

به نام خدا

مبانی مدل سازی عامل-مبنا

مدل سازی سیستم های پیچیده ی طبیعی، اجتماعی و مهندسی شده با نت لوگو

یوری ویلنسکی و ویلیام رند

ترجمه:

دکتر حمید میرزاحسین، عضو هیأت علمی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

دکتر شهریار افندی زاده، عضو هیأت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران

مهندس محمد رضائی، کارشناس ارشد برنامه ریزی حمل و نقل

سرفشانه: ویلنسکی، یوری، ۱۹۵۵-م. Wilensky, Uri, 1955-

عنوان و نام پدیدآور: مبانی مدل‌سازی عامل-مبتنا: مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده‌ی طبیعی، اجتماعی و مهندسی شده با نت‌لوجو/ یوری ویلنسکی، ویلیام رند؛ ترجمه حمید میرزاحسین، شهریار افندی‌زاده، محمد رضائی.

مشخصات نشر: قزوین: دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، انتشارات، ۱۴۰۰.

مشخصات ظاهری: ۴۸۴ ص: (مصور/رنگی)، جدول: ۲۴×۲۲ س.م.

شابک: 978-622-6898-49-2

وضعیت فهرست‌نویسی: قیبا

یادداشت: عنوان اصلی: An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo. 2015.

یادداشت: کتابنامه: ص: ۴۶۳، ۴۸۴.

موضوع: تجزیه و تحلیل سیستم‌ها - داده‌پردازی -- System analysis -- Data processing

موضوع: نرم‌افزار نت‌لوجو (Computer software) Net Logo -- کامپیوترها -- شبیه‌سازی Computer simulation

موضوع: سامانه‌های چند عاملی Multiagent systems

شناسه افزوده: راند، ویلیام، ۱۹۷۶-م. Rand, William, 1976- میرزاحسین، حمید، ۱۳۶۶-، مترجم - Mirzahosseini, Hamid

شناسه افزوده: افندی‌زاده، شهریار، ۱۳۳۷-، مترجم / رضائی، محمد، ۱۳۷۲-، مترجم / دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، انتشارات

رده‌بندی کنگره: ۴۰۷/۶۲

رده‌بندی دیویی: ۰۰۳/۴

شماره کتابشناسی ملی: ۷۵۶۹۷۶۴

وضعیت رکورد: قیبا

عنوان: مبانی مدل‌سازی عامل-مبتنا: مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده‌ی طبیعی، اجتماعی و مهندسی شده با نت‌لوجو

نویسندگان: حمید میرزاحسین، شهریار افندی‌زاده و محمد رضائی

ناظر فنی: حمید کلهر

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۸۹۸-۴۹-۲

نوبت چاپ: اول ۱۳۹۹

قیمت: ۱۰۰ هزار تومان

شمارگان: ۵۰۰ جلد

ناشر: انتشارات دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، تلفن ۰۲۸-۳۳۹۰۱۴۲۶

کلبه حقوق برای ناشر محفوظ است.

مسئولیت حقوقی و قانونی محتوای کتاب بر عهده صاحبان اثر است

پیشگفتار

کنجکاوی و ذهن جستجوگر انسان همواره خاستگاه تلاش او برای درک پدیده‌هایی است که در جهان پیرامون او اتفاق می‌افتد. او پیوسته در حال مشاهده و یادگیری است. نقطه‌ی ورود او به این فرآیند خطوط کلمه‌ی چرا؟ به ذهن خلاق اوست. پس از خطوط این کلمه است که انسان به تفکر و تأمل در رابطه با پدیده‌های جهان پیرامون خود وارد می‌شود و سعی بر درک و بررسی آن می‌کند. باین‌حال انسان همواره موفق نخواهد بود. چراکه ذات علم و ابزار لازم جهت درک پدیده‌ها با سطح علمی و ابزاری بشر امروزی برابری نمی‌کند، بنابراین در بسیاری از موارد ناکامی محصول این فرآیند و تلاش او خواهد بود.

یکی از علل ناتوانی انسان در درک درست پدیده‌ها، پیچیدگی ذاتی آن‌ها است. درواقع می‌توان گفت که اگرچه بسیاری از پدیده‌ها و رخدادها در زندگی بشر ساده به نظر می‌رسند، اما درواقع از قوانین پیچیده‌ای بهره می‌برند. عکس این ماجرا نیز صادق است، به‌طوری‌که پدیده‌ی کلی به شکل یک رخداد پیچیده نمایان می‌شود درحالی‌که این نتیجه ناشی از برهم‌کنش‌های بسیار ساده‌ی اجزای آن است. این مجموعه ساختارهای مبهم و شگفت‌انگیز از حیث تسلسل جز به کل و برعکس آن عنوان سیستم‌های پیچیده^۱ را با خود به خوش می‌کشد. باین‌حال این سیستم‌ها آن‌طور که به نظر می‌رسد همواره پیچیده نیستند، و اغلب دلیل پیچیدگی آن‌ها ناشی از عوامل پرتعداد دخیل در بروز آن است که هرکدام ویژگی‌ها، رفتارها و قوانین خاص خود را دارند که درواقع آن سیستم را به پیچیدگی سوق می‌دهند. به‌عنوان مثال در یک مجموعه‌ی ترافیک شهری که می‌تواند در قالب سیستم‌های پیچیده تعریف شود، ویژگی یکایک رانندگان، رفتار آن‌ها و قوانین مربوطه در شرایط مختلف قابل تعریف و مشخص است. از ویژگی رانندگان می‌توان به خویشه، قدرت دید، سرعت عکس‌العمل، میزان تبعیت آن‌ها از قوانین و بسیاری از ویژگی‌های دیگر اشاره نمود. رفتار اغلب آن‌ها نیز در ترافیک مشخص است به‌طوری‌که به هنگام نزدیک شدن به خودروی جلویی سرعت را کم و ترمز می‌کنند، در صورت افزایش فاصله با خودروی جلویی سرعت خود را زیاد می‌کنند، هنگام مشاهده‌ی دوربین‌های ترافیکی و خودروی پلیس در صورت تخطی از سرعت مجاز سعی می‌کنند سرعت خود را به سرعت مجاز تقلیل دهند و رفتارهای متعدد دیگر. مقررات آن‌ها نیز می‌تواند مقررات حاکم بر ترافیک و رفتارهای رانندگان باشد، به‌عنوان مثال یک خودرو تنها در صورتی می‌تواند سبقت بگیرد که سمت چپ آن خط عبور خالی برای سبقت وجود داشته باشد و به همین ترتیب سایر مقررات و قوانین دیگر. اما یک مسئله هنوز در جای خود مبهم باقی مانده است و آن رفتار خروجی به شکل کلی و هم‌فزون ده‌ها و شاید صدها هزار خودرو در مجموعه‌ی ترافیک شهری و چگونگی درک و بررسی این سیستم است. به‌عنوان مثال راه‌پندان یکی از این رفتارهای هم‌فزون (تجمعی) و پیچیده است.

در طول تاریخ علم از ابزارها و علوم متعددی جهت بررسی و درک پدیده‌های جهان جهت پاسخ‌گویی به پیچیدگی‌های قابل مشاهده استفاده شده است. اما سؤالی که وجود دارد این است که آیا این ابزارها و علوم کارایی لازم را داشته‌اند؟ به‌عنوان مثال یکی از این علوم، ریاضیات است. درواقع می‌توان گفت که این علم ابزاری پیش‌قراول در دست بشر بوده است و انسان همواره از این علم جهت درک بسیاری از فرآیندها تا به امروز بهره برده است. اما کیفیت این بهره‌گیری و رنج‌هایی

که انسان در بهره‌برداری از آن متحمل شده است خود جای تأمل دارد. نمی‌توان گفت که دوران ریاضیات به سر آمده است و یا این علم ناتوان است، اما آنچه شایان ذکر است راحت‌طلبی انسان در تمامی امور خود است. درواقع می‌توان گفت که انسان همواره در جستجوی ابزاری با کارایی بالا و بهره‌برداری آسان و البته قابل‌درک است.

ریاضیات این پدیده‌ها را با معادلات و اعداد و ارقام تودرتو با فرآیندی پیچیده بررسی می‌نماید. این پیچیدگی زمانی دوچندان می‌شود که پدیده‌ی موردنظر یک پدیده‌ی شلوغ (پرتراکم) و به ظاهر بی‌نظم بوده و عوامل زیادی در پیدایش آن نقش داشته باشند. به‌عنوان نمونه در مثال ترافیک شهری، بررسی رفتار خودروها برای یافتن یک رابطه‌ی ریاضی عملاً بسیار مشکل است و یافتن یک پاسخ صحیح حتی با مجهزترین رایانه‌ها نیز مدت‌زمان زیادی به طول می‌انجامد. برای همین می‌توان تا حدودی اظهار نمود که علم ریاضیات دیگر آن کارایی لازم را برای این موضوع نداشته و بعضاً سطح علمی انسان پاسخ‌گوی آن نیست و نیاز به یک روش علمی جدید با قابلیت‌های لازم و البته ساده‌تر از پیش احساس خواهد شد. جهت پاسخ‌گویی به این نیاز، روش مدل‌سازی عامل-مینا^۲ یا عامل-بنیان روشی جدید و نوپا مطرح شده است که ظاهراً می‌تواند این خلأها را پر کند. مدل‌سازی عامل-مینا این امکان را می‌سازد تا بدون استفاده از معادلات پیچیده‌ی ریاضی و گیرافتادن در راه‌حل‌های تودرتو تقریباً هر نوع سیستم پیچیده با هر تعداد از اجزا قابل مدل‌سازی باشد. به‌عنوان نمونه، در مثال ترافیک شهری می‌توان رانندگان خودروها را به‌عنوان عامل و ویژگی‌ها، رفتارها و قوانین مربوطه را در ساختار مدل عامل-مینا تعریف کرد و با تغییر دادن کدهای عملکردی عامل‌ها تغییر در هر نوع شرایط خاص ترافیکی را شبیه‌سازی و در نتیجه رفتار هم‌فزون شده‌ی عامل‌ها را بررسی نمود. بر این اساس به‌جرت می‌توان گفت که روش مدل‌سازی عامل-مینا در هر شاخه‌ای از علوم قابل استفاده است. به‌عنوان نمونه: هنر، زیست‌شناسی، شیمی، فیزیک، ریاضیات، رایانه، زمین‌شناسی، فلسفه، روان‌شناسی، جامعه‌شناسی، اقتصاد، بازارهای اقتصادی، بازار سهام، پویایی سیستم، بازی و ...

یکی از محبوب‌ترین نرم‌افزارهای مدل‌سازی عامل-مینا در میان سایر مجموعه ابزارها نرم‌افزار نت‌لوگو^۳ است. روش مدل‌سازی در این نرم‌افزار مبتنی بر کدنویسی اختصاصی تعریف شده در محیط خود نرم‌افزار است. یکی از ویژگی‌هایی که این نرم‌افزار را از رقبای خود متمایز می‌سازد ساختار ساده‌ی زبان کدنویسی آن می‌باشد که به زبان انسان نزدیک است و در مدت کوتاهی می‌توان به آن تسلط یافت. علاوه بر این وجود افزونه‌های قدرتمندی همچون جی‌آی‌اس^۴، تحلیل شبکه و چندین افزونه‌ی کاربردی دیگر این نرم‌افزار را به یک نرم‌افزار چندوجهی کاربردی و درعین حال سبک تبدیل می‌کند، چراکه این نرم‌افزارهای جانبی به‌صورت افزونه و خارج از الزامات اجرای نرم‌افزار هستند. از دیگر نکات جالب‌توجه وجود فرهنگ لغات کامل از کدها، کتابچه‌ی راهنمای کاربر و کتابخانه‌ی کاملی از مدل‌های از قبل نگارش و اعتبارسنجی شده است.

مدل‌سازی عامل-مینا و نرم‌افزار نت‌لوگو می‌تواند کاربران متنوع و متعدد از تمامی شاخه‌های علوم داشته باشد. دانشجویان می‌توانند با استفاده از این روش موضوع موردعلاقه‌ی خود را بررسی و کنکاش کنند و پاسخ‌های شگفت‌انگیز و حیرت‌آوری به دست آورند. برخلاف دیگر روش‌های مدل‌سازی مانند رگرسیون، این روش نیاز به داده‌های چندانی ندارد. تنها با شناخت عامل‌ها، ویژگی‌ها، رفتارها و قوانین آن‌ها می‌توان مدل‌سازی را آغاز کرد. نکته‌ی جالب‌توجه در این روش این است که علاوه بر عدم نیاز آن‌چنانی به داده، خروجی‌هایی که تولید می‌شود، می‌تواند نزدیک به واقعیت باشد. از آنجایی که در این روش می‌توان بسیاری از متغیرها را با مقادیر مختلف به کار برد، خروجی‌هایی که حاصل می‌شود قابل‌توجه خواهد بود. همچنین، باتوجه به سادگی این روش و نیز ساختار ساده‌ی نرم‌افزار نت‌لوگو، دانش‌آموزان نیز می‌توانند کاربران این روش علمی باشند. آن‌ها می‌توانند قبل از ورود به دانشگاه و به‌دوراز سختی‌های برنامه‌نویسی با زبان‌های متنوع، اولین

^۲ Agent-Base Modeling

^۳ Netlogo

^۴ Geographic Information System (GIS)

مدل‌های خود را فارغ از هرگونه محاسبات سنگین ریاضی بسازند و از نتایج آن بهره ببرند. دانش‌آموزان می‌توانند با مدل‌سازی نظریه‌های ریاضی، فیزیک، شیمی و ... در این نرم‌افزار تسلط کامل‌تری به دروس مربوطه‌ی خود داشته باشند. این کتاب که ترجمه‌ی کتاب "An Introduction to Agent-Based Modeling" است که در هشت فصل و دو بخش تکمیلی تعریف‌شده است و خوانندگان عزیز می‌توانند به‌صورت گام‌به‌گام با آن پیش بروند. از آنجایی که علاوه بر توصیف روش مدل‌سازی عامل-مبنا، کدنویسی و ساخت مدل با استفاده از نرم‌افزار نت‌لوگو نیز شرح داده شده است، لذا هر جا که لازم بوده است نام و آدرس مدل‌های استفاده شده با عنوان انگلیسی در پاورقی آورده شده است که به راحتی از طریق نرم‌افزار نت‌لوگو قابل دسترسی باشد. قسمت دیگری از این کتاب درسی با عنوان "مباحث پیشرفته و کاربردها" که خارج از این هشت فصل است برای خوانندگان علاقه‌مند و کنجکاو می‌تواند جالب باشد. در این قسمت برخی از کاربردهای پیشرفته‌ی مدل‌سازی عامل-مبنا و نرم‌افزار نت‌لوگو آورده شده است که جهت آشنایی کامل با این روش مدل‌سازی و نرم‌افزار نت‌لوگو توصیه می‌شود. همچنین خوانندگانی که علاقه‌مند به تاریخچه‌ی مدل‌سازی عامل-مبنا و نرم‌افزار نت‌لوگو می‌باشند می‌توانند به بخش آخر یعنی "ریشه‌های محاسباتی مدل‌سازی عامل-مبنا" رجوع کنند. مدل‌سازی عامل-مبنا یک روش علمی جدید است که در دهه‌های اخیر با اقبال خوبی روبه‌رو شده است. با این وجود این روش در ایران کمتر شناخته شده و مورد استفاده قرار گرفته است و به تبع آن مقالات و کتب چندانی در رابطه با آن به چشم نمی‌خورد. ترجمه‌ی این کتاب می‌تواند کمک شایانی در راستای گسترش این روش علمی مؤثر در کشور برای دانشجویان و محققان جهت انجام پروژه‌های دانشگاهی و مطالعاتی باشد. بدیهی است ترجمه‌ی این کتاب مانند هر اثر علمی می‌تواند دارای کاستی‌هایی باشد، بنابراین با کمال میل منتظر دریافت پیشنهادهای سازنده اساتید و متخصصان محترم هستیم.

حمید میرزا حسین
شه‌ریار افندی‌زاده
محمد رضانی

فهرست مطالب

۱۳	فصل اول: چرا مدل سازی عامل-مینا؟	۱
۱۵	۱-۱ یک آزمایش فکری	
۱۷	۲-۱ سیستم های پیچیده و پیدایش (برآمدگی)	
۱۹	۳-۱ درک سیستم های پیچیده و پیدایش	
۱۹	۱-۳-۱ مثال ۱: درک یک پارچه	
۲۰	۲-۳-۱ مثال ۲: درک دیفرانسیلی	
۲۵	۴-۱ مدل سازی عامل-مینا به عنوان زیرساختی نمایشی برای ساختاردهی های مجدد	
۲۷	۵-۱ مثال: تعاملات شکارچی-طعمه	
۳۰	۶-۱ مثال: آتش سوزی جنگل	
۳۳	فصل دوم: مدل سازی عامل-مینا چیست؟	۲
۳۳	۱-۲ مورچه ها	
۳۴	۱-۱-۲ ساخت مدل خوراک مورچه ها	
۳۹	۲-۱-۲ نتایج و مشاهدات حاصل از مدل مورچه ها	
۴۰	۳-۱-۲ مدل مورچه چه قدر خوب است؟	
۴۴	۲-۲ مدل سازی عامل-مینا چیست؟	
۴۴	۳-۲ مدل های عامل-مینا در برابر سایر اشکال مدل سازی	
۴۶	۴-۲ تصادفی بودن در برابر قطعیت	
۴۶	۵-۲ مدل عامل-مینا چه زمانی سودمندتر است؟	
۴۸	۶-۲ سنجیدن مدل سازی عامل-مینا	
۵۰	۷-۲ برای درک مدل های عامل-مینا چه چیزی لازم است؟	
۵۱	۸-۲ نتیجه گیری	
۵۲	۹-۲ کاوش ها	
۵۲	۱-۹-۲ کاوش های مبتدی در نتلوگو	
۵۲	۲-۹-۲ مورچه ها و کاوش های دیگر در مدل	
۵۳	۳-۹-۲ کاوش های مفهومی	
۵۴	۴-۹-۲ کاوش های نتلوگو	
۵۷	فصل سوم: ایجاد مدل های ساده ی عامل-مینا	۳
۵۸	۱-۳ زندگی	
۸۲	۲-۳ فهرمانان و بزدلان	
۱۰۳	۳-۳ اقتصاد ساده	
۱۱۳	۴-۳ خلاصه	

۱۱۴	 کاوش‌ها	۵-۳
۱۱۴	 کاوش مدل‌های فصل	۱-۵-۳
۱۱۶	 کاوش‌های نتولوگو	۲-۵-۳

فصل چهارم: بررسی و توسعه‌ی مدل‌های عامل-مبنا

۱۱۷	 مدل "آتش‌سوزی"	۱-۴
۱۱۹	 توصیف مدل "آتش‌سوزی"	۱-۱-۴
۱۲۰	 تعمیم اول: انتقال احتمالی	۲-۱-۴
۱۲۷	 تعمیم دوم: اضافه کردن باد	۳-۱-۴
۱۲۹	 تعمیم سوم: مجوز انتقال مسافت-طولانی	۴-۱-۴
۱۳۱	 خلاصه‌ی مدل "آتش‌سوزی"	۵-۱-۴
۱۳۲	 کاربردهای مدل‌سازی پیشرفته	۶-۱-۴
۱۳۳	 مدل "اجتماع با انتشار-محدود"	۲-۴
۱۳۴	 توصیف اجتماع با انتشار-محدود	۱-۲-۴
۱۳۵	 تعمیم اول: الصاق احتمالی	۲-۲-۴
۱۳۷	 تعمیم دوم: تأثیر همسایه	۳-۲-۴
۱۳۸	 تعمیم سوم: هم‌فزون‌های متفاوت	۴-۲-۴
۱۴۱	 خلاصه‌ای از مدل "دی‌ال‌ای"	۵-۲-۴
۱۴۲	 کاربردهای مدل‌سازی پیشرفته	۶-۲-۴
۱۴۳	 مدل "جدایی یا افتراق"	۳-۴
۱۴۴	 توصیف مدل "جدایی"	۱-۳-۴
۱۴۶	 تعمیم اول: افزودن قومیت‌های متعدد	۲-۳-۴
۱۵۰	 تعمیم دوم: دسترسی به آستانه‌های متنوع	۳-۳-۴
۱۵۲	 تعمیم سوم: اضافه کردن افراد تنوع-طلب	۴-۳-۴
۱۵۴	 خلاصه‌ی مدل "جدایی"	۵-۳-۴
۱۵۵	 کاربردهای مدل‌سازی پیشرفته‌ی شهری	۶-۳-۴
۱۵۶	 مدل "ال فارول"	۴ ۴
۱۵۷	 توصیف مدل "ال فارول"	۱-۴-۴
۱۵۸	 تعمیم اول: عامل‌های رنگی که پیش‌بین‌های موفق‌تری هستند	۲-۴-۴
۱۵۹	 تعمیم دوم: میانگین، حداقل و حداکثر پاداش‌ها	۳-۴-۴
۱۶۲	 تعمیم سوم: هیستوگرام مقادیر پاداش	۴-۴-۴
۱۶۳	 خلاصه‌ی مدل "ال فارول"	۵-۴-۴
۱۶۵	 کاربردهای مدل‌سازی پیشرفته	۶-۴-۴
۱۶۶	 نتیجه‌گیری	۵-۴
۱۶۷	 کاوش‌ها	۶-۴
۱۶۸		

فصل پنجم: ایجاد مدل‌های عامل-مبنا

۱۷۵	 طراحی مدل	۱-۵
۱۷۶	 انتخاب سؤالات	۲-۵
۱۷۹	 یک مثال عینی	۳-۵
۱۸۰		

انتخاب عامل‌ها.....	۴-۵
انتخاب ویژگی‌های عامل.....	۵-۵
انتخاب خصوصیات محیطی و عامل‌های ثابت.....	۶-۵
انتخاب رفتار عامل.....	۷-۵
طراحی یک مرحله‌ی زمانی.....	۸-۵
انتخاب پارامترهای مدل.....	۹-۵
انتخاب سنج‌ها.....	۱۰-۵
خلاصه‌ی طراحی مدل "گرگ و گوسفند ساده".....	۱۱-۵
ساخت مدل.....	۱۲-۵
نسخه‌ی اول.....	۱-۱۲-۵
نسخه‌ی دوم.....	۲-۱۲-۵
نسخه‌ی سوم.....	۳-۱۲-۵
نسخه‌ی چهارم.....	۴-۱۲-۵
نسخه‌ی پنجم.....	۵-۱۲-۵
کاوش یک مدل.....	۱۳-۵
اجراهای مختلف.....	۱۴-۵
سوئینگ پارامتری و مجموعه‌ی نتایج.....	۱۵-۵
تجزیه و تحلیل داده‌ها.....	۱۶-۵
مدل‌های "شکارچی طعمه‌ها" موازی دیگر.....	۱۷-۵
کاربردهای مدل‌سازی پیشرفته.....	۱۸-۵
نتیجه‌گیری.....	۱۹-۵
کاوش‌ها.....	۲۰-۵

فصل ششم: مؤلفه‌های مدل‌سازی عامل-مبنا

۶

نمای کلی.....	۱-۶
عامل‌ها.....	۲-۶
ویژگی‌ها.....	۳-۶
رفتارها (اقدامات).....	۴-۶
مجموعه‌ی عامل‌ها.....	۵-۶
دانه‌بندی یک عامل.....	۶-۶
ادراک عامل.....	۷-۶
انواع دیگر عامل‌ها.....	۸-۶
محیط‌ها.....	۹-۶
محیط‌های فضایی.....	۱۰-۶
محیط‌های مبتنی بر شبکه.....	۱۱-۶
محیط‌های خاص.....	۱۲-۶
جهان‌های سه‌بعدی.....	۱۳-۶
تعاملات.....	۱۴-۶
رابط ناظر/کاربر.....	۱۵-۶
زمان‌بندی.....	۱۶-۶

۲۸۵	جمع‌بندی تمام موارد	۱۷-۶
	خلاصه ۲۸۹	۱۸-۶
۲۹۰	کاوش‌ها	۱۹-۶

۲۹۷	فصل هفتم: تجزیه و تحلیل مدل‌های عامل-مبنا	۷
۲۹۷	۱-۷ انواع سنجه‌ها	
۲۹۷	۲-۷ مدل‌سازی "شیوع بیماری"	
۳۰۰	۳-۷ تجزیه و تحلیل آماری مدل‌های عامل-مبنا: حرکت به فراسوی داده‌های خام	
۳۰۲	۴-۷ ضرورت اجراهای مختلف در مدل‌های عامل-مبنا	
۳۰۷	۵-۷ استفاده از نمودارها جهت بررسی نتایج در مدل‌های عامل-مبنا	
۳۱۰	۶-۷ تجزیه و تحلیل شبکه‌ها در مدل‌های عامل-مبنا	
۳۱۴	۷-۷ داده‌های محیطی و مدل‌های عامل-مبنا	
۳۱۸	۸-۷ خلاصه تجزیه و تحلیل مدل‌های عامل-مبنا	
۳۲۰	۹-۷ کاوش‌ها	

۳۲۵	فصل هشتم: تائید، اعتبارسنجی و تکثیر	۸
۳۲۵	۱-۸ صحت یک مدل	
۳۲۶	۲-۸ تائید	
۳۲۷	۳-۸ معاشرت	
۳۲۸	۴-۸ توصیف مدل‌های مفهومی	
۳۲۹	۵-۸ آزمون تائید	
۳۳۱	۶-۸ فراسوی تائید	
۳۳۵	۷-۸ تحلیل حساسیت و استواری	
۳۳۸	۸-۸ مزایا و مشکلات تائید	
۳۳۹	۹-۸ اعتبارسنجی	
۳۴۳	۱۰-۸ اعتبارسنجی-کلان در مقابل اعتبارسنجی-خرد	
۳۴۵	۱۱-۸ اعتبارسنجی ظاهری در مقابل اعتبارسنجی تجربی	
۳۴۸	۱۲-۸ تضادف بودن، نتایج ثابت و متغیر، و وابستگی به مسیر	
۳۴۹	۱۳-۸ مزایای اعتبارسنجی و سؤالات	
	تکثیر ۳۵۰	۱۴-۸
۳۵۱	۱۵-۸ تکثیر مدل‌های محاسباتی: ابعاد و استانداردها	
۳۵۴	۱۶-۸ مزایای تکثیر	
۳۵۵	۱۷-۸ توصیه‌هایی برای تکثیر کنندگان مدل	
۳۵۷	۱۸-۸ توصیه‌هایی برای نویسندگان مدل	
	خلاصه ۳۵۹	۱۹-۸
۳۶۰	۲۰-۸ کاوش‌ها	

۳۶۳	مباحث پیشرفته و کاربردها	۹
۳۶۳	۱-۹ مباحث پیشرفته در مدل‌های عامل-مبنا	
۳۶۴	۲-۹ دستورالعمل‌های طراحی مدل	
۳۶۸	۳-۹ استخراج قانون	

۳۸۱	استفاده از مدل‌های عامل-مینا برای ارتباط، اقناع و آموزش	۴-۹
۳۸۴	عامل‌های تعبیه‌شده، انسانی و مجازی از طریق واسطه‌گری	۵-۹
۳۹۶	روش‌های محاسباتی ترکیبی	۶-۹
۴۰۴	برخی از روش‌های پیشرفته‌ی محاسباتی در نتالگو	۷-۹
۴۱۴	افزونه‌های مدل‌سازی عامل-مینا	۸-۹
۴۱۶	ادغام منابع پیشرفته‌ی داده و خروجی	۹-۹
	سرعت ۴۳۴	۱۰-۹
۴۲۵	کاربردهای مدل‌سازی عامل-مینا	۱۱-۹
۴۳۹	بررسی مجدد تبادلات مدل‌سازی عامل-مینا	۱۲-۹
۴۴۰	آینده‌ی مدل‌سازی عامل-مینا	۱۳-۹
۴۴۱	کاوش‌ها	۱۴-۹
۴۴۷	ریشه‌های محاسباتی مدل‌سازی عامل-مینا	۱۰
۴۴۹	نگاشت‌ها	۱۰-۱۰
۴۴۹	اتومانیای سلولی و مدل‌سازی عامل-مینا	۱-۱۰
۴۵۲	الگوریتم‌های ژنتیک، جان‌هالند، و سیستم‌های پیچیده‌ی سازگار	۲-۱۰
۴۵۵	سیمور پاپرت، لوگو و لاک‌پشت	۳-۱۰
۴۵۷	برنامه‌نویسی شی-گرا و مدل بازیگر	۴-۱۰
۴۵۹	مواری‌سازی داده‌ها	۵-۱۰-۱۰
۴۶۰	گرافیک‌های رایانه، مدل‌های ذرات و بویدز	۶-۱۰-۱۰
۴۶۲	نتیجه‌گیری	۲۰-۱۰
۴۶۳		
۴۷۹		

منابع

نرم‌افزار و مدل‌ها