

Подход на интелигентните агенти при моделиране на знания и системи

Траян Илиев

Статията описва накратко различните характеристики и типове интелигентни агенти и много-агентни системи. Отделя се специално внимание на 4 основни характеристики: автономност, социална способност, способност за реагиране и проактивност. Описват се още допълнителни характеристики, които представят ментални компоненти, като вярвания, желания, намерения, знания. Статията завършва с кратка многомерна класификация на различните типове интелигентни агенти.

1. Въведение

Независимо от множеството научни публикации и практически приложения на технологията за реализация на софтуер с помощта на интелигентните агенти, няма единствена, универсално възприета дефиниция за това какво наричаме „интелигентен агент“. Това, че такава единствена дефиниция не съществува може да се обясни имайки в предвид голямото количество научни области и парадигми обхванати от този мулти-дисциплинарен подход.

2. Дефиниции на понятието „интелигентен агент“

Съществуват множество дефиниции на понятието „интелигентен агент“, в зависимост от перспективата и целите на различните изследователи. Съществено е да се отбележи, че тези дефиниции не са взаимно изключващи се, а по-скоро акцентират върху различните аспекти на понятието и неговите приложения.

До края на тази секция ще разгледаме по-детайлно някои от дефинициите цитирани от Franklin и Graesser в [4].

2.1. АИМА агенти

АИМА (Artificial Intelligence: A Modern Approach) агентите са дефинирани от Russel и Norvig в [1, стр.31]: *“Интелигентен агент е всичко, което може да бъде разглеждано като възприемащо своята среда чрез сензори и въздействащо върху тази среда с помощта на ефектори”*.

Тази дефиниция е прекалено обща – съгласно нея обикновената електрическа печка е агент, защото тя може да възприема своята среда чрез сензор – бутон за включване/изключване и може да ѝ въздейства, започвайки да нагрява въздуха. Така че авторите дефинират понятието „идеален рационален агент“ [1, стр. 33]: *“За всяка възможна последователност от възприятия един идеален рационален агент трябва да извършва действието, което се очаква да максимизира неговата мярка за изпълнение, на базата на свидетелствата осигурени от последователността от възприятия и вградените знания, които агентът притежава”*.

Съгласно Russel и Norvig всеки *рационален агент* може да бъде описан с помощта на четири характеристики: 1) *мярка за изпълнение* – “дефинираща степента на успешност” на агента, но външна за механизма за разсъждения на този агент; 2) *последователност от възприятия* – перцептуалната история съдържаща информацията за средата възприета в миналото; 3)

вградени (или научени) *знания* за средата; 4) *действия*, които агентът може да изпълнява в тази среда. Авторите продължават, като въвеждат така наречената PAGE (Perceptions, Actions, Goals, Environment – Възприятия, Действия, Цели, Среда) характеризираща структура, която позволява да бъдат сравнявани агентни приложения автоматизиращи задачи в различни проблемни области.

2.2. Maes агенти

Pattie Maes от MIT Media Laboratory предлага следната дефиниция за „автономни агенти“ [5]: *“Автономните агенти са изчислителни системи, които съществуват в сложна, динамична среда, възприемат и действат автономно в тази среда и по този начин реализират множество от цели или задачи, за които са проектирани“*. Тя акцентира автономността като важна агентна характеристика. В допълнение на способността да възприемат средата и да ѝ въздействат *автономните агенти* трябва да реализират *поведение насочено към постигане на цели* в една среда, която е *сложна и динамична*. Няма явно изискване за агентите да могат да изпълняват дейности по обработка на информация от високо ниво като планиране, вземане на решения или самообучение.

2.3. Hayes-Roth агенти

Съгласно Barbara Hayes-Roth от Stanford Knowledge Systems Laboratory [6]: *“Интелигентните агенти непрекъснато изпълняват три функции: възприемане на динамичните условия на средата; действия за промяна на условията в тази среда; и разсъждения за интерпретиране на възприятията, решаване на проблеми, извеждане на заключения и определяне на действия“*. Тази дефиниция поставя явното изискване за агентите да могат да разсъждават и решават проблеми за да могат да бъдат наречени интелигентни. По-нататък авторът акцентира важността на агентната архитектура, дефинирана като: *„абстрактен проект на клас от агенти: множеството от структурни компоненти, чрез което се реализират възприемането, разсъждението и действието, специфичната функционалност и интерфейс на всеки компонент и топологията на взаимна свързаност между компонентите“* за да могат агентите да функционират в определени ниши или *„класове от операционни среди“*. Явното дефиниране на изискването, че трите аспекта на една агентно-базирана система: структурен (архитектура), функционален (поведение) и контекстен (ниша или клас от среди, които агентите обитават) е необходимо да бъдат координирани за да може системата да функционира ефективно, изглежда съществено не само по адрес на разработката на интелигентни агенти, но също и за другите инженерни дисциплини.

2.4. SodaBot агенти

Michael Coen от MIT Artificial Intelligence Lab установява следните минимални критерии една програма да бъде наречена *„софтуерен агент“* [22]: 1) *Софтуерните агенти участват в диалози;* 2) *Софтуерните агенти са автономни и интелигентни;* 3) *Софтуерните агенти трябва да бъдат надеждни;* 4) *Софтуерните агенти в общия случай не са инвариантни;* 5) *Софтуерните агенти типично са разпределени в мрежа, така че тяхното поведение може да има едновременно локален и глобален ефект.*

2.5. Foner агенти

Lenny Foner от MIT Media Lab определя, че *“един софтуерен агент е програма, която изпълнява задачи за своя потребител”* и продължава, че такива агенти трябва да включват понятията за *доверие, персонализируемост и автономност* [23]. В [7] същият автор предлага допълнително желателни агентни характеристики като *възможност да води разговор,*

знания за спецификата на проблемната област, способност за справяне с проблеми при изпълнението на задачите (*graceful degradation*), коопериране, антропоморфизъм и полагане на грижа за потребителските очаквания. Акцентът ясно е поставен върху социалните характеристики на агентите, които им позволяват да бъдат възприемани като интелигентни от потребителя (виж теста на Turing [1, стр. 5]).

2.6. Wooldridge и Jennings агенти

Wooldridge и Jennings в [8] отбелязват, че могат да бъдат представени две дефиниции – слаба и силна – на характеристиките, които определят една софтуерна или хардуерна архитектура като агент. Слабата дефиниция включва свойствата автономност, социална способност (комуникация), способност за реагиране и проактивност. Силната дефиниция добавя към тези характеристики още такива *ментални компоненти*, като вярвания, желания, намерения, знания, и др. Авторите предлагат собствена дефиниция: „агентът е компютърна система, ситуирана в някаква среда, която е способна на гъвкави и автономни действия насочени към постигане на целите, за които е проектирана“. Както е описано в [9] ключовите понятия в тази дефиниция са ситуираност (получаване на сензорни данни и действия в средата), автономност (способността да се действа без директна човешка намеса и контрол върху собственото вътрешно състояние) и гъвкавост (комуникация, способност за реагиране и проактивност).

2.7. Franklin и Graesser агенти

На базата на широкообхватен преглед на съществуващите дефиниции Franklin и Graesser предлагат тяхна собствена дефиниция на понятието автономен агент [4]: *“Автономният агент е система, ситуирана в и част от една среда, която възприема средата и действа върху нея, в течение на времето, за постигане на собствените задачи и по такъв начин, че да управлява това, което ще възприеме в бъдеще“*. В допълнение на изискванията за възприемане и въздействие върху средата тази дефиниция добавя, че действията и перцепциите трябва да бъдат тясно свързани, и че целенасочените действия на агента трябва да управляват бъдещото развитие на процесите в средата, които той възприема. Няма изискване агентите да са програми – те могат да бъдат роботи или хора. Авторите демонстрират способността на дефиницията да разграничи някои типични агентни приложения от конвенционални програми, като например програма за изчисляване на заплати например (тя не управлява, това което ще възприеме в бъдеще и не удовлетворява изискването за времева непрекъснатост).

2.8. Формализация на Lusk и d’Inverno на понятията свързани с агентите

На базата на множество съществуващи дефиниции Lusk и d’Inverno [9] защитават необходимостта понятията свързани с агентите да бъдат дефинирани по-формално. Те използват езика за спецификация Z [10] за да дефинират няколко йерархично свързани понятия: *нещо съществуващо (entity)* – множество от двойки атрибут-стойност, които описват определени неща съществуващи в средата; *среда (environment)* – колекция от съществуващи неща; *обект (object)* – съществуващи неща с чиято помощ можем да изпълним определени действия в средата, неща с асоциирана функционалност; *агент (agent)* – обект на който може да бъде приписано множество от цели; и *автономен агент (autonomous agent)* – агент който има собствени цели „като противоположност на това да функционира под контрола на друг агент“.

Формалната спецификация на тези понятия и техните свойства и характеристики направена в [9] може да бъде разглеждана като база за по-разширена формализация необходима за обхващане на голямото многообразие от съществуващи агентни приложения.

3. Характеристики на агентите

В тази секция ние ще се опитаме да обобщим различните характеристики на агентите (възприети с различна степен на консенсус в различните научни общности, които изследват проблема), които разграничават агентите от другите съществуващи неща, като например обекти или софтуерни програми.

Една базова характеристика, която повечето изследователи посочват е, че агентите са *ситуирани в своята среда* – възприемат я чрез сензори и ѝ въздействат с помощта на ефектори (или актуатори). Това е валидно както за агентите действащи в реалния свят (с хардуерна архитектура – напр. роботи), така и за тези, които работят в една чисто софтуерна среда (софтуерни агенти). Обикновено между процесите на възприемане и действие се въвежда междинен слой, чиято основна функция е да осигурява подходящото съответствие между двата процеса. Съществуват различни агентни архитектури – някои от тях присвояват на този междинен слой дейности по обработка на информацията от високо ниво като разсъждения, планиране или вземане на решения, други опитват да подобрят ефективността чрез използване на директни връзки между възприятия (перцепции) и действия. Може би с най-големи възможности е комбинацията на тези два подхода.

Следващите характеристики не бива да се разглеждат като средство за изключване на някои съществуващи приложения от класа на „агентно-базираните“ такива, защото вероятно никое от съществуващите в момента приложения не реализира всички тези характеристики напълно.

3.1. Автономност

В повечето дефиниции автономността бива посочвана като основна характеристика на агентите, която ги отличава от традиционните програми (например текстообработващи или счетоводни програми). Както Jennings, Sycara и Wooldridge посочват, обаче [9]: *“Автономността е трудно за прецизно дефиниране понятие и ние го разглеждаме в смисъл, че системата трябва да може да действа без директна интервенция от страна на хора (или други агенти) и че тя трябва да притежава контрол върху своите собствени действия и вътрешно състояние“*.

Russell и Norvig дефинират че в по-строг смисъл: *“една система е автономна в степеня, в която нейното поведение се определя от нейния собствен опит“* [1], въпреки че според тях, една напълно автономна система може да бъде неефективна, защото първоначално тя ще действа случайно, без външно ръководство. Следователно количеството на предварително вградените знания трябва да бъде балансирано (в съответствие с уникалните изисквания на средата) за да се осигури стабилно и ефективно начално поведение, без при това да се ограничава гъвкавостта на агента и неговата способност за адаптация чрез самообучение.

Luck и d’Inverno идентифицират две възможни гледни точки към автономността [11]:

- *силна гледна точка към автономността* – *“разглежда се като абсолютна без измерения или мярка за степен”*;
- *и слаба гледна точка към автономността* – *практически ориентирана, “при която автономността се счита за синоним на независимостта, едно явно относително понятие”*.

3.2. Способност за реагиране

Съгласно [8] агентите са реагиращи в смисъл, че *„трябва да възприемат своята среда и да отговарят по един навременен начин на промените в нея“*. Както посочва Wooldridge в [3, стр. 48-54] централни за реагиращите агенти са идеите, че: 1) интелигентното поведение не е

„невъплатено“ (както при повечето експертни системи), а е *ситуирано* в средата – *“продукт на взаимодействието между агента и средата”*; 2) *“интелигентното поведение възниква от взаимодействието на различни прости поведения”*; 3) реагиращите агенти би трябвало да избягват използването на символни представяния и синтактични обработки за реализиране на един ефективен и ефикасен процес на вземане на решения. Този подход е наричан още *„поведенчески“ (behavioral)*, защото вземането на решения от агента (намиране на подходящи действия в отговор на определени стимули) е центрирано около дефинирането на простите поведения необходими за успешно изпълнение на задачата.

В опит за формално дефиниране на свойствата на агентите Goodwin [12] прави допълнителното разграничение между *реагиращи* и *рефлексивни агенти* с основно разграничение, че: *„Един агент е рефлексивен ако той отговаря само на текущите стимули. Такива агенти биват наричани също агенти от тип стимул-реакция. Рефлексивните агенти не е необходимо да поддържат каквато и да било памет ...”*.

Разбира се не е необходимо всички агенти да бъдат чисто реагиращи – могат да бъдат разработени хибридни архитектури, които да комбинират силните страни на реагиращата парадигма с други разгледани по-долу механизми.

3.3. Проактивност

Наричайки един агент проактивен имаме в предвид, че *„агентите трябва не просто да действат в отговор на своята среда, те трябва да могат да проявяват ориентирано към възможностите, целенасочено поведение и да поемат инициативата, където е подходящо“* [2]. Този тип агенти също са наричани *„разсъждаващи“ (“deliberative”)*, защото за да поемат инициативата и да предложат осъществимо решение на потребителя те трябва да конструират свой собствен план или стратегия за изпълнение на задачата. За направят предположения относно това кога какво да предложат тези агенти трябва да могат да изградят и поддържат модел на останалите участващи агенти (включително потребителя), с техните вярвания (*believes*), *желания (desires)* и *намерения (intentions)*. BDI (*believes, desires, intentions*) теориите са базирани на теорията за човешките практически разсъждения предложена от Bratman [13] и имат формални логически аксиоматизации [14]. Основната идея на BDI подхода е, че *вярванията* на един агент определят неговите желания, които на свой ред влияят върху намеренията на агента (или поетите от него ангажименти). Процесът не е линеен, защото тези ангажименти автоматично променят множеството от възможности за избор (остават само тези възможности, които са съвместими с поетия нов ангажимент – намерение). Детайлно описание на BDI модела е представено в [15].

3.4. Комуникация

Взаимодействащите си агенти, които могат да комуникират помежду си и които реализират смесено реагиращо/проактивно поведение, могат да осигурят много по-богато множество от възможности за изпълнение на сложни задачи чрез изграждане на много-агентни системи (Multi-Agent Systems – MAS).

Наблюдавайки историята на човешкото технологично и културно развитие, ние можем да видим, че повечето от съществуващите постижения не биха били възможни без тясното взаимодействие между множество индивиди и групи и без социалните конвенции и езика направляващи този процес. Почти същата важност (и възможности) някои изследователи виждат в намирането на подходящи механизми за взаимодействие и стандартен език за комуникация за много-агентните общества. Genesereth и Ketchpel дори посочват в [16], че една програма *„е софтуерен агент ако и само ако тя комуникира коректно на един агентен език за комуникация“*.

За да могат тези възможности да се превърнат в реалност, ние се нуждаем от общи стандарти

– по-специално стандартен език за комуникация между агенти (*Agent Communication Language* – ACL), който всички хетерогенни агенти ще могат да разбират. Съгласно [17] съкращението ACL се употребява с две значения: 1) общо обозначение за всички съществуващи езици за много-агентна комуникация; и 2) името на конкретен език за комуникация. Авторите дискутират, че има предложени два по-известни езика за много-агентна комуникация: ACL и FIPA ACL. Първият от тях възниква като резултат от DARPA Knowledge Sharing Effort – инициатива на Министерството на отбраната на САЩ, започнала през 1990. Разработена е концептуална рамка за много-агентна комуникация и споделяне на знания, която се състои от три основни компонента: 1) Формат за обмяна на знания (*Knowledge Interchange Format* – KIF) [18] – формат за представяне на знания базиран на логиката от първи ред, който съответства на *синтактичния* аспект на комуникацията; 2) Езици за представяне на онтологии (*Ontolingua* [19]) – осигуряващи общ речник за комуникацията – *семантичен* аспект; 3) Език за заявки и обработка на знания (*Knowledge Query and Manipulation Language* – KQML) [20, 21] – представящ *отношението на агента* (*propositional attitude*) към информацията, която бива комуникирана – съответстващ на *прагматичния* аспект на комуникацията.

Вторият основен език за комуникация между агенти – FIPA ACL – е предложен от Фондацията за интелигентни физически агенти (Foundation for Intelligent Physical Agents – FIPA) [24]. FIPA е некомерсиална международна организация, която разработва стандарти в областта на агентно-базираните системи и MAS. Съгласно програмния документ – FIPA Statement of Intent (достъпен от [24]), основната мисия на организацията включва: *“промоцията на технологии и спецификации за съвместимост и взаимодействие, които съдействат за изграждането на системи от интелигентни агенти, от край до край, в модерни комерсиални и индустриални условия“*. FIPA ACL се различава от дискутирания в предишния параграф DARPA ACL по това, че той не се обвързва с конкретен език за синтактично представяне на знания. Езикът е базиран на понятието за *„комуникативни действия“* (*communicative acts* – CA), съответстващи на *комуникационните примитиви* (*performatives*) в KQML, които представят отношението на агента към комуникираната информация. Семантичният аспект на комуникацията е адресиран в FIPA ACL от *SL* – формален език за дефиниране на семантика. Той представя модална логика с модални оператори за представяне на вярвания, желаниа, несигурни вярвания и намерения.

Въпросът кой от двата езика следва да бъде избран за конкретен проект няма очевиден отговор и зависи от изискванията на проекта и характеристиките на задачата, като детайлно и формално специфицираната семантика дава на FIPA ACL определено предимство. Перспективите пред езиците за комуникация между агенти са свързани с постигане на интеграция с други съществуващи езици и формализми за спецификация на знания като *Extensible Markup Language (XML)* и *Resource Description Framework (RDF)* на W3C [25].

3.5. Рационалност

Повечето автори разбират под рационалност предположението, че агентът ще избере да изпълни тези действия, които съгласно собствените предвиждания на агента ще доведат до постигането на дефинираната цел и няма да избере тези действия, които съгласно предвижданията няма да постигнат целта. Както Russell и Norvig посочват в своята дефиниция [1, стр. 33] *“един идеален рационален агент трябва да изпълнява тези действия, които се очаква да максимизират неговата мярка за изпълнение“*, съгласно информацията (и знанията), които агентът има за средата. Същите автори отбелязват, че важен компонент на рационалността на агента е възможността да избира да извърши необходимите действия *„за да получи полезна информация“* за средата и да изпълни задачата успешно. Рационалността е противопоставена на *всезнанието* (*omniscience*) – ние не очакваме рационалния агент да изпълнява *правилните действия*, а само да избере да изпълни тези

действия, които *той* очаква да постигнат целта. Избраните действия могат да не бъдат оптимални поради непълни, недостатъчни или неточни знания и информация.

Goodwin дава по-формална дефиниция на рационалността в [12] използвайки функция на полезност (*utility function*) за дефиниране на мярка на успешност на агента: „рационален агент базиран на полезност е този, който предпочита планове, които имат поне минималната предсказана полезност при всички възможни начални условия“.

3.6. Доброжелателност и честност

Luck и d'Inverno [9] описват характеристиката *доброжелателност* като означаваща „че агентите ще се кооперират с други агенти когато и където е възможно“ и *честност* като „да не дават умишлено невярна информация“. Както авторите отбелязват „сляпата доброжелателност“ е противоположна на понятието за автономност, защото автономните агенти се очаква да изберат само тези действия, които се считат за даващи предимство съгласно техните собствени мотивации. Възможно е разбира се автономните агенти да *показват* доброжелателно поведение като резултат от „себични“ мотивации.

3.7. Времева продължителност

Свойството времева продължителност обикновено се разбира в смисъл, че агентите не са еднократни изчисления (за разлика от традиционните софтуерни приложения като текстообработващи и счетоводни програми, които биват стартирани само когато е необходимо да изпълнят своята задача и спирани след това), а вместо това те непрекъснато наблюдават средата и реагират на промените в нея. Времевата продължителност може да бъде считана за свойство което създава възможност за реализация на другите агентни характеристики като автономност, проактивност и адаптивност. Всеки път, когато агентите трябва да изпълнят определена задача, те могат да я осъществят по различен начин (за разлика от традиционните програми) благодарение на придобитите допълнителни знания и опит.

3.8. Адаптивност

Способността за адаптация към промените в средата се явява решаваща за успеха на агента, когато средата е сложна, динамична (бързо променяща се) и не-детерминирана, какъвто е случаят с повечето от съществуващите в реалния свят и изкуствени много-агентни среди. В областта на изкуствения интелект съществуват множество методи за обучение с и без учител (вариращи от индуктивно логическо програмиране до изкуствени невронни мрежи и генетични алгоритми). Свойството „комуникация“ описано по-горе значително разширява и улеснява обмяната на знания между агентите и следователно тяхната адаптивност.

3.9. Мобилност

Макар и различни, агентните характеристики описани по-горе имат множество взаимни връзки и зависимости. Свойството *мобилност* е изключение – то може да бъде разглеждано като ортогонално (независимо) на другите свойства. То не добавя нова функционалност, а вместо това предлага начини за *по-ефикасна реализация* на останалите характеристики.

Съгласно спецификацията на Object Management Group (OMG) – Mobile Agent System Interoperability Facility (MASIF) [26]: „Един мобилен агент не е ограничен до системата, където той започва своето изпълнение. Той има уникалната способност да транспортира себе си от една система в мрежата на друга“. Основната разлика между *мобилните* и *стационарните* агенти е, че първите в допълнение на способността да транспортират данни използвайки компютърни мрежи, могат да транспортират и своя собствен код и вътрешно

състояние към ново местоположение (среда за изпълнение).

Характеристиките описани по-горе акцентират върху важни аспекти на съществуващите агентни технологии, като осигуряват база за класификация на различните типове агенти и техните приложения.

4. Видове агенти

Съществуват различни аспекти, според които бихме могли да класифицираме видовете агенти, например:

- В зависимост от наличието на специализирана хардуерна архитектура – агентите могат да бъдат разделени на работи, които поддържат специфична хардуерна архитектура включваща специализирани сензорни и ефекторни устройства и софтуерни агенти (софтуерни работи – *softbots*), които съществуват в една изцяло софтуерна среда за изпълнение. Някои изследователи посочват, че това разграничение може би не е толкова съществено от архитектурна гледна точка, защото съществуват агенти с наистина сложно поведение, които действат в изцяло софтуерна среда (напр. интерактивно компютърно-базирано обучение), както и задачи изпълнявани от работи в реалния свят, които могат да бъдат относително прости (напр. сортиране на детайли движещи се по конвейерна лента).[1]
- В зависимост от софтуерната архитектура – Russell и Norvig предлагат четири основни типа агентни архитектури: *агенти с прости рефлексии* (които реагират на сензорния вход чрез съпоставяне на възприятия и действия, описано с помощта на прости продукционни правила), *агенти с прости рефлексии и вътрешно състояние* (съхраняващи информация за промените в средата), *агенти базирани на цели* (които използват алгоритъм за планиране за определяне на последователността от стъпки необходими за постигането на целта) и *агенти базирани на полезност* (използващи функция на полезност за комбиниране множество цели) [1].
- В зависимост от използваните методи от областта на изкуствения интелект – разсъждаващи агенти (които използват алгоритми за планиране и решаване на задачи, вземане на решения, самообучение и др.) срещу реагиращи агенти (използващи йерархия от сравнително прости поведения, които директно свързват възприятия и действия).
- В зависимост от способността за комуникация – самостоятелни, комуникиращи, и комуникиращи с използване на ACL агенти.
- В зависимост от реализацията на характеристиката мобилност – стационарни и мобилни агенти.

5. Заключение

Агентните технологии са една обещаваща и бързо развиваща се област на мулти-дисциплинарни научни изследвания и практическа реализация. Вариращи от персонални асистенти и развлекателен софтуер до големи индустриални проекти и роботика, приложенията на този подход ще окажат в бъдеще силно влияние върху еволюцията на технологиите и човешкото общество.

Литература

1. Russell, S., Norvig, P., *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice Hall, 1995

2. Jennings, N., Sycara, K., Wooldridge, M., *A roadmap of agent research and development*, Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 1 (1), 1998, pp.7-38
3. Weiss, G. (editor), *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Intelligence*, MIT Press, 2000
4. Franklin, S., Graesser, A., *Is it an agent, or just a program?: A taxonomy for autonomous agents*, In proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages, Springer-Verlag, 1996
5. Maes, P., *Artificial Life Meets Entertainment: Life like Autonomous Agents*, Communications of the ACM, 38, 11, 1995, pp. 108-114
6. Hayes-Roth, B., *An architecture for adaptive intelligent systems*, Artificial Intelligence: Special Issue on Agents and Interactivity, 72, 1995, pp. 329-365
7. Foner, L., *What's an Agent, Anyway? A Sociological Case Study*, in the proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents (AA '97), Marina del Rey, California, February 5-8, 1997
8. Wooldridge, M., Jennings, N., *Intelligent agents: Theory and practice*, The Knowledge Engineering Review, vol. 10 (2), 1995, pp. 115-152
9. Luck, M., d'Inverno, M., *A Conceptual Framework for Agent Definition and Development*, Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-95), 1995
10. Spivey, J., *The Z Notation: A Reference Manual*, Prentice Hall, 2nd edition, 1992
11. Luck, M., d'Inverno, M., *Autonomy: A Nice Idea in Theory*, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer, 2001, pp. 351-353
12. Goodwin, R., *Formalizing properties of agents*, Technical Report CMU-CS-93-159, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, 1993
13. Bratman, M., *Intentions, Plans, and Practical Reason*, Harvard University Press: Cambridge, MA, 1987
14. Rao, A., Georgeff, M., *A model-theoretic approach to the verification of situated reasoning systems*, In proceedings of the Thirteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-93), 1993, pp. 318-324
15. Bratman, M., Israel, D., Pollack, M., *Plans and resource-bounded practical reasoning*, Computational Intelligence, 4, 1988, pp. 349-355
16. Genesereth, M., Ketchpel, S., *Software Agents*, Communications of the ACM 37 (7), 1994, pp. 48-53
17. Labrou, Y., Finin, T., Peng, Y., *Agent Communication Languages: The Current Landscape*, IEEE Intelligent Systems, 14 (2), March/April 1999, pp. 45-52
18. Genesereth, M., et al., *Knowledge Interchange Format, Version 3.0 Reference Manual*, tech. report, Computer Science Department, Stanford University, 1992
19. Farquhar, A., Fikes, R., Rice, J., *The Ontolingua Server: A Tool for Collaborative Ontology Construction*, tech. report KSL-96-26, Stanford Knowledge Systems Laboratory, Stanford, 1996
20. *Specification of the KQML Agent Communication Language*, tech. report, DARPA Knowledge Sharing Initiative, External Interfaces Working Group, 1993
21. Labrou, Y., Finin, T., *A Proposal for a New KQML Specification*, tech. report, TR-CS-97-03, Computer Science and Electrical Engineering Dept., Univ. of Maryland, Baltimore, 1997
22. Coen, M., *Software Agents*, available at: http://www.ai.mit.edu/people/mhcoen/agents/chapter2_1.html
23. Foner, L., *What's an Agent?*, available at: <http://foner.www.media.mit.edu/people/foner/agents.html>
24. FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) official website, available at: <http://www.fipa.org/>
25. World Wide Web Consortium (W3C) official web site, available at: <http://www.w3c.org>
26. Object Management Group (OMG) official web site, available at: <http://www.omg.org>