

Modelarea complexității prin abordări statistice

Sistemele complexe prezintă adesea comportamente emergente datorate interacțiunilor neliniare, iar mărimile relevante sunt descrise prin funcții de densitate de probabilitate (PDF). Accentul pus pe distribuțiile frecvente—precum distribuția normală, formele asemănătoare Gamma și legile puterii—și pe modelele asociate este esențial pentru progresul studiilor asupra complexității. Această teză explorează tehnici de modelare a sistemelor complexe în socio-economie și biologie, concentrându-se pe PDF-uri care influențează sau caracterizează proprietăți cheie ale modelelor.

În partea socio-economică, este introdusă o nouă măsură denumită „gintropy”, care combină indicele Gini cu entropia. Împreună cu generalizarea acesteia (f-gintropy) și cu o metrică de divergență bazată pe Kullback-Leibler, este aplicată la date privind veniturile pentru a surprinde diferențele de distribuție—în special cele cu caracteristici de lege a puterii—mai eficient decât metricele tradiționale. Un alt studiu leagă productivitatea științifică, impactul și indicele Hirsch, derivând limite din gintropy și validându-le cu date de citări care urmează distribuții Tsallis-Pareto, evidențiind inegalitatea rezultatelor cercetării. De asemenea, relaționăm gintropy cu indicele Kolkata, propus recent, și evaluăm capacitatea acestuia și a indicelui Gini de a cuantifica excelența în grupuri precum laureații Nobel și medaliații olimpici. Aceste rezultate arată că măsurile de inegalitate pot fi utilizate pentru a distinge un subgrup de indivizi cu realizări de vârf de restul populației.

Partea biologică introduce modelul Local Growth and Global Reset (LGGR), aplicat la dinamica dimensiunii arborilor și validat pe baza datelor privind diametrele măsurate de echipa noastră în păduri românești, pășuni împădurite și plantații din Ungaria. Prin includerea unor nuclee realiste de creștere și resetare (mortalitate și recrutare), modelul prezice PDF-uri și dezvăluie tipare ecologice, în care distribuțiile de tip Gamma apar proeminent. Un studiu ulterior abordează discrepanțele din distribuțiile lungimilor axonale la diferite niveluri de granularitate în datele de conectom cerebral structural: datele detaliate la nivel de neuron urmează regula distanței exponențiale (EDR), în timp ce agregările regionale tind către forme asemănătoare Gamma datorită agregării capetelor. Un model unidimensional surprinde acest efect de coarse-graining, iar limitările legate de dimensionalitate și curbura sunt explorate. Analiza cantitativă sugerează strategii de predicție a parametrilor de rată de decădere în conectome unde datele exhaustive la nivel de neuron nu sunt disponibile.

Per ansamblu, această teză aduce contribuții prin instrumente avansate pentru analiza sistemelor complexe, integrând metode statistice inovatoare cu aplicații reale în socio-economie și biologie, oferind un cadru pentru revelarea tiparelor ascunse și pentru îmbunătățirea modelelor predictive.