

رایانش مکانی غیر متمرکز

اساس شبکه‌های حسگر مکانی

تألیف:

منیر داکه‌ام

گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه ملیورن

ترجمه:

دکتر ابوالقاسم صادقی نیارکی

استادیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

مهندس حمیدرضا غفوری

کارشناس ارشد GIS، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

Duckham, Matt

سرشناسه: داکهام، مت، ۱۹۷۲ م

عنوان و نام پدیدآور: رایانش مکانی غیرمتمرکز اساس شبکه‌های حسگر مکانی / تألیف مت داکهام؛ ترجمه ابوالقاسم صادقی نیارکی، حمیدرضا غفوری.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۳۹۶.

مشخصات ظاهری: ۴۴۴ص: مصور، جدول، نمودار.

فروست: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ شماره ۴۴۵.

شابک: 978-600-7867-59-4

وضعیت فهرست نویسی: فیا

یادداشت: 113, C. Decentralized Spatial Computing: Foundations of Geosensor Networks

یادداشت: رازنا

یادداشت: کتابنامه: ص.

موضوع: سیستم‌های اطلاعات - رافیایی

موضوع: داده‌پردازی - پرسش و پاسخ - ده

شناسه افزوده: غفوری، حمیدرضا، ۱۳۶۹ - ، جم

رده بندی کنگره: ۱۳۹۶ ۲/۵۲ ۱۲/۵۲ ۶۷۰

رده بندی دیویی: ۹۱۰/۲۸۵

شماره کتابشناسی ملی: ۴۹۹۸۳۲۳

<http://press.kntu.ac.ir>



ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

عنوان: رایانش مکانی غیرمتمرکز اساس شبکه‌های حسگر مکانی

تألیف: مت داکهام

مترجمان: دکتر ابوالقاسم صادقی نیارکی، مهندس حمیدرضا غفوری

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: دی ۱۳۹۶، تهران

شمارگان: ۲۰۰ جلد

ویرایش: گروه ویراستاری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چاپ: کیانقش

صحافی: گرنامی

قیمت: ۳۷۰۰۰ تومان

تمام حقوق برای ناشر محفوظ است

خیابان میرداماد غربی - پلاک ۴۷۰ - انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تلفن: ۸۸۸۸۱۰۵۲

میدان ونک - خیابان ولی عصر (عج) - بالاتر از چهارراه میرداماد - پلاک ۲۶۲۶ - مرکز پخش و فروش انتشارات

تلفن: ۸۸۷۷۲۲۷۷ رایانامه: press@kntu.ac.ir - ترانما (فروش برخط): www.press.kntu.ac.ir

به نام خداوند جان و خرد
کزین برتر اندیشه برنگذرد
ز هر دانشی چون سخن بشنوی
از آموختن یک زمان نغشوی

آنچه از سخن ابوالقاسم فردوسی بزرگ برمی آید، دانش اندوزی هیچ‌گاه به پایان خود نخواهد رسید؛ آن‌چنان‌که خود مؤلف نیز می‌نگارد «این کتاب برای من یک آغاز را نشان می‌دهد». از این‌روی، بر آن شدیم تا یک «آغاز» را به شیرینی زبان پارسی برای دانش‌پژوهان حوزه رایانش مکانی فراگستر، رایانش مکانی غیرمتمرکز و شبکه‌های حسگر مکانی ساخته و به ترجمه این کتاب دست یازیم.

امروزه، با قرار داشتن در عصر تحوّل فناوری، ما شاهد نزدیک شدن به دوره‌ای نوین در زندگی بشر هستیم. آن انقلاب بزرگ که مارک وایزر^۱ آن را عصر رایانش فراگستر^۲ می‌نامد؛ عصری که در آن فناوری‌ها، ارتباطی و اطلاعاتی، از جمله حسگرها، تا جایی پیشرفت می‌کنند که به‌طور کامل در محیط زندگی را ابعاد زندگی و همچنین داخل اشیای مختلف گنجانده شده و حتی از دید کاربر نیز پنهان می‌شوند در همین دوره‌ای، فناوری‌های رایانشی و اطلاعاتی فراگستر، زندگی را هرچه بیشتر از پیش برای انسان سهولت برده و خدمات وابسته به اطلاعات را با شعار «در هر کجا، در هر زمان، برای هر شخص» و شبیه حتم برانر، و در عین سهولت تعامل، برای آن‌ها ارائه می‌کند.

با نگاهی به سیر تکاملی رایانه‌ها از دوران بزرگ‌رایانه‌های دیروز تا کوچک‌رایانه‌های همراه امروز، تصویری این‌چنین از عصر آینده، چنان پدید می‌آید که از آیه‌ها نگذرد. هر روز خبرهایی می‌شنویم از اینکه رایانه‌ها و حسگرهایی کوچک‌تر با قابلیت‌های رایانشی و کارایی بیشتر به بازار عرضه می‌شوند. این فناوری‌ها به‌نوبه خود پژوهش‌های ارزشمند بسیاری را در زمینه رایانش فراگستر رقم زده‌اند.

گذشته از این‌روی خوش سگه، پیشرفتی با چنین سرعت و گامی، مشکلاتی را نیز برای دانش‌پژوهان این حوزه عرضه می‌کند؛ و آن اینکه، روش‌های توسعه الگوریتم‌ها و پیرامون ایده‌های نو به‌شدت از فناوری‌های در حال دگرگونی، به‌ویژه حسگرها، متأثر بوده و پژوهش‌ها را در این حوزه، ارزش مقطعی می‌کند تا اهداف بلندمدت علمی. برای رویارویی با این مشکل، مؤلف راهداری درونی^۳، بسیار ساده، و مهم‌تر از همه، مستقل از دگرگونی‌های فناوری را برای رایانش فراگستر و رایانش غیرمتمرکز پیشنهاد می‌کند که کل کتاب پیرامون موضوع آن است. به دیگر سخن، اخذ و گردآوری داده‌ها و محیط‌آگاهی^۴، یکی از پیش‌نیازهای محقق شدن رایانش فراگستر و غیرمتمرکز است و کلیدی‌ترین ابزار برای رفع این پیش‌نیاز، یعنی حسگرها و در پی آن شبکه‌های حسگر فراگستر (USN)^۴ و شبکه‌های حسگر

^۱ Mark Weiser

^۲ Ubiquitous computing

^۳ Context-awareness

^۴ USN: Ubiquitous Sensor Network

مکانی (GSN)^۱، خود نیز در حال توسعه بوده و از پیشرفت‌های سریع فناوری مصون نیستند. در نتیجه، این کتاب کمکی بسیار بهنگام برای دانش‌پژوهانی در زمینه‌های علوم اطلاعات مکانی^۲ و علوم کامپیوتر است که به دنبال راهکارهای بلندمدت علمی برای توسعه سیستم‌های مکانی فراگستر، الگوریتم‌های غیرمتمرکز و به‌ویژه الگوریتم‌های مکانی غیرمتمرکز هستند.

امروزه سیستم‌های اطلاعات مکانی^۳ (GIS) به عنوان ابزارهایی کارا در مدیریت اطلاعات مکانی بیش از هر زمان دیگری نقش اصلی را بازی می‌کنند. چیزی که این سیستم‌های اطلاعاتی را از دیگر سیستم‌ها متمایز می‌سازد، مکانی بودن یا زمین مرجع بودن داده‌ها و اطلاعات است. برخلاف GISهای امروزی که بیشتر متمرکز هستند و یا حتی به تازگی GISهای توزیع یافته، این سیستم‌ها نیز با الهام از رایانش فراگستر به سوی غیرمتمرکز شدن و ایجاد سیستم‌های نوین اطلاعات مکانی فراگستر^۴ (UbiGIS) به پیش می‌روند. سیستم‌های اطلاعات مکانی فراگستر با غیرمتمرکزسازی GISهای امروزی، اطلاعات حد انت مکان مبنا را با آرمان «در هر کجا و در هر زمان» برای کاربر ارائه کرده و راهکارهای خود را به رایانش مکانی غیرمتمرکز نیز عرضه می‌دارد.

رایانش مکانی غیرمتمرکز، دغدغه کنترل مرکزی بوده و به رایانش در و درباره محیط جغرافیایی می‌پردازد. این بدان معنی است که رایانش مکانی غیرمتمرکز نه تنها از لحاظ مکانی محیط آگاه بوده، بلکه خود عمل رایانش نیز در مکان اندک اطلاعات مکانی صورت می‌گیرد. بنابراین، برخلاف رویکرد متمرکز در طراحی الگوریتم‌های مکانی، رویکرد غیرمتمرکز نیازمند سازواری‌هایی است که برای توسعه الگوریتم‌های مکانی غیرمتمرکز در این ستاب به آن‌ها پرداخته می‌شود.

این کتاب تنها کتابی است که تا به امروز رویکردی مبتنی بر مدل‌سازی ریاضی و استفاده از زبانی پروتکل‌مانند، به‌طور ویژه در زمینه رایانش مکانی فراگستر غیرمتمرکز نگاشته شده و حاصل بیش از ده سال پژوهش مؤلف در حوزه شبکه‌های حسگره‌ها و تخصیص سه سال تمام برای نگاشتن کتاب است. از این‌روی، برای ترجمه این اثر ارزشمند علمی این مجموعه طی کوششی بیش از یک سال و نیم به انجام رسیده است. مترجمان سعی نموده‌اند تا افزون بر ترجمه ساختن ترجمه به مفهوم فنی اصل متن، در حفظ اصالت اثر نیز بکوشند. اگرچه، به دلیل اختلاف‌های زبانی فرهنگی، به‌اجبار گاهی کلماتی غیر از اصل کتاب به ترجمه افزوده شده‌اند تا بار معنایی لازم را ایجاد نمایند. به غیر از مراجعی که توسط مؤلف مشخص شده‌اند (برای مثال، [۱۵])، این کلمه‌ها یا توضیح‌های الحاقی مترجمان داخل علامت [] گنجانده شده‌اند.

برای انتخاب واژگان معادل فارسی، بیشتر از واژگان مصوب «فرهنگستان زبان و ادب فارسی» استفاده شده است. باین‌حال، بسیاری از واژگان تخصصی مورد نیاز، یا در این منبع موجود نبوده و

^۱ GSN: GeoSensor Network

^۲ GIScience

^۳ GIS: Geospatial/Geographic Information System

^۴ UbiGIS: Ubiquitous Geospatial/Geographic Information System

یا برای برابرنهی نامناسب است، و از این روی، مترجمان از پایان‌نامه‌های فارسی موجود در حوزه‌های مختلف کمک گرفته‌اند. گفتنی است که از برخی برابرنهادها برای واژگان بیگانه که از سوی ویراستار محترم این کتاب پیشنهاد شده‌اند، استفاده نشده است - به‌طور خلاصه، در این کتاب، «کامپیوتر» با معنی ابزار رایانشی و «رایانه» با معنی رایانه شخصی به‌کارگرفته شده؛ «نود» به «گره» ترجمه نشده چراکه گره با معنی خودش به‌کارگرفته شده است. همچنین واژه‌های «سیستم»، «مدل»، «آنالیز»، «رستر»، «وکتور»، و «کلونی» در حوزه GIS و علوم کامپیوتر، و «رله»، «فرکانس رادیویی»، و «تویز» در حوزه مخابرات، به دلیل جاافتاده بودن، ترجمه نشده‌اند -.

لوح‌فشرده (CD) همراه با این کتاب حاوی کدهای شبیه‌سازی پروتکل‌ها است که توسط مؤلف با استفاده از سیستم شبیه‌سازی عامل‌مبنای NetLogo توسعه داده شده‌اند.

از آنجایی که هیچ کاری بی‌عیب و نقص نیست، افزون بر تلاش بیش از یک و نیم ساله مترجمان برای فراهم ساختن نخستین ویرایش نسخه فارسی این کتاب، اثر پیش‌رو نیز خالی از عیب نبوده و مترجمان بر خود لازم می‌دانند تا صمیمانه پذیرای هرگونه انتقاد و پیشنهادی از سوی استادان، دانشجویان، دانش‌پژوهان و خوانندگان گرامی باشند. این افراد می‌توانند نظرات خود را از طریق رایانامه به آدرس sadeghi@kntu.ac.ir بیان بگذارند.

در پایان از تمامی دوستان که در کار این کتاب ما را یاری کرده‌اند از جمله رئیس محترم مرکز اسناد، کتابخانه مرکزی و انتشارات، جاب آئی دکت مهدی علیاری، اعضای محترم شورا و کارکنان انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی دال‌سپاسگزاری را داریم. جای هیچ تردیدی نیست که بدون راهنمایی‌ها و کمک‌های ایشان، این کار با صمیمیتی مطلوب به ثمر نمی‌رسید. به‌ویژه، جای بسی سپاس از سروراستار محترم انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی جناب آقای دکتر سیدحجت‌الحق حسینی است که زحمات این استاد فرهیخته موجب آن شد تا کیفیت این کتاب چه از لحاظ ویرایش ادبی و چه از لحاظ ویرایش فنی به غایت کمال خود دست یابد. همچنین لازم می‌دانیم تا صمیمانه از تمامی اعضای گرامی گروه پژوهشی و مهندسی سیستم اطلاعات، نائب‌فراگستر - اندیشه^۱، و به‌طور خاص، خانم مهندس مریم شاکری به جهت کمک ایشان در آماده‌سازی پیش‌نویس این کتاب، نهایت تشکر و قدردانی را به عمل آوریم. از داوران محترم نیز که منت نهاده و رحمت بررسی و داوری این کتاب را تقبیل کرده و با ارائه نظرات ارزشمندشان ما را به هر چه بیشتر کردن کیفیت این اثر سوق داده‌اند، تشکری ویژه داریم. انشاء الله که خداوند متان به ایشان توفیق روزافزون و اجر بی‌پایان عنایت فرماید.

ابوالقاسم صادقی نیارکی

حمیدرضا غفوری

خردادماه ۱۳۹۶

^۱ Ubiquitous & Brain GeoInformatic (UBGI) Engineering Research Lab (www.ubgi.ir/LAB/)

پیشگفتار یک دانشمند

حقیقت اینکه رایانش در یک جایی رخ می‌دهد، بدیهی است، اما برای مدتی طولانی - این موضوع - به پژوهشگران مربوط نمی‌شده یا برای آن‌ها واضح نبوده است، البته تا زمانی که «مکان» خود به عنوان یک ورودی در رایانش داخل نشده است. بنابراین، به تقریب، تمامی ابزارها و شیوه‌ها (الگوریتمی، تحلیلی، طراحی) که به منظور حل مسائل و انجام رایانش به درستی و با کارآمدی برای سیستم‌های سری و (در حد کمتر) سیستم‌های موازی توسعه داده شده‌اند، مکان رایانش را در نظر نگرفته‌اند.

چیزها در رایانش توزیع‌یافته و رایانش شبکه‌ای تفاوت دارند: «شبکه» (موجودیت‌های مستقل محاسباتی متعددی که با هم در تعامل‌اند) یک وسیله رایانشی [یا محاسباتی] است، درواقع شبکه، «مکان» محاسبات است؛ برای کارهایی همچون مسیریابی و پخش صوت و تصویر، که خود کاربردهایی از شبکه هستند شبکه به عنوان یک ورودی نیز تلقی می‌گردد. اولین نوع راه‌حلی که برای پنهان کردن این حقیقت به کار گرفته شد، جمع‌آوری همه اطلاعات موردنیاز در یک محل بود (بنابراین، «مکان» دیگر یک وسیله نیست و از روش‌های مرسوم می‌توان استفاده کرد)؛ این رویکرد به نسبت مرسوم و ابتدایی رویکرد متمرکز - به سرعت از چرخه خارج شد؛ چراکه مقیاس‌پذیری بسیار کمی داشت، بسیار ناکارآمد و به شدت خطرناک و ناامن بود. راهبردها، روش‌ها و ابزارهای محاسباتی جدیدی باید اختراع می‌شد، طوری که با پیروی از رویکردهای غیرمتمرکز، منجر به راه‌حل‌های محلی با کارآمدی بسیار بالا - نه تنها برای اعمال شبکه‌ای بلکه برای تمامی رایانش‌ها و کارها - شود. درواقع، اگرچه رویکرد متمرکز هرگز از لحاظ فنی یک راه‌حل ممکن برای حل مسائل در سیستم‌های رایانش توزیع‌یافته به حساب می‌آید. در این راستا حوزه رایانش توزیع‌یافته که اینجانب در آن کار می‌کنم، واژه «توزیع‌یافته» برگرفته شده، فقط به معنی «غیرمتمرکز» باشد. بیرون این هسته، تمایزی می‌بایست قائل شد، همان‌طور که در این کتاب صورت گرفته است.

ظهور ارتباطات همراه و بی‌سیم برای پژوهشگران این واقعیت را به تحریک کشیده که دنیای رایانش توزیع‌یافته خیلی وسیع‌تر از آن چیزی است که پیش‌ازاین تصور می‌شد. به‌ویژه، اطلاعات مکانی در بسیاری از محیط‌های رایانشی توزیع‌یافته همانند شبکه‌های حسگر متحرک، شبکه‌های مقاوم در برابر تأخیر، شبکه‌های موردی‌سیار و دسته ربات‌های مستقل متحرک نقش اساسی را بازی می‌کند. درواقع، برای شمار زیادی از این کاربردهای نو که با رایانش مکانی سروکار دارند، رویکردهای غیرمتمرکز، ابزارهای ذاتی برای حل این مسائل به‌صورت کارا و قابل‌اطمینان هستند. تا به امروز باوجود بدنه عظیم پیشینه تحقیقاتی برای این سیستم‌های نو و جدید، منابع خیلی کمی برای پژوهشگران در حوزه‌های مبانی، مدل‌ها و طراحی و فنون تحلیلی برای دنبال کردن رویکردهای غیرمتمرکز وجود دارد. کتاب حاضر، به‌روشنی این خلأ تحقیقاتی را با دقت، ظرافت و زیبایی پر می‌کند.

کتاب پیش‌رو مقدمه‌ای است جامع، اصولی و دقیق برای سیستم‌های رایانش مکانی غیرمتمرکز که چگونگی به‌کارگیری ایده‌های غیرمتمرکز را در زمینه رایانش مکانی نمایش می‌دهد. به‌سادگی بیان شده، دنبال کردن مطالب آن راحت بوده، همراه با توضیح‌ها و مثال‌های روشن و مفصل بوده و کتاب راهنمایی از ابزارها و روش‌ها را برای طراحی الگوریتم‌های مکانی غیرمتمرکز فراهم می‌آورد. این کتاب، با شروع از مثال‌هایی در مورد الگوریتم‌های کلیدی مکانی غیرمتمرکز، نحوه توسعه این الگوریتم‌ها و چگونگی کاربردشان برای ساختن الگوریتم‌های پیچیده‌تر و پیشرفته‌تر را نشان می‌دهد. این کتاب کمک شایان و بهنگامی است، چراکه افراد بیشتر و بیشتری از حوزه‌هایی مثل سیستم‌های مکانی نیاز پیدا خواهند کرد تا اصول اساسی رایانش توزیع‌یافته را درک کرده و به‌کاربندند. همچنین، این کتاب کمک بزرگی نیز برای پژوهشگران رایانش توزیع‌یافته بوده، دارای پتانسیلی به‌منظور پیشبرد پژوهش‌های اساسی است و به‌طور مشخص برای گشودن راه تحقیق در مسائل ویرای که از الگوریتم‌های مکانی ناشی می‌شوند، مفید است.

من مطمئن هستم که این کتاب برای خوانندگان عام، دید بهتری از این حوزه را فراهم خواهد آورد و برای پژوهش‌گران، نقطه شروع قابل‌اطمینانی برای اکتشافات بیشتر در زمینه رایانش مکانی غیرمتمرکز است. مفاهیم جدیدی لازم است به رایانش توزیع‌یافته اضافه شوند تا به‌گونه ویژه برای حل مسائل رایانش مکانی از آن استفاده کرد؛ ابزارهای جدیدی باید کشف و طراحی شوند؛ بینش‌ها و ادراک‌های جدیدی توسعه داده خواهد شد که من اطمینان دارم حوزه رایانش توزیع‌یافته را به‌طور کامل غنی خواهد کرد. همان‌طور که گفته‌ایم، *spatial is special* (اطلاعات مکانی، ویژه است)؛ پس از خواندن این کتاب، فهمیدم که او درست می‌گوید.

نیکولا سانتورو

دانشکده علوم کامپیوتر

استاد، کارلتون، اوتاوا، کانادا

۲۲ نوامبر ۲۰۱۱

پیشگفتار مترجمان	.....	أ
پیشگفتار مؤلف	.....	د
فهرست پروتکل‌ها	.....	ط
مقدمه	.....	ک
اثر هنری	.....	ن
بخش اول: مبانی رایانش مکانی غیرمتمرکز		
فصل ۱- هنگامی که رایانش در مکانی رخ می‌دهد	.....	۳
۱.۱ رایانش در مکانی	.....	۴
۲.۱ شبکه‌های حسگر مکانی	.....	۷
۳.۱ رایانش مکانی غیرمتمرکز	.....	۱۸
۴.۱ هوش مکانی محیطی	.....	۳۰
۵.۱ خلاصه فصل	.....	۳۸
فصل ۲- مبانی قراردادی		
۱.۲ مقدمه	.....	۴۱
۲.۲ مدل همسایگی مبنا	.....	۴۲
۳.۲ مدل گسترش‌یافته مکانی	.....	۴۳
۴.۲ مدل مکانی‌زمانی	.....	۴۵
۵.۲ دانش جزئی	.....	۵۱
۶.۲ ساختار همسایگی	.....	۵۵
۷.۲ خلاصه فصل	.....	۵۷
فصل ۳- مبانی الگوریتمی		
۱.۳ تعیین مشخصات الگوریتم	.....	۶۶
۲.۳ آنالیز الگوریتم	.....	۷۱
۳.۳ تکرار طراحی	.....	۷۳

۱۰۰	۴.۳ خلاصه فصل
-----	---------------

بخش ب: الگوریتم‌ها برای رایانش مکانی غیرمتمرکز

۱۰۵	فصل ۴- الگوریتم‌های همسایگی مبنا
-----	----------------------------------

۱۰۶	۱.۴ سیل باران
-----	---------------

۱۱۴	۲.۴ شایعه پراکنی و مسیریابی شایعه
-----	-----------------------------------

۱۲۳	۳.۴ ساختارهای درخت
-----	--------------------

۱۳۳	۴.۴ انتخاب رهبر
-----	-----------------

۱۳۸	۵.۴ مرزهای ساختارهای ناحیه
-----	----------------------------

۱۴۶	۶.۴ پروتکل فصل: روابط توپولوژیکی ناحیه
-----	--

۱۵۵	۷.۴ خلاصه فصل
-----	---------------

۱۵۹	فصل ۵- الگوریتم‌های زمان مبنا
-----	-------------------------------

۱۶۰	۱.۵ ساختارهای شبکه همپویان متغیر
-----	----------------------------------

۱۶۸	۲.۵ مسیریابی جغرافیایی
-----	------------------------

۱۸۰	۳.۵ مرزهای ناحیه
-----	------------------

۱۹۴	۴.۵ پروتکل فصل: توپولوژی اشیای مساحتی پیچیده
-----	--

۲۰۰	۵.۵ خلاصه فصل
-----	---------------

۲۰۵	فصل ۶- پایش تغییر مکانی در طول زمان
-----	-------------------------------------

۲۰۶	۱.۶ تغییر در طول زمان
-----	-----------------------

۲۱۲	۲.۶ پیشینه‌های محیط پویا
-----	--------------------------

۲۱۶	۳.۶ پیشینه‌های اشیای متحرک
-----	----------------------------

۲۲۵	۴.۶ رویدادنامه‌های نودهای متحرک
-----	---------------------------------

۲۳۱	۵.۶ رویدادنامه‌های محیط‌های پویا
-----	----------------------------------

۲۳۷	۶.۶ پروتکل فصل: تغییرهای توپولوژیکی بر ناحیه‌ها
-----	---

۲۴۷	۷.۶ خلاصه فصل
-----	---------------

بخش پ: شبیه‌سازی الگوریتم‌های مکانی غیرمتمرکز

فصل ۷- شبیه‌سازی الگوریتم‌های مکانی غیرمتمرکز مقیاس‌پذیر

۲۵۳	
۲۵۴	۱.۷ شبیه‌سازی با NetLogo.....
۲۶۴	۲.۷ داده‌های آزمایشی حاصل از شبیه‌سازی‌ها.....
۲۷۲	۳.۷ بررسی آزمایشی مقیاس‌پذیری.....
۲۹۴	۴.۷ خلاصه فصل.....

فصل ۸- شبیه‌سازی الگوریتم‌های مکانی غیرمتمرکز استوار

۲۹۸	۸ متوازن‌سازی کارایی و استواری.....
۳۱۰	۲.۸ عدم‌قطعی.....
۳۲۷	۳.۸ تاب‌آوری در برابر عیب.....
۳۳۱	۴.۸ خلاصه فصل.....

فصل ۹- موضوع‌ها و فناوری‌های دیگر

۳۳۶	۱.۹ پودمانگی.....
۳۳۹	۲.۹ شبکه‌های هم‌زمان.....
۳۴۴	۳.۹ رایانش الهام گرفته از زیست‌شناختی.....
۳۴۹	۴.۹ کاربران.....
۳۵۹	۵.۹ پس‌درآمد.....
۳۶۱	مراجع.....
۳۶۷	پیوست الف: مبانی ریاضیات گسسته.....
۳۷۷	پیوست ب: مبانی پایگاه داده رابطه‌ای و SQL.....
۳۸۳	فهرست راهنما.....
۳۹۵	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی.....
۴۱۱	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی.....