

**dr inż.****Krzysztof Argasiński**

Zajmuje się modelowaniem matematycznym procesów ewolucyjnych, dynamiką populacji, demografią i teorią gier ewolucyjnych.

Jest absolwentem Wydziału Matematyki i Nauk Informatycznych Politechniki Warszawskiej, doktoryzował się na Wydziale Biologii i Nauk o Ziemi UJ.

Pracował na Uniwersytecie Sussex, w Instytucie Matematycznym PAN. Obecnie realizuje projekt badawczy na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego.

k.argasinski@uw.edu.pl

BIĆ SIĘ ALBO NIE BIĆ

Procesy ewolucyjne kształtujące wzorce zachowań zwierząt i ludzi mogą być opisywane przy użyciu teorii gier, matematycznego podejścia stworzonego na potrzeby ekonomii.

Krzysztof Argasiński

Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki
Uniwersytet Warszawski

z badań biologicznych. Co więcej, jedna z najbardziej przełomowych teorii współczesnej nauki, czyli teoria chaosu, obok modeli zjawisk pogodowych zawdzięcza swoje istnienie również prostym modelom dynamiki populacji przedstawionym przez Roberta Maya.

Teoria ewolucji Darwina jest jedną z najważniejszych teorii współczesnej nauki. Wywarła ona wszechobecny wpływ na inne, odległe dyscypliny, takie jak nauki społeczne, a nawet filozofia. Współczesne nauki przyrodnicze opierają się na matematyce, rodzi się zatem pytanie o relacje łączące biologię ewolucyjną z królową nauk. Prawdopodobnie pierwszym historycznym przykładem modelu matematycznego procesów ewolucyjnych był model ewolucji proporcji płci przedstawiony przez niemieckiego uczonego Carla Düsinga pod koniec XIX wieku, stosunkowo niedługo po opublikowaniu przełomowego dzieła Karola Darwina. Później, w latach 20. XX wieku, pojawiła się matematyczna genetyka populacyjna sformułowana przez Ronalda A. Fishera, Sewalla Wrighta i Johna Haldane'a, którzy są uznawani za ojców tzw. syntezy neodarwinowskiej. Wiele koncepcji teoretycznych, takich jak teoria systemów, stworzona przez austriackiego biologa Ludwiga von Bertalanffyego, wyrosło



VLADIMIR TURKENICH/SHUTTERSTOCK.COM



VLADIMIR TURKENICH/SHUTTERSTOCK.COM

Strategie jastrzębia i gołębia oznaczają wzorce zachowań polegające na eskalacji konfliktu prowadzącego do obrażeń lub nawet śmierci (czyli kosztów w grze, w której zyskiem jest sukces reprodukcyjny), lub ucieczki

Zjawiska ewolucyjne stanowią też inspirację dla informatyków pracujących nad algorytmami optymalizacji (genetycznymi i ewolucyjnymi) czy algorytmami uczenia. Sama biologia ewolucyjna również czerpie inspirację z nauk ścisłych i chętnie sięga po narzędzia matematyczne czy symulacje komputerowe używane w innych dyscyplinach nauki, takich jak fizyka czy nawet ekonomia. I tu dochodzimy do głównego tematu. W biologii ewolucyjnej istotnym elementem wyjaśniania zjawisk obserwowanych w przyrodzie jest rachunek zysków i strat spowodowanych przez daną cechę czy zachowanie. Dotyczy on zarówno takich cech jak rozmiar ciała, przeznaczenie zdobytej energii na rozród czy np. odpowiedź immunologiczną, jak i wzorców zachowań godowych aż po wyjaśnianie powstania zachowań altruistycznych w przyrodzie. Wiele sytuacji obserwowanych w naturze jawi się jako paradoksalne. Nie jest łatwo wyjaśnić, dlaczego drapieżniki są mniej agresywne wobec siebie niż gryzonie i dlaczego u większości gatunków obserwujemy równą proporcję samców do samic (jak w pionierskim modelu Düsinga). W sytuacji, w której werbalne dywagacje nie prowadzą do żadnych konkluzji, należy sięgnąć po matematykę.

Strategia

Jednym z głównych narzędzi służących rozwiązywaniu tego typu problemów jest teoria gier ewolucyjnych. Jest to dziedzina stworzona przez Johna Maynarda Smitha, brytyjskiego biologa ewolucyjnego i byłego inżyniera lotniczego. Powstała ona dzięki zastosowaniu

metod zapożyczonych z ekonomii, stworzonych przez jednego z najwybitniejszych matematyków w historii, Johna von Neumanna, i niemieckiego ekonomistę Oskara Morgensterna (i znacząco rozwiniętych przez Johna Nasha, bohatera filmu pt. *Piękny umysł*). Rodzi się więc pytanie: czym jest gra z punktu widzenia matematyki? Odpowiedź jest prosta: gra to zbiór strategii (czyli wzorców zachowań) oraz funkcje przypisujące jakieś abstrakcyjne wypłaty jej uczestnikom w zależności od używanego działania. Żeby zastosować ten schemat teoretyczny do problemów biologicznych, musimy założyć, że te strategie to po prostu wzorce zachowań organizmów lub inne cechy wpływające na wyniki ich interakcji z innymi organizmami, a wartości wypłat są wyrażone jako sukces reprodukcyjny poszczególnych graczy.

Wiele sytuacji obserwowanych w naturze jawi się jako paradoksalne. Nie jest łatwo wyjaśnić, dlaczego drapieżniki są mniej agresywne wobec siebie niż gryzonie.

Za moment powstania teorii gier ewolucyjnych uważa się opublikowanie w 1973 roku przez Johna Maynarda Smitha wraz z George'em Price'em artykułu *The Logic of Animal Conflict* w prestiżowym czasopiśmie „Nature”. Artykuł był poświęcony wyjaśnieniu paradoksalnego zjawiska rytualizacji konfliktów wśród dobrze uzbrojonych, drapieżnych zwierząt. Model ten, obecnie znany jako gra jastrzęb-gołąb (*hawk-dove game*), pokazuje, że w sytuacji, kiedy agresja jest kosztowna (czyli zwiększona śmiertelność prowadzi do znaczącego spadku sukcesu reprodukcyjnego), proporcja agresywnych osobników (określanych

Dwa walczące węże to przykład tzw. zrytualizowanego konfliktu, w którym konkurenci nie stosują prawdziwej przemocy, tylko próbują się nawzajem przepłoszyć. Pytanie o wyjaśnienie tego zjawiska przyczyniło się do powstania teorii gier ewolucyjnych

metaforycznie jako „jastrzębie”) spada do pewnego stabilnego poziomu. Okazuje się jednak, że agresywne osobniki nie znikają całkowicie. Model pokazuje więc, że w sprzyjających warunkach agresywne osobniki same skutecznie usuwają się z populacji.

Co bardziej się opłaca

Podobne modele tworzy się do wyjaśniania innych, sprawiających wrażenie paradoksalnych zjawisk obserwowanych w naturze. Są to np. ewolucja zachowań kooperacyjnych, do której używa się modeli bazujących na tzw. dylemacie więźnia. Jest to model powstały w czasach zimnej wojny, opisujący konflikt decyzyjny dotyczący ewentualnej wojny nuklearnej. W tej grze dwóch więźniów stoi przed dylematem: zdradzić kolegę i uzyskać złagodzenie kary czy milczeć. Jeśli obaj gracze będą milczeć, to kara zostanie rozłożona po równo, ale jeśli jeden zdradzi, to drugi zostanie obciążony większą winą i skazany na dużo większy wyrok. W pojedynczym konflikcie tego typu, milczenie jest kompletnie nieopłacalne. Jednak kiedy sytuacja się powtarza, okazuje się, że wybór nie jest taki prosty i może wygrać tzw. strategia „wet za wet” (czyli jak Kuba Bogu, tak Bóg Kubie). Dalsze badania pokazały, że to, czy kooperacja się rozwinie, zależy od struktury populacji, która determinuje kontakt osobników między sobą. W strukturach, w których możliwe jest powstawanie homogenicznych kooperujących podgrup, zachowania kooperacyjne mogą się rozwijać. Jest to problem bardzo złożony i w tym kierunku jest prowadzonych wiele badań.

Teoria gier ewolucyjnych jest dość młoda jak na teorię naukową i ciągle jest w fazie gwałtownego rozwoju. Jednym z jej problemów jest interpretacja pojęć zaczerpniętych z ekonomii w kontekście procesów populacyjnych, co jest związane z definicją darwinowskiego dostosowania (tzw. *fitness*). Najnowsze badania skupiają się na zwiększeniu realizmu modeli używanych w biologii i zrozumieniu relacji między procesami selekcji naturalnej, czynnikami ekologicznymi i demograficznymi. Tworzy się np. metody wyprowadzania funkcji wypłat z modeli demograficznych biorących pod uwagę również cykl życiowy osobników. Wymaga to zastosowania coraz bardziej wyrafinowanych metod matematycznych, takich jak równania różniczkowe z opóźnieniem czy skomplikowane układy równań różniczkowych zwyczajnych i cząstkowych. W każdym razie sama dyscyplina wchodzi w okres intensywnego rozwoju.

Trzeba dodać, że powstałe matematyczne techniki i metodologia budowania modeli mogą być wykorzystane w innych dziedzinach nauki i pomóc np. w tworzeniu bardziej precyzyjnych modeli wzrostu nowotworów (do czego zaczęto używać metod teorii gier ewolucyjnych). Jak pokazały przełomowe prace Joela



BINU NARF/SHUTTERSTOCK.COM

Browna, między różnymi typami komórek nowotworowych istnieją konflikty interesów. Stwarza to szansę na wykorzystanie ich do zwiększenia skuteczności terapii. Obecnie modele matematyczne są już używane w praktyce klinicznej i służą do optymalizacji strategii podawania leków. Pozwoliło to na znaczące zwiększenie skuteczności terapii. Metody teorii gier ewolucyjnych zaczęto również stosować do modelowania procesów społecznych i ekonomicznych, takich jak ewolucja norm społecznych, np. współpraca na rzecz wspólnego dobra publicznego. W ten sposób biologia spłaciłaby dług ekonomii, z której zapożyczyła teorię gier. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

Poleszczuk J., *Ewolucyjna teoria interakcji społecznych*, 2004.

Binmore K., *Teoria gier. Krótkie wprowadzenie*, 2017.