

## STRUKTURALNE PRZEPIŁYWY MIĘDZY DYNAMIKĄ KOLEKTYWNĄ A SZTUCZNĄ INTELIGENCJĄ

Jan Peszek

Na przełomie lipca i sierpnia 2022 roku zakwit glonów na Odrze doprowadził do katastrofy ekologicznej. Spowodował poważne uszkodzenia ekosystemu rzeki, problemy zdrowotne wśród lokalnej populacji oraz (nieuchronnie) lekkie wstrząsy w lokalnej polityce. Proste kolektywne działanie jednokomórkowych organizmów doprowadziło do ich agregacji i szybkiego rozmnażania, wywołując ogromne, złożone skutki w skali makro — to żywy przykład tego, co naukowo określa się jako zjawiska emergentne w *dynamice kolektywnej*.

Współczesna nauka coraz wyraźniej pokazuje, że bardzo różne systemy związane z dynamiką kolektywną — od stad ptaków i rojów owadów po sieci neuronowe i algorytmy sztucznej inteligencji — można opisywać przy użyciu wspólnego, ujednoczonego języka. Kluczową koncepcją jest pojęcie *przepływu* (lub *potoku*), reprezentującego ewolucję systemu w czasie. Matematyka przepływów pozwala uchwycić zarówno ruch poszczególnych cząstek czy agentów, jak i ewolucję całej zbiorowości.

W ostatnich latach szczególne znaczenie zyskały *przepływy Wassersteina* — przepływy w przestrzeni miar prawdopodobieństwa. Stanowią one potężne narzędzie do badania zjawisk zachodzących na wielu skalach, od mikroskopowych interakcji po procesy biologiczne, społeczne i obliczeniowe na dużej skali, z których każdy narzuca dodatkową strukturę geometryczną przepływu.

Celem projektu jest rozwinięcie i zastosowanie teorii takich przepływów w czterech głównych obszarach:

- **Dynamika z oddziaływaniami:** Zrozumienie, jak grupy agentów poruszają się pod wpływem wzajemnych sił. Kluczowym celem projektu jest uwzględnienie problematycznej osłabłości oddziaływań w geometrii przestrzeni, co może ułatwić opis powiązanych z nią zjawisk.
- **Heterogeniczne przepływy gradientowe:** Istotne w biologii i ekologii, gdzie różne populacje (lub gatunki) mogą wymieniać masę (czyli np. osobnicy migrujący między społecznościami). Celem jest dostosowanie najnowszych ram teoretycznych do modeli wielu gatunków wzajemnie oddziałujących agentów.
- **Architektura transformera:** Modele Chat GPT i inne duże modele językowe (*large language models*) można przedstawić jako *modele transformera* w dynamice kolektywnej powiązane z dość złożonymi równaniami różniczkowymi. Celem jest uchwycenie makroskopowej ewolucji tych modeli przy użyciu prostszych, niskowymiarowych opisów.
- **Dopasowywanie heterogenicznych danych za pomocą przepływów:** Dopasowywanie przepływów, w tym interpolacja stochastyczna, odgrywa istotną rolę w generowaniu obrazów w AI. W wielu zastosowaniach pożądane jest kontrolowanie poszczególnych komponentów obrazu (np. oczu, dłoni) za pomocą ich własnych docelowych rozkładów, aby zredukować artefakty, takie jak dodatkowe palce czy przesunięte elementy ciała. Celem projektu jest dopasowanie przepływów takich heterogenicznych danych przy użyciu *fibred Wasserstein flows*.

Łącząc te perspektywy, projekt pokazuje, że pojedyncza struktura matematyczna — przepływ — może służyć jako *wspólny język* do opisu zarówno systemów naturalnych, jak i sztucznych, pod warunkiem odpowiedniego uwzględnienia jej struktury. Takie podejście otwiera drogę nie tylko do głębszego zrozumienia zjawisk zbiorowych w naturze, ale także do nowych narzędzi w sztucznej inteligencji.