las redes. Un sistema híbrido con un buen acoplamiento debe permitir la inserción y la extracción de reglas.

4. INSERCIÓN Y EXTRACCIÓN DE CONOCIMIENTO EN LOS SHNS

Los problemas comúnmente resueltos por los SHNS son la inserción y la extracción del conocimiento. La inserción es comúnmente utilizada cuando se desea insertar el conocimiento simbólico dentro de un sistema y transformarlo a una red neuronal, esto con el objetivo de aprovechar la capacidad de generalización de las redes neuronales artificiales, ver figura 2. En esta figura, se observa un conjunto de reglas mapeadas a una estructura de red neuronal artificial. Por ejemplo, en la regla C:-A,B; los antecedentes A y B representan las unidades de entradas de la RNA, y el consecuente C, representa una unidad oculta. A su vez, el consecuente C forma parte como antecedente de la regla Z:-C,F,I., donde la unidad de salida de la RNA es representada por el consecuente Z.

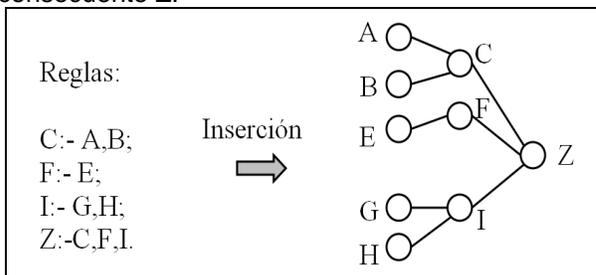


Figura 2. Inserción del conocimiento, de simbólico a conexionista.

La extracción es utilizada para poder hacer explícito el conocimiento de una red neuronal artificial, mediante la utilización de una representación simbólica comúnmente en forma de reglas. En la figura 3, las reglas extraídas de la RNA son las que se muestran de lado derecho. Uno de los criterios utilizados para hacer la extracción del conocimiento es a partir del valor del peso entre las conexiones de la RNA. Por ejemplo, si el valor de peso para las unidades A y B es positivo entonces la regla C:- A, B, es extraída.

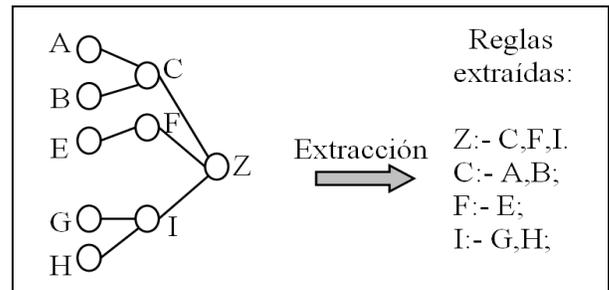


Figura 3. Extracción del conocimiento, de conexionista a simbólico.

Un ejemplo de lo anterior se puede observar en [2], [3] y [4], estos trabajos prueban la capacidad de los sistemas híbridos neuro-simbólicos en comparación con los sistemas desarrollados que adoptan un enfoque individual. Algunas de las áreas en las cuales han sido aplicados los SHNS son: medicina, reconocimiento de imágenes, robótica, etc.

5. METODOLOGÍAS PARA EL DISEÑO DE SHNS

Aún cuando en la literatura se ha presentado una gran cantidad de aplicaciones que utilizan SHNS, se carece de una metodología que pueda especificar de manera automática su diseño e implementación. Según [5] cualquier enfoque que sea utilizado para construir sistemas híbridos inteligentes deberá de soportar tres mecanismos: descomposición, abstracción y organización.

- **Descomposición.** La técnica básica para abordar cualquier problema grande es dividir en partes más pequeñas para poder manipularlas de manera más sencilla.
- **Abstracción.** Es el proceso de definir un modelo simplificado de un sistema que enfatiza algunos de sus detalles o propiedades, mientras suprime otras.

- **Organización.** La organización es el proceso de identificar y manejar las interrelaciones entre varios componentes del problema.

Según [6], los SHNS pueden tener ciertas características, a) *Orden de inteligencia*, que es el número de tecnologías diferentes combinadas en el sistema híbrido, b) *Grado de inteligencia*: que es el grado de sofisticación del uso de las tecnologías de inteligencia.

Algunos de los propósitos para combinar tecnologías inteligentes son [6]:

1. Retener las fortalezas mientras se remueven las carencias de tales técnicas inteligentes.
2. Mejorar la ejecución del modelo inteligente. Reducción del error, incremento en la rapidez del proceso de entrenamiento, menos complejidad en la estructura, y/o más alta capacidad de razonamiento.

Algunas de las técnicas que se encontraron para construir sistemas híbridos inteligentes han sido: *Técnica de diseño descomposicional*, *Sistemas multi agentes* y *Orientada a objetos*. A continuación serán presentadas cada una de ellas.

Técnica de diseño descomposicional. En [7] se propone un marco de trabajo para el diseño de un SHNS aplicado a problemas de procesamiento de señales, éste tiene como aspecto principal la "asignación de un enfoque diferente para cada una de las tareas específicas, adoptando para ello una *técnica de diseño descomposicional* (análisis estructurado de tareas)". La "estructura" de una tarea compleja (llamada tarea global) está representada en una descomposición progresiva como un árbol ("árbol de tareas"); la tarea global es subdividida dentro de subtareas, esto es, un conjunto de operaciones que permite que la tarea global sea realizada; análogamente, cada subtarea esta descompuesta en subtareas, y así sucesivamente. Esta tarea de descomposición es recursivamente aplicada hasta que las siguientes condiciones sean satisfechas: 1) cada (sub) tarea correspondiente a una hoja del árbol de tareas sea posible y 2) Sea posible para todas las subtareas de una tarea dada ser combinada con alguna otra, como se necesite.

Sistemas Multi Agentes. Un agente se define como: una entidad que percibe y actúa sobre un entorno [8]. Un sistema multi-agente son entidades

que constituyen un sistema. En [5] se utiliza la técnica de multi agentes para crear un marco de trabajo el cual propone la forma de resolver sistemas de software complejos. Combina diferentes sistemas tales como: sistemas expertos, lógica difusa, redes neuronales artificiales y algoritmos genéticos. Los sistemas inteligentes son clasificados como débil y fuertemente acoplados. La validación, verificación y mantenimiento de sistemas completamente integrados, son objetivos para investigaciones futuras. Este marco de trabajo ha sido aplicado a casos como la planificación de inversión financiera y a minería de datos.

Técnica Orientada a Objetos. En [9] se utiliza una metodología para el desarrollo de sistemas de software, la cual combina un enfoque tradicional con sistemas basados en conocimiento. Este trabajo modifica el ciclo de vida del software, enfocándose únicamente en la fase de análisis de requerimientos y en la fase de diseño quedando fuera la fase de desarrollo. Resuelve los problemas utilizando la técnica orientada a objetos y basadas en conocimiento, en ésta última el razonamiento del experto humano juega un papel importante. Sin embargo, la metodología no incluye técnicas de representación del conocimiento que soporten sistemas computacionales adaptativos, tales como, redes neuronales y algoritmos genéticos. Esta metodología ha sido implementada en un sistema de información médico híbrido para el diagnóstico de enfermedades de vértigo (Hybrid Medical Information System for Dizziness HMISD). El sistema permite la entrada del registro y de los síntomas, mediante un sistema de registro médico tradicional y obtiene como salida el diagnóstico de la posible enfermedad, a través de un sistema basado en conocimiento médico.

6. CONCLUSIONES

En este artículo se realizó un estudio del enfoque de los SHNS como una alternativa para solucionar problemas grandes y complejos. Esta solución consiste en dividir el problema, donde cada una de las partes puede ser resuelta utilizando un enfoque conexionista, simbólico o una combinación de ambos. La inserción y la extracción del conocimiento son algunos ejemplos de los problemas resueltos por este enfoque híbrido neuro-simbólico. Para combinar los enfoques en un sistema fue necesario presentar algunas de las características más importantes de los SHNS que han sido consideradas en la literatura. Por último se

realizó un estudio de los esfuerzos realizados por crear una metodología que proponga el diseño de sistemas híbridos, de los cuales se observaron los siguientes problemas:

- La mayoría de los grupos de investigación se enfocan al desarrollo de SH aplicados a un problema específico y no a la creación de una metodología.
- No todos proponen un diseño de SHNS.
- Existe una dificultad para proponer el tipo de acoplamiento que mejor convenga entre sistemas.
- No se proponen estrategias para mejorar el acoplamiento entre los subsistemas.
- No se proponen un mejoramiento de las interfaces de comunicación.
- La mayoría implementa sistemas de acoplamiento débil.
- Dificultad para implementar sistemas completamente integrados.
- No existen estándares ni formalismos.
- El usuario tiene que estar constantemente supervisando la elección del modelo.

Las dificultades detectadas amplían el panorama del trabajo pendiente que existe en torno a los SHNS, por ello, consideramos que es necesario desarrollar una metodología de diseño de SHNS que proponga estrategias de solución para resolver algunos de estos problemas.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] SANTOS, F., AMY, B. "Constructive machine learning: A new neuro-symbolic approach", Conference on Computer Science. Quito – Ecuador, 2002, pp. 1061-1072.
- [2] ZEHRAOUI, F., KANAWATI, R. "Casep2: hybrid case-based reasoning system for sequence processing", Springer-Verlag. LNAI 3155, 2004, pp. 449–463.
- [3] TOWELL, G. "Symbolic Knowledge and Neural Networks: Insertion, Refinement and Extraction", Ph.D. dissertation, Univ. of Wisconsin – Madison, USA, 1991.
- [4] CRUZ, S. V. G. "Sistema híbrido neuro-simbólico para refinar el conocimiento en un SVA", Tesis de maestría, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (Cenidet), Cuernavaca Morelos, México, 2004.
- [5] ZHANG, Z. "Agent-Based Hybrid Intelligent Systems", Lecture Notes in Computer Science, Vol.

2938, XV, 196 p., Softcover, ISBN: 3-540-20908-5, 2004.

[6] HEFNY, H. A. "A novel framework for hybrid intelligent systems", IEA/AIE, Cairo, 1999, pp. 761-770.

[7] ROLI, F. "A hybrid system for two-dimensional image recognition", in Proc. of the IEEE, Volume 84, Issue 11, Italy, Nov. 1996, pp. 1659 – 1681.

[8] JULIÁN, V., BOTTI, V. "Agentes Inteligentes: el siguiente paso en la inteligencia artificial", Novática, núm. 145, may-jun 2000.

[9] KENDAL, S. L., ASHTON, K., CHEN, X. "A brief overview of HyM: A methodology for the development of hybrid intelligent information systems." 15th Int. Conf. on Software Engineering and Knowledge Engineering, San Francisco, July 2003.

AUTORES



Vianey Guadalupe Cruz Sánchez.

Lic. Informática. Tecnológico de Cerro Azul, México, 2000.

M.C. Ciencias Computacionales, CENIDET, México. 2004. Estudiante de PhD. en CENIDET. Int. Internado Palmira s/n. Col. Palmira.

C.P. 62490. 01 (777) 318 - 7741, Cuernavaca, Morelos, México. vianey@cenidet.edu.mx



Gerardo Reyes Salgado.

Ingeniero Civil. Tecnológico de Zacatepec, México, 1985. M.C. Ciencias Computacionales, CENIDET, México 1995. PhD. en Ciencias Cognitivas, "Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG)", 2001.

Miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Jefe del Depto. De ciencias Computacionales, Cenidet. Int. Internado Palmira s/n. Col. Palmira. C.P. 62490. 01 (777) 318 - 7741, Cuernavaca, Morelos, México. greyes@cenidet.edu.mx



Osslan Osiris Vergara Villegas.

Ingeniero en Sistemas. Tecnológico de Zacatepec, México, 2000.

M.C. Ciencias Computacionales, CENIDET, México. 2003. Estudiante de PhD. en CENIDET. Int. Internado Palmira s/n. Col. Palmira.

C.P. 62490. 01 (777) 318 - 7741, Cuernavaca, Morelos, México. osslan@cenidet.edu.mx