سیستم‌های چندعاملی

درس ۲

مقدمه‌ای بر سیستم‌های چندعاملی

An Introduction to Multiagent Systems

کاظم فولادی قلعه
دانشکده مهندسی، دانشکدگان فارابی
دانشگاه تهران

http://courses.fouladi.ir/mas

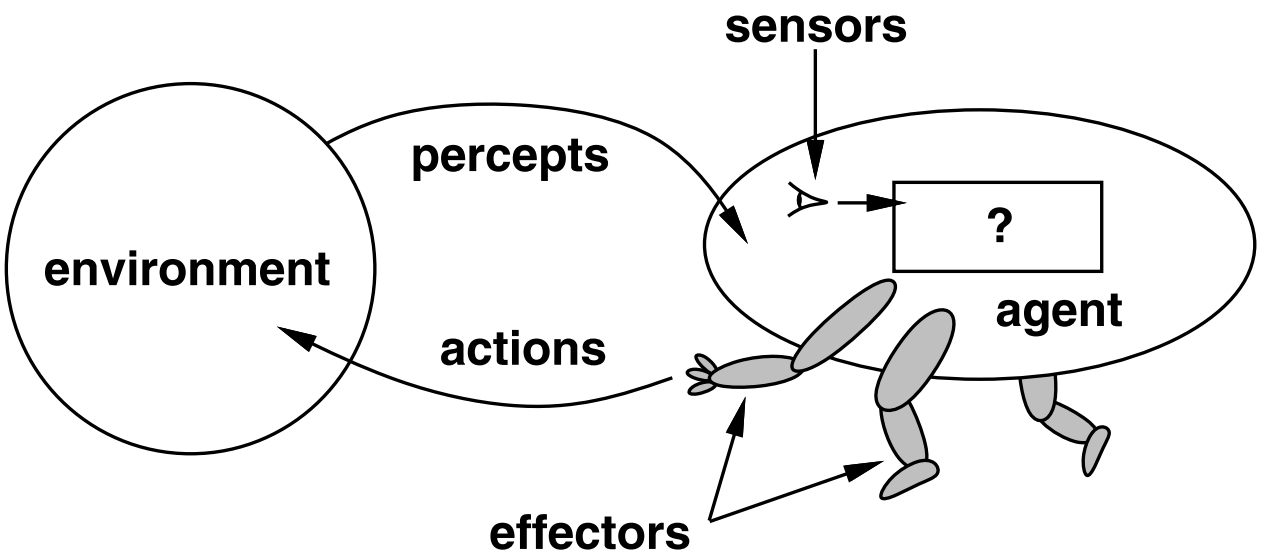
زیربناهای هوش مصنوعی توزیع شده و سیستم‌های چندعاملی

مقدمه‌ای بر سیستم‌های چندعاملی

۱

عامل

عامل

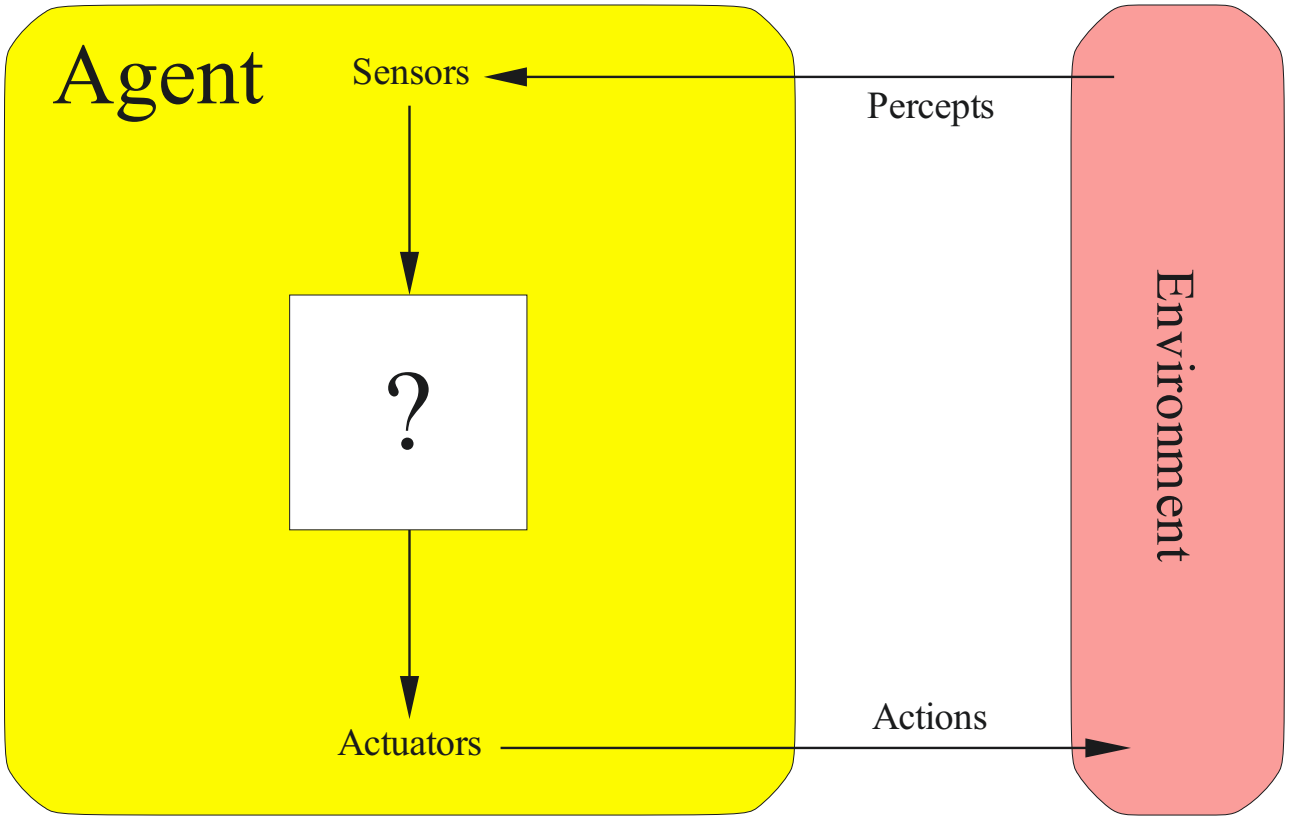


عامل موجودیتی است که در محیط کار انجام می‌دهد.

عامل

AGENT

عامل چیزی است که
محیط را از طریق حسگرهای خود درک می‌کند و
سپس از طریق کنش‌گرهای خود روی آن کنش انجام می‌دهد.



عامل

مثال

عامل انسانی *Human agent*	حسگر	حواس پنج‌گانه: چشم، گوش و ...
	کنش‌گر	دست و پا، زبان و ...
عامل روبات *Robotic agent*	حسگر	دوربین، فاصله‌یاب مادون قرمز و ...
	کنش‌گر	موتور و ...
عامل نرم‌افزاری *Software agent*	حسگر	دنباله‌ای از بیت‌ها
	کنش‌گر	دنباله‌ای از بیت‌های کد شده

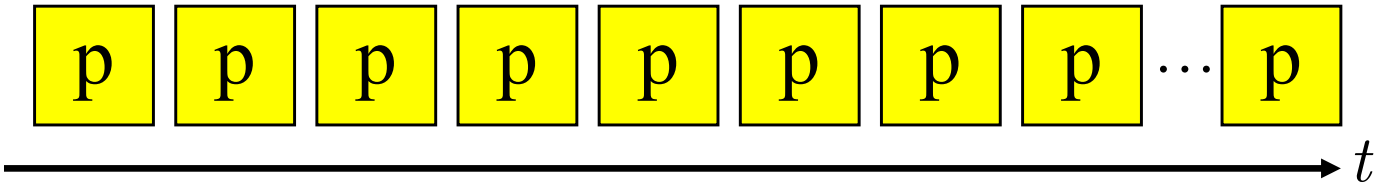
مفهوم **عامل** وسیله‌ای برای مطالعه‌ی هوش مصنوعی است.

تقسیم‌بندی اشیا به «عامل» و «غیرعامل» نادرست است.
بر اساس نگاه طراح هر چیزی می‌تواند یک «عامل» باشد.

ادراک و دنباله‌ی ادراکی

ادراک (percept)، ورودی‌های ادراکی عامل در هر لحظه‌ی داده شده است.

دنباله‌ی ادراکی (percept sequence)، تاریخچه‌ی کامل همه‌ی چیزهایی است که عامل درک کرده است.



انتخاب کنش در هر لحظه توسط عامل،
می‌تواند به کل دنباله‌ی ادراکی مشاهده شده تا آن لحظه وابسته باشد،
اما به هیچ چیزی که تا آن لحظه آن را درک نکرده است، وابسته نیست.

تابع عامل

AGENT FUNCTION

رفتار عامل، با **تابع عامل** توصیف می‌شود که
هر **دنباله‌ی ادراکی** داده شده را به یک **کنش** نگاشت می‌دهد.

$$f : \mathcal{P}^* \rightarrow \mathcal{A}$$

تابع عامل

مجموعه‌ی همه‌ی
دنباله‌های ادراکی

مجموعه‌ی همه‌ی
کنش‌های عامل

برنامه‌ی عامل

AGENT PROGRAM

برنامه‌ی عامل، تابع عامل را بر روی یک معماری فیزیکی پیاده‌سازی و اجرا می‌کند.

نسبت تابع عامل با برنامه‌ی عامل

برنامه‌ی عامل *Agent Program*	تابع عامل *Agent Function*
انضمامی ـ مجسم (concrete)	انتزاعی ـ مجرد (abstract)
برنامه‌نویسی	ریاضی
ورودی: ادراک لحظه‌ای	ورودی: یک دنباله‌ی ادراکی
قابل اجرا روی یک معماری	-
یک تابع عامل، می‌تواند چند برنامه‌ی عامل داشته باشد.	ممکن یک تابع عامل، برنامه‌ی عامل نداشته باشد.

تعیین عامل‌ها

May	***Must***
کدام موجودیت **می‌تواند** به‌عنوان **عامل** دیده شود؟	کدام موجودیت **می‌باید** به‌عنوان **عامل** دیده شود؟

پاسخ: براساس تاثیر عامل‌ها بر معیار کارآیی

مقدمه‌ای بر سیستم‌های چندعاملی

۲

سیستم‌های چندعاملی

سیستم چندعاملی و هوش مصنوعی توزیع‌شده

سیستم چندعاملی *Multiagent System (MAS)*	هوش مصنوعی توزیع‌شده *Distributed AI (DAI)*
مجموعه‌ای از عامل‌های در اندرکنش با هم	زیرمجموعه‌ای از *AI* که *MAS* را مطالعه می‌کند.

مشخصه‌های سیستم چندعاملی

CHARACTERISTICS OF MAS

طراحی عامل *Agent Design*	محیط *Environment*	ادراک *Perception*	کنترل *Control*	دانایی *Knowledge*	ارتباطات *Communication*
؟	؟	؟	؟	؟	؟

مشخصه‌های سیستم چندعاملی

طراحی عامل

CHARACTERISTICS OF MAS

طراحی عامل *Agent Design*	محیط *Environment*	ادراک *Perception*	کنترل *Control*	دانایی *Knowledge*	ارتباطات *Communication*
؟	؟	؟	؟	؟	؟

- عامل‌ها توسط افراد مختلف طراحی می‌شوند.
- تفاوت‌های سخت‌افزاری
- تفاوت‌های نرم‌افزاری
- عامل‌های همگن / ناهمگن
- ناهمگنی عامل‌ها می‌تواند بر ادراکات، تصمیم‌گیری و ... مؤثر باشد.

مشخصه‌های سیستم چندعاملی

محیط

CHARACTERISTICS OF MAS

ارتباطات Communication	دانایی Knowledge	کنترل Control	ادراک Perception	**محیط** *Environment*	طراحی عامل Agent Design
؟	؟	؟	؟	؟	؟

- حضور عامل‌های چندگانه، معمولاً محیط را **پویا (دینامیک)** می‌کند.
- این تحلیل ریاضی الگوریتم‌ها را دشوار می‌سازد.
- با چه چیزی باید به عنوان محیط و با چه چیزی به عنوان عامل برخورد شود؟

مشخصه‌های سیستم چندعاملی

ادراک

CHARACTERISTICS OF MAS

طراحی عامل *Agent Design*	محیط *Environment*	**ادراک** ***Perception***	کنترل *Control*	دانایی *Knowledge*	ارتباطات *Communication*
؟	؟	؟	؟	؟	؟

- داده‌های حسگری، **توزیع‌شده** هستند:
  - مکانی: در مکان‌های مختلف ظاهر می‌شوند.
  - زمانی: در زمان‌های مختلف می‌رسند.
  - معنایی: تعبیرهای متفاوتی نیاز دارند.
- حالت دنیا برای هر عامل **مشاهده‌پذیر جزئی** است.
- **تلفیق حسگرها** *(Sensor Fusion)* مسئله‌ی ترکیب ادراک‌هاست.

مشخصه‌های سیستم چندعاملی

کنترل

CHARACTERISTICS OF MAS

طراحی عامل *Agent Design*	محیط *Environment*	ادراک *Perception*	**کنترل** ***Control***	دانایی *Knowledge*	ارتباطات *Communication*
؟	؟	؟	؟	؟	؟

- در سیستم‌های چندعاملی، کنترل، **توزیع‌شده** است.
- هر عامل باید (کم و بیش) یک کنش را توسط خودش انتخاب کند.
- **نظریه‌ی بازی** *(Game Theory)* تصمیم‌گیری توزیع‌شده را مطالعه می‌کند.
- در سیستم‌های چندعاملی همکارانه، عامل‌ها باید کنش‌هایشان را **هماهنگ** کنند.
- **هماهنگ‌سازی** تضمین می‌کند که کنش‌های انفرادی منجر به کنش‌های مشترک خوب می‌شود.

مشخصه‌های سیستم چندعاملی

دانایی

CHARACTERISTICS OF MAS

طراحی عامل *Agent Design*	محیط *Environment*	ادراک *Perception*	کنترل *Control*	**دانایی** ***Knowledge***	ارتباطات *Communication*
؟	؟	؟	؟	؟	؟

- هر عامل در یک سیستم چندعاملی می‌تواند مقدار متفاوتی از **دانایی** را در اختیار داشته باشد.
- به‌علاوه، هر عامل باید در مورد دانایی دیگران چیزهایی بداند.
- یک واقعیت، **دانایی مشترک** است، اگر همه‌ی عامل‌ها آن را بدانند، همه‌ی عامل‌ها بدانند که همه‌ی آنها آن را می‌دانند، ...
- برای مثال، **هماهنگ‌سازی** می‌تواند بر اساس فرضیات بخصوص دانایی مشترک پیاده شود.

مشخصه‌های سیستم چندعاملی

ارتباطات

CHARACTERISTICS OF MAS

ارتباطات *Communication*	دانایی *Knowledge*	کنترل *Control*	ادراک *Perception*	محیط *Environment*	طراحی عامل *Agent Design*
؟	؟	؟	؟	؟	؟

- اندرکنش (تعامل) اغلب به یک شکل از **ارتباطات** وابسته است.
- عامل‌های هماهنگ‌کننده و مذاکره‌کننده می‌توانند از ارتباطات استفاده کنند.
- عامل‌ها باید به چه **زبانی** صحبت کنند؟
- چه **پروتکل‌هایی** باید برای انتقال پیام استفاده شود؟

سیستم چندعاملی

کاربرد نمونه در تکنولوژی نرم‌افزار

APPLICATION: SOFTWARE TECHNOLOGY

با یک سیستم نرم‌افزاری پیچیده می‌تواند به عنوان گردایه‌ای از تعداد زیادی موجودیت‌های نرم‌افزاری خودمختار با اندازه‌ی کوچک برخورد شود.
(⇐ سیستم چندعاملی)

مزایا				
کارآمدی *Efficiency*	**قوام** *Robustness*	**مقیاس‌پذیری** *Scalability*	**هزینه** *Cost*	**توسعه** *Developement*
در اثر محاسبات ناهمگام	تنزل مطبوع در هنگام شکست یک عامل	سادگی اضافه کردن عامل‌های جدید	هر عامل معمولاً یک واحد ارزان خواهد بود	ساده‌تر بودن نوشتن نرم‌افزار ماژولار

سیستم چندعاملی

کاربرد نمونه در اینترنت

APPLICATION: INTERNET

اینترنت یک سیستم **باز** است،
که در آن هم‌اکنون تعداد زیادی عامل‌های ناهمگن موجود است.

اهداف				
قابلیت کنش به‌جای کاربر	**قابلیت مذاکره کردن**	**قابلیت اطمینان**	**رسیونالیته‌ی کران‌دار**	**قابلیت داده‌کاوی**
توسعه‌ی عامل‌هایی که به‌جای کاربر کنش‌می‌کنند.	عامل‌ها باید مذاکره‌کننده باشند.	عامل‌ها باید قابل اطمینان باشند.	عامل‌ها باید سریع باشند.	عامل‌ها باید بتوانند داده‌کاوی کنند.

سیستم چندعاملی

کاربردهای نمونه

APPLICATIONS

کاربردهای نمونه‌ی سیستم‌های چندعاملی				
کنترل ترافیک *Traffic Control*	**علوم اجتماعی** *Social Sciences*	**رباتیک** *Robotics*	**بازی‌ها** *Games*	**ربات‌های فوتبالیست** *Robot Soccer*
ردگیری خودروها با تعداد زیادی دوربین	شبیه‌سازی پدیده‌های اجتماعی	برای مکان‌یابی و نقشه‌برداری چند–رباتی	عامل‌هایی با رفتارهای شبیه انسان	بستر آزمایشی واقع‌گرایانه برای آزمایش نظریه‌ها و الگوریتم‌ها

هماهنگی در سیستم‌های چندعاملی

هماهنگی
Coordination

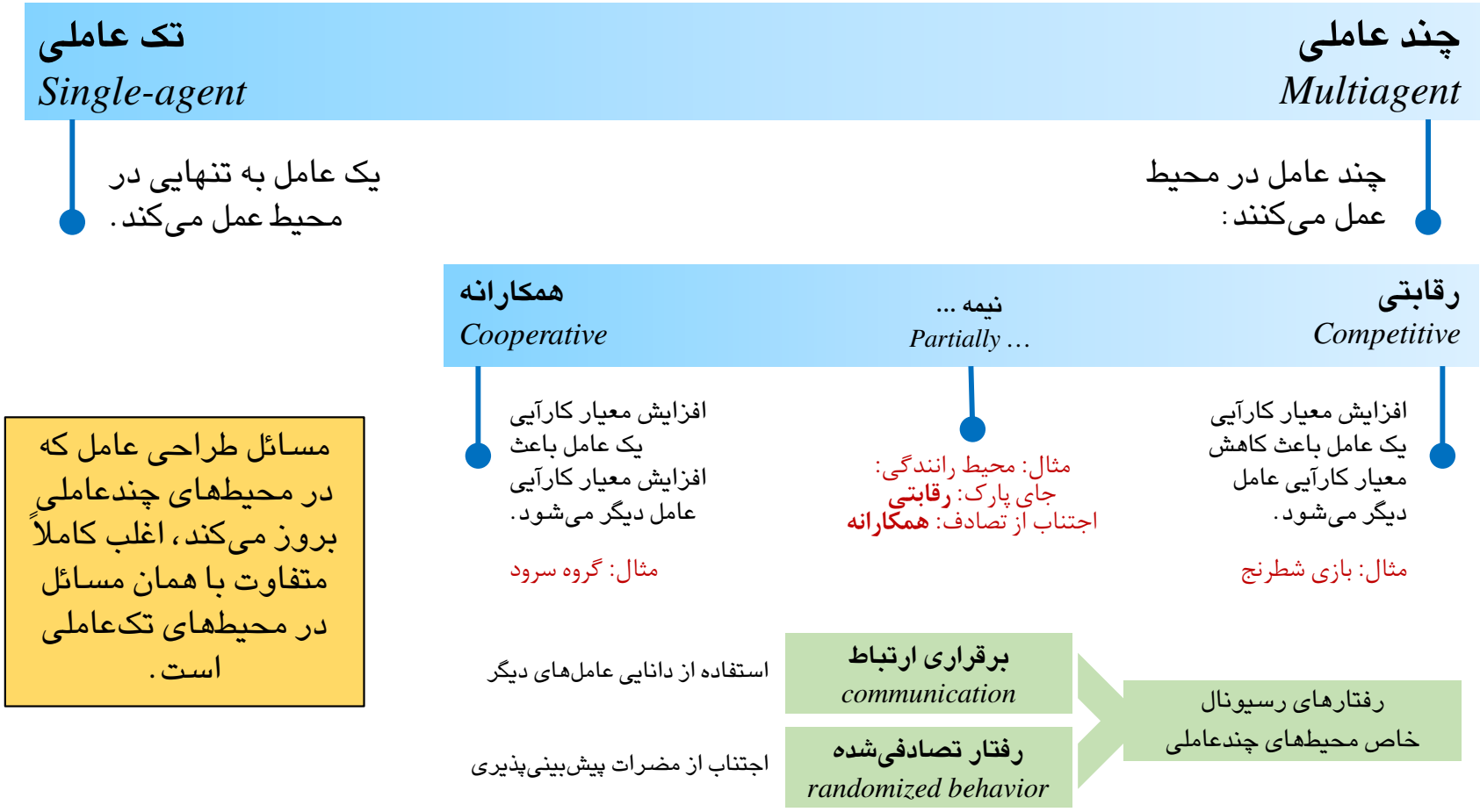
همکاری
Cooperation

عامل‌ها برای انجام کارهایی که به تنهایی نمی‌توانند،
گروه تشکیل می‌دهند؛
یا با هم موفق می‌شوند یا شکست می‌خورند.

رقابت
Competence

تلاش برخی عامل‌ها برای افزایش معیار کارآیی خود منجر به کاهش معیار کارآیی برخی عامل‌های دیگر می‌شود.

نسبت محیط تک‌عاملی با محیط چندعاملی



کدام موجودیت **می‌تواند** به عنوان عامل دیده شود؟ ← هر چیزی که محیط را درک کند و روی محیط کنش انجام دهد.

کدام موجودیت **می‌باید** به عنوان عامل دیده شود؟ ← هر چیزی که برای ماکزیمم‌سازی معیار کارآیی‌اش، که به رفتار دیگری هم وابسته است، تلاش می‌کند.

ارتباطات در سیستم‌های چندعاملی

ارتباطات

Communication

در محیطهای چندعاملی اغلب به عنوان یک رفتار رسیونال ظاهر می‌شود.

ارتباطات در سیستم‌های چندعاملی

رفتار اتفاقی
Stochastic Behavior

در برخی محیطهای رقابتی مشاهده‌پذیر جزیی، یک رفتار رسیونال است؛
زیرا از نقاط ضعف قابل پیش‌بینی بودن جلوگیری می‌کند.

هوش مصنوعی توزیع‌شده

DISTRIBUTED ARTIFICIAL INTELLIGENCE (DAI)

هوش مصنوعی توزیع‌شده

Distributed Artificial Intelligence (DAI)

مطالعه، ساخت و بکارگیری سیستم‌های چندعاملی

سیستم چندعاملی

MULTIAGENT SYSTEM (MAS)

سیستم چندعاملی
Multiagent System (MAS)

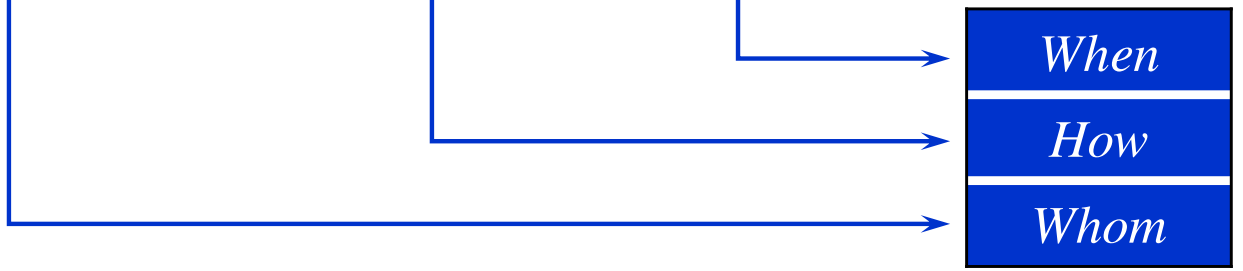
سیستمی با **چند** عامل هوشمند در اندرکنش با هم
که مجموعه‌ای از اهـداف را دنبال می‌کنند
یا مجموعه‌ای از وظایف را انجام می‌دهند.

مسئله‌ی اندرکنش عامل‌ها

(تعامل عامل‌ها)

AGENTS INTERACTION PROBLEM

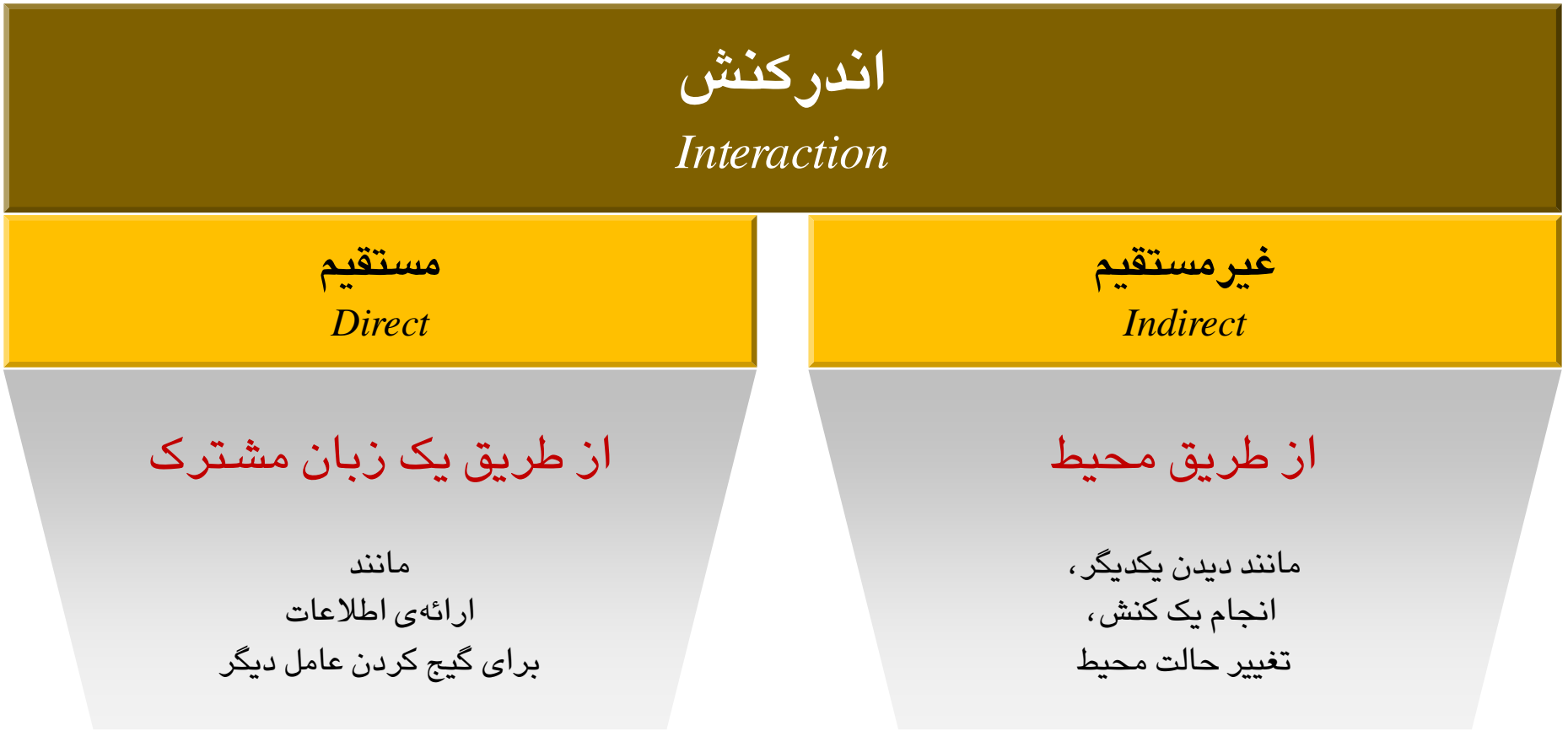
یک عامل چه‌گاه و چه‌گونه باید با چه‌کس اندرکنش کند؟



اندرکنش در سیستم‌های چندعاملی

(تعامل)

INTERACTION



مشخصه‌های اصلی سیستم‌های چندعاملی

Finite Knowledge

دانایی هر عامل محدود است

Finite Ability

توانایی هر عامل محدود است

Distributed Control

کنترل سیستم توزیع‌شده است

Decentralized Data

داده‌های سیستم غیرمتمرکز است

Asynchronous Computation

محاسبات سیستم ناهمگام است

تفاوت سیستم‌های چندعاملی

Agents

در خود عامل‌ها

Interactions

در اندرکنش میان عامل‌ها

Environment

در محیطی که عامل‌ها در آن کنش دارند

خصیصه‌های سیستم‌های چندعاملی

خصیصه‌های عامل‌ها

عامل‌ها	Agents		
تعداد *number*	۲	. . .	*n*
یکنواختی *uniformity*	همگن *homogeneous*	. . .	ناهمگن *heterogeneous*
هدف‌ها *goals*	متناقض *contradicting*	. . .	مکمل *complementary*
معماری *architecture*	واکنشی *reactive*	. . .	تأملی *deliberative*
توانایی‌ها (حسگر، کنش‌گر، شناخت) *abilities (sensors, actuators, congition)*	ساده *simple*	. . .	پیشرفته *advanced*
فراوانی *frequency*	پایین *low*	. . .	بالا *high*
پافشاری *persistence*	کوتاه‌مدت *short-term*	. . .	بلندمدت *long-term*

خصیصه‌های سیستم‌های چندعاملی

خصیصه‌های اندرکنش (تعامل)

اندرکنش	*Interaction*		
سطح *level*	گذردهی سیگنال *signal-passing*	. . .	مملو از دانایی *knowledge-intensive*
الگوی جریان داده‌ها *pattern of data flow*	غیرمتمرکز *decentralized*	. . .	سلسله‌مراتبی *hierarchical*
الگوی کنترل *pattern of control*	متمرکز *centralized*	. . .	توزیع‌شده *distributed*
تغییرپذیری *variability*	ثابت *fixed*	. . .	تغییرپذیر *changeable*
منظور *purpose*	رقابتی *competitive*	. . .	همکارانه *cooperative*

خصیصه‌های سیستم‌های چندعاملی

خصیصه‌های محیط

محیط	*Environment*		
پیش‌بینی‌پذیری *predictability*	قابل پیش‌بینی *forseeable*	. . .	غیرقابل پیش‌بینی *unforseeable*
دسترس‌پذیری *accessibility*	نامحدود *unlimited*	. . .	محدود *limited*
دینامیک *dynamics*	ثابت *fixed*	. . .	متغیر *variable*
تنوع *diversity*	کم *poor*	. . .	زیاد *rich*
موجود بودن منابع *availability of resources*	محدود *restricted*	. . .	فراوان *ample*

هوش مصنوعی توزیع‌شده

اهمیت

- نقش کلیدی سیستم‌های چندعاملی در حال و آینده‌ی علوم کامپیوتر و کاربردهای آن (بسترهای محاسباتی جدید: توزیع‌شده، بزرگ، ناهمگن، . . .)
- توانایی سیستم‌های چندعاملی در توسعه و تحلیل مدل‌ها و نظریه‌های مربوط به تعامل انسان‌ها در جوامع
- روی‌کردهای جدید سیستم‌های چندعاملی برای طراحی سیستم‌ها

پی‌آمدهای چالش‌برانگیز

اهمیت

CHALLENGING ISSUES

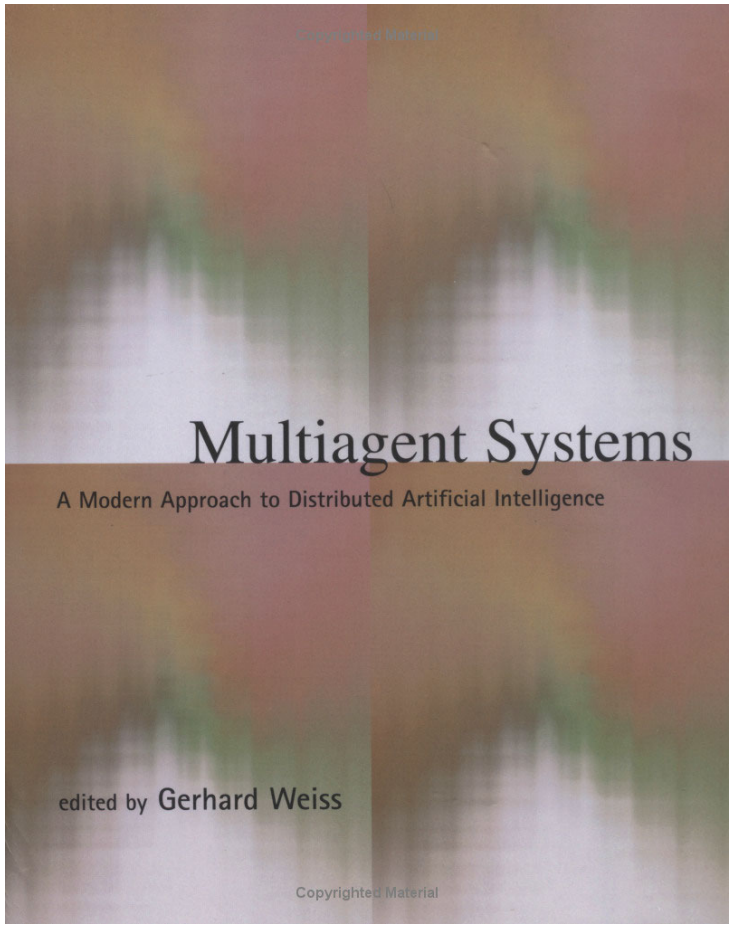
- تجزیه‌ی مسائل به زیروظیفه‌ها
- کار با ادراک‌های توزیع‌شده
- پیاده‌سازی کنترل و هماهنگ‌سازی غیرمتمرکز شده
- طرح‌ریزی و یادگیری چندعاملی
- بازنمایی دانایی
- توسعه‌ی زبان‌ها و پروتکل‌های ارتباطی
- قادر کردن عامل‌ها به مذاکره
- ایجاد ساختارهای سازمانی (مانند تیم‌ها)
- اطمینان از رفتار **پایدار** سیستم

مقدمه‌ای بر سیستم‌های چندعاملی

۳

منابع

منبع اصلی



Gerhard Weiss (ed.),
Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence,
MIT Press, 1999.
Prologue

Prologue

Multiagent Systems and Distributed Artificial Intelligence

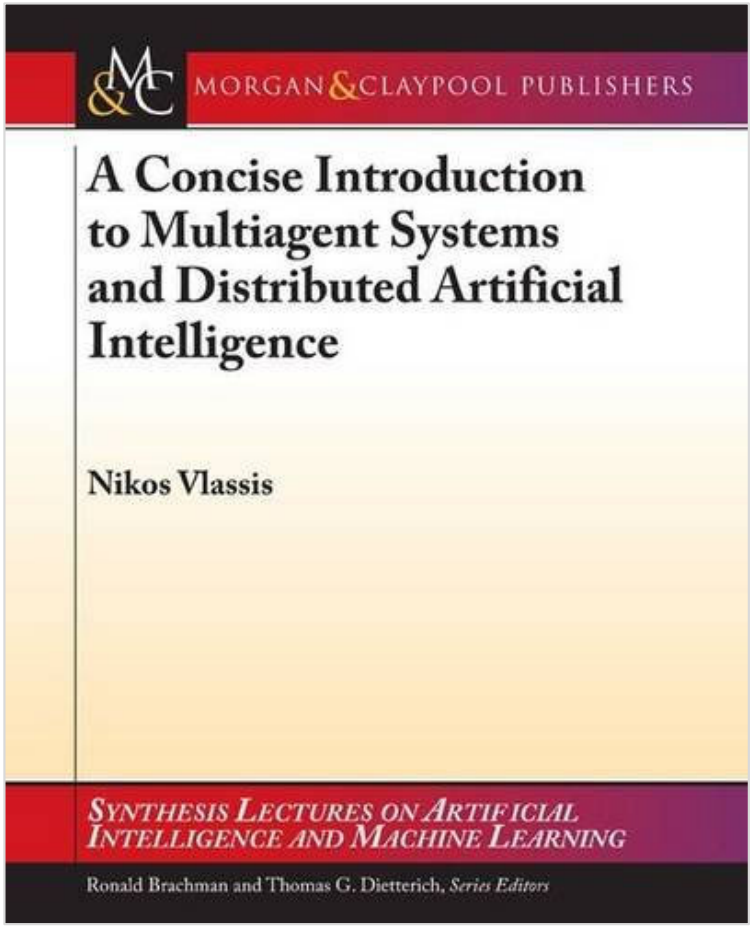
Since its inception in the mid to late 1970s distributed artificial intelligence (DAI) evolved and diversified rapidly. Today it is an established and promising research and application field which brings together and draws on results, concepts, and ideas from many disciplines, including artificial intelligence (AI), computer science, sociology, economics, organization and management science, and philosophy. Its broad scope and multi-disciplinary nature make it difficult to precisely characterize DAI in a few words. The following definition is intended to serve as a starting point for exploring this arena and as a constant point of reference for reading through this book:

> *DAI is the study, construction, and application of multiagent systems, that is, systems in which several interacting, intelligent agents pursue some set of goals or perform some set of tasks.*

An agent is a computational entity such as a software program or a robot that can be viewed as perceiving and acting upon its environment and that is autonomous in that its behavior at least partially depends on its own experience. As an intelligent entity, an agent operates flexibly and rationally in a variety of environmental circumstances given its perceptual and effectual equipment. Behavioral flexibility and rationality are achieved by an agent on the basis of key processes such as problem solving, planning, decision making, and learning. As an interacting entity, an agent can be affected in its activities by other agents and perhaps by humans. A key pattern of interaction in multiagent systems is goal- and task-oriented coordination, both in cooperative and in competitive situations. In the case of cooperation several agents try to combine their efforts to accomplish as a group what the individuals cannot, and in the case of competition several agents try to get what only some of them can have. The long-term goal of DAI is to develop mechanisms and methods that enable agents to interact as well as humans (or even better), and to understand interaction among intelligent entities whether they are computational, human, or both. This goal raises a number of challenging issues that all are centered around the elementary question of *when and how to interact with whom*.

Two main reasons to deal with DAI can be identified, and these two reasons are the primary driving forces behind the growth of this field in recent years. The first is that multiagent systems have the capacity to play a key role in current and future

منبع کمکی



Nikos Vlassis,
A Concise Introduction to Multiagent Systems and Distributed Artificial Intelligence,
Morgan & Claypool, 2007.
Chapter 1

CHAPTER 1

Introduction

In this chapter we give a brief introduction to multiagent systems, discuss their differences with single-agent systems, and outline possible applications and challenging issues for research.

1.1 MULTIAGENT SYSTEMS AND DISTRIBUTED AI

The modern approach to **artificial intelligence** (AI) is centered around the concept of a **rational agent**. An agent is anything that can perceive its environment through sensors and act upon that environment through actuators (Russell and Norvig, 2003). An agent that always tries to optimize an appropriate performance measure is called a 'rational agent'. Such a definition of a 'rational agent' is fairly general and can include human agents (having eyes as sensors, hands as actuators), robotic agents (having cameras as sensors, wheels as actuators), or software agents (having a graphical user interface as sensor and as actuator). From this perspective, AI can be regarded as the study of the principles and design of artificial rational agents.

However, agents are seldom stand-alone systems. In many situations they coexist and interact with other agents in several different ways. Examples include software agents on the Internet, soccer playing robots (see Fig. 1.1), and many more. Such a system that consists of a group of agents that can potentially interact with each other is called a **multiagent system** (MAS), and the corresponding subfield of AI that deals with principles and design of multiagent systems is called **distributed AI**.

1.2 CHARACTERISTICS OF MULTIAGENT SYSTEMS

What are the fundamental aspects that characterize a MAS and distinguish it from a single-agent system? One can think along the following dimensions.

1.2.1 Agent Design

It is often the case that the various agents that comprise a MAS are designed in different ways. The different design may involve the hardware, for example soccer robots based on different mechanical platforms, or the software, for example software agents (or 'softbots') running different code. Agents that are based on different hardware or implement different