

Multi Agent Systems: Issues, Approaches and Challenges

Multi Agent System: Beberapa Isu, Pendekatan dan Tantangan

Romi Satria Wahono

Indonesian Institute of Sciences (LIPI).
Department of Information and Mathematical Sciences, Saitama University.

Abstract:

The study of multi agent systems (MAS) began in the field of distributed artificial intelligence (DAI) about 20 years ago. As the number of deployed MAS applications increases, further and better experience with the technology is gained, enabling a strong evaluation of the field from a more practical perspective. Today, MAS is not simply a research topic, but also beginning to become an important subject of academic teaching, industrial and commercial application. This paper presents some of the key issues in MAS research, approaches for developing MAS, and the challenges that remain.

Keywords: agent, multi agent system, distributed artificial intelligence

Pendahuluan

Penelitian dan pengembangan *agent* dan *multi agent system* (MAS) sudah dimulai sekitar 20 tahun yang lalu, berawal dari suatu cabang ilmu *artificial intelligence* (AI) yang bernama *distributed artificial intelligence* (DAI). Pesatnya perkembangan teknologi komputer dan jaringan, menyebabkan teknologi *agent* dan *multi agent system* dengan mudah bisa diimplementasikan, sehingga saat ini bukan hanya bergerak pada kerangka penelitian, tetapi juga telah sampai pada tahap implementasi nyata.

Sudah bukan menjadi rahasia lagi, bahwa telah datang kritikan pedas yang diarahkan kepada para peneliti AI, bahwa bidang garapan AI tidak menyentuh factor-faktor riil. Kemudian beberapa ide-ide besar yang datang dari para peneliti AI pun boleh dikata hanya diimplementasikan ke arah masalah-masalah mainan (*toy problems*). Kalau kita mau menengok kembali buku-buku pelajaran baik tingkat *undergraduate* maupun *graduate*, memang ada nuansa bahwa penjelasan ilmu AI hanya berputar sekitar pemecahan masalah (*problem solving*) pada suatu yang tidak riil dan lebih bersifat mainan, misalnya *strategy* pada permainan catur, *othello*, robot mainan, dsb.

Seiring dengan perkembangan teknologi *agent* dan *multi agent system* ini, para peneliti AI berharap bahwa sudah masanya untuk tidak mengulang kembali kesalahan leluhur-leluhur peneliti AI, dan mencoba untuk membuat implementasi *agent* dan *multi agent system* ke arah yang lebih riil dan bermanfaat secara langsung. Bigus dalam

bukunya [Bigus et al., 2001] menyebutkan secara ekstrim bahwa kita sedang melakukan transisi dari AI (*Artificial Intelligence*) ke IA (*Intelligent Agent*).

Pada makalah ini akan dibahas tentang *agent* dan *multi agent system* secara lengkap, menyangkut beberapa isu, pendekatan dan tantangan yang ada, kemudian akan dijelaskan juga tentang aplikasi dari teknologi *agent* dan *multi agent system* diberbagai bidang penelitian.

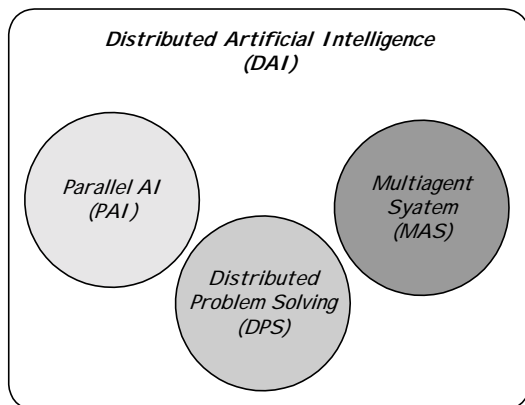
Pengorganisasian makalah ini adalah sebagai berikut. Penjelasan kita mulai dengan sejarah, latar belakang, definisi *agent*, dan *multi agent system* dengan tujuan supaya kita bisa menyamakan persepsi awal tentang *agent* yang kita bicarakan. Setelah juga dijelaskan secara lengkap tentang karakteristik, klasifikasi *agent* dan bidang-bidang yang terkait dengan *agent*. Masuk ke bagian **Arsitektur Agent**, akan dibahas tentang arsitektur umum yang dipakai untuk pengembangan *agent* dan *multi agent system*.

Kemudian akan dibahas mengenai masalah metodologi dan *tool* dalam pengembangan *agent* dan *multi agent system*. Aplikasi dan penelitian yang berkaitan dengan *agent* dan *multi agent system* akan dijelaskan secara mendetail pada bagian **Aplikasi dan Arah Penelitian Agent**, dan dilanjutkan pada bagian **Usaha Standarisasi Agent** dengan penjelasan mengenai usaha standarisasi *agent* dan *multi agent system* dan organisasi-organisasi yang mendukung ke arah itu. Makalah ini akan diakhiri dengan kesimpulan dan

daftar *pointer* maupun *resource* yang berhubungan dengan *agent* dan *multi agent system*.

Sejarah dan Latar Belakang Agent

Menurut Nwana [Nwana, 1996], konsep *agent* sudah dikenal lama dalam bidang AI, tepatnya dikenalkan oleh seorang peneliti bernama Carl Hewitt [Hewitt, 1977] dengan *concurrent actor model*-nya pada tahun 1977. Dalam modelnya Hewitt mengemukakan teori tentang suatu obyek yang yang dia sebut actor, yang mempunyai karakteristik menguasai dirinya sendiri, interaktif, dan bisa merespon pesan yang datang dari lain obyek sejenis. Dari berbagai penelitian berhubungan dengan hal diatas, kemudian lahirlah cabang ilmu besar yang merupakan turunan dari AI yaitu *Distributed Artificial Intelligence* (DAI), yang antara lain membawahi bidang penelitian, *Distributed Problem Solving* (DPS), *Parallel Artificial Intelligence* (PAI), dan *Multi Agent System* (MAS) (Gambar 1).



Gambar 1: Ruang Lingkup DAI

Masa ini terkenal dengan masa generasi pertama penelitian *agent* dan *multi agent system*, yaitu periode 1970-1990. Pada umumnya konsentrasi penelitian pada periode ini tertuju ke arah: pemodelan internal agent secara simbolik, isu-isu makro mengenai interaksi, koordinasi, dan komunikasi antar agent dalam kerangka MAS. Tujuan utamanya adalah untuk menganalisa, mendesain, dan mengintegrasikan system dalam kerangka agent yang bisa berkolaborasi satu dengan yang lain. Berbagai macam penelitian yang dilakukan pada generasi pertama (1970-1990) itu terangkum dan terorganisir secara lengkap dalam buku-buku yang dieditori oleh Bond dan Gasser [Bond et. al., 1988], Gasser dan Huns [Gasser et. al., 1989], dan Chaib-draa [Chaib-draa et. al., 1992].

Kemudian masa generasi kedua dari penelitian agent adalah periode tahun 1990 sampai saat ini. Konsentrasi penelitian pada periode ini khususnya adalah pada: pengembangan dan penelitian teori agent (*agent theory*), arsitektur agent (*agent architecture*), komunikasi antar agent (*agent communication language*), agent-oriented software engineering (AOSE). Terangkum dengan baik dalam buku-buku dan makalah-makalah oleh Wooldridge dan Jennings [Wooldridge et. al., 1994], [Wooldridge et. al., 1995], dan [Wooldridge et. al., 1996].

Definisi Agent

Dewasa ini banyak sekali digunakan kosa kata *agent*, baik dalam bidang informatika dan ilmu komputer, seperti *software engineering*, *artificial intelligence* (AI), *distributed system*, dsb, maupun dalam bidang lain yang terkait, misalnya bidang industri, *manufacturing*, bisnis, *electronic commerce*, dsb. Populernya menggunakan teknologi *agent* pada berbagai bidang ilmu bukan berarti membuat jelas definisi *agent*. Tetapi justru membuat definisi *agent* semakin kabur, karena setiap peneliti berusaha untuk mendefinisikan *agent* sesuai dengan latar belakang ilmu yang mereka miliki. Bagaimanapun juga sampai saat ini belum ada kesepakatan dari para peneliti tentang definisi formal mengenai apa yang disebut dengan *agent*.

Akibat yang timbul dari tidak adanya kesepakatan definisi agent adalah, munculnya penggunaan *agent* dengan *banner* yang bermacam-macam, meskipun yang dimaksud kadang-kadang adalah sama, ataupun tidak ada perbedaan yang signifikan didalamnya, misalnya penggunaan kata-kata, *intelligent agent*, *agent technology*, *software agent*, *autonomous agent*, ataupun *agent*. Pada bagian ini marilah kita membahas dari hal mendasar pengertian agent yang sebenarnya.

Pertama-tama mari kita mulai mendefinisikan agent dari arti kamus. Di dalam kamus Webster's New World Dictionary [Guralnik, 1983], *agent* didefinisikan sebagai:

A person or thing that acts or is capable of acting or is empowered to act, for another.

Disini ada dua point yang bisa kita ambil:

- Agent mempunyai kemampuan untuk melakukan suatu tugas/pekerjaan.
- Agent melakukan suatu tugas/pekerjaan dalam kapasitas untuk sesuatu, atau untuk

orang lain.

Ditarik dari point-point diatas Caglayan [Caglayan et al., 1997] mendefinisikan *agent* sebagai:

Suatu entitas software komputer yang memungkinkan user (pengguna) untuk mendelegasikan tugas kepadanya secara mandiri (autonomously).

Kemudian beberapa peneliti lain menambahkan satu point lagi, yaitu bahwa *agent* harus bisa berjalan dalam kerangka lingkungan jaringan (*network environment*) [Brenner et. al., 1998]. Definisi *agent* dari para peneliti lain pada hakekatnya adalah senada, meskipun ada yang menambahkan atribut dan karakteristik *agent* ke dalam definisinya. Secara lengkap definisi *agent* dan komparasinya, dirangkumkan oleh Franklin dalam makalahnya [Franklin et. al., 1996].

Definisi Multi Agent

Dalam perkembangan aplikasi dan penelitian tentang *agent*, bagaimanapun juga dalam suatu komunitas sebuah sistem tidak dapat dihindari akan dibutuhkannya lebih dari satu *agent*, seiring dengan semakin kompleksnya tugas yang dikerjakan oleh sistem tersebut. Dilain pihak, dengan populernya paradigma *agent* terjadi pembengkakan populasi *agent*, karena setiap vendor ataupun pembuat software berkeinginan untuk memakai paradigma *agent* dalam sistem mereka. Disinilah kemudian dimulai usaha untuk standarisasi *agent*, dengan tujuan untuk mendukung pertumbuhan *agent* dan *multi agent system* supaya terarah dan lebih terbuka. Hal yang penting lain bahwa suatu saat diharapkan bahwa meskipun berbeda vendor dan pembuat, antara satu *agent* dan *agent* lain bisa tetap berkomunikasi dan berkoordinasi berhubungan dengan suatu pekerjaan.

Paradigma pengembangan sistem dimana dalam suatu komunitas sistem terdapat beberapa *agent*, yang saling berinteraksi, bernegosiasi dan berkoordinasi satu sama lain dalam menjalankan pekerjaan, disebut dengan *multi agent system* (MAS).

Interaksi Antar Agent dalam Multi Agent System

Ada 3 jenis interaksi antar *agent* dalam kerangka MAS, yaitu:

- **Cooperation:** Menampakkan *tujuan* dan *knowledge* yang dimiliki ke *agent* lain. Pada interaksi cooperation, dua *agent* tersebut

memiliki tujuan yang sama.

- **Coordination:** Menampakkan *tujuan* dan *knowledge* yang dimiliki ke *agent* lain. Pada interaksi coordination, dua *agent* tersebut memiliki tujuan yang berbeda.
- **Loose Competition:** Menampakkan *tujuan* dan menyembunyikan *knowledge* yang dimiliki ke *agent* lain.
- **Strict Competition:** Tidak menampakkan *tujuan* maupun *knowledge* yang dimiliki ke *agent* lain.

Karakteristik dan Atribut Agent

Untuk memperdalam pemahaman tentang *agent*, fungsi, peran, dan perbedaan mendasar dikaitkan software program yang ada, berikut ini akan dijelaskan tentang beberapa attribute dan karakteristik yang dimiliki oleh *agent* dan *multi agent system*. Tentu tidak semua karakteristik dan atribut terangkum dalam satu *agent* (lihat bagian tentang **Klasifikasi Agent**). Pada hakekatnya daftar karakteristik dan atribut dibawah adalah merupakan hasil survei dari karakteristik yang dimiliki oleh *agent-agent* yang ada pada saat ini.

Autonomy

Agent dapat melakukan tugas secara mandiri dan tidak dipengaruhi secara langsung oleh user, *agent* lain ataupun oleh lingkungan (*environment*). Untuk mencapai tujuan dalam melakukan tugasnya secara mandiri, *agent* harus memiliki kemampuan kontrol terhadap setiap aksi yang mereka perbuat, baik aksi keluar maupun kedalam [Woolridge et. al., 1995]. Dan satu hal penting lagi yang mendukung *autonomy* adalah masalah *intelegensi* (*intelligence*) dari *agent*.

Intelligence, Reasoning, dan Learning

Setiap *agent* harus mempunyai standar minimum untuk bisa disebut *agent*, yaitu *intelegensi* (*intelligence*). Dalam konsep *intelligence*, ada tiga komponen yang harus dimiliki: *internal knowledge base*, kemampuan *reasoning* berdasar pada *knowledge base* yang dimiliki, dan kemampuan *learning* untuk beradaptasi dalam perubahan lingkungan.

Mobility dan Stationary

Khusus untuk *mobile agent*, dia harus memiliki kemampuan yang merupakan karakteristik tertinggi yang dia miliki yaitu *mobilitas*. Berkebalikan dari hal tersebut adalah *stationary agent*. Bagaimanapun juga keduanya tetap harus memiliki kemampuan untuk mengirim pesan dan berkomunikasi dengan *agent* lain.

Delegation

Sesuai dengan namanya dan seperti yang sudah kita bahas pada bagian **Definisi Agent**, agent bergerak dalam kerangka menjalankan tugas yang diperintahkan oleh user. Fenomena pendelegasian (delegation) ini adalah karakteristik utama suatu program disebut agent.

Reactivity

Karakteristik agent yang lain adalah kemampuan untuk bisa cepat beradaptasi dengan adanya perubahan informasi yang ada dalam suatu lingkungan (*environment*). Lingkungan itu bisa mencakup: agent lain, user, adanya informasi dari luar, dsb [Brenner et. al., 1998].

Proactivity dan Goal-Oriented

Sifat proactivity boleh dikata adalah kelanjutan dari sifat reactivity. Agent tidak hanya dituntut bisa beradaptasi terhadap perubahan lingkungan, tetapi juga harus mengambil inisiatif langkah penyelesaian apa yang harus diambil [Brenner et. al., 1998]. Untuk itu agent harus didesain memiliki tujuan (goal) yang jelas, dan selalu berorientasi kepada tujuan yang diembannya (goal-oriented).

Communication and Coordination Capability

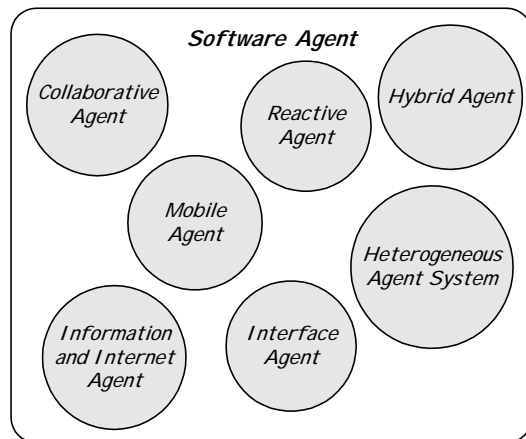
Agent harus memiliki kemampuan berkomunikasi dengan user dan juga agent lain. Masalah komunikasi dengan user adalah masuk ke masalah user interface dan perangkatnya, sedangkan masalah komunikasi, koordinasi, dan kolaborasi dengan agent lain adalah masalah sentral penelitian *multi agent system* (MAS). Bagaimanapun juga untuk bisa berkoordinasi dengan agent lain dalam menjalankan tugas, perlu bahasa standard untuk berkomunikasi. Tim Finin [Finin et al., 1993] [Finin et al., 1994] [Finin et al., 1995] [Finin et al., 1997] dan Yannis Labrou [Labrou et al., 1994] [Labrou et al., 1997] adalah peneliti yang banyak berkecimpung dalam penelitian mengenai bahasa dan protokol komunikasi antar agent. Salah satu produk mereka adalah *Knowledge Query and Manipulation Language* (KQML). Kemudian masih berhubungan dengan ini komunikasi antar agent adalah *Knowledge Interchange Format* (KIF).

Klasifikasi Agent

Klasifikasi Agent Menurut Karakteristik Yang Dimiliki

Teknik klasifikasi agent menurut karakteristik dipelopori oleh Nwana [Nwana, 1996]. Menurut Nwana, agent bisa diklasifikasikan menjadi

delapan berdasarkan pada karakteristiknya.

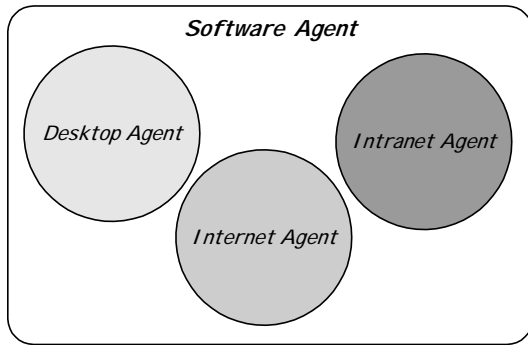


Gambar 2: Klasifikasi Agent Menurut Karakteristik Yang Dimiliki

1. Collaborative Agent: Agent yang memiliki kemampuan melakukan kolaborasi dan koordinasi dengan agent lain dalam kerangka *Multi Agent System* (MAS).
2. Interface Agent: Agent yang memiliki kemampuan untuk berkolaborasi dengan user, melakukan fungsi *monitoring* dan *learning* untuk memenuhi kebutuhan user.
3. Mobile Agent: Agent yang memiliki kemampuan untuk bergerak dari suatu tempat ke tempat lain, dan secara mandiri melakukan tugas ditempat barunya tersebut, dalam lingkungan jaringan komputer.
4. Information dan Internet Agent: Agent yang memiliki kemampuan untuk menjelajah internet untuk melakukan pencarian, pemfilteran, dan penyajian informasi untuk user, secara mandiri. Atau dengan kata lain, manage informasi yang ada di dalam jaringan Internet.
5. Reactive Agent: Agent yang memiliki kemampuan untuk bisa cepat beradaptasi dengan lingkungan baru dimana dia berada.
6. Hybrid Agent: Kita sudah mempunyai lima klasifikasi agent. Kemudian agent yang memiliki katakarakteristik yang merupakan gabungan dari karakteristik yang sudah kita sebutkan sebelumnya adalah masuk ke dalam *hybrid agent*.
7. Heterogeneous Agent System: Dalam lingkungan *Multi Agent System* (MAS), apabila terdapat dua atau lebih *hybrid agent* yang memiliki perbedaan kemampuan dan karakteristik, maka sistem MAS tersebut kita sebut dengan *heterogeneous agent system*.

Klasifikasi Agent Menurut Lingkungan Dimana Dijalankan

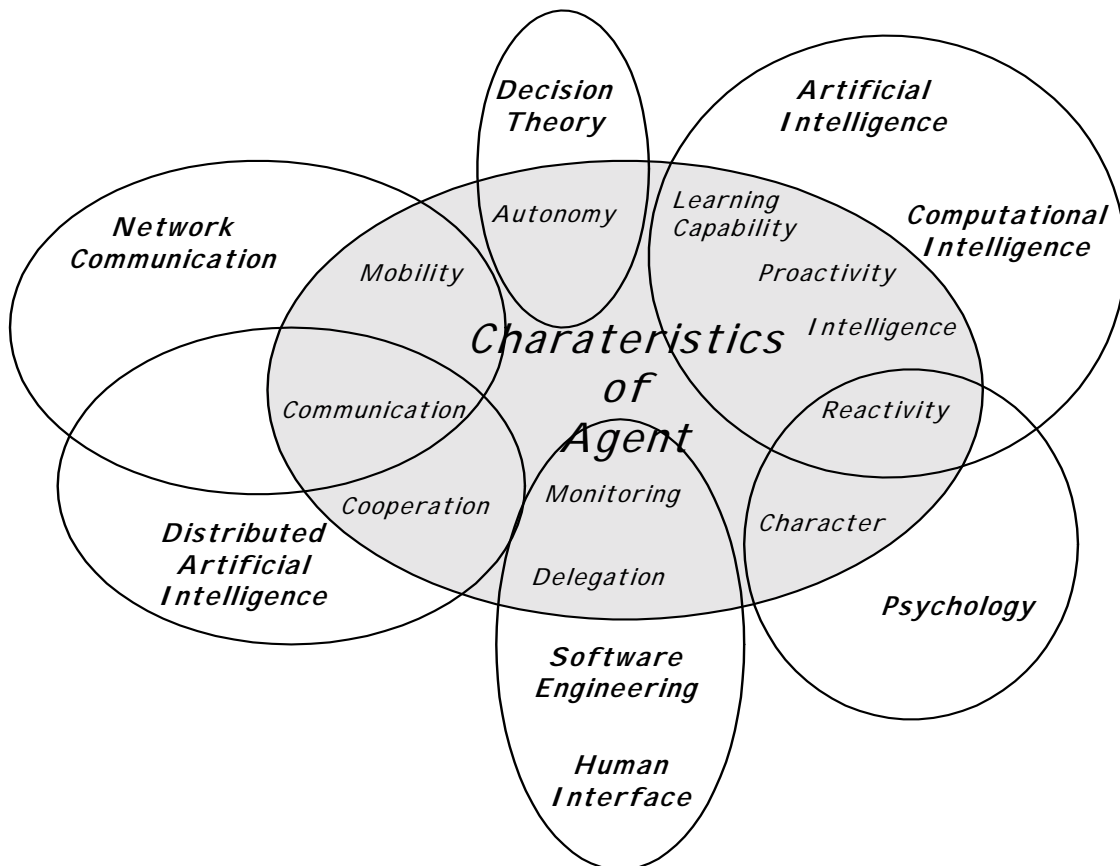
Caglayan [Caglayan et al., 1997] membuat suatu klasifikasi yang menarik mengenai *agent*, yang berdasar kepada lingkungan (*environment*) dimana *agent* dijalankan.



Gambar 3: Klasifikasi Agent Menurut Lingkungan Dimana Dijalankan

Dari sudut pandang dimana dijalankan, software agent bisa diklasifikasikan sebagai *desktop agent*, *internet agent* dan *intranet agent*. Lebih jelasnya, daftar dibawah menguraikan klasifikasi tersebut secara mendetail.

1. **Desktop Agent:** Agent yang hidup dan bertugas dalam lingkungan *Personal Computer* (PC), dan berjalan diatas suatu *Operating System* (OS). Termasuk dalam klasifikasi ini adalah:
 - *Operating System Agent*
 - *Application Agent*
 - *Application Suite Agent*
2. **Internet Agent:** Agent yang hidup dan bertugas dalam lingkungan jaringan Internet, melakukan tugas manage informasi yang ada di Internet. Termasuk dalam klasifikasi ini adalah:
 - *Web Search Agent*
 - *Web Server Agent*
 - *Information Filtering Agent*
 - *Information Retrieval Agent*
 - *Notification Agent*
 - *Service Agent*
 - *Mobile Agent*
3. **Intranet Agent:** Agent yang hidup dan bertugas dalam lingkungan jaringan Intranet, melakukan tugas manage informasi yang ada di Intranet. Termasuk dalam klasifikasi ini adalah:
 - *Collaborative Customization Agent*
 - *Process Automation Agent*



Gambar 4: Agent dan Bidang Yang Terkait Dengannya

- *Database Agent*
- *Resource Brokering Agent*

Bidang Ilmu dan Penelitian Yang Terkait dengan Agent

Gambar 4 menjelaskan bagaimana keterkaitan *agent* dengan bidang-bidang ilmu dan penelitian, yang digambarkan berdasarkan pada hubungan dengan karakteristik yang dimiliki oleh *agent*.

Sudah menjadi hal yang diketahui umum bahwa masalah *learning*, *intelligence*, dan juga *proactivity* serta *reactivity* adalah bidang garapan AI klasik. Kemudian penelitian dalam bidang DAI pada umumnya adalah berkisar ke masalah koordinasi, komunikasi dan kerjasama (*cooperation*) antar *agent* dalam *Multi Agent System* (MAS). Dengan perkembangan penelitian di bidang *distributed network* dan *communication system*, membawa peran penting dalam mewujudkan *agent* yang mempunyai kemampuan mobilitas dan komunikasi dengan *agent* lain.

Pesatnya perkembangan penelitian tentang *software agent* tak lepas dari pengaruh bidang ilmu psikologi yang banyak mengupas *agent* secara teori dan filosofi, kemudian juga *software engineering* yang berperan dalam menyediakan metodologi analisa dan desain, serta implementasi dari *software agent*. Dan yang terakhir adalah bidang *decision theory* dengan kupasan tentang bagaimana *agent* harus menentukan strategi dalam menjalankan tugas secara mandiri (*autonomously*).

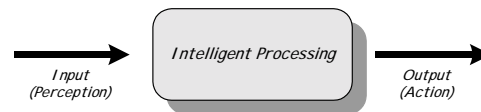
Keterkaitan beberapa bidang ilmu dan penelitian dalam *software agent*, dibahas dalam buku-buku dan makalah-makalah seperti: [Caglayan et al., 1997], [Brenner et. al., 1998], dan [Bradshaw, 1997]

Arsitektur Agent

Pada bagian ini akan dijelaskan tentang arsitektur umum yang terdapat pada *agent*. Bagaimanapun juga, karena banyak sekali peneliti yang mengemukakan arsitektur untuk masing-masing *agent* yang mereka kembangkan, kami tidak bisa menjelaskan seluruh arsitektur yang ada di dunia. Tetapi kita coba dengan mencoba menjelaskan arsitektur *software agent* secara fundamental dan umum.

Agent dalam konsepsi *black-box* bisa divisualisasikan sebagai berikut. Pertama *agent* mendapatkan input atau *perception* terhadap suatu masalah, kemudian bagian *intelligent processing*

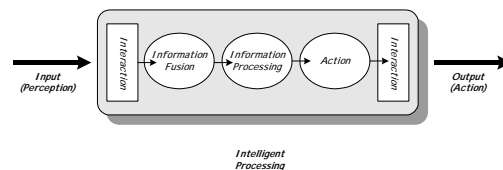
mengolah input tersebut sehingga bisa menghasilkan output berupa *action* (Gambar 5).



Gambar 5: *Agent* Secara *Black-Box*

Dalam konsepsi *black-box*, arsitektur *software agent* bisa diterima oleh semua peneliti, karena arsitektur tersebut bersifat sangat umum dan memungkinkan mencakup semua jenis *software agent*.

Tahap berikutnya adalah, berdasar pada konsep *black-box* ini kita harus memikirkan proses kerja apa saja yang harus kita masukkan ke dalam *intelligent processing*. Brenner [Brenner et al., 1998] mengemukakan satu model *intelligent processing* untuk *software agent* yang berisi: *interaction*, *information fusion*, *information processing* dan *action* (Gambar 6).



Gambar 6: Proses Kerja *Agent*

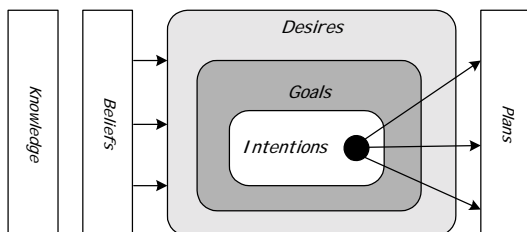
Software agent memiliki module interaksi (*interaction module*) yang berguna untuk melakukan komunikasi (*communication*), koordinasi (*coordination*) dan kooperasi (*cooperation*) dengan lingkungannya. Lingkungan (*environment*) dari *agent* bisa berwujud *agent* lain, user atau pengguna, ataupun berupa sumber-sumber informasi (*information sources*). *Agent* menggunakan module interaksi untuk mendapatkan informasi dari lingkungan dan juga untuk melakukan aksi. Oleh karena itu module interaksi disediakan dalam level input (*perception*) dan output (*action*) (Gambar 6).

Informasi-informasi yang didapat dari proses interaksi dikumpulkan dalam suatu tahapan klasifikasi (*ontology*) yang tepat dalam *knowledge-base*. Misalnya informasi hasil interaksi dengan *agent* lain, tentu mempunyai karakteristik dan format yang lain dengan informasi yang didapat dari user (pengguna). Disinilah perlu dikembangkan strategi dan ontologi yang tepat untuk menyusun informasi yang masuk. Tahapan ini disebut dengan *information fusion* (Gambar 6).

Kemudian tahapan berikutnya adalah tahapan pengolahan informasi (*information processing*). Seperti dijelaskan sebelumnya, *agent* mempunyai tujuan (*goal*) berhubungan dengan tugas yang dibebankan kepadanya. Tujuan pengolahan informasi disini adalah untuk membuat interpretasi terhadap informasi yang ada supaya dengan itu *agent* bisa berorientasi ke tujuan (*goal-oriented*) yang dibebankan kepadanya. Meskipun tentu saja untuk mencapai tujuan yang ingin dicapai, harus melewati tahapan-tahapan proses seperti *planning*, *scedulling*, dsb.

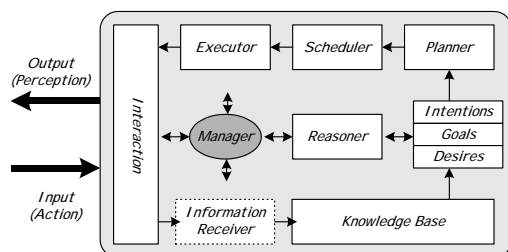
Tahapan berikutnya adalah melakukan aksi (*action*) berdasarkan kepada tujuan (*goal*), *planning*, dan *scedulling* yang ada pada *agent*. Seperti sudah dijelaskan diatas, *agent* melakukan aksi dalam lingkungannya, sehingga bagaimanapun juga dia harus tetap memanfaatkan module interaksi (*interaction module*) dalam aksinya.

Beberapa konsep arsitektur lain yang lebih mewakili karakteristik *agent* diungkapkan oleh beberapa peneliti. Misalnya seperti kita ketahui bersama bahwa Rao [Rao et al., 1990] menyajikan konsep struktur *BDI* (*Beliefs Desires Intention*) *agent*, yang memiliki elemen-elemen seperti tampak pada gambar 7.



Gambar 7: Struktur *BDI Agent*

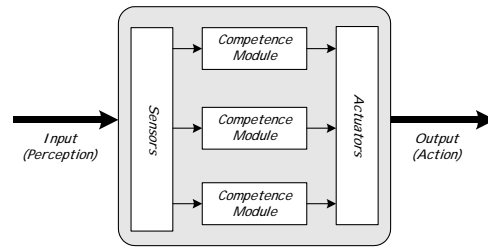
Berdasar pada konsep dan struktur ini, dikembangkan arsitektur untuk *BDI* dan *deliberative agent* (Gambar 8).



Gambar 8: Arsitektur *BDI* dan *Deliberative Agent*

Kemudian Brooks [Brooks, 1991] mengembangkan arsitektur untuk *reactive agent*,

yang pada hakekatnya bisa divisualisasikan seperti Gambar 9.



Gambar 9: Arsitektur *Reactive Agent*

Metodologi Pengembangan Agent

Pada bagian ini akan dibahas tentang metodologi untuk pengembangan *agent*. Bagaimanapun juga dalam mengembangkan sistem yang kompleks, diperlukan metode yang jelas dan disepakati oleh umum, dan juga karena harus dipertimbangkan keterbatasan manusia baik fisik maupun mental, diperlukan *tool* sebagai alat bantu untuk mempermudah pengembangan suatu sistem.

Metodologi analisa dan desain berorientasi ke *agent* (*Agent-Oriented Analysis dan Design* (AOAD)), adalah salah satu tema penelitian yang menonjol di masa generasi kedua (1990-sekarang) penelitian *agent* (lengkapnya lihat bagian **Sejarah dan Latar Belakang**). Bagaimanapun juga seperti halnya paradigma *software engineering* lain, *software agent* pun memerlukan metodologi terutama untuk analisa dan desain sistem, yang berguna untuk membantu *developer* dalam mengembangkan dan manage *software agent plus life cycle*-nya.

Pada hakekatnya, riset tentang metodologi AOAD bisa kita bagi menjadi dua kelompok besar [Iglesias et al., 1999]. Yang pertama adalah metodologi yang berdasar kepada *Object-Oriented Analysis and Design* (OOAD). Dan yang kedua adalah metodologi yang berdasar kepada *Knowledge Engineering* (KE). Penulis akan menjelaskan kedua metodologi tersebut lebih detail dibawah.

Metodologi Yang Berdasar Kepada OOAD

Ada beberapa alasan mengapa digunakan OOAD sebagai dasar pengembangan metodologi AOAD.

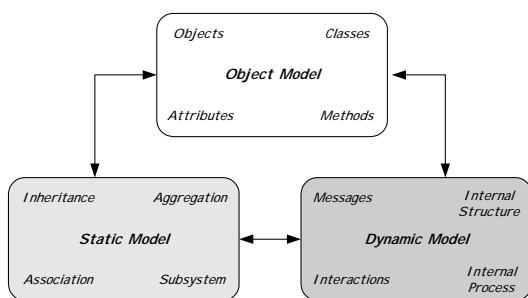
Alasan yang pertama adalah karena pada dasarnya ada kemiripan antara paradigma berorientasi ke obyek (*object-oriented* (OO) *paradigm*) dengan paradigma berorientasi ke *agent* (*agent-oriented paradigm*) [Burmeister, 1996] [Kinny et al., 1996].

Dalam OO *agent* bisa didesain sebagai obyek aktif, dan obyek yang mempunyai *mental state*. Meskipun tentu saja, perlu dipikirkan lagi mengenai masalah *belief*, *desire*, *intentions*, dan *commitments*, yang menjadi karakteristik dari *agent*.

Alasan yang kedua adalah metodologi OOAD yang ada, misalnya *Object Modelling Technique* (OMT) [Rumbaugh et al., 1991], *Object-Oriented Software Engineering* (OOSE) [Jacobson et al., 1992], ataupun *Unified Modelling Language* (UML) [Booch et al., 1999], sudah banyak digunakan, dan dikenal luas dalam industri software. Sehingga metodologi AOAD yang berdasar pada OOAD, akan lebih cepat dipahami dan diterima secara mudah oleh berbagai lapisan industri software.

Kemudian alasan yang ketiga adalah, bahwa proses identifikasi obyek dalam object model creation process bisa diterapkan dalam proses untuk identifikasi *agent*.

Dari sekian banyak metodologi AOAD yang berdasar kepada OOAD ini, penulis mencoba mengambil metodologi yang dikemukakan oleh Burmeister [Burmeister, 1996]. Burmeister pertama bergerak dari salah satu metodologi OOAD yaitu OMT yang dikembangkan oleh Rumbaugh [Rumbaugh et al., 1991]. Metodologi OMT menguraikan bahwa OOAD mempunyai 3 elemen dasar yaitu: *Object Model*, *Dynamic Model*, dan *Static Model*. Apa yang terdapat dalam masing-masing model tersebut tergambar pada Gambar 10.



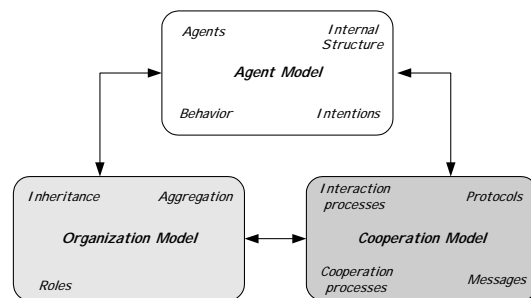
Gambar 10: Tiga Model dalam OMT

Berdasar pada tiga model yang sudah lazim dipakai dalam metodologi OMT tersebut diatas, Burmeister mencoba menganalogikan kedalam metodologi AOAD yang dia buat. Tiga model AOAD yang dia kemukakan adalah (Gambar 11):

1. **Agent Model:** Yang berisi internal struktur misalnya *belief*, *plan*, *goals*, dan juga

behavior dari *agent*, dsb.

2. **Organization Model:** Yang berisi segala sesuatu yang berhubungan dengan relasi antara suatu *agent* dengan *agent* lain, bisa berupa *inheritance*, *role*, ataupun *aggregation*.
3. **Cooperation Model:** Yang berisi segala sesuatu yang berhubungan dengan interaksi antar *agent*, termasuk didalamnya protocol yang dipakai, proses interaksi dan kerjasama (*interaction* dan *cooperation process*), ataupun masalah pesan dalam interaksi (*message*).



Gambar 11: Tiga Model dalam AOAD

Beberapa metodologi lain yang masih dalam area ini adalah yang dikemukakan oleh Kinny [Kinny et al., 1996] dengan metodologi untuk *BDI* (*Belief-Desire-Intention*) *agent*, kemudian Moulin [Moulin et al., 1996] dan Kendall [Kendall et al., 1996] juga mengemukakan metodologi AOAD yang berdasar kepada OOAD.

Metodologi Yang Berdasar Kepada KE

Agent sebagai suatu sistem yang memiliki intelegensi (lihat bagian **Karakteristik dan Atribut Agent**), dimana salah satu faktor intelegensi adalah adanya *knowledge base*. Sehingga dalam sudut pandang KE, *agent* bisa dipandang sebagai sebuah *Knowledge-Based System* (KBS), yang tentu saja metodologi analisa dan desainnya pun akan tepat kalau merfer berdasar kepada analisa dan desain yang sudah dikembangkan oleh KE.

Beberapa peneliti mengembangkan metodologi AOAD yang merupakan ekstensi dari metodologi yang ada di KE. Seperti kita tahu Schreiber [Schreiber et al., 1994] mengembangkan metodologi analisis dan desain untuk KBS, yang kemudian terkenal dengan nama *CommonKADS*. Berdasar dari metodologi *CommonKADS* yang dikembangkan oleh Schreiber tersebut, munculah metodologi yang merupakan ekstensi dari *CommonKADS* khusus untuk menangani masalah *agent* ataupun MAS.

Glaser [Glaser, 1996] mengembangkan ekstensi *CommonKADS* untuk MAS dalam thesis PhD-nya, kemudian terkenal dengan nama metodologi *CoMoMAS*. Dalam *CoMoMAS* Glaser mendefinisikan agent dalam model seperti tersebut dibawah:

1. Agent Model
2. Expertise Model
3. Task Model
4. Cooperation Model
5. System Model
6. Design Model

Iglesias [Iglesias et al., 1998] melakukan pendekatan yang hampir sama dengan apa yang dilakukan oleh Glaser, yaitu mengembangkan ekstensi dari *CommonKADS* untuk MAS, yang dia bernama *MAS-CommonKADS*. Permodelan untuk software agent yang dia kembangkan memasukan hal dibawah:

1. Agent Model
2. Task Model
3. Expertise Model
4. Coordination Model
5. Organisation Model
6. Communication Model
7. Design Model

Metodologi *MAS-CommonKADS* dari Iglesias ini sudah diaplikasikan dengan berhasil untuk mengembangkan proyek PROTEGER (MAS for Network and System Management) dan juga untuk pengembangan *hybrid system* dengan MAS (proyek ESPRIT-9119 MIX).

Tool dan Bahasa Pemrograman untuk Pengembangan Agent

Bahasa Pemrograman

Pada bagian ini akan dibahas tentang bahasa pemrograman yang banyak dipakai untuk tahap implementasi dari *agent*. Bagaimanapun juga setiap bahasa pemrograman memiliki karakteristik sendiri sesuai dengan paradigma pemrograman yang dia anut. Sehingga pemakaian bahasa pemrograman yang kita pakai akan menentukan keberhasilan dalam implementasi *agent* sesuai yang kita harapkan.

Beberapa peneliti memberikan petunjuk tentang bagaimana karakteristik bahasa pemrograman yang sebaiknya kita pakai [Knabe, 1995] [Brenner et al., 1998]. Petunjuk-petunjuk tersebut adalah:

1. Object-Orientedness: Karena *agent* adalah berhubungan dengan obyek, bahkan beberapa peneliti menganggap *agent* adalah obyek

yang aktif, maka bagaimanapun juga agent harus diimplementasikan kedalam pemrograman yang berorientasi obyek (*object-oriented programming language*).

2. Platform Independence: Seperti sudah dibahas pada bagian sebelumnya, bahwa agent hidup dan berjalan diatas berbagai lingkungan. Sehingga idealnya bahasa pemrograman yang dipakai untuk implementasi adalah yang terlepas dari *platform*, atau dengan kata lain program tersebut harus bisa dijalankan di *platform* apapun (*platform independence*).
3. Communication Capability: Pada saat berinteraksi dengan *agent* lain dalam suatu lingkungan jaringan (*network environment*), tentu saja diperlukan kemampuan untuk melakukan komunikasi secara fisik. Sangat lebih baik seandainya bahasa pemrograman mensupport pemrograman untuk *network* dan komunikasinya.
4. Security: Faktor keamanan (*security*) juga hal yang harus diperhatikan dalam memilih bahasa pemrograman untuk implementasi *software agent*. Terutama untuk *mobile agent*, diperlukan bahasa pemrograman yang mensupport level-level keamanan yang bisa membuat *agent* bergerak dengan aman.
5. Code Manipulation: Beberapa aplikasi *agent* memerlukan manipulasi kode program secara *runtime*. Bahasa pemrograman untuk *agent* sebaiknya juga harus bisa memberikan support terhadap masalah ini.

Ditarik dari beberapa petunjuk diatas, para peneliti merekomendasikan bahasa pemrograman berikut untuk mengimplementasikan *agent* [Brenner et al., 1998]:

1. Java
2. Telescript
3. Tcl/Tk, Safe-Tcl, Agent-Tcl

Tool

Beberapa tool untuk pengembangan agent yang ada pada saat ini adalah:

- Agent Building and Learning Environment (ABLE)
- Java Agent Template (JAT)
- Java Expert System Shell (JESS)
- Voyager Object Request Broker for Java Agents
- Open Agent Architecture (OAA)

Aplikasi dan Arah Penelitian Agent

Ada dua tujuan dari survey tentang penelitian dan aplikasi *agent*. Yang pertama adalah, untuk

mengeidentifikasi sampai sejauh mana teknologi agent sudah diaplikasikan dengan memberikan pointer berupa contoh-contoh aplikasi sistem yang sudah ada. Yang kedua adalah, untuk memberikan gambaran ke depan, masalah-masalah apa yang sudah dan belum terpecahkan dan membuka peluang untuk mencoba mengaplikasikan teknologi agent ke masalah baru yang timbul. Jennings [Jennings et al., 1998] merangkumkan penelitian dan aplikasi software agent yang ada kedalam beberapa bidang. Disini kami akan mengupas beberapa penelitian dan aplikasi *agent* dalam bidang *industri, internet/bisnis, entertainment, medis, dan bidang pendidikan.*

Aplikasi dan Penelitian di Bidang Industri

Dewasa ini teknologi agent sudah diaplikasikan secara luas di dunia Industri. Bagaimanapun juga harus diakui bahwa secara sejarah penelitian, selain dunia Internet dan bisnis, teknologi agent banyak didesain untuk dimanfaatkan di bidang industri.

- Manufacturing: Parunak [Parunak, 1987] memelopori proyek penelitian yang dia sebut YAMS (Yet Another Manufacturing System), dimana dia berusaha mengaplikasikan protokol contract net untuk proses kontrol di manufacturing. Untuk mengatasi masalah kompleks dalam proses manufacturing, YAMS mengadopsi pendekatan MAS, dimana setiap pabrik dan komponen dari pabrik adalah direpresentasikan sebagai agent. Aplikasi lain yang menggunakan teknologi agent dalam area ini adalah: konfigurasi dan desain untuk product manufacturing [Darrand et al., 1996], pendesainan secara kolaboratif [Cutosky et al., 1994] [Brooks, 1986], pengontrolan dan penjadwalan operasi manufacturing [Fordyce et al., 1994] [Oliveira et al., 1997] [Parunak et al., 1997] [Sprumont et al., 1997], dsb.
- Process Control: Process control secara sistem merupakan sistem yang harus bisa bekerja secara mandiri dan bersifat reactive. Hal ini sesuai dengan karakteristik dari agent, sehingga bukan sesuatu yang mengejutkan kalau banyak muncul pengembangan aplikasi process control yang berbasis ke teknologi agent. Beberapa contoh penelitian dan aplikasi yang berada dalam area ini adalah: proyek ARCHON yang diaplikasikan untuk manajemen transportasi listrik [Corera et al., 1996] dan kontrol untuk percepatan partikel [Perriolat et al., 1996], kemudian juga: pengontrolan iklim [Clearwater et al., 1996], pengontrolan spacecraft [Ingrand et al., 1992] [Schwuttker et al., 1993], dsb.

- Telecommunications: Sistem telekomunikasi pada umumnya bergerak dalam skala besar, dan komponen-komponen telekomunikasi yang terhubung, terdistribusi dalam jaringan. Untuk itu diperlukan sistem monitoring dan manajemen dalam kerangka real-time. Dengan semakin tingginya tingkat kompetisi untuk menyediakan sistem komunikasi yang terbaik, diperlukan pendekatan komputerisasi dan software paradigma yang sesuai. Disinilah teknologi agent diperlukan. Beberapa penelitian dan aplikasi dalam area ini adalah: pengontrolan jaringan [Schoonderwoerd et al., 1997] [Weihmayer et al., 1998], transmisi dan switching [Nishibe et al., 1993], service management [Burmeister et al., 1997], dan manajemen jaringan [Esfandani et al., 1996] [Garijo et al., 1992] [Rao et al., 1990], dsb.
- Air Traffic Control: Ljunberg [Ljunberg et al., 1992] mengemukakan sistem pengontrolan lalu lintas udara berbasis agent yang terkenal dengan nama OASIS. OASIS sudah diujicoba di bandar udara Sydney di Australia. OASIS diimplementasikan menggunakan sistem yang disebut DMARS [Georgeff, 1994].
- Transportation System: Beberapa contoh aplikasi teknologi agent yang ada dalam area ini adalah: aplikasi pencarian sistem transportasi dan pemesanan tiket dengan menggunakan MAS [Burmeister et al., 1997], kemudian aplikasi lain adalah seperti yang dikemukakan oleh Fischer [Fischer et al., 1996].

Aplikasi dan Penelitian di Bidang Internet dan Bisnis

Seperti sudah disebutkan diatas, boleh dikatakan teknologi agent paling banyak diaplikasikan dalam dunia Internet dan bisnis ini. Bagaimanapun juga ini tak lepas dari maju dan berkembang pesatnya teknologi jaringan komputer yang membuat perlunya paradigma baru untuk menangani masalah kolaborasi, koordinasi dalam jarak yang jauh, dan salah satu yang penting lagi adalah menangani kendala membengkaknya informasi.

- Information Management: Ada dua tema besar dalam manajemen informasi dan peran teknologi agent untuk mengatasi masalah information overload karena perkembangan teknologi jaringan dan Internet.
 - Information Filtering: Proyek MAXIMS [Maes, 1994] [Decker et al., 1997], kemudian WARREN [Takahashi et al., 1997] adalah contoh aplikasi di

bidang information filtering.

- **Information Gathering:** Banyak sekali aplikasi yang masuk area information gathering baik gratis maupun komersil. Contohnya adalah proyek WEBMATE [Chen et al., 1998], pencarian homepage dengan softbot [Etzioni, 1996], proyek LETIZIA [Lieberman, 1995], dsb.
- **Electronic Commerce:** Tema penelitian kearah desain dan implementasi untuk mengotomatisasi jual-beli, termasuk didalamnya adalah implementasi strategi dan interaksi dalam jual-beli, tawar-menawar, teknik pembayaran, dsb. [Chaves et al., 1996] merealisasikan sistem pasar elektronik dalam sistem yang disebut dengan KASBAH. Dalam sistem ini disimulasikan buyer agent dan seller agent yang melakukan transaksi jual-beli, tawar-menawar, dan masing-masing agent mempunyai strategi jual beli untuk mendapatkan yang termurah atau teruntung. Aplikasi agent lainnya adalah BargainFinder [Krulwich, 1996], JANGO [Doorenbos et al., 1997], MAGMA [Tsvetovaty et al., 1997], dsb.
- **Distributed Project Management:** Untuk meningkatkan produktivitas dalam kerja yang memerlukan kolaborasi antar anggota tim dalam kerangka teamwork, mau tidak mau harus dipikirkan kembali model software yang mempunyai karakteristik bisa melakukan kolaborasi dan koordinasi secara mandiri, untuk membantu tiap anggota dalam melakukan tugas yang menjadi tanggung jawabnya. Salah satu approach adalah dengan mengimplementasikan teknologi agent dalam software sistem yang dipakai untuk berkolaborasi. Anumba [Anumba et al., 1997] memberikan kontribusi dalam pengembangan decision support system untuk designer dalam mendesain bangunan dalam kerangka teamwork. Penelitian dan aplikasi lain adalah RAPPID [Parsons et al., 1999], PROCESSLINK [Petrie et al., 1999], dan juga OOEXPERT [Romi et al, June 1999] [Romi et al., March 1999] [Romi et al., 2000] [Romi et al., 2001] yang memberikan solusi dan metodologi dalam pemecahan masalah object model creation process dalam OOAD, dan implementasi dengan menggunakan pendekatan Multi Agent System (MAS).

Aplikasi dan Penelitian di Bidang Entertainment

Komunitas informatika dan ilmu komputer sering tidak menjamah dengan serius industri-industri yang bersifat lebih ke arah rekreasi dan kesenangan (Leisure Industri) [Jennings et al.,

1998]. Misalnya adalah masalah industri game, teater dan sinema, dsb. Dengan adanya software agent, memungkinkan komunitas informatika dan komputer untuk ikut andil merealisasikan pemikirannya.

- **Games:** Software agent berperan penting dalam pengembangan game modern, misalnya dengan membawa paradigma agent kedalam karakter manusia atau sesuatu dalam game tersebut sehingga lebih hidup. Beberapa penelitian yang sudah sampai pada tahap implementasi adalah misalnya aplikasi game yang dikembangkan oleh Grand dan Cliff [Grand et al., 1998], kemudian juga [Wavish et al., 1996], dsb.
- **Interactive Theatre and Cinema:** Beberapa penelitian dan aplikasi yang berhubungan dengan hal ini adalah [Trappl et al., 1997], [Lester et al., 1997], dan [Foner, 1997].

Aplikasi dan Penelitian di Bidang Medis

Dunia medis adalah bidang yang akhir-akhir ini sangat gencar dilakukan komputerisasi terhadapnya. Tidak ketinggalan, teknologi agent pun dicoba untuk diimplementasikan dalam rangka mencoba mengatasi masalah-masalah yang berhubungan dengan monitoring pasien [Larsson et al., 1998], manajemen kesehatan dari pasien [Huang et al., 1995], dsb.

Aplikasi dan Penelitian di Bidang Pendidikan

Dengan perkembangan teknologi jaringan komputer, dunia pendidikan pun salah satu yang merasakan manfaatnya. Sistem pengajaran pun mengalami perkembangan kearah lebih modern dengan memanfaatkan teknologi jaringan. Berhubungan dengan teknologi agent, dewasa ini banyak sekali penelitian dan aplikasi untuk dunia pendidikan yang menggunakan teknologi agent, misalnya [Chen et al., 1996], [Espinosa et al., 1996], [Florea, 1999], dsb.

Usaha Standarisasi Agent

Seperti sudah kita bahas dalam bagian **Definisi**, bahwa kosa kata agent digunakan secara luas dalam berbagai bidang, dan juga diaplikasikan menurut pengertian dan interpretasi masing-masing peneliti. Bagaimanapun juga dalam era globalisasi baik dalam lingkup penelitian, maupun ditinjau dari segi aplikasi teknologi agent, diperlukan suatu persamaan visi dan interpretasi khususnya pada saat sudah mencapai ke tahap implementasi.

Suatu contoh yang mudah, ketika banyak sekali

orang ataupun vendor mengembangkan aplikasi *agent*, bagaimanapun juga suatu saat akan ada masa dimana *agent* suatu vendor harus melakukan komunikasi, koordinasi dan kolaborasi dengan *agent* dari vendor lain. Masalah timbul karena bahasa untuk berkomunikasi berlainan, misalnya satu vendor menggunakan KQML, sedangkan vendor lain mengembangkan sendiri bahasa komunikasi untuk software *agent*nya. Kasus-kasus seperti inilah yang membuat bagaimanapun juga sudah saatnya dipikirkan usaha untuk melakukan standarisasi terhadap software *agent*, baik secara fisik maupun secara teori.

Pada bagian ini kami akan memperkenalkan beberapa organisasi yang melakukan usaha standarisasi, antara lain organisasi yang terbesar adalah Foundation for Intelligent Physical Agent (FIPA), kemudian Object Management Group (OMG), US Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), dan AgentLink.

Foundation for Intelligent Physical Agent (FIPA)

FIPA adalah organisasi non-profit yang didirikan tahun 1996, dan didaftarkan di Geneva, Switzerland. Tujuan utama FIPA adalah untuk mempromosikan dan memberikan dukungan terhadap kemajuan aplikasi-aplikasi yang berbasis *agent* [Suguri, 1999]. Tujuan ini direalisasikan dengan memproduksi spesifikasi yang diterima secara internasional, terutama mengenai masalah interoperabilitas antar *agent*. Anggota dari FIPA sampai saat ini adalah 50 institusi dari sekitar 14 negara, baik berupa perusahaan, universitas, ataupun organisasi. Didalam FIPA setiap anggota, terutama yang tergabung dalam Technical Committee (TC) melakukan kolaborasi dan kesepakatan secara internasional untuk memproduksi spesifikasi.

Sampai saat ini FIPA sudah memproduksi tiga periode spesifikasi, yaitu FIPA97, FIPA98 dan FIPA2000. Secara lengkap spesifikasi yang diproduksi oleh FIPA bisa didownload dari URL: www.fipa.org

Object Management Group (OMG)

OMG merekomendasikan standarisasi untuk teknologi *agent*, terutama yang berhubungan dengan Object Management Architecture (OMA) dari OMG. Pembahasan secara lengkap adalah bisa dipelajari dari URL dibawah: www.omg.org dan www.objs.com/agent

US Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)

DARPA mempunyai agenda penelitian dan standarisasi mengenai teknologi *agent*. Didalamnya termasuk beberapa masalah dibawah:

- Control of Agent-based System
- Advanced Logistics Project
- DARPA Agent Markup Language

AgentLink

Adalah organisasi yang didirikan di Eropa, sebagai organisasi yang mengkoordinir penelitian dan pengembangan sistem komputerisasi yang berbasis *agent*. AgentLink mempunyai tujuan utama memberikan dukungan terhadap peningkatan kualitas dari software *agent*, dan kerjasama antar industri yang bergerak dalam software *agent* maupun *agent* sistem khususnya di bagian wilayah Eropa.

Aktifitas utama AgentLink saat ini adalah bergerak dalam empat bidang dibawah:

- Industrial action
- Research coordination
- Teaching and Training
- Infrastructure and management

Penjelasan secara lengkap dari AgentLink bisa didapat dari URL: www.agentlink.org

Pointer dan Resource Berhubungan Dengan Agent

Pencarian dan Download Paper

Research Index	researchindex.org
Decision Sciences	www.elsevier.com/homepage/sae/orms/orms.sht
EI Publication	inf2.pira.co.uk
Google.com	www.google.com

Penelitian dan Pengembangan

UMBC AgentWeb	agents.umbc.edu
MultiAgent.com	www.multiagent.com
IBM Soft. Agent	www.research.ibm.com/Iagents
ComInfo	www.compinfo-center.com
MAML	www.syslab.ceu.hu/mam

Standarisasi

FIPA	www.fipa.org
OMG	www.omg.org
AgentLink	www.agentlink.org

Daftar Singkatan

<u>AI</u>	= Artificial Intelligence
<u>AOAD</u>	= Agent-Oriented Analysis and Design
<u>AOSE</u>	= Agent-Oriented Software Engineering
<u>BDI</u>	= Beliefs Desires Intentions
<u>DAI</u>	= Distributed Artificial Intelligence
<u>DARPA</u>	= Defense Advanced Research Projects Agency
<u>DPS</u>	= Distributed Problem Solving
<u>FIPA</u>	= Foundation for Intelligent Physical Agent
<u>KBS</u>	= Knowledge-Based System
<u>KE</u>	= Knowledge Engineering
<u>KOQL</u>	= Knowledge and Query Manipulation Language
<u>MAS</u>	= Multi Agent System
<u>OOAD</u>	= Object-Oriented Analysis and Design
<u>OMG</u>	= Object Management Group
<u>OMT</u>	= Object Modeling Technique
<u>OOSE</u>	= Object-Oriented Software Engineering
<u>PAI</u>	= Parallel Artificial Intelligence
<u>UMBC</u>	= University of Maryland Baltimore County
<u>UML</u>	= Unified Modeling Language
<u>URL</u>	= Uniform Resource Locator

Kesimpulan

Pada makalah ini telah dibahas tentang *agent* dan *multi agent system* secara lengkap dan mendetail, menyangkut beberapa isu, pendekatan dan juga tantangan yang ada. Penjelasan dimulai dengan definisi tentang *agent* dan juga karakteristik yang dimilikinya. Kemudian penjelasan dilanjutkan dengan pemberian contoh beberapa aplikasi dari teknologi *agent* dan *multi agent system* diberbagai bidang. Terakhir, makalah ini ditutup dengan penjelasan mengenai usaha standarisasi dari *agent*, yang bagaimanapun juga merupakan factor yang cukup penting dalam mendukung penelitian dan pengembangan *agent*, sehubungan dengan membengkaknya populasi *agent* di dunia.

References

- [Anumba et al., 1997] C.J. Anumba and N.F.O. Evbuomwan, "Concurrent Engineering in Design-Build Projects", *Construction Management and Economics*, Vol. 15, No. 3, May, pp 271-281, 1997.
- [Bigus et al., 2001] Joseph P. Bigus and Jennifer Bigus, "Constructing Intelligent Agents Using java", *John Wiley and Sons, Inc.*, 2001.
- [Booch et al., 1999] Grady Booch, James Rumbaugh, and Ivar Jacobson, "The Unified Modeling Language User Guide", *Addison-Wesley*, 1999.
- [Bond et al., 1988] Alan H. Bond and Les Gasser (Eds.), "Readings in Distributed Artificial Intelligence", *Morgan Kaufmann Publishers*, 1988.
- [Bradshaw, 1997] Jeffrey M. Bradshaw, "Software Agents", *MIT Press*, 1997.
- [Brenner et al., 1998] Walter Brenner, Rudiger Zarnekow, and Hartmut Wittig, "Intelligent Software Agents: Foundation and Applications", *Springer-Verlag*, 1998.
- [Brooks, 1986] R.A. Brooks, "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol.2(1), pp. 14-23, 1986.
- [Brooks, 1991] R.A. Brooks, "Intelligence Without Representation", *Artificial Intelligence*, Vol. 47, pp. 139-159, 1991
- [Burmeister, 1996] Birgit Burmeister, "Models and Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design", *Working Notes of the KI'96 Workshop on Agent-Oriented Programming and Distributed Systems*, 1996.
- [Burmeister et al., 1997] B. Burmeister, A. Haddadi, and G. Matylis, "Applications of Multi-Agent Systems in Traffic and Transportation", *IEEE Transactions on Software Engineering*, 144(1), pp.51-60, February 1997.
- [Caglayan et al., 1997] A. Caglayan, Colin Harrison, Alper Caglayan, and Colin G. Harrison, "Agent Sourcebook: A Complete Guide to Desktop, Internet, and Intranet Agents", *John Wiley & Sons Inc.*, January 1997.
- [Chaib-draa et al., 1992] B. Chaib-draa, B. Moulin, R. Mandiau, and P. Millot, "Trends in Distributed Artificial Intelligence", *Artificial Intelligence Review*, 6, 35-66, 1992.
- [Chaves et al., 1996] A. Chavez and P. Maes, "Kasbah: An Agent Marketplace for Buying and Selling Goods", *Proceedings of the First International Conference on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology (PAAM-96)*, pp. 75-90, London, UK, 1996.
- [Chen et al., 1998] Liren Chen and Katia Sycara, "Webmate : A Personal Agent for Browsing and Searching", *Proceedings of the Second International Conference on Autonomous Agents (Agents 98)*, Minneapolis/St Paul, MN, May 1998.
- [Chen et al., 1996] C. Chen and R. Rada, "Individualization Within a Multi-Agent Computer-Assisted Learning to Read Environment", *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 5(4), 557-590, 1996.
- [Clearwater et al., 1996] S. H. Clearwater, R. Costanza, M. Dixon, and B. Schroeder, "Saving Energy using Market-Based Control", *Market Based Control*, pp. 253-273, World Scientific: Singapore, 1996.
- [Corera et al., 1996] J. M. Corera, I. Laresgoiti, and N. R. Jennings, "Using Archon, Part 2: Electricity Transportation Management", *IEEE Expert*, 11(6), pp.71-79, 1996.
- [Cutosky et al., 1994] M.R. Cutosky, R.E. Fikes, R.S. Englemore, M.R. Genesereth, W.S. Mark, T. Gruber, J.M. Tenenbaum, and J.C. Weber, "PACT: An Experiment in Integrating Concurrent Engineering Systems", *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 26(1), pp. 28-37, 1993.
- [Darrand et al., 1996] T.P. Darrand and W.P. Birmingham, "An Attribute-Space Representation and Algorithm for Concurrent Engineering", *AIEDAM*, vol.10(1), pp. 21-35, 1996.

- [Decker et al., 1997] K. Decker, A. Pannu, K. Sycara, and M. Williamson, "Designing Behaviors for Information Agents", *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents (Agents-97)*, pp. 404-412, Marina del Rey, CA, February 1997.
- [Doorenbos et al., 1997] R. Doorenbos, O. Etzioni, and D. Weld, "A Scaleable Comparison-Shopping Agent for the World Wide Web", *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents (Agents 97)*, pp. 39-48, Marina del Rey, CA, 1997.
- [Esfandani et al., 1996] B. Esfandiari, G. Deflandre, and J. Quinqueton, "An Interface Agent for Network Supervision", *Proceedings of the ECAI-96 Workshop on Intelligent Agents for Telecom Applications*, Budapest, Hungary, 1996.
- [Espinosa et al., 1996] Enrique Espinosa, Fernando Ramos, "Agent-Based Virtual Education using the Java Technology", *Proceedings of the Third International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS96)*. IEEE/ACM. Montreal, Canada, June 1996.
- [Etzioni, 1996] O. Etzioni, "Moving Up the Information Food Chain: Deploying Softbots on the World-Wide Web", *Proceedings of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-96)*, Portland, OR, 1996.
- [Finin et al., 1993] Tim Finin, Jay Weber, Gio Wiederhold, Michael Geneseret, Richard Fritzon, James McGuire, Stuart Shapiro and Chris Beck, "DRAFT Specification of the KQML Agent-Communication Language -- plus example agent policies and architectures", *The DARPA Knowledge Sharing Initiative*, 1993.
- [Finin et al., 1994] Tim Finin, Don McKay, Rich Fritzon, and Robin McEntire, "KQML: An Information and Knowledge Exchange Protocol", *Knowledge Building and Knowledge Sharing*, Ohmsha and IOS Press, 1994.
- [Finin et al., 1994] Tim Finin, Richard Fritzon Don McKay and Robin McEntire, "KQML as an Agent Communication Language", *The Proceedings of the Third International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM'94)*, ACM Press, November 1994.
- [Finin et al., 1997] Tim Finin, Yannis Labrou, and James Mayfield, "KQML as an Agent Communication Language", *Software Agents*, MIT Press, Cambridge, 1997.
- [Fischer et al., 1996] K. Fischer, J. P. Muller, and M. Pischel, "Cooperative Transportation Scheduling: An Application Domain for DAI", *Applied Artificial Intelligence*, 10(1), pp. 1-34, 1996.
- [Florea, 1999] A. Florea, "An Agent-Based Collaborative Learning System", *Proceedings of the 7th International Conference on Computers in Education*, Chiba, Japan, 4-7 November, 1999
- [Foner, 1997] L. N. Foner, "Entertaining Agents: A Sociological Case Study", *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents (Agents 97)*, pp.122-129, Marina del Rey, CA, 1997.
- [Fordyce et al., 1994] K. Fordyce and G.G. Sullivan, "Logistics Management System: Integrating Decision Technologies for Dispatch Scheduling in Semi-conductor Manufacturing", *Intelligent Scheduling*, pp. 473-516, Morgan Kaufmann Publishers: San Mateo, CA, 1994.
- [Franklin et al., 1996] Stan Franklin and Art Graesser. "Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents", *Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages*, Springer-Verlag, 1996.
- [Garijo et al., 1992] F. J. Garijo and D. Hoffmann, "A Multi-Agent Architecture for Operation and Maintenance of Telecommunications Networks", *Proceedings of the Twelfth International Conference on AI, Expert Systems and Natural Language*, pp. 427-436, Avignon, France, 1992.
- [Gasser et al., 1989] Les Gasser and M. Huhns (Eds.), "Distributed Artificial Intelligence", Vol. 2, *Morgan Kaufmann Publishers*, 1989.
- [Georgeff, 1994] M. P. Georgeff, "Distributed Multi-Agent Reasoning Systems (DMARS)", *Technical Report of Australian AI Institute*, Level 6, 171 La Trobe Street, Melbourne, Australia, 1994.
- [Glaser, 1996] Norbert Glaser, "Contribution to Knowledge Modelling in a Multi-Agent Framework (the CoMoMAS Approach)", *PhD Thesis at the L'Universite Henri Poincare*, Nancy I, France, November 1996.
- [Grand et al., 1998] S. Grand and D. Cliff, "Creatures: Entertainment Software Agents With Artificial Life", *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Vol.1 No.1, 1998.
- [Guralnik, 1983] David B. Guralnik, "Webster's New World Dictionary", *Prentice Hall School Group*, 1983.
- [Hewitt, 1977] Carl Hewitt, "Viewing Control Structures as Patterns of Passing Messages", *Artificial Intelligence*, 8(3), pp.323-364, 1977.
- [Huang et al., 1995] J. Huang, N. R. Jennings, and J. Fox, "An Agent-Based Approach to Health Care Management." *Applied Artificial Intelligence*, 9(4), pp. 401-420, 1995.
- [Iglesias et al., 1998] C. Iglesias, M. Garijo, J.C. Gonzales, and J.R. Velasco, "Analysis and design of multiagent systems using mas-commonkads", *Intelligent Agents IV (ATAL97)*, LNAI 1365, pp. 313-326, Springer-Verlag, 1998.
- [Iglesias et al., 1999] C.A. Iglesias, M. Garijo, and J.C. Gonzalez, "A Survey of Agent-Oriented Methodologies", *Proceedings of the Fifth International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages (ATAL-98)*, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*. Springer-Verlag, Heidelberg, 1999.
- [Ingrand et al., 1992] F. F. Ingrand, M. P. Georgeff, and A. S. Rao, "An Architecture for Real-Time Reasoning and System Control", *IEEE Expert*, 7(6), 1992.
- [Jacobson et al., 1992] Ivar Jacobson, Magnus Christerson, Patrik Jonson, and Gunnar Overgaard, "Object-Oriented Software Engineering: A Use Case Driven Approach",

- Addison-Wesley, 1992.
- [Jennings et al., 1998] N.R. Jennings, K. Sycara, M. Wooldridge, "A Roadmap of Agent Research and Development", *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, 1998.
- [Jennings et al., 2000] Nicholas R. Jennings, Michael Wooldridge, "Agent-Oriented Software Engineering", *Proceedings of the 9th European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World: Multi-Agent System Engineering (MAAMAW-99)*, 2000.
- [Kendall et al., 1996] Elisabeth A. Kendall, Margaret T. Malkoun, and Chong Jiang, "A methodology for developing agent based systems for enterprise integration", *Proceedings of the First Australian Workshop on DAI*, Lecture Notes on Artificial Intelligence. Springer-Verlag: Heidelberg, Germany, 1996.
- [Knabe, 1995] Frederick Colville Knabe, "Language Support for Mobile Agents", *PhD Thesis, CMU*, December 1995.
- [Kinny et al., 1996] D. Kinny, M. Georgeff, and A. Rao, "A Methodology and Modelling Technique for Systems of BDI Agents", *Proceedings of the Seventh European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a MultiAgent World*, (LNAI Volume 1038), pp. 56--71. Springer-Verlag: Berlin, Germany, 1996.
- [Krulwich, 1996] B. Krulwich, "The BargainFinder agent: Comparison price shopping on the internet", *Bots, and other Internet Beasts*, pp. 257-263, Macmillan Computer Publishing: Indianapolis, 1996.
- [Labrou et al., 1994] Yannis Labrou and Tim Finin, "A semantics approach for KQML - A General Purpose Communication Language For Software Agents", *Third International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM'94)*, November 1994.
- [Labrou et al., 1997] Yannis Labrou and Tim Finin, "A Proposal for a new KQML Specification", *TR CS-97-03*, February 1997.
- [Larsson et al., 1998] J. E. Larsson and B. Hayes-Roth, "Guardian: An Intelligent Autonomous Agent for Medical Monitoring and Diagnosis", *IEEE Intelligent Systems*, Jan/Feb 1998.
- [Lester et al., 1997] J. C. Lester and B. A. Stone, "Increasing Believability in Animated Pedagogical Agents", *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents (Agents 97)*, pp. 16-21, Marina del Rey, CA, 1997.
- [Lieberman, 1995] H. Lieberman, "Letizia: An agent that assists web browsing", *Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-95)*, pp. 924-929, Montreal, Quebec, Canada, August 1995.
- [Ljunberg et al., 1992] M. Ljunberg and A. Lucas, "The OASIS Air Traffic Management System", *Proceedings of the Second Pacific Rim International Conference on AI (PRICAI-92)*, Seoul, Korea, 1992.
- [Nishibe et al., 1993] Y. Nishibe, K. Kuwabara, T. Suda, and T. Ishida, "Distributed channel allocation in atm networks", *Proceedings of the IEEE Globecom Conference*, pp. 12.2.1-12.2.7, Houston, TX., 1993.
- [Nwana, 1996] Hyacinth Nwana, "Software Agents: An Overview", *Knowledge Engineering Review*, 11(3), pp.205-244, 1996.
- [Nwana et al., 1996] Hyacinth Nwana and Divine Ndumu, "An Introduction to Agent Technology", *BT Technology Journal*, 14(4), 1996.
- [Maes, 1994] P. Maes, "Agents That Reduce Work and Information Overload", *Communications of the ACM*, Vol. 37(7), pp. 31-40, July 1994.
- [Moulin et al., 1996] Bernard Moulin and Mario Brassard, "A Scenario-based design method and an environment for the development of multiagent systems", *First Australian Workshop on Distributed Artificial Intelligence*, (LNAI volumen 1087), pp.216-231, Springer-Verlag, 1996.
- [Oliveira et al., 1997] E. Oliveira, J. M. Fonseca, and A. Steiger-Garcao, "MACIV: A DAI Based Resource Management System", *Applied Artificial Intelligence*, 11(6), pp. 525-550, 1997.
- [Parsons et al., 1999] Michael G. Parsons, David J. Singer, and John A. Sauter, "A Hybrid Agent Approach For Set-Based Conceptual Ship Design", *Proceedings of the International Conference on Computer Applications in Shipbuilding*, Cambridge, June 1999.
- [Parunak, 1987] H. Van Dyke Parunak, "Manufacturing Experience with the Contract Net", *Distributed Artificial Intelligence*, Pitman Publishing: London and Morgan Kaufmann: San Mateo, pp.285-310, 1987.
- [Parunak et al., , 1997] H. V. D. Parunak, A. Ward, M. Fleischer, and J. Sauter, "A Marketplace of Design Agents for Distributed Concurrent Set-based Design", *Proceedings of the Fourth International Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications*, 1997.
- [Perriolat et al., 1996] F. Perriolat, P. Skarek, L. Z. Varga, and N. R. Jennings, "Using Archon: Particle Accelerator Control", *IEEE Expert*, 11(6), pp.80-86, 1996.
- [Petrie et al., 1999] Charles Petrie, Sigrid Goldmann, and Andreas Raquet, "Agent-Based Project Management", *Lecture Notes in AI - 1600*, Springer-Verlag, 1999.
- [Rao et al., 1990] A. S. Rao and M. P. Georgeff, "Intelligent Real-Time Network Management", *Proceedings of the Tenth International Conference on AI, Expert Systems and Natural Language*, Avignon, France, 1990.
- [Romi et al, June 1999] Romi Satria Wahono and B.H. Far, "OOExpert: Distributed Expert System for Automatic Object-Oriented Software Design", *Proceedings of the 13th Annual Conference of Japanese Society for Artificial Intelligence*, pp.456-457, Tokyo, Japan, June 1999.
- [Romi et al., March 1999] Romi Satria Wahono and B.H. Far, "Distributed Expert System Architecture for Automatic Object-Oriented Software Design", *Proceedings of the Third Workshop on Electro-Communication and Information (WECI-III)*, pp. 131-134, Japan, March 1999.
- [Romi et al., 2000] Romi Satria Wahono and Behrouz

- H. Far, "Hybrid Reasoning Architecture for Solving Object Class Identification Problem in the OOExpert System", *Proceedings of the 14th Annual Conference of Japanese Society for Artificial Intelligence*, Tokyo, Japan, July, 2000.
- [Romi et al., 2001] Romi Satria Wahono and Behrouz H. Far, "Towards The Use of Intelligent Agents in Collaborative Object-Oriented Analysis and Design", *Proceedings of The 15th Annual Conference of Japanese Society for Artificial Intelligence (JSAI' 2001), International Session*, Matsue, Shimane, Japan, May 23, 2001.
- [Rumbaugh et al., 1991] James Rumbaugh, Michael Blaha, William Premerlani, Frederick Eddy, and William Lorenson, "Object-Oriented Modeling and Design", Prentice Hall, 1991.
- [Schwuttker et al., 1993] U. M. Schwuttker and A. G. Quan, "Enhancing Performance of Cooperating Agents in Real-Time Diagnostic Systems", *Proceedings of the Thirteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI93)*, pp. 332-337, Chambéry, France, 1993.
- [Schoonderwoerd et al., 1997] R. Schoonderwoerd, O. Holland, and J. Bruten, "Ant-like Agents for Load Balancing in Telecommunications Networks", *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents (Agents 97)*, pp. 209-216, Marina del Rey, CA, 1997.
- [Schreiber et al., 1994] A. Th. Schreiber, B. J. Wielinga, J. M. Akkermans, and W. Van de Velde, "CommonKADS: A Comprehensive Methodology for KBS Development", *Deliverable DMI.2a KADSII /M1/RR/UvA/70/1.1*, University of Amsterdam, Netherlands Energy Research Foundation ECN and Free University of Brussels, 1994.
- [Sprumont et al., 1997] F. Sprumont and J. P. Muller. Amacoia, "A Multi-Agent System for Designing Flexible Assembly Lines", *Applied Artificial Intelligence*, 11(6), pp.573--590, 1997.
- [Suguri, 1999] Hiroki Suguri, "A Standardization Effort for Agent Technologies: The Foundation for Intelligent Physical Agents and Its Activities", *Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences*, Hawaii, 1999.
- [Takahashi et al., 1997] K. Takahashi, Y. Nishibe, I. Morihara, and F. Hattori, "Intelligent Pages: Collecting Shop and Service Information with Software Agents", *Applied Artificial Intelligence*, 11(6), pp. 489-500, 1997.
- [Trappal et al., 1997] R. Trappal and P. Petta, "Creating Personalities for Synthetic Actors", *Springer-Verlag: Berlin*, Germany, 1997.
- [Tsvetovaty et al., 1997] M. Tsvetovaty, M. Gini, B. Mobasher, and Z. Wiecekowsk, "MAGMA: An Agent-Based Virtual Marketplace for Electronic Commerce", *Applied Artificial Intelligence*, 11(6), pp.501--524, 1997.
- [Wavish et al., 1996] P. Wavish and M. Graham, "A Situated Action Approach to Implementing Characters in Computer Games", *Applied Artificial Intelligence*, 10(1), pp.53-74, 1996.
- [Weihmayer et al., 1998] R. Weihmayer and H. Velthuisen, "Intelligent Agents in Telecommunications", *Agent Technology: Foundations, Applications and Markets*, Springer-Verlag: Berlin, Germany, 1998.
- [Wooldridge et al., 1994] Michael J. Wooldridge, Nicholas R. Jennings, "Agent Theories, Architectures, and Languages: A Survey", *Proceedings of the Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages (ECAI-94)*, 1994.
- [Wooldridge et al., 1995] Michael J. Wooldridge, Nicholas R. Jennings, "Intelligent Agents", *Lecture Notes in Artificial Intelligence 890*, Springer-Verlag, 1995.
- [Wooldridge et al., 1995] Michael J. Wooldridge and Nicholas R. Jennings, "Intelligent agents: Theory and Practice", *Knowledge Engineering Review*, 10(2), 1995.
- [Wooldridge et al., 1996] Michael J. Wooldridge, J.P. Mueller, M. Tambe, "Intelligent Agents II", *Lecture Notes in Artificial Intelligence 1037*, Springer-Verlag, 1996.

Biography of Author



Romi Satria Wahono,

Received B.Eng. and M.Eng degrees in Information and Computer Sciences in 1999 and 2001, respectively, from Saitama University. He is currently a researcher at

the Indonesian Institute of Sciences (LIPI), and a Ph.D. candidate at the Department of Information and Mathematical Sciences, Saitama University. The research fields of his interests are Multi Agent Systems, Reasoning System, Software Engineering, and Object-Orientation. He is a member of the ACM, IEEE Computer Society, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE), Japanese Society for Artificial Intelligence (JSAI), and Indonesian Society on Electrical, Electronics, Communication and Information (IECI).