شرح پیچیدگی

#شرح_پیچیدگی
#ComplexityExplained

فهرست مطالب

۱) برهمکنش‌ها ۳

۲) پدیدارگی ۶

۳) دینامیک ۸

۴) خودسازماندهی ۱۰

۵) سازگاری ۱۲

۶) میان‌رشته‌ای ۱۴

۷) روش‌ها ۱۶

پیچیدگی برای همه

«در اتم کربن هیچ عشقی وجود ندارد، هیچ طوفانی در یک مولکول آب نیست، هیچ فروپاشی مالی در یک اسکناس دلار نیست.»

– پیتر دادز

علم پیچیدگی، یا علم سیستم‌های پیچیده، مطالعه می‌کند که چگونه مجموعه بزرگی از اجزا - که در مقیاس‌های کوچک با یکدیگر به صورت موضعی برهمکنش می‌کنند - می‌توانند به صورت خودبه‌خودی خودسازماندهی شوند تا رفتارها و ساختارهای جهانی نابدیهی در مقیاس‌های بزرگ‌تر - اغلب بدون دخالت عامل خارجی، مقامات مرکزی یا رهبران - نمایش دهند. تنها با داشتن آگاهی کامل از اجزا، ممکن است ویژگی‌های چنین مجموعه‌ای قابل درک یا پیش‌بینی نباشند. به چنین مجموعه‌ای، یک سیستم پیچیده می‌گویند که برای بررسی آن به چارچوب‌های ریاضی و روش‌شناسی‌های علمی جدید نیازمندیم.

در اینجا به برخی از چیزهایی که شما باید در مورد سیستم‌های پیچیده بدانید اشاره شده‌است.

برهمکنش‌ها

سیستم‌های پیچیده متشکل از اجزایی هستند که با هم و با محیط اطرافشان به روش‌های مختلف برهمکنش می‌کنند.

«هر موضوعی که علم زیست شناسی مطالعه می‌کند سیستمی از سیستم‌ها است.»

- فرانسیس جاکو

سیستم‌های پیچیده اغلب بر اساس تعداد اجزا زیادی که به شیوه‌های مختلف با یکدیگر و در صورت امکان با محیط برهمکنش می‌کنند شناخته می‌شوند. این اجزا، شبکه‌هایی از برهمکنش‌ها را تشکیل می‌دهند که گاهی برخی از اجزا، در بسیاری از برهمکنش‌ها دخیل هستند. برهمکنش‌ها می‌توانند اطلاعات جدیدی را تولید کنند که مطالعه اجزا به تنهایی یا پیش‌بینی کامل آینده آن‌ها را دشوار کنند. علاوه بر این، اجزای تشکیل دهنده یک سیستم می‌توانند خود سیستم‌های جدیدی باشند که منجر به سیستم‌هایی از سیستم‌های به‌هم‌وابسته شوند. بزرگترین چالش علم پیچیدگی نه تنها دیدن اجزا و ارتباطات آن‌ها است بلکه درک این مسئله است که چگونه این ارتباطات باعث پدید آمدن یک کل می‌شوند.

مثال‌ها:

- میلیاردها سلول عصبی در حال برهمکنش در مغز انسان
- کامپیوترهای در حال ارتباط در اینترنت
- انسان‌ها در روابط چندوجهی

مفاهیم مرتبط:

سیستم، جز تشکیل دهنده، برهمکنش‌ها، شبکه، ساختار، ناهمگنی، همبستگی، به‌هم پیوستگی، وابستگی متقابل، زیرسیستم‌ها، مرزها، محیط، سیستم‌های باز/بسته، سیستم‌های سیستم‌ها

مراجع:

ملانی میچل، سیری در نظریه پیچیدگی. ترجمه رضا امیر رحیمی، نشر نو.

Capra, Fritjof and Luisi, Pier Luigi. The Systems View of Life: A Unifying Vision. Cambridge University Press, 2016.

1 برهمکنش‌ها

پدیدارگی

ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده به عنوان یک کل، نسبت به ویژگی اجزای آن‌ها به صورت تک‌تک بسیار متفاوت و معمولاً غیرمنتظره هستند.

«شما احتیاج به چیزهای بیشتری ندارید تا چیزهای بیشتری بدست بیاورید. این معنی پدیدارگی است.»

- مری گل-مان

در سیستم‌های ساده، خصوصیات کل با جمع کردن یا تجمیع خصوصیات اجزای تشکیل دهنده آن، قابل فهم یا پیش‌بینی است. به بیان دیگر، خواص ماکروسکوپیک یک سیستم ساده را می‌توان از خواص میکروسکوپیک اجزا آن نتیجه گرفت. اما در سیستم‌های پیچیده، به دلیل پدیده‌ای به نام «پدیدارگی»، درک یا پیش‌بینی خواص کل از دانش اجزای آن ممکن نیست. این پدیده شامل سازوکارهای متنوعی است که باعث برهمکنش بین اجزای سیستم می‌شود تا اطلاعات جدید تولید کند و ساختارها و رفتارهای جمعی غیربدیهی در مقیاس‌های بزرگتری از خود نشان دهد.

این حقیقت معمولاً با اصطلاح مشهور «کل بیشتر از جمع اجزا است» خلاصه می‌شود.

مثال‌ها:

- مقدار بسیار زیادی از ملکول‌های هوا و بخار که یک گردباد را تشکیل می‌دهند
- تعداد زیادی سلول که یک جاندار زنده را شکل می‌دهند
- میلیاردها سلول عصبی در مغز که آگاهی و هوش را تولید می‌کنند

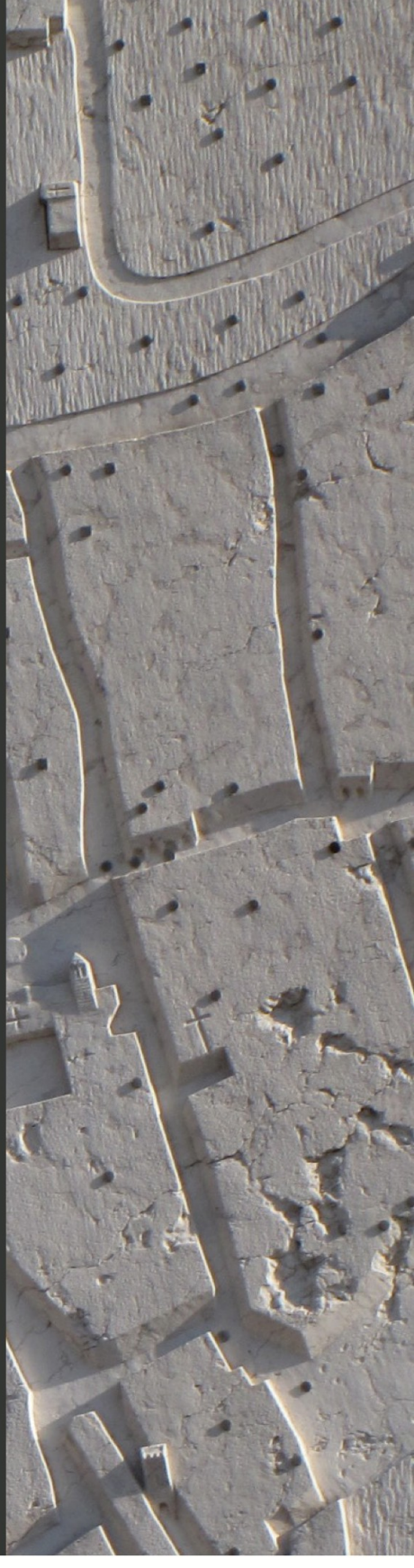
مفاهیم مرتبط:

پدیدارگی، مقیاس‌ها، غیرخطی بودن، پایین به بالا، توصیف، شگفت‌زدگی، اثرات غیرمستقیم، شهودی نبودن، گذار فاز، تقلیل‌ناپذیری، شکست تفکر خطی/آماری سنتی، «کل بیشتر از جمع اجزا است.»

مراجع:

Bar-Yam, Yaneer. Dynamics of Complex Systems. Addison-Wesley, 1997.

Ball, Philip. Critical Mass: How One Thing Leads to Another. Macmillan, 2004.



2 پدیدارگی

دینامیک

سیستم‌های پیچیده حالات کنونی خود را دائما تغییر می‌دهند. این تمایل به تغییر باعث بروز رفتارهای غیرقابل پیش‌بینی در دراز مدت می‌شود.

«آشوب وقتی است که آینده بسته به شرایط حال رقم می‌خورد اما حتی تقریبی هر چند نزدیک از حال، نمی‌تواند تقریبی از آینده را بیان کند.»

- ادوارد لورنتس

سیستم‌ها بر اساس تغییرات حالات آن‌ها در گذر زمان می‌توانند مطالعه شوند. یک حالت به کمک مجموعه‌ای از متغیرها که به بهترین شکل سیستم را مشخص می‌کنند توصیف می‌شود. هنگامی که سیستم از حالتی به حالت دیگر می‌رود، متغیرهای توصیف کننده آن نیز، اغلب در پاسخ به محیط، تغییر می‌کنند. این تغییر خطی نامیده می‌شود اگر رابطه آن با زمان، حالت کنونی سیستم یا تغییرات محیط به صورت مستقیم باشد، در غیر این صورت این تغییر را غیرخطی می‌گویند. سیستم‌های پیچیده معمولاً غیرخطی هستند که بسته به حالات و محیطشان با آهنگ‌های متفاوتی تغییر می‌کنند. این سیستم‌ها ممکن است هم حالت‌های پایداری داشته باشند که در صورت مختل شدن نیز در همان حالت‌ها بمانند و هم حالت‌های ناپایداری که با کوچکترین اختلالی از حالت خود خارج شوند.

در برخی موارد، تغییرات کوچک محیطی می‌توانند به‌طور کلی رفتار سیستم را تغییر دهند، مانند موارد دوشاخگی، گذار فاز یا سرریزگاه. برخی سیستم‌ها «آشوبناک» هستند و از خود «اثر پروانه‌ای» نمایش می‌دهند؛ به این معنا که به اختلال‌های کوچک به شدت حساس و در دراز مدت غیرقابل پیش‌بینی هستند. یک سیستم پیچیده می‌تواند به مسیر نیز وابسته باشد به طوری که حالت آینده آن نه تنها به حالت کنونی آن بلکه به مسیر آن در گذشته نیز وابسته باشد.

مثال‌ها:

- آب و هوا که همیشه به شکل‌های غیرقابل پیش‌بینی تغییر می‌کند
- نوسان مالی در بازار سهام

مفاهیم مرتبط:

دینامیک، رفتار، غیرخطی بودن، آشوب، غیر تعادلی، حساسیت، اثر پروانه‌ای، دوشاخگی، غیرقابل پیش بینی بودن دراز مدت، عدم قطعیت، وابستگی به مسیر/متن، نارگودیک بودن

مراجع:

Strogatz, Steven H. Nonlinear Dynamics and Chaos. CRC Press, 1994.Gleick, James.

Chaos: Making a New Science. Open Road Media, 2011.

3 دینامیک

خودساماندهی

سیستم‌های پیچیده می‌توانند به نحوی خودساماندهی کنند که الگوهایی غیربدیهی را بدون هر نقشهٔ ساختی به‌طور خودبخودی تولید کنند.

«به‌نظر می‌رسد که یک سیستم از مواد شیمیایی به نام مورفوژن‌ها که با یکدیگر واکنش می‌دهند و درون یک بافت منتشر می‌شوند، برای توصیف پدیدهٔ اصلی ریخت‌زایی کافی باشد.»

– آلن تورینگ

برهمکنش بین اجزای یک سیستم پیچیده ممکن است یک الگو یا رفتار جهانی را تولید کند. این اتفاق را معمولاً با عنوان خودساماندهی توصیف می‌کنند، به این معنی که هیچ کنترل‌کننده مرکزی یا خارجی وجود ندارد. «کنترل» یک سیستم خودسامانده تا اندازه‌ای بین اجزا آن توزیع شده و از طریق برهمکنش‌های آن‌ها کامل می‌شود. خودساماندهی می‌تواند منجر به ایجاد ساختارهای فیزیکی/کاربردی مانند الگوهای بلورین مواد و ریخت‌شناسی موجودات زنده یا رفتارهای پویا/اطلاعاتی مانند رفتارهای اجتماعی ماهی‌ها و پالس‌های الکتریکی که درون ماهیچه‌های حیوانات منتشر می‌شوند، گردند. هنگامی که سیستم در این فرایند بیشتر ساماندهی شود، با گذشت زمان الگوهای برهمکنشی جدیدی ممکن است پدیداره شوند که می‌توانند منجر به ایجاد پیچیدگی بیشتر شوند.

در برخی موارد، سیستم‌های پیچیده ممکن است به یک حالت «بحرانی» خودساماندهی شوند؛ حالتی که فقط ممکن است در یک تعادل ظریف بین بی‌نظمی و نظم وجود داشته باشد. معمولاً الگوهایی که در چنین حالت‌های بحرانی خودسامانده ایجاد می‌شوند از خود خاصیت‌های عجیب و غریب مختلفی مانند خودهمانندی و توزیع‌های قانون-توانی از ویژگی‌های الگو نشان می‌دهند.

مثال‌ها:

- تخمکی که تقسیم می‌شود و سرانجام به یک شکل پیچیده از موجود زنده خودساماندهی می‌کند
- شهرها که با جذب تعداد بیشتری مردم و سرمایه رشد می‌کنند
- جمعیت بزرگی از سارها که الگوهای پیچیده گروهی از خود نشان می‌دهند
- آب و هوا که همیشه به شکل‌های غیرقابل پیش‌بینی تغییر می‌کند

مفاهیم مرتبط:

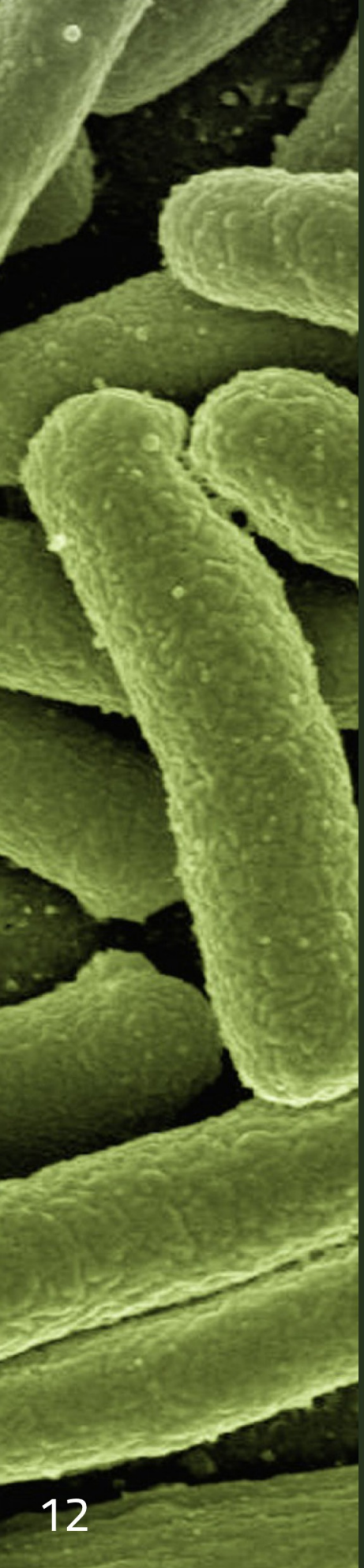
خودساماندهی، رفتار جمعی، گله‌ها، الگوها، فضا و زمان، نظم از بی نظمی، بحرانیت، خودهمانندی، شلیک، بحرانیت خودسامانده، قانون توانی، توزیع‌های دم‌کلفت، ریخت‌زایی، کنترل غیرمتمرکز/توزیع‌شده، خودساماندهی هدایت شده

مراجع:

Ball, Philip. The Self-Made Tapestry: Pattern Formation in Nature. Oxford University Press, 1999.

Camazine, Scott, et al. Self-Organization in Biological Systems. Princeton University Press, 2003.

4 خودساماندهی



سازگاری

سیستم‌های پیچیده ممکن است سازگار شوند و تحول یابند.

«چیزی در زیست‌شناسی عاقلانه به نظر نمی‌رسد مگر در پرتو نظریه تکامل.»
- تئودوسیوس دوبژانسکی

سیستم‌های پیچیده، به جای اینکه فقط به سمت یک حالت مانا حرکت کنند، معمولا فعال هستند و نسبت به محیط پاسخ می‌دهند. برای مثال به تفاوت بین یک توپ که به پایین یک تپه غلط می‌خورد و سرانجام در نقطه‌ای متوقف می‌شود و یک پرنده که هنگام پرواز نسبت به جریان‌های باد خود را وفق می‌دهد توجه کنید. این سازگاری می تواند در مقیاس های چندگانه اتفاق بیفتد: شناختی، در حین یادگیری و رشد روانی؛ اجتماعی، با به اشتراک گذاشتن اطلاعات به وسیله‌ی پیوندهای اجتماعی، یا حتی تکاملی؛ از طریق تنوع ژنتیکی و انتخاب طبیعی. در شرایطی که اجزا آسیب ببینند یا حذف شوند، این سیستم‌ها اغلب می‌توانند سازگار شوند و کارایی قبلی خود را بازیابی کنند و گاهی حتی از قبل هم بهتر شوند. این امر از این راه‌ها ممکن است؛ مقاومت: توانایی تحمل اختلال‌ها، تاب‌آوری: توانایی بازگشت به حالت اصلی بعد از یک اختلال بزرگ، یا سازگاری: توانایی تغییر خود سیستم برای حفظ کارایی و زنده ماندن. سیستم‌های پیچیده با این خصوصیات، به اسم سیستم‌های پیچیده‌ی سازگار شناخته می‌شوند.

مثال‌ها:

- سیستم ایمنی که به‌طور مداوم در حال یادگیری دربارهٔ پاتوژن‌ها است
- کلونی موریانه‌ها که تخریب ایجاد شده در تپهٔ خود را تعمیر می‌کند
- حیات زمینی که از رخدادهای بحرانی‌های بسیار زیادی طی میلیون‌ها سال تاریخ زنده مانده

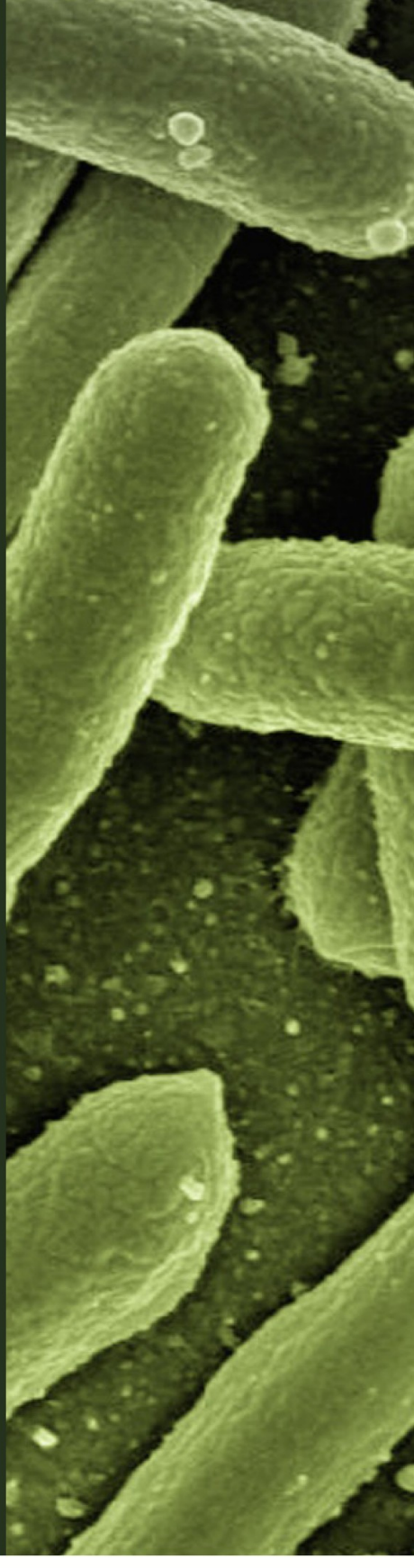
مفاهیم مرتبط:

یادگیری، سازگاری، تکامل، چشم‌اندازهای سازواری، مقاومت، تاب‌آوری، گوناگونی، سیستم‌های پیچیدهٔ سازگار، الگوریتم ژنتیک، زندگی مصنوعی، هوش مصنوعی، هوش جمعی، خلاقیت، بی‌انتهایی

مراجع:

هلند، جان هنری، سازگاری در سیستم‌های طبیعی و مصنوعی

Solé, Ricard, and Elena, Santiago F. Viruses as Complex Adaptive Systems. Princeton University Press, 2018.



5 سازگاری

میان رشته‌ای

علم پیچیدگی می‌تواند برای فهمیدن و مدیریت گسترهٔ گوناگونی از سیستم‌ها در زمینه‌های زیادی مورد استفاده قرار گیرد.

«با این وجود، به دنبال خصوصیات مشترک بین گونه‌های متنوع از سیستم‌های پیچیده بودن، ممکن است کاملاً بیهوده نباشد ... ایده‌های بازخورد و اطلاعات، چارچوب مرجعی برای مشاهده دامنهٔ گسترده‌ای از شرایط را فراهم می‌سازد.»

– هربرت سایمون

سیستم‌های پیچیده در همهٔ حوزه‌های علمی و حرفه‌ای ظاهر می‌شوند. از جمله فیزیک، زیست‌شناسی، بوم‌شناسی، علوم اجتماعی، اقتصاد، تجارت، مدیریت، سیاست، روانشناسی، انسان‌شناسی، پزشکی، مهندسی، فناوری اطلاعات و غیره. تعداد زیادی از فناوری‌های نوین، از شبکه‌های اجتماعی و فناوری‌های تلفن همراه تا وسایل نقلیه خودکار و زنجیره بلوکی، سیستم‌های پیچیده با خواص پدیداره‌ای را تولید می‌کنند که درک و پیش‌بینی آن‌ها برای بهزیستی اجتماعی بسیار حیاتی هستند. یک مفهوم کلیدی از علم پیچیدگی، عمومیت است، ایده‌ای که سیستم‌های زیادی در حوزه‌های متفاوت پدیده‌هایی با ویژگی‌های اساسی مشترک را نشان می‌دهند که می‌توانند با مدل‌های علمی یکسان توصیف شوند.

این مفاهیم یک چارچوب چندرشته‌ای ریاضیاتی/محاسباتی را تضمین می‌کنند. علم پیچیدگی می‌تواند یک رهیافت تحلیلی همه‌جانبه میان‌رشته‌ای که مکمل روش‌های سنتی علمی است و تمرکز بر موضوعات خاص در هر حوزه دارد را ارائه کند.

مثال‌ها:

- ویژگی‌های مشترک سیستم‌های متنوع پردازش اطلاعات (سیستم‌های عصبی، اینترنت، زیرساخت‌های ارتباطی)
- الگوهای عمومی یافت شده در فرایندهای پخش (همه‌گیری‌ها، مدهای زودگذر، آتش‌سوزی جنگل‌ها)

مفاهیم مرتبط:

عمومیت کاربردهای گوناگون، چند/میان رشته‌ای، اقتصاد، سیستم‌های اجتماعی، زیست‌بوم‌ها، پایداری، حل مسئله دنیای واقعی، سیستم‌های فرهنگی، وابستگی به تصمیم‌گیری‌های هر روزه زندگی

مراجع:

Thurner, Stefan, Hanel, Rudolf and Klimek, Peter. Introduction to the Theory of Complex Systems. Oxford University Press, 2018.

Page, Scott E. The Model Thinker. Hachette UK, 2018.

6 میان رشته‌ای

روش‌ها

روش‌های ریاضیاتی و محاسباتی ابزارهای قدرتمندی برای مطالعهٔ سیستم‌های پیچیده هستند.

«همهٔ مدل‌ها اشتباه هستند، اما برخی از آن‌ها سودمندند.»

-جورج باکس

سیستم‌های پیچیده شامل تعداد زیادی متغیر و پیکربندی هستند که با شهود یا محاسبه با قلم و کاغذ به سادگی نمی‌توانند کشف شوند. در عوض، ریاضیات پیشرفته و مدل‌سازی‌های محاسباتی، آنالیزها و شبیه‌سازی‌ها تقریباً همیشه برای دیدن این‌که این سیستم‌ها چگونه ساخته شده‌اند و چگونه با زمان تغییر می‌کنند مورد نیاز هستند. به کمک کامپیوترها، ما می‌توانیم بررسی کنیم که آیا مجموعه‌ای از قوانین فرضی می‌توانند منجر به یک رفتار مشاهده شده در طبیعت شوند و سپس از دانشمان در آن قوانین استفاده کنیم تا سناریوهای مختلف «چه می‌شود اگر» تولید کنیم. همچنین از کامپیوترها برای تحلیل اطلاعات عظیمی که از سیستم‌های پیچیده به‌دست می‌آیند استفاده می‌شود تا الگوهای پنهان که توسط چشم انسان قابل دیدن نیست را آشکار و قابل مشاهده کنند. این روش‌های محاسباتی می‌توانند منجر به اکتشاف‌هایی شوند که نهایتا یادگیری و قدردانی ما را از طبیعت عمیق‌تر می‌کنند.

مثال‌ها:

- مدل‌سازی عامل بنیان برای حرکت دسته‌ای پرنده‌ها
- مدل‌های ریاضی و کامپیوتری از مغز
- مدل‌های کامپیوتری پیشبینی آب و هوا
- مدل‌های کامپیوتری دینامیک عابران پیاده

مفاهیم مرتبط:

مدل‌سازی، شبیه‌سازی، تحلیل داده، روش‌شناسی، مدل‌های عامل‌بنیان، تحلیل شبکه، نظریه بازی، مصورسازی، قوانین، فهمیدن

مراجع:

Pagels, Heinz R. The Dreams of Reason: The Computer and the Rise of the Sciences of Complexity. Bantam Books, 1989.

Sayama, Hiroki. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. Open SUNY Textbooks, 2015.

7 روش‌ها

«من فکر می‌کنم قرن بعدی (۲۱۲۱م) قرن پیچیدگی خواهد بود.»

– استیون هاوکینگ

مشارکت کنندگان:

Manlio De Domenico*, Dirk Brockmann, Chico Camargo, Carlos Gershenson, Daniel Goldsmith, Sabine Jeschonnek, Lorren Kay, Stefano Nichele, José R. Nicolás, Thomas Schmickl, Massimo Stella, Josh Brandoff, Ángel José Martínez Salinas, Hiroki Sayama*

(* نویسندگان مربوط)

mdedomenico[at]fbk.eu
sayama[at]binghamton.edu

امتیاز اثر:

طراحی و ویرایش: Serafina Agnello

serafina.agnello[at]gmail.com

Serafina Agnello

https://complexityexplained.github.io/

تشکر ویژه از این افراد که محتوا و بازخورد را فراهم آوردند:

Hayford Adjavor, Alex Arenas, Yaneer Bar-Yam, Rogelio Basurto Flores, Michele Battle-Fisher, Anton Bernatskiy, Jacob D. Biamonte, Victor Bonilla, Dirk Brockmann, Victor Buendia, Seth Bullock, Simon Carrignon, Xubin Chai, Jon Darkow, Luca Dellanna, David Rushing Dewhurst, Peter Dodds, Alan Dorin, Peter Eerens, Christos Ellinad, Diego Espinosa, Ernesto Estrada, Nelson Fernández, Len Fisher, Erin Gallagher, Riccardo Gallotti, Pier Luigi Gentilli, Lasse Gerrits, Nigel Goldenfeld, Sergio Gómez, Héctor Gómez-Escobar, Alfredo González-Espinoza, Marcus Guest, J. W. Helkenberg, Stephan Herminghaus, Enrique Hernández-Zavaleta, Marco A. Javarone, Hang-Hyun Jo, Pedro Jordano,عباس کریمی ریزی, J. Kasmire, Erin Kenzie, Tamer Khraisha, Heetae Kim, Bob Klapetzky, Brennan Klein, Karen Kommerce, Roman Koziol, Roland Kupers, Erika Legara, Carl Lipo, Oliver Lopez-Corona, Yeu Wen Mak, Vivien Marmelat, Steve McCormack, Dan Mønster, Alfredo Morales, Yamir Moreno, Ronald Nicholson, Enzo Nicosia, Sibout Nooteboom, Dragan Okanovic, Charles R Paez, Julia Poncela C., Francisco Rodrigues, Jorge P. Rodríguez, Iza Romanowska, Pier Luigi Sacco, Joaquín Sanz, Samuel Scarpino, Alice Schwarze, ناصر شراره, Keith Malcolm Smith, Ricard Sole, Keith Sonnanburg, Cédric Sueur, Ali Sumner, Michael Szell,علی طارق, Adam Timlett, Ignacio Toledo, Leo Torres, Paul van der Cingel, Ben van Lier, Jeffrey Ventrella, Alessandro Vespignani, Joe Wasserman, Kristen Weiss, Daehan Won, Phil Wood, Nicky Zachariou, Mengsen Zhang, Arshi, Brewingsense, Complexity Space Consulting, Raoul, Systems Innovation, The NoDE Lab

ترجمه شده توسط:

عباس کریمی ریزی(*)، مینو مروتی، فرشته ربانی و محسن مهرانی

* Abbas K. Rizi: abbascarimi[@]gmail[.]com.

Serafina Agnello

Version 1.0 (13rd of May 2019)

ترجمه فارسی: ۱۱ آبان ۱۳۹۸