

BDI CONCURRENT ARCHITECTURE ORIENTED TO GOAL MANAGEMENT

Alejandra González
Departamento de Electrónica
Pontificia Universidad Javeriana.
Bogotá, Colombia.
agonzalez@javeriana.edu.co

Ronald Angel
Maestría de Sistemas
Pontificia Universidad Javeriana.
Bogotá, Colombia.
angel.r@javeriana.edu.co

Enrique González
Departamento de Sistemas
Pontificia Universidad Javeriana.
Bogotá, Colombia.
egonza@javeriana.edu.co

Abstract— This paper presents a concurrent BDI (Belief, Desire, Intention) architecture aimed to implement hybrid agents hardware/software. The proposed model includes an model of the agent architecture inspired in human practical thinking in which some mental processes are performed in a parallel and concurrent fashion. The BDI model is composed of several independent modules, internal subagents that can be mapped to different domains of implementation (SW/HW). The paper emphasizes the process that manages agent's goals taking into account different motivations for agent action (needs, opportunities, emotions and obligations). The proposed concurrency schema includes three main components: the beliefs cycle, the desire goal management process and the mean ends intention-based action controller. The model has been validated in a software case study in the field of social simulation.

Keywords—component; Intelligent agents; BDI Architecture; Concurrency; Goal Management.

Resumen—Se presenta un trabajo enfocado al planteamiento de una arquitectura BDI (Belief, Desire, Intention) concurrente en la línea de investigación de los agentes híbridos hardware/software. La propuesta incluye un modelo de la arquitectura inspirada en el pensamiento práctico humano en la cual algunos procesos mentales son desarrollados en paralelo. El artículo hace énfasis en los procesos de gestión de metas, mostrando una propuesta concurrente del ciclo de creencias, deseos e intenciones y que integra perspectivas del individuo como sus necesidades, emociones y obligaciones. El modelo es validado en un caso de estudio software en el ámbito de la simulación social.

Palabras Clave; Agentes Inteligentes; Arquitectura BDI; Concurrency, Gestión de Metas.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas modernos y sus aplicaciones en diversas áreas se pueden caracterizar como soluciones complejas [1]. Ejemplos de estos sistemas se encuentran en áreas como la robótica, y el procesamiento de video. Se define un sistema complejo, como aquel con múltiples componentes y capas de subsistemas difíciles de predecir, manejar y reconocer, imponiendo demandas críticas de desarrollo relacionados con la funcionalidad, el costo, la calidad, la sostenibilidad entre otros [2]. El diseño de sistemas complejos a partir de los requerimientos mencionados generalmente está basado en sistemas construidos a partir de entidades autónomas y el establecimiento de mecanismos de comunicación entre las

mismas constituyendo sistemas multiagentes (SMA). Los SMA poseen ventajas sobresalientes sobre otras soluciones a problemas complejos, se puede destacar su carácter dinámico, la orientación a metas y objetivos, la racionalidad, la capacidad de aprendizaje, la escalabilidad y flexibilidad. Los agentes racionales se definen mediante arquitecturas, las cuales en general, están divididas en arquitecturas reactivas y deliberativas de la cual se puede resaltar la arquitectura BDI basada en el razonamiento práctico humano. Uno de las características más importantes del razonamiento práctico y por tanto en la implementación de agentes BDI es la concurrencia, la existencia de procesos mentales que se desarrollan en forma paralela. Dicha característica se convierte en un criterio cuyo análisis debe hacerse explícita desde los dominios de implementación software y/o hardware. La implementación software genera agentes BDI flexibles, y en complemento, se pueden desarrollar agentes hardware los cuales potencian la concurrencia y los requerimientos de desempeño [3]. La combinación híbrida, hardware/ software es prometedora, dado que potenciaría desde cada dominio los requerimientos y las características de concurrencia. El problema de estudio, que se plantea en este artículo se enfoca a la formalización de una arquitectura BDI concurrente y orientada a la gestión de objetivos, abordando sus características definidas formalmente por la inteligencia artificial; es decir, el objetivo fundamental es plantear agencias con una arquitectura eficaz que puedan ser implementada en un trabajo futuro en hardware, en software o de forma híbrida y que puedan migrar en tiempo real entre estos dominios. Se presenta una validación software en un caso de estudio de un simulador social en el contexto de toma de decisiones de una comunidad impactada por el Proyecto Social Universitario PROSOFI [4]. El presente artículo presenta una propuesta la arquitectura BDI concurrente haciendo énfasis en los procesos de gestión de metas. Inicialmente en la sección II se recopilan algunos fundamentos de la arquitectura BDI, para dar una base a la propuesta desarrollada en este trabajo de investigación. En la sección III y IV se presentan el modelo concurrente y el esquema de gestión de objetivos. El documento finaliza con el planteamiento general de concurrencia en la sección V y su aplicación en el caso de estudio en la sección VI.

II. LOS FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA BDI

En general, los agentes racionales son bio-inspirados y se definen formalmente por arquitecturas apoyadas en conceptos de la inteligencia artificial. Las arquitecturas de los agentes racionales se dividen en modelos reactivos y deliberativos [5]. La arquitectura reactiva define agentes capaces de detectar cambios en el medio ambiente y actuar de acuerdo con ellos [6], sin un modelado simbólico del mundo y un razonamiento simbólico no complejo [7]. Las características de la arquitectura reactiva implican el desarrollo de agentes con ámbito local y de corto alcance en el tiempo. Por el contrario, la arquitectura deliberativa utiliza modelado simbólico e incluye modelos formales de comportamiento y conocimiento, permitiendo el uso de la lógica en los procesos de decisión [7]. Estas características desencadenan un uso intensivo de los recursos y a veces incapacidad de tomar decisiones en tiempo real. Combinaciones de los dos tipos de arquitecturas generan híbridos eficaces al provechar las ventajas de ambos. Un ejemplo de arquitectura híbrida ampliamente utilizada es la arquitectura BDI, que se genera a partir de los lineamientos del razonamiento práctico humano propuesto por Bratman. En esta arquitectura el razonamiento y la acción son procesos concurrentes [8]. La arquitectura BDI modela agentes intencionales que deciden y planifican a partir de un conjunto de creencias, deseos e intenciones. En esta sección analiza las características más relevantes de esta arquitectura.

La teoría intencional o de razonamiento práctico puede señalarse como el origen de la arquitectura BDI. Esta teoría es parte de la contribución del filósofo estadounidense Daniel Dennett, quien explica que existen tres modelos para clasificar la información que llega del exterior, explicar fenómenos y acciones [9]; y percibir la naturaleza [10]. El primer modelo tiene una aproximación física, en la que el individuo busca explicaciones causales. El segundo modelo es una adaptación o diseño, inspirado en el proceso evolutivo; en este, el individuo pretende responder, por qué un objeto fue diseñado y cuál es su función. Finalmente, el tercer modelo es un esquema mental o intencional, que interpreta el comportamiento de un individuo, humano, animal u objeto, como un agente racional que puede elegir sus acciones, teniendo en cuenta sus creencias y deseos [8]. Creencias, deseos e intenciones son componentes que conforman el estado mental del agente [7].

Sin embargo, estos no son los únicos elementos, también existen otras características como los compromisos, las responsabilidades, las necesidades, las emociones [11], [12]; la naturaleza y la madurez del agente [13], entre otros. Todos los elementos mencionados arriba, de alguna forma interactúan para llevar a cabo el proceso de decisión que determinará cuándo y cómo actuar. Un agente tiene creencias que corresponden a sentencias del mundo. Desde el punto de vista el agente. Estas declaraciones son verdad aún si estas son falsas en realidad; es decir, no existe discriminación del valor de verdad [13]. Por definición un agente racional intentará maximizar la eficiencia relacionada con su objetivo [7]. Este planteamiento es un ejemplo del concepto de deseos del agente, los deseos son acciones que el agente quiere realizar o situaciones que él quiere alcanzar. Estos deseos no son forzados, son espontáneos y pueden ser consistentes entre sí

[14]. El proceso de llevar esos deseos a la realidad significa que los agentes tendrán claridad al respecto de sus intenciones a ser desarrollada a partir de una secuencia de eventos viables, planes y acciones encaminados hacia el objetivo y en el mejor de los casos enfocados hacia los deseos del agente [9]. Las creencias pueden ser generalizadas como un Estado de Información, los deseos con un estado de Motivación y finalmente las intenciones como un estado deliberativo [15] o un estado proactivo [16].

III. AGENTE BDI CONCURRENTE Y ORIENTADO A LA GESTIÓN DE OBJETIVOS

El modelo BDI propuesto se soporta sobre un modelo de agencia, en el cual un agente es una entidad autónoma que actúa para lograr sus objetivos en un ambiente de trabajo [17]. Una entidad autónoma puede entenderse como un individuo que toma sus propias decisiones a partir de sus percepciones y puede complementar la información si es incompleta o parcial [7]. Un agente situado en un entorno implica que la interacción con el contexto es vital para lograr el objetivo. Estas interacciones están mediadas por los canales de comunicación, sensores y actuadores. Además, los agentes tienen capacidades y recursos para cumplir con los objetivos [17]. Como muestra de la sección anterior, el enfoque tradicional de una arquitectura BDI maneja deseos, intenciones y creencias aisladamente; su implementación se basa en un algoritmo secuencial que se aleja del comportamiento concurrente real del razonamiento humano que lo ha inspirado. La figura 1, muestra el diagrama de flujo del algoritmo BDI más comúnmente utilizado [18].

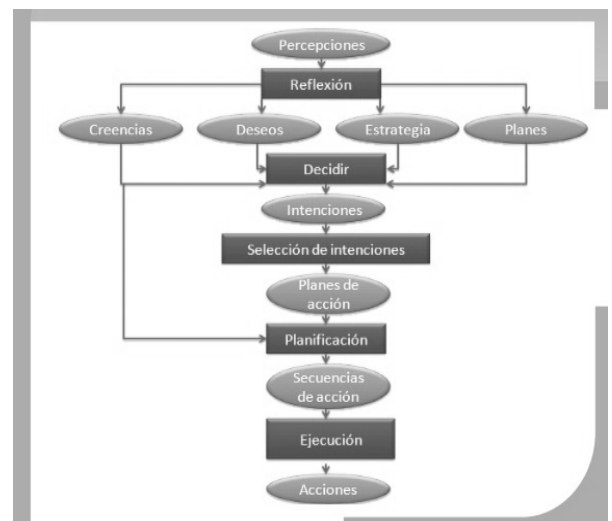


Figura 1. Implementación secuencial de la Arquitectura BDI

En una aproximación más eficiente y aplicable a entornos complejos reales, los deseos, las creencias y las intenciones, en lugar de ser simples elementos que conforman el sistema, marcan el principio y el final de un proceso que genera efectos en el ambiente a través de la implementación de acciones, y donde una evolución en tiempo real de deseos a intenciones puede ser reconocida. Esta evolución implica una instanciación de objetivos, el compromiso del agente con las metas y la viabilidad de las acciones relacionada con sus recursos y sus

capacidades. Por otra parte, la implementación de dichas acciones está influenciada directamente por creencias, percepciones, planes preestablecidos y una vez más los recursos y las capacidades del agente.

A. *Conceptos Base*

Antes de proponer un nuevo flujo de control para el modelo BDI, vale la pena aclarar algunas definiciones, según aplican en el modelo propuesto en este artículo.

Las creencias son elementos del estado mental que componen el ciclo de vida de un agente; son modificadas por la percepción y la comunicación. En el proceso de decisión de la acción, las creencias son uno de los elementos esenciales para definir las intenciones del agente. En nuestro modelo, las creencias incluyen las capacidades del agente y el modelo causa - efecto de las acciones. Además, las creencias proporcionan el modelo del mundo indicando qué o quiénes interactúan con el agente, el estado interno del agente, y los medios y recursos que están disponibles.

Los deseos son alternativas de acción, que aún no se han materializado, es decir, los objetivos que se han impuesto por contexto y los objetivos que deben cumplirse. El agente tiene oportunidades de acción diferentes y la elección de la mejor oportunidad es afectada por el objetivo general del sistema y la maximización de la eficiencia de esta meta. El agente detecta oportunidades en forma de objetivos específicos, que se analizan según su coherencia con el objetivo general y la relación costo / beneficio.

Las intenciones son la proyección de deseos en el futuro, están centradas en la acción para cumplir con un objetivo general. En nuestra propuesta de modelo de agencia, estas intenciones se convierten en realidad a través de la ejecución de acciones. Estas acciones pueden ser actos reactivos o deliberativos que se convierten en elementos esenciales al considerar un plan. Un plan corresponde a un conjunto de intenciones de orden inferior. En realidad, las intenciones son instancias de metas reales para el agente, el agente también es proactivo, porque sus acciones están destinadas a alcanzar los objetivos, y esta relación causal es una función que transforma los objetivos e realidad.

B. *Ciclo de razonamiento BDI*

Para describir el ciclo BDI concurrente, usaremos en paralelo el caso de estudio de implementación software que implementa un agente humano en el marco de un simulador social. El sistema simula la toma de decisiones en una comunidad en el área de impacto de PROSOFI (Proyecto Social Universitario de la Pontificia Universidad Javeriana) [19]. En este sentido las entidades BDI, son individuos de una comunidad que deben decidir si inscribirse o no a cursos de capacitación en informática. En modelo BDI propuesto, los agentes racionales son aquellos que actúan para alcanzar sus objetivos y la estructura de creencias, deseos e intenciones proporciona una forma dinámica de manejar tal conjunto de metas. Como se mencionó anteriormente se identificaron dos tipos de objetivos: metas generales o tareas que guiarán el proceso de decisión y metas específicas que se imponen por el contexto y que puede verse como oportunidades para la acción

en pro de las metas generales. Para el caso del simulador una meta general es obtener bienestar mediante la consecución de un mejor trabajo y/o mediante entretenimiento. Puede pensarse como metas específicas asociadas a los objetivos generales, el tener un mínimo de dinero diario o cuidar la salud propia. Retomando los conceptos anteriores, los agentes siempre se relacionan de dos maneras con las tareas. En la primera relación las creencias se generan de la conciencia de la tarea misma. Este proceso crea necesidades, de recursos, medios y planes al determinar si el objetivo se está cumpliendo o no. De esta manera un individuo consiente de su objetivo de bienestar, crea necesidades como el dinero, el alimento, o una estrategia para conseguirlos. La segunda relación genera un nivel de compromiso con las tareas y el agente es etiquetado con un rol que guiará sus acciones. Un agente comprometido con la búsqueda de bienestar a través del empleo, buscará una oportunidad de trabajo, o mantenerse empleado, asumiendo un rol de "trabajador", por ejemplo. En este punto el agente se encuentra en el mundo, es capaz de percibir a través de sensores, comunicarse a través de canales y actuar a través de actuadores. Podemos reconocer tres elementos del modelo BDI: las metas, las creencias y el rol (compromiso de metas generales). La pregunta que surge es ¿Cómo interactúan estos elementos para alcanzar el objetivo general? Nuestro modelo propone un ciclo de gestión de objetivos que instancia los mismos en diferentes niveles de abstracción en una evolución de los deseos a intenciones. Este proceso de evolución es modulado por las creencias y posteriormente se proyecta en un ciclo de decisión y acción. El modelo concebido de esta forma se compone de tres procesos principales:

1) *El gestor de creencias:* Esta unidad soporta el sistema de creencias, controlando el ciclo de vida de las creencias del agente. Pueden identificarse cuatro estados en este ciclo: emergencia, actualización, inferencia y muerte. Las implicaciones más importantes de las creencias es que deben guardar coherencia entre ellas, incluir información de procesos mentales BDI y actualizar los mecanismos de posible aprendizaje. Detalles de este sistema se presentarán en publicaciones futuras.

2) *EL gestor de objetivos:* En este módulo se representan deseos como objetivos y estos evolucionan a intenciones. La instanciación de deseo a intención es un proceso de estado dinámico en que las metas son detectadas, evaluadas, activadas o eliminadas. Al final, se establecen objetivos activos como intenciones.

3) *El administrador de medios y fines:* Una vez que se detectan las intenciones, estas guiarán la acción del agente, este proceso tiene como principales tareas, la reactividad como medio de acción y la planificación orientada a las metas dominantes (intenciones). En este punto podemos considerar planes fijos, dinámicos e intercambiables. Los planes o los impulsos de reacción guiarán la decisión del agente y por tanto sus acciones.

IV. GESTOR DE OBJETIVOS

Este artículo se centra en la introducción del núcleo de administración y gestión de metas, uno de los tres procesos del modelo BDI propuesto. Un agente situado entrará en un ciclo

de atención para construir el mundo y recibir estímulos e información del exterior que modificará sus creencias y generará un proceso de decisión-acción en búsqueda del cumplimiento de un objetivo general.

A. Taxonomía de Metas

Nuestro modelo contempla cinco categorías de metas específicas: los requerimientos, las necesidades, las oportunidades, las obligaciones y las metas de supervivencia. Los requerimientos son metas asociadas con las capacidades asociadas a la razón de ser del agente; es decir, son exigencias del contexto para cumplir con el objetivo general para el cual fue concebido el agente. Se define una capacidad como la conjunción de un recurso y una habilidad. En el marco del caso del simulador social, un agente podría tener como requerimiento encontrar herramientas de aprendizaje en línea (recurso) y manejar computadores (habilidad) para alcanzar el objetivo general de bienestar asociado al trabajo mediante capacitación. Las necesidades son metas derivadas de la metacognición y el pensamiento autocrítico de un agente racional. El agente evalúa si su objetivo general se está cumpliendo, de lo contrario genera un proceso de restructuración de su mecanismo de decisión. Un agente en la comunidad impactada por PROSOFI, puede darse cuenta que sin importar la decisión que tome no alcanzará la meta de bienestar a menos que decida capacitarse. Estudiar se convierte en una necesidad que debe suplir de forma coherente con el nivel de compromiso adquirido.

Las oportunidades son eventos o circunstancias que se generan por el contexto de operación del agente, por tanto el agente BDI debería hacer lo posible por aprovecharlas. Siguiendo el caso del simulador, el agente en el rol de individuo buscando bienestar, consciente de su necesidad de estudiar puede aprovechar oportunidades como estudiar temas útiles en un curso, aprender de expertos, ser autodidacta; a pesar de sus fines, el agente podría desviarse de su meta y elegir aprovechar una oportunidad como asistir a un acto cultural, aunque no sea coherente con su objetivo principal. Las obligaciones se generan de la naturaleza misma del agente y su contexto. Un agente en el simulador, puede ser padre de familia y por tanto debe actuar de forma coherente con su nuevo rol; el individuo debe equilibrar sus decisiones aún si no son coherentes o no aportan a la meta general. En este sentido las metas que se generen por obligación afectarán de forma directa los procesos de decisión. Un objetivo específico relacionado con esta categoría sería pagar los servicios públicos básicos para su familia. La supervivencia se constituye en una categoría de metas esencial para el agente, debido a que está enfocada a su autocuidado y protección. De esta forma, un agente debe procurarse el mínimo de dinero para sobrevivir o cuidar de su propia salud; sin estos elementos el agente no podrá actuar en búsqueda de su meta general. A partir de las categorías presentadas y analizando un posible escenario, un agente podrá enfrentarse al mismo tiempo a múltiples metas específicas, en este sentido, debe gestionar de forma concurrente dichos objetivos para determinar cuál o cuáles guiarán sus acciones.

En el gestor de metas propuesto se modela esta variedad de metas en competencia mediante un sistema de estados

asociados a las mismas. El modelo puede escalarse a múltiples metas que guían la acción, en este artículo solo se introduce un esquema con una única meta dominante; la extensión para múltiples metas esta fuera del alcance. La figura 2 muestra el diagrama de estados de las metas; los eventos que son recogidos por sensores y canales de comunicación hacen que las metas evolucionen entre estos estados. Todas las metas inician en un estado de meta potencial. Posteriormente, para llegar al estado de meta activa, los objetivos específicos son filtrados y clasificados en una de las cinco categorías de objetivos (requerimientos, necesidades, obligaciones, oportunidades y elementos de supervivencia); si la meta no alcanza lo requerido para ser catalogada en alguna de las categorías permanecerá como meta potencial. Posteriormente, cada meta activa es evaluada de forma paralela mediante una valoración de plausibilidad. Se define una meta plausible como un objetivo que es legal en el contexto del agente. La transición entre meta activa y meta plausible se genera aplicando una función de legalidad que tiene como parámetros los umbrales de plausibilidad para la aplicación específica, en nuestro caso el simulador social. Una vez más, la evaluación retornará como meta potencial las metas ilegales.

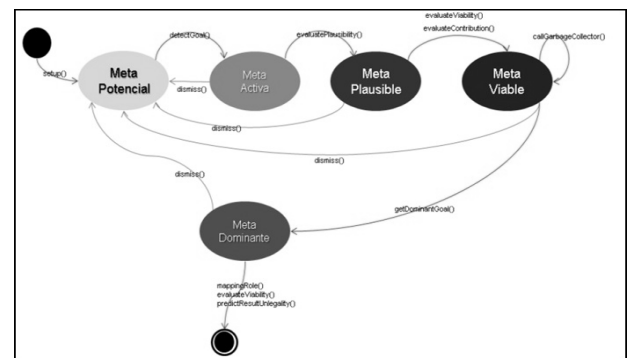


Figura 2. Diagrama de estados para la gestión de metas BDI

Las metas plausibles serán evaluadas nuevamente por un filtro de viabilidad basado en las capacidades del agente. El filtro se basa en una función que calcula si el agente posee las habilidades y recursos para cumplir cada meta específica. En el caso que el agente carezca de estas competencias, la meta no será viable y retomará el estado de meta potencial. Sobre las metas viables se evaluará recurrentemente la plausibilidad y la viabilidad, como un mecanismo de limpieza (*garbage collector*), que permite una adaptación a los cambios de contexto; es decir, generando la capacidad de adaptación a un cambio de meta general. En algunos casos, las metas viables tendrán una transición a meta potencial. Las metas viables son evaluadas por un árbitro de contribución. Este árbitro posee una jerarquía establecida con respecto a las categorías de metas, de tal forma que algunas metas prevalecen sobre otras. La figura 3 muestra la pirámide de jerarquía de metas, en la cual se muestra como metas de alto nivel, los elementos de supervivencia y en el nivel inferior las necesidades del agente. Como se mencionó anteriormente, el agente podrá enfrentarse a una decisión entre objetivos aún en la misma categoría de metas, en este punto el concepto de contribución es relevante y se refiere a una función de ponderación del aporte de cada objetivo específico con respecto a la meta general en la cual el

compromiso del agente es una variable que afecta directamente el proceso. Este valor indicará el orden de las metas en un mismo nivel de la pirámide. Una vez ordenadas las metas en la estructura de jerarquía, el árbitro podrá seleccionar la meta dominante, es decir, la meta que podrá evolucionar a ser una intención que guíe la acción del agente. Como se mencionó en un modelo con una estructura mono-meta dominante, solo un objetivo podrá ocupar dicho estado y en ese sentido la meta dominante actual será evaluada bajo los mismos parámetros de los elementos que componen la pirámide. El proceso en el cual una meta dominante es reemplazada por una nueva y enviada al estado de meta potencial, se denomina expropiación. El proceso de meta viable a meta dominante es llamado activación. Durante todo el proceso de gestión, un cambio de contexto puede inducir a un cambio de meta general.



Figura 3. Piramide de jerarquía de metas BDI

Esta situación puede producirse por varias causas, entre las cuales podemos resaltar, que la meta general actual ya se ha cumplido. El agente debe sincronizarse con la nueva meta general y en la caso de no tenerla entrar al ciclo de atención, donde su objetivo será buscar una nueva meta general. En este sentido el agente siempre estará comprometido con un objetivo. Los cambios de meta general generan un proceso de reconsideración, que se refiere a esa sincronización de parámetros, creencias, deseos e intenciones. En el proceso de gestión de objetivos puede identificarse los deseos del agente como objetivos transitorios que evolucionan desde metas potenciales hasta metas viables. Una vez el árbitro elige la meta potencial se identifica una intención de acción que constituye en la entrada del módulo de administración de medios y fines, en el cual se lleva el proceso de decisión. En una primera etapa, sobre la meta dominante o intención se aplica nuevamente una evaluación de viabilidad más profunda y detallada que el proceso generado en el gestor de objetivos. En forma concurrente, una función de predicción de plausibilidad es aplicada para generar un valor más preciso de legalidad sobre la intención. Adicionalmente, la etapa de decisión inicia con la asignación de un rol al agente.

V. EL MODELO DE CONCURRENCIA

La arquitectura BDI propuesta posee múltiples elementos y relaciones difíciles de definir y predecir. Puede decirse que la arquitectura misma se constituye como un sistema complejo. El diseño del modelo fue abordado entonces, desde el mismo paradigma multiagente haciendo uso de la metodología organizacional AOPOA para la construcción de SMA [17]. El proceso permitió concluir en tres meta-agentes que involucran los módulos del sistema mencionados en la sección III: meta-agente de flujo de información que incluye el gestor de

creencias, meta-agente de conversión de deseos a intenciones que incluye la gestión de creencias y meta-agente ejecutor que integra la administración de medios y fines. Entre los criterios de asignación de tareas a cada meta-agente están la homogeneidad de recursos y habilidades que se requieren para realizar las tareas, la compatibilidad de actividades, el reutilización de funciones y la detección de procesos mentales concurrentes. De esta forma cada meta-agente es realidad un hilo de proceso, la gestión de creencias, de objetivos y el proceso de decisión se realizan en paralelo y su sincronización y actualización está a cargo del proceso de reconsideración. La figura 4 muestra los tres hilos. Los tres hilos de proceso, tienen entonces funciones específicas entre las cuales se resalta la sincronización inter hilos y la comunicación de parámetros. Dentro de cada hilo de proceso se generan procesos que inspirados en el pensamiento pragmáticos pueden considerarse paralelos constituyendo una nueva capa de concurrencia como se muestra a continuación.

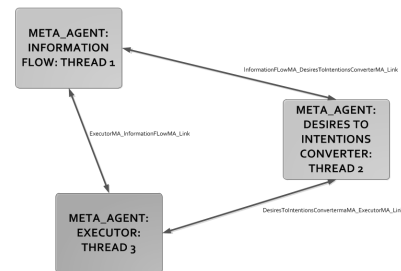


Figura 4. Hilos concurrentes de la arquitectura BDI

EL hilo de flujo de información está encargado del manejo de sensores y actuadores, los mecanismos de transmisión y recepción de mensajes, la construcción del modelo del mundo, el manejo del sistema de creencias, los gestores de emociones, habilidades y personalidad. Estos últimos se constituyen en variables moduladoras del proceso metal BDI. EL hilo de conversión de deseos a intenciones incluye el detector de oportunidades, el supervisor de necesidades, el árbitro de contribución, los gestores de requerimientos, obligaciones, auto preservación, plausibilidad, viabilidad, activación, expropiación, desactivación (retorno a meta potencial) y la máquina de estados de metas. El hilo ejecutor está a cargo de la administración de medios y fines, el gestor de memoria y repositorio de experiencias y el gestor de decisiones sobre actuadores.

VI. ARQUITECTURA BDI APLICADA A UN SIMULADOR SOCIAL

La arquitectura BDI concurrente orientada a gestión de metas fue aplicada en un contexto de simulación social por medio del Modelo MSSIN (Modelo de Simulación Social Inteligente) [4]. Este modelo permite desarrollar simulaciones para conocer la respuesta ante estímulos de ayuda social en comunidades del mundo y con una contextualización colombiana, específicamente en el área de trabajo de PROSOFI. El simulador hizo uso de la arquitectura genérica para agentes BDI propuesta en este artículo, incluyendo métodos como lógica difusa y Q-learning en su mecanismo de toma de decisiones, basándose en los conceptos principales de

la teoría sociológica de Bratman. Además, construye un modelo de interacciones sociales que aplica conceptos generales en contextos específicos presentes en las sociedades estudiadas. MSSIN es implementado para un caso específico en el área de estudio de PROSOFI. Se construye una simulación que posibilita el conocimiento de las razones de deserción escolar ante la promoción de cursos de informática que PROSOFI desarrolla en la comunidad. Basándose en este caso, se desarrollan todos los componentes para la simulación del sistema multiagente y los principales componentes para la construcción de un agente BDI. El agente BDI en este caso representa las personas presentes en la sociedad que responden ante los estímulos de diferentes agrupaciones, que además de PROSOFI, generan oportunidades. Los resultados de esta simulación, después de modificar algunas variables de entrada, como lo es por ejemplo el respeto que las personas poseen ante las instituciones y el estado emocional, son evaluados de manera cualitativa por expertos del área de estudio de PROSOFI. Los resultados finales, muestran la utilidad del simulador en el área de trabajo, que representa una contextualización en el ambiente colombiano. Los resultados de este caso de aplicación son detallados en el artículo de los mismos autores: MSSIN: Agent Based Social Simulation Model with an Intelligent Approach.

VII. CONCLUSIONES

El trabajo enfocado al desarrollo y validación software de nuestra arquitectura BDI permitió incluir la perspectiva concurrente de los procesos mentales que se desarrollan en un agente racional al tomar decisiones en el marco de un modelo real de pensamiento práctico y cercano al que usa un ser humano. De esta forma, se propuso un esquema de tres hilos de proceso, cada uno encargado de gestionar los elementos constitutivos de la arquitectura: creencias, deseos, intenciones, metas y acciones. Se resaltó la estructura de gestión de metas, presentando una arquitectura innovadora compuesta por la evaluación paralela de múltiples objetivos, lo cual permitió una evaluación bio-inspirada para la selección de la meta o intención que guiaría la acción sobre actuadores. La arquitectura BDI propuesta está basada en cinco categorías de objetivos que conducen el esquema de decisión y que integran diversas perspectivas de un individuo, sus necesidades, su capacidad de autoevaluación, el manejo de oportunidades, de obligaciones, sus sentimientos, entre otras. Las pruebas desarrolladas en el caso del modelo MSSIN, muestran que la arquitectura BDI propuesta es evaluada de forma exitosa de acuerdo a los requerimientos de simulación planteados, lo que muestra su utilidad en un contexto de la simulación social basada en agentes, en donde las entidades: pertenecen a ambientes complejos y distribuidos que demandan escalamiento; toman decisiones inteligentes basadas en teorías sociológicas formales; y pueden actuar en ambientes específicos como el colombiano. Algunos resultados muestran por ejemplo, como al incrementar las variables de respeto por PROSOFI en la comunidad, aumenta el porcentaje asistencia al curso y disminuye la deserción. La proyección de nuestro trabajo, incluye una profundización en el sistema de creencias del modelo, y las oportunidades de aprendizaje que pueden detectarse en muchos de los procesos mentales BDI.

Adicionalmente, se realizará una validación de la arquitectura en un caso híbrido hardware software. Para tal fin se estudia el caso de fútbol robótico, en el cual cada jugador será un agente BDI concurrente, implementado en dominios híbridos hardware/software y diseñado bajo técnicas de Co_diseño.

REFERENCIAS

- [1] S.C. Lu, N. Suh, "Complexity in design of technical systems," CIRP Annals – Manufacturing Technology, vol. 58, 2009, págs. 157-160.
- [2] C.W. Johnson, "What are Emergent Properties and How Do They Affect the Engineering of Complex Systems? Reliability Engineering and System Safety," OF COMPLEX SYSTEMS? RELIABILITY ENGINEERING AND SYSTEM SAFETY 91, vol. 12, 2006, págs. 1475--1481.
- [3] G. Weiss, Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. New edition. The MIT Press, 2000.
- [4] González E., Ángel R., "Simulación Social Basada en Agentes: Requerimientos. Generales y en el Contexto Colombiano", 7CCC - Medellín 2012, 2012.
- [5] J. Ferber, Multi-agent systems: An introduction to distributed artificial intelligence. Addison-Wesley Professional, 1999.
- [6] H. Hu, D. Gu, "Reactive behaviours and agent architecture for Sony legged robots to play football." INDUSTRIAL ROBOT-AN INTERNATIONAL JOURNAL 28, n°. 1 (2001): 45-53.
- [7] S. Russell, INTELIGENCIA ARTIFICIAL. 1º ed., 2004.
- [8] M. Bratman, J. David, J. Israel, E. Pollack. "Plans And Resource-Bounded Practical Reasoning" (1988).
- [9] B. Jarvis, D. Corbett, L.C. Jain, "Reasoning about time in a BDI architecture." KNOWLEDGE-BASED INTELLIGENT INFORMATION AND ENGINEERING SYSTEMS, PT 2, 3682 (2005): 851-857.
- [10] B. Subagdja, L. Sonenberg, I. Rahardwarean. "Intentional learning agent architecture." AUTONOMOUS AGENTS AND MULTI-AGENT SYSTEMS 18, n°. 3 (Junio 2009): 417-470.
- [11] T. Bosse, E. Zwanenburg. "There's always hope: Enhancing agent believability through expectation-based emotions." En Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops, 2009. ACII 2009. 3rd International Conference on, 1-8, 2009. 10.1109/ACII.2009.5349424.
- [12] C. Adam, B. Gaudou, A. Herzig, D. Longin. "OCC's emotions: A formalization in a BDI logic." ARTIFICIAL INTELLIGENCE: METHODOLOGY, SYSTEMS, AND APPLICATIONS, 4183 (2006): 24-32
- [13] J. Blee, D. Billington, G. Governatori, A. Sattar. "Levels of Modalities for BDI Logic." En Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, 2008. WI-IAT '08. IEEE/WIC/ACM International Conference on, 3:647-650, 2008. 10.1109/WIIAT.2008.231.
- [14] M. Dastani, J. Hulstijn, L. van der Torre. "How to decide what to do?." EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH 160, n°. 3 (Febrero 1, 2005): 762-784.
- [15] A. Dragoni, "Mental states as multi-context systems." ANNALS OF MATHEMATICS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE 54, n°. 4 (Diciembre 2008): 265-292.
- [16] S. Richly, W. Buecke, U. Assmann. "A BDI-Based Reflective Infrastructure for Dynamic Workflows." En Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops, 2008 12th, 112-119, 2008. 10.1109/EDOCW.2008.2
- [17] E. Gonzalez, C. Bustacara, "Desarrollo de Aplicaciones basadas en Sistemas Multiagentes" En: Colombia 2007. Ed: Editorial Pontificia Universidad Javeriana ISBN: 9586838714 v. 1 pags. 216.
- [18] M. Wooldridge, "Intelligent agents: The key concepts." MULTI-AGENT SYSTEMS AND APPLICATIONS II 2322 (2002): 3-43.
- [19] P. M. SALAZAR, «Un programa social que da pasos firmes en Usme», hoy en la javeriana, vol. Marzo, 2011.