

# Pierre-Yves Oudeyer

---

## Samoorganizacja w ewolucji mowy

---

Teksty Drugie : teoria literatury, krytyka, interpretacja nr 1/2 (127-128),  
107-133

---

2011

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej [bazhum.muzhp.pl](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

# Prezentacje

## **Pierre-Yves OUDEYER**

### Samoorganizacja w ewolucji mowy<sup>1</sup>

Systemy fonacji, a więc fizyczne nośniki języka, odznaczają się złożonością form i właściwościami strukturalnymi. Są one kombinatoryczne, oparte na systematycznym powtarzaniu tych samych fonemów, zaś zbiór repertuarów fonemów języków świata odznacza się tyleż wyraźnymi regularnościami statystycznymi o charakterze uniwersalnym, co ogromną różnorodnością. Ponadto są to kody utrwalone kulturowo, ważne w obrębie każdej wspólnoty mówiących. Jak jest źródło form mowy? Jakie są mechanizmy, które w trakcie filogenezy i ewolucji kulturowej pozwoliły tym formom się rozwijać? Jak wspólny kod mowy może się kształtować we wspólnocie jednostek? W tekście tym interesuje mnie to, w jaki sposób zjawiska samoorganizacji i ich interakcje z doбором naturalnym mogą pomóc w wyjaśnieniu tych trzech problemów.

Występująca w wielu złożonych systemach fizycznych tendencja do spontanicznego generowania nowych i zorganizowanych form, takich jak kryształy lodu czy spirale galaktyczne, jest obecna zarówno w świecie nieorganicznym, jak i w świecie żywym. Wyjaśnienie pochodzenia form życia nie może zatem opierać się wyłącznie na zasadzie doboru naturalnego, musi on zostać dopełniony zrozumieniem mechanizmów generowania nowych form, a w tych mechanizmach samoorganizacja zajmuje miejsce centralne. Odnosi się to do społecznych i kulturo-

---

<sup>1</sup> Zamieszczony tekst pochodzi z tomu zbiorowego *Parole et Musique. Aux origines du dialogue humain*, red. S. Dehaene, C. Petit, Collège de France–Odile Jacob, Paris 2009, s. 84-112.

## Prezentacje

wych form życia, zwłaszcza zaś do form mowy i języka. Aby zrozumieć ich genezę, zacznę od określenia w sposób ogólny relacji pomiędzy samoorganizacją, doborem naturalnym i neodarwinizmem. Relacje te odniosę następnie do trzech sformułowanych wyżej kwestii. Wyjaśnię wtedy, dlaczego używanie symulacji i modeli informatycznych ma zasadnicze znaczenie dla postępu teorii, które wiążą się ze wskazanymi problemami. Podam także przykład eksperymentalnego modelu informatycznego, który pokazuje, że pewne proste mechanizmy sprzężenia sensoryczno-motorycznego pozwalają generować kombinatoryczne systemy mowy, charakteryzujące się dwoistością uniwersalia/zróżnicowanie i określające kulturową wspólnotę. Zakończę na scenariuszach ewolucyjnych, które ów informatyczny eksperyment uzupełnia lub powtarza.

## Samoorganizacja i ewolucja form żywych

### Fizyka – tygiel form samozorganizowanych

Natura, zwłaszcza jeśli chodzi o jej część nieorganiczną, tworzy formy i motywy fascynujące swoją organizacją. Zarys gór jest taki sam, kiedy ogląda się skałę, szczyt czy cały łańcuch. Wydmny układają się często w długie, równoległe pasma. W określonej temperaturze woda krystalizuje się w symetryczne, koronkowe płatki. Kiedy płynię w rzekach i spada kaskadami, pojawiają się wiry w kształcie trąbek, a pęcherzyki układają się w struktury polihedralne. Błyskawice rysują na niebie rozgałęzienia podobne do roślinnych. Naprzemienne mróz i odwilż pozostawiają na kamienistych glebach tundry poligonalne odciski. Wielość tych kształtów rywalizuje pod względem złożoności z wieloma artefaktami ludzkimi, jak to unaoczniła ilustracja numer 1. A nic i nikt ich przecież nie zaprojektował i nie stworzył. Nawet nie dobór naturalny – ślepy zegarmistrz Dawkinsa<sup>2</sup>. Jakie jest więc ich pochodzenie?

W rzeczywistości wszystkie te zorganizowane struktury mają pewien punkt wspólny: są makroskopowym rezultatem lokalnych interakcji pomiędzy licznymi składowymi systemami, w którym nabierają kształtu. Globalne właściwości ich organizacji nie występują na poziomie lokalnym. Zarówno forma cząsteczki wody, jak i jej jednostkowe właściwości fizyczno-chemiczne nie mają nic wspólnego z właściwościami kryształów lodu, wirów czy też polihedrów pęcherzyków. Poligonalne odciski z tundry nie odpowiadają formie kamieni, z których są skomponowane, a ich organizacja przestrzenna jest całkiem różna od temporalnej organizacji mrozu i odwilży. To jest znak rozpoznawczy samoorganizacji. Zjawiska samoorganizacji w naturze dotyczą bardzo zróżnicowanych systemów fizycznych, ale niektóre typowe właściwości można zidentyfikować. Często pojawiają się nieciągłość, załamane symetrii i „atraktory”. Jeśli podgrzewamy od spodu cienką warstwę oliwy rozlaną na płaskiej powierzchni, wówczas prądy konwekcyjne nabierające szczególnych kształtów geometrycznych (linie lub kształty poligonalne) samoorgani-

---

<sup>2</sup> R. Dawkins *Ślepy zegarmistrz, czyli jak ewolucja dowodzi, że świat nie został zaplanowany* (1986), przekł. i wstęp A. Hoffman, PIW, Warszawa 1994.

zują się, a kiedy przekroczony zostaje pewien próg temperatury, gwałtownie się zmieniają [ilustracja 2]. Pomiędzy tymi progami, przeciwnie, kształty, nawet jeśli się je narusza, pozostają na ogół dosyć stabilne, tworząc atraktory. Inną właściwością wielu systemów samozorganizowanych jest historyczność, często powiązana z wrażliwością na inicjalne warunki systemów chaotycznych: atraktor, któremu system zostaje poddany i który ogranicza formy przez ten złożony system wytworzone, może być bardzo różny w zależności od drobnych zmian w warunkach początkowych. Na przykład – magnetyczne właściwości żelaza. Każdy z atomów żelaznej płytki działa jak pewien rodzaj magnesu, ale w wielu możliwych kierunkach, toteż w wysokiej temperaturze efekt jest zupełnie przypadkowy. Kiedy temperatura spada poniżej pewnego progu, zachodzi zjawisko samoorganizacji: wszystkie atomy przyjmują spontanicznie ten sam kierunek magnetyczny. Jednak ta wspólna orientacja jest początkowo niemal nieprzewidywalna i zgoła niewielkie przypadkowe wariacje inicjalnego ukierunkowania kilku atomów mogą sprawić, że płytka zostanie namagnetyzowana w całkiem odmiennym kierunku. Wariacje warunków początkowych są najczęściej powiązane z przypadkowymi zdarzeniami, które wpływały na metalową płytkę. Właśnie dlatego jej końcowy stan zależy w większym stopniu od jej historii niż od wewnętrznych właściwości fizycznych – stąd termin historyczność.

Pojęcie samoorganizacji systemów złożonych stanowi o istocie paradygmatycznej zmiany, jakiej dokonały nauki o złożoności w XX wieku<sup>3</sup>. Od czasów Newtona dobra nauka miała być redukcjonistyczna i polegać na badaniu systemów naturalnych poprzez wyodrębnianie w nich prostszych podsystemów. Aby zrozumieć, jak funkcjonuje ludzkie ciało, należało z jednej strony zbadać serce, z drugiej system nerwowy, a jeszcze z innej na przykład system limbiczny. Nie poprzestawano na tym: system nerwowy też musiał być podzielony na badanie kory mózgowej, wzgórza czy obwodowego unerwienia motorycznego. Ta metoda w oczywisty sposób pozwoliła na zdobycie ogromnej wiedzy. Jednak głosiciele złożoności zaciekle ją atakowali. Ich *credo* brzmiało: „Całość jest czymś więcej niż sumą części”.

### Wpływ samoorganizacji na pochodzenie form żywych

Systemy złożone, tzn. systemy składające się z wielu współdziałających podsystemów, występują w naturze często i mają bardzo silną tendencję do samoorganizowania się. Wcześniejsze przykłady celowo zostały dobrane spośród systemów nieorganicznych, aby wykazać, że właściwość samoorganizacji może być cechą systemów, których mechanizmy nie mają nic wspólnego z doбором naturalnym. Jed-

<sup>3</sup> W.R. Ashby *An introduction to cybernetics*, Chapman and Hall, London 1956; G. Nicolis, I. Prigogine *Self-organization in non-equilibrium systems. From dissipative structures to order through fluctuations*, Wiley, New York 1977; S. Kauffman *At home in the universe. The search for laws of self-organization and complexity*, Oxford University Press, Oxford 1996; P. Ball *The self-made tapestry. Pattern formation in nature*, Oxford University Press, Oxford 2001.

## Prezentacje

nak samoorganizacja odnosi się w ten sam sposób do systemów występujących w przyrodzie żywej. Jest to zresztą pojęcie szeroko stosowane w wielu działach biologii, kluczowe zwłaszcza w teoriach, które objaśniają zdolności społeczeństw owadów do konstruowania gniazd lub uli, do grupowego polowania czy poszukiwania w sposób zdecentralizowany i skuteczny źródeł pożywienia w otoczeniu<sup>4</sup>. W biologii rozwojowej służy również do wyjaśnienia powstawania kolorowych wzorów na skórze takich zwierząt, jak motyle, zebry, jaguary czy biedronki<sup>5</sup>.

Wydaje się więc możliwe, że w systemach biologicznych właśnie za sprawą samoorganizacji istnieją mechanizmy tworzenia form i wzorów działające inaczej niż dobór naturalny. Dobór naturalny oraz kojarzone z nim wyjaśnienia funkcjonalistyczne to w biologii podstawa większości uzasadnień, kiedy chodzi o wyjaśnianie obecności jakiejś struktury, formy czy wzoru w organizmie. Jaki jest więc wzajemny związek między teorią doboru naturalnego i samoorganizacją?

Niektórzy badacze sądzą, że samoorganizacja zakwestionowała główną rolę doboru naturalnego w wyjaśnianiu ewolucji organizmów żywych. Waldrop rozwija to tak:

Złożone systemy dynamiczne mogą czasami przechodzić samoistnie od stanu nieporządku do stanu porządku. Czy kryje się w tym siła motoryczna ewolucji? Czy brakowało nam czegoś w ujęciu ewolucji – jakiejś kluczowej zasady, która kontrolowałaby rozwój życia w sposób odmienny niż dobór naturalny, zmiany genetyczne i wszystkie inne mechanizmy przywoływane przez całe lata przez biologów? Tak! Tym brakującym elementem jest żywiołowa samoorganizacja: tendencja, jaką przejawiają złożone systemy dynamiczne, do odnajdowania swoich stanów uporządkowanych bez potrzeby żadnego nacisku ze strony doboru.<sup>6</sup>

Jednak nie jest to stanowisko przyjęte w tym artykule. Tutaj nie chodzi bowiem o rozumienie samoorganizacji jako pojęcia, które minimalizuje rolę doboru naturalnego, przedstawiając konkurencyjne mechanizmy tworzenia form, lecz o jej ujęcie z jednej strony jako czegoś sytuującego się na innym poziomie wyjaśniania, z drugiej zaś – jako kategorii dotyczącej tych mechanizmów, które zwielokrotniają siłę doboru naturalnego. W wyjaśnianiu ewolucji form życia mechanizmy mające właściwość samoorganizacji można w całości włączyć w mechanizm doboru naturalnego.

### Klasyczne podejście neodarwinistyczne

Aby się w nim rozeznąć, trzeba najpierw przypomnieć, na czym polega mechanizm doboru naturalnego w ujęciu neodarwinistycznym. Charakteryzuje on

---

<sup>4</sup> S. Camazine, J.-L. Deneubourg, N.R. Franks, J. Sneyd, G. Theraulaz, É. Bonabeau *Self-organization in biological systems*, Princeton University Press, Princeton 2002.

<sup>5</sup> P. Ball *The self-made tapestry*.

<sup>6</sup> M. Waldrop *Spontaneous order, evolution, and life*, „Science” 1990 no 247, s. 1543-1545.

system złożony z jednostek, przy czym każda posiada szczególne cechy, formy lub struktury. Jednostki tego systemu są zdolne do replikacji. Replikacja musi niekiedy rodzić jednostki, które nie są dokładnymi kopiami swoich przodków, bo różnią się drobnymi szczegółami. Te zmiany są źródłem zróżnicowania populacji. Każda jednostka ma wreszcie większą lub mniejszą zdolność do replikacji w zależności od swojej struktury i otaczającego ją środowiska. Różnicująca replikacja jednostek umożliwia „dobór” tych jednostek, które lepiej nadają się do replikacji. Kombinacja procesu zmian i procesu doboru sprawia, że w ciągu pokoleń struktury czy cechy, które pomagają jednostkom w reprodukcji, są utrwalane i ulepszone.

Decydującym momentem, o którym teoria doboru naturalnego nie chce się wypowiadać, jest sam sposób, w jaki zmienność powstaje, czy bardziej ogólnie: sposób, w jaki generowane są jednostki wraz ze swoimi formami, cechami i strukturami. Jeśli chodzi o ewolucję form, niektóre rozumowania neodarwinistyczne uznają mechanizmy ich zmienności za wtórne w stosunku do ich zalet reprodukcyjnych. Takie podporządkowanie *implicite* zakłada, że relacja pomiędzy poziomem genów, uznawanym za główną przestrzeń, w której poprzez mutacje i inne przekształcenia dokonują się zmiany, a poziomem fenotypu, uznawanego za izomorficzny obraz przestrzeni genów, jest prosta i liniowa. Z tego punktu widzenia wypróbowywanie przestrzeni form (które wraz ze środowiskiem określają stopień skuteczności replikacji genów) może być prostym odpowiednikiem sposobu, w jaki dokonuje się przemieszczenia w przestrzeni genomów. Mechanizmy mutacji, które umożliwiają te przemieszczenia, mają niewielką skalę (większość mutacji dotyczy jedynie małej części genomów w dokonującej się replikacji), a zatem aleatoryczne wariacje genów pozwalają badać w ten sam sposób całą przestrzeń genomów. Oznacza to, przy założeniu, że przestrzeń genotypowa i fenotypowa mają tę samą strukturę, iż przestrzeń form jest wypróbowywana w sposób *quasi*-ciągły poprzez kolejne drobne modyfikacje form zastanych. Na szczęście nie dotyczy to pojawienia się złożonych form życia. Jeśli bowiem mechanizm drobnych wariacji następujących po sobie form okazał się skuteczny w ustalaniu się struktur organizmów, to czyni on badanie tych form czymś równie złożonym, jak badanie organizmów ludzkich, czymś równoznacznym z szukaniem igły w stogu siana, genomy są bowiem zbyt duże<sup>7</sup>.

Samoorganizacja ogranicza przestrzeń form do sprawdzenia:  
nie wszystkie formy dają się równie łatwo wyłonić

W tym właśnie miejscu pojęcie samoorganizacji przychodzi z pomocą mechanizmowi naiwnego przeszukiwania przestrzeni form w ramach teorii neodarwinistycznej. Relacja pomiędzy genami i formami organizmów charakteryzuje się zło-

---

<sup>7</sup> A.D. Keefe, J.W. Szostak *Functional proteins from a random sequence library*, „Nature” 2001 no 410, s. 715-718.

## Prezentacje

zonością i silną nieliniowością, co ujawnia się w czasie rozwoju ontogenetycznego i epigenetycznego każdego organizmu. Organizmy konstruują się, zaczynając od komórki macierzystej, która zawiera genom i może być ujmowana jako system dynamiczny sparametryzowany przez ten genom i zależny od zakłóceń wywołanych przez otoczenie. Stanowi on system samozorganizowany, posiadający właściwości tego samego typu, co systemy przedstawione wcześniej. Genom jest zbiorem parametrów analogicznych do temperatur płynów w systemach Bénarda, zaś otoczenie można uznać za analog szumu przy magnetyzowaniu żelaza (jest to jednak szum w wysokim stopniu ustrukturyzowany i strukturujący!). Rozwój organizmu, począwszy od komórki macierzystej, i samoorganizacja systemów fizycznych mają cały szereg wspólnych właściwości: formy, struktury i wzory pojawiają się na poziomie globalnym i są jakościowo odmienne od tych, które określają funkcjonowanie lokalne, czyli tych, którymi charakteryzuje się struktura komórki macierzystej i jej genom. Układ sześciokątny, który może pojawić się w wyniku zwykłej różnicy temperatur w jednorodnym płynie, daje wyobrażenie o sposobie, w jaki prosty ciąg nukleotydów, otoczony przez system molekularny, który przekształca je automatycznie w proteiny, może wytworzyć organizm dwunożny posiadający parę oczu, uszu i niezwykle złożony mózg.

Podobnie jak systemy Bénarda czy płytki ferromagnetyczne, określone przez genomy systemy dynamiczne i zawierające te genomy komórki charakteryzuje pewien układ atraktorów: istnieją w przestrzeni parametrów rozległe strefy, na które system dynamiczny systematycznie odpowiada jednym zachowaniem o zawsze prawie takiej samej strukturze. W przypadku systemów Bénarda chodzi o pewien przedział temperatury, który pozwala na generowanie równoległych pasm i który jest wystarczająco szeroki, aby można go było łatwo znaleźć. W przypadku płytek ferromagnetycznych przedział temperatury, w jakiej system dochodzi do ogólnej spójności magnetycznej, również jest bardzo szeroki. Natomiast u organizmów żywych możliwe jest nie tylko wygenerowanie struktur samozorganizowanych o złożonych właściwościach całościowych, lecz także, co więcej, struktury te są z pewnością generowane przez genomy należące do rozległych podprzestrzeni w przestrzeni genomów nazwanych basenami przyciągania. Strukturowanie przestrzeni w baseny przyciągania właściwe dla tego rodzaju systemu dynamicznego sprawia, że badanie przestrzeni form jest ułatwione i nie upodabnia się do szukania igły w stogu siana.

W systemach ferromagnetycznych nakładany przez otoczenie na rozwój systemu dynamicznego (ustruktrowany) szum może prowadzić do tego, że system będzie rozwijać się w różnych kierunkach. W przypadku kawałków żelaza o niskiej temperaturze odpowiada temu magnetyzacja w takim lub innym kierunku. W przypadku żywego organizmu odpowiadają temu jego formy: dlatego na przykład między bliźniętami jednojajowymi mogą czasem wystąpić wyraźne różnice morfologiczne. Wyjaśnia to również, dlaczego relacja pomiędzy genami i formami organizmów nie charakteryzuje się jedynie złożonością i nieliniowością, ale także niezdeterminowaniem. Jak w systemach Bénarda, gdzie przeszukiwanie przestrzeni

parametru temperatury może czasami prowadzić do szybkich i konsekwentnych zmian w zachowaniu systemu (na przykład przejścia pasm równoległych w kwadratowe komórki), eksploracja przestrzeni genomów może również prowadzić do szybkich i konsekwentnych zmian form. Odpowiada to zapewne wielu obserwacjom bardzo szybkich zmian form w ewolucji, o których świadczą badane przez antropologów skamieliny, stanowiące podstawę modelu punktualistycznego przedstawionego przez Eldredge'a i Goulda w 1972 roku.

Podsumowując, właściwości samoorganizacji systemu dynamicznego składającego się z komórek i ich genomów umożliwiają zasadnicze ustrukturowanie przestrzeni form przez narzucenie ograniczeń, co sprawia, że odnalezienie przez dobór naturalny złożonych form zdolnych do przeżycia staje się o wiele prostsze. Z jednej strony, właściwości te pozwalają genomowi generować formy złożone i wysoko zorganizowane bez potrzeby dokładnej specyfikacji każdego detalu w genomie (tak samo jak formy poligonalne Bénarda nie są dokładnie określone, lub dane w formie planu, we właściwościach molekuł płynu). Z drugiej, organizują pejzaż możliwych form, określając baseny przyciągania, wewnątrz których formy te stają się bardzo do siebie podobne (tu właśnie dokonują się ewolucje gradualne wraz z niewielkimi regulacjami istniejących struktur), a pomiędzy którymi mogą one zasadniczo się różnić (przejście od jednej sytuacji do drugiej sprzyja w ewolucji nieoczekiwanym i mocnym wynalazkom). Można przedstawić taki oto heurystyczny obraz: samoorganizacja dostarcza katalogu złożonych form rozmieszczonych w pejzażu z dolinami, w których i pomiędzy którymi przesuwają się i podejmuje decyzje dobór naturalny; samoorganizacja proponuje, dobór naturalny dysponuje. Oczywiście jest to tylko pewien obraz, ponieważ przemieszczający się dobór naturalny pozwala wyłonić się nowym, również samorganizowanym mechanizmom, które strukturują przestrzeń form przeszukiwanych. Dobór naturalny uczestniczy zatem w kształtowaniu mechanizmów, które pomagają mu w skutecznym poruszaniu się w przestrzeni form i *vice versa* – mechanizm doboru naturalnego z pewnością pojawił się w historii życia dzięki samorganizowanym zachowaniom systemów, które nie były jeszcze z nim związane; dobór naturalny i mechanizmy samorganizowane pomagają sobie wzajemnie w pewnego rodzaju spirali, która pozwala zwiększać złożoność w toku ewolucji.

Konsekwencją ścisłego powiązania doboru naturalnego i samoorganizacji jest to, że wyjaśnianie pochodzenia i ewolucji form życia wymaga co najmniej dwu typów rozumowań. Pierwsze to klasyczne, funkcjonalistyczne rozumowanie neodarwinistyczne, polegające na identyfikacji kontekstu ekologicznego, w którym mogła się pojawić nowa cecha, i dokonaniu bilansu zestawiającego reprodukcyjne zyski i straty. Drugie jest rzadziej używane, ale równie istotne: chodzi o identyfikację mechanizmów rozwojowych/epigenetycznych i przymusów, jakie się z nimi wiąże, mechanizmów, które mogły ułatwić lub utrudnić genezę nowych cech. Pojęcie samoorganizacji jest podstawowe w odniesieniu do sposobu, w jaki te mechanizmy rozwojowe wpływają na genezę form.



## Prezentacje

### Samoorganizacja i ewolucja form mowy i języków

Pytania o to, w jaki sposób mowa i język pojawiły się u istoty ludzkiej, a także o to, w jaki sposób kształtują się i ewoluują nowe języki, należą w nauce do najtrudniejszych. W XX wieku zniknęły one niemal całkowicie ze sceny naukowej w następstwie deklaracji Société de Linguistique de Paris, która w swoim statucie wykluczyła tę problematykę. Jednak zagadnienia te wróciły i dla dużej grupy badaczy sytuują się obecnie w samym centrum zainteresowań. Panuje zgoda co do jednego: badania muszą być interdyscyplinarne. Istotnie, jest to układanka o bardzo wielu rozgałęzieniach, które wykraczają poza kompetencje każdej wziętej z osobna dziedziny badań. Przede wszystkim dlatego, że dwa zasadnicze pytania – pytanie o pochodzenie języka i pytanie o pochodzenie i ewolucję języków – muszą zostać rozłożone na równie trudne i skomplikowane „subpytania”. Co to jest mowa? Co to jest język? W jaki sposób związane są ze sobą dźwięki, słowa, zdania, reprezentacje semantyczne? W jaki sposób mózg odtwarza te dźwięki, zdania i pojęcia w nich zawarte oraz jak się nimi posługuje? Jak uczymy się mówić? Czy możemy rozróżnić wrodzone od nabytego? Do czego służy język? Jaka jest jego rola społeczna? W jaki sposób język kształtuje się i zmienia w ciągu kolejnych pokoleń swoich użytkowników? Co wiemy o historii każdego języka? Dlaczego mowa i język są takie, a nie inne? Dlaczego istnieją tendencje uniwersalne i, równocześnie, wielka różnorodność struktur lingwistycznych? Jaki jest wpływ języka na percepcję i pojęciowe ujmowanie świata? Co wiemy o historii zdolności mówienia u istot ludzkich? Czy jest to wynik ewolucji genetycznej (jak pojawienie się oczu), czy też wynalazek kulturowy (jak pismo)? Czy jest to dostosowanie się do zmieniającego się otoczenia, czy raczej wewnętrzna modyfikacja jednostki, która pozwoliła na wzmocnienie szans na reprodukcję? A może jest to egzaptacja, efekt uboczny zmian, które początkowo nie były związane z zachowaniem komunikacyjnym? Jakie wcześniejsze przekształcenia ewolucyjne wpłynęły na pojawienie się zdolności mówienia? W jaki sposób zaszły one same? Niezależnie? Genetycznie? Kulturowo?

Zróznicowaniu tych pytań odpowiada jeszcze większa różnorodność dyscyplin i metod. Lingwiści, nawet jeśli nadal dostarczają zasadniczych danych zarówno na temat historii języków, jak i uniwersalnych tendencji struktur językowych, nie są już sami. Psychologia rozwojowa, psychologia kognitywna i neuropsychologia prowadzą badania nad uczeniem się języka oraz nad jego zaburzeniami, często ujawniającymi mechanizmy poznawcze uczestniczące w przetwarzaniu informacji językowej. Nauki o mózgu, zwłaszcza posługujące się aparaturą rejestrującą jego pracę, pozwalają zobaczyć, które strefy są aktywne, kiedy wykonuje się dane zadanie, i próbują odnaleźć neuronalne korelaty zachowań językowych, aby odkryć ich organizację mózgową. Inni badacze studiują fizjologię aparatu głosowego, aby zrozumieć sposób, w jaki wytwarzamy dźwięki. Fizjologia ucha, istotnego czujnika w łańcuchu dekodowania mowy (jest nim

wzrok, kiedy chodzi o język znaków używany przez głuchoniemych), również znajduje się w centrum badań. Archeolodzy badają skamieliny i artefakty, które pozostały po pierwszych ludziach; usiłują oni, z jednej strony, wnioskować na temat morfologicznej ewolucji ludzi (zwłaszcza jeśli chodzi o krtań), z drugiej zaś, wyrobić sobie pogląd na to, czym się zajmowali (jakie produkowali narzędzia? jak ich używali? czego możemy się dowiedzieć na podstawie analiz tych narzędzi o stopniu rozwoju kognitywnego?). Antropolodzy wychodzą na spotkanie ludów odizolowanych i zdają sprawę z różnic kulturowych, zwłaszcza tych związanych z językami oraz koncepcjami, których języki są nośnikiem. Prymatolodzy usiłują wyjaśnić zdolności do komunikowania się naszych przodków szympansov i porównać je z naszymi. Genetycy z jednej strony odczytują sekwencje genomów człowieka i gatunków, które są naszymi domniemanymi przodkami, by – jeśli to możliwe – sprecyzować istniejące między nimi więzi filogenetyczne, z drugiej zaś wykorzystują informacje genetyczne o różnych populacjach, aby pomóc w rekonstrukcji historii języków, która jest często skorelowana z historią genów postługujących się nimi ludzi.

Język implikuje więc mnogość składników, które w złożony sposób współdziałają ze sobą w wielu skalach czasowych: skali ontogenetycznej, która wyznacza rozwój jednostki; skali glossogenetycznej, czyli kulturowej, która obejmuje ewolucję kultur; skali genetycznej, która mierzy ewolucję gatunków [ilustracja 3]. Język uruchamia złożone, jednocześnie fizyczne i funkcjonalne interakcje pomiędzy wieloma połączeniami mózgowymi i narządami, a także wyposażonymi w nie jednostkami i otoczeniem, w jakim żyją. Pokazaliśmy już, że chociaż sprawą zasadniczą jest zbadanie każdego składnika oddzielnie, to w celu ograniczenia złożoności problemu konieczne jest także badanie interakcji. Część badaczy wysunęła ideę, zgodnie z którą liczne właściwości języka i języków nie są zakodowane w żadnym składniku, tzn. ani w pewnych specyficznych strukturach mózgowych, ani we właściwościach aparatów słuchowych czy głosowych, ani też w jednostce rozpatrywanej niezależnie. Mogłyby natomiast okazać się samozorganizowanymi rezultatami złożonych i dynamicznych interakcji tych składników oraz jednostek<sup>8</sup>. Zjawiska samoorganizacji są jednak często zbyt skomplikowane, by je zrozumieć, intuicyjnie przewidzieć i sformułować w słowach; stąd właśnie, jak zobaczymy, coraz bardziej znaczące staje się korzystanie z modelowania matematycznego i informatycznego.

---

<sup>8</sup> J.R. Hurford, M. Studdert-Kennedy, Ch. Knight *Approaches to the evolution of language. Social and cognitive bases*, Cambridge University Press, Cambridge 1998; B. Lindblom, P. MacNeilage i M. Studdert-Kennedy *Self-organizing processes and the explanation of language universals*, w: *Explanations for language universals*, ed. B. Butterworth, B. Comrie, O. Dahl, Mouton, Berlin–New York 1984, s. 181-203; P.-Y. Oudeyer *Self-organization in the evolution of speech*, Oxford University Press, Oxford 2006.

## Prezentacje

### Informatyczne modele i symulacje ewolucji mowy

#### Eksperymentowanie na systemach złożonych

Jednym z najbardziej skutecznych sposobów rozwijania naszego rozumienia dynamiki systemów samorganizowanych jest dziś posłużenie się komputerami lub robotami. Pozwalają one wypracowywać modele operacyjne, w których znamy wszystkie hipotezy, uruchomić je i obserwować ich zachowanie, zależne od wartości parametrów ustalonych w ramach tych modeli. To właśnie dlatego nie tylko lingwiści, psychologowie, antropologowie, badacze mózgu, genetycy i fizjologowie, lecz także matematycy i specjaliści od robotyki mają do odegrania kluczową rolę w tych badaniach.

Model operacyjny jest systemem, który w sposób sformalizowany określa zbiór swoich założeń, a co jest szczególnie ważne, pozwala obliczyć konsekwencje, tj. dowieść, że prowadzi do zbioru danych wniosków. Istnieją dwa typy modeli operacyjnych. Pierwszy, wykorzystywany przez matematyków i biologów teoretycznych, polega na wyabstrahowaniu ze zjawiska językowego pewnej liczby zmiennych i praw ich ewolucji w formie równań matematycznych. Często przypomina to systemy układu równań różniczkowych i korzysta z ram teorii systemów dynamicznych. Drugi typ, który pozwala badać niektóre złożone fenomeny, z trudem poddające się modelowaniu matematycznemu, jest wykorzystywany przez badaczy-informatyków: polega na konstruowaniu sztucznych systemów, które instaluje się w komputerach czy robotach. Sztuczne systemy składają się z programów, które najczęściej mają postać sztucznych agensów wyposażonych w sztuczne mózgi i ciała; można je nazwać robotami, nawet jeśli ewoluują w środowiskach wirtualnych. Roboty te wchodzi w interakcje ze środowiskami sztucznymi lub rzeczywistymi, których dynamikę można dzięki temu badać. Nazywamy to „metodą sztucznej inteligencji”. Wykorzystanie maszyn cyfrowych do symulowania i badania zjawisk naturalnych nie jest niczym nowym: Lorenz wykorzystywał pierwsze komputery do badania zachowań modeli klimatologicznych, Fermi do symulowania interakcji pomiędzy cząstkami magnetycznymi, Turing do zobrazowania, w jaki sposób mogą się samoorganizować procesy morfogenezy, von Neumann do badania autoreplikacji.

Ostatnio dzięki tej metodzie etologia poczyniła znaczne postępy w rozumieniu zachowań owadów społecznych<sup>9</sup>. Zbudowano informatyczne symulacje społeczności owadów, oparte na pojęciu agensa informatycznego modelującego każdego owada z osobna, co nazywa się czasem modelem indywiduocentrycznym. Pozwoliło to na ustalenie charakterystyk zachowania i zdolności owadów wystarczających do zbadania kształtowania się takich struktur zbiorowych, jak konstruowanie gniazd u termitów, zbiorowe polowania czy poszukiwanie żywności u mrówek, formowanie się ławic ryb, termoregulacja w ulach pszczół czy kształtowanie

---

<sup>9</sup> E. Bonabeau, G. Theraulaz, J. L. Donebourg, S. Aron i S. Camazine  
*Self-organization in social insects*, „Trends in Ecology and Evolution” 1997 no 12,  
s. 188-193.

struktur społecznych u os. Ogólnie rzecz biorąc, symulacje informatyczne wykazały, że często nie było konieczne wyposażanie owadów w złożone struktury poznawcze, aby mogły kolektywnie kształtować struktury złożone. Modele informatyczne przewidywały nawet sytuacje, które zostały potem potwierdzone w badaniach terenowych.

Również fizycy coraz częściej używają komputerów do konstruowania symulacji systemów złożonych, które pozwalają badaczom weryfikować swoje intuicje. Manipulując automatami komórkowymi – rodzajem kratownic, których pola mogą być podświetlane lub wygaszane i których ewolucja według prostych reguł zależy od stanu pól sąsiednich – odkryli, w jaki sposób w oparciu o struktury całkowicie aleatoryczne czy też całkowicie uporządkowane mogą powstawać skomplikowane motywy z niezwykłymi symetrami. Przykłady są nader zróżnicowane: kryształki lodu, rozkład lawin na piaszkowych kopach czy w górach, wydm na pustyni, formy delt rzecznych, kształtowanie się galaktyk czy polihedrów pęcherzyków u stóp wodospadu. Dla fizyków automaty komórkowe w oczywisty sposób nie są modelami fizycznymi kryształów lodu czy lawin, pełnią one rolę metafory i analogii, które pozwoliły im w nowy sposób postrzegać te zjawiska.

### Informatyka a źródła mowy i języków

Możliwe jest również wykorzystanie komputerów i opierających się na agensach symulacji nie tylko do zrozumienia tych fenomenów, które charakteryzują samoorganizację materii, prostych struktur biologicznych czy społeczności owadów, ale też do badania zjawisk, które charakteryzują człowieka i tworzone przez niego społeczeństwa. Przyszedł czas na włączenie komputerów i robotów do zestawu narzędzi nauk humanistycznych. Konstrukcja sztucznych systemów w ramach badań nad pochodzeniem mowy i ewolucją języków cieszy się wśród naukowców rosnącą popularnością jako narzędzie służące do badania zjawisk językowych związanych ze złożoną interakcją ich składników<sup>10</sup>.

Istnieją dwa sposoby wykorzystania tych systemów: 1) ocena wewnętrznej spójności już istniejących niesformalizowanych teorii w celu ujednoznacznienia hipotez i sprawdzenia, czy rzeczywiście prowadzą one do wysuniętych wniosków (często zdarza się, że odnajdywane są w ten sposób luki zarówno w założeniach, jak i w konkluzjach, trzeba na nowo rozważyć); 2) tworzenie nowych teorii czy też zbadanie tych, które często pojawiają się samoistnie, kiedy po prostu próbuje się zbudować sztuczny system odtwarzający zachowania językowe ludzi.

Uzyskano już pewną liczbę istotnych wyników, dających perspektywę rozwiązania problemów, które dotąd pozostają niejasne: zdecentralizowane generowanie konwencji leksykalnych i semantycznych we wspólnotach robotów<sup>11</sup>, kształtowa-

---

<sup>10</sup> L. Steels *The synthetic modeling of language origins*, „Evolution of Communication” 1997 no 1(1), s. 1-35.

<sup>11</sup> Tamże oraz F. Kaplan *La naissance d'une langue chez les robots*, Hermès, Paris 2001.

## Prezentacje

nie się repertuaru samogłosek lub sylab w społecznościach agensów wraz z takimi cechami regularności strukturalnej, które przypominają właściwości języków ludzkich<sup>12</sup>, kształtowanie konwencji syntaktycznych<sup>13</sup> – określanie warunków, w jakich dana struktura może być akceptowana<sup>14</sup>.

Trzeba podkreślić, że w ramach badań nad pochodzeniem języka metodologia odwołująca się do pojęcia sztucznej inteligencji jest przede wszystkim *metodologią eksploracyjną*. Wpisuje się ona w naukową logikę abdukcji, tzn. logikę, w której szuka się przesłanek mogących prowadzić do danej konkluzji (w przeciwieństwie do dedukcji, w której szuka się konkluzji, do których prowadzą dane przesłanki).

Słowo „model” ma tu znaczenie odmienne od tradycyjnego. W znaczeniu tradycyjnym modelowanie polega na obserwowaniu zjawiska naturalnego, a potem na wyabstrahowaniu podstawowych mechanizmów i zmiennych, aby w oparciu o nie zbudować pewien system formalny pozwalający na przewidywanie rzeczywistości. W przypadku, który nas interesuje, chodzi raczej o jakościowe badanie typów mechanizmów, które natura mobilizuje w celu rozwiązania takiego czy innego problemu. Mowa jest fenomenem na tyle złożonym, że prosta obserwacja nie pozwala na *dedukcję* mechanizmów wyjaśniających. Trzeba wcześniej dysponować dobrą konceptualizacją zakresu mechanizmów i hipotez, które mogłyby wyjaśnić te fenomeny. W tym miejscu przydatne są systemy sztuczne, nazywane niekiedy „modelami”, pozwalające sprecyzować nasze intuicje dotyczące dynamiki kształtowania się mowy i języków oraz naszkicować przestrzeń możliwych hipotez.

Nie chodzi więc o ustalenie listy mechanizmów odpowiedzialnych za pochodzenie takiego czy innego aspektu mowy. Celem jest skromniejsza próba zestawienia listy możliwych kandydatów, ograniczenia przestrzeni hipotez, zwłaszcza przez pokazanie przykładowych mechanizmów wystarczających oraz przykładowych mechanizmów, które nie są konieczne.

## Kod mówienia

Zilustruję teraz praktykę informatycznego modelowania ewolucji mowy i języków, opisując eksperyment skupiony na problemie pochodzenia mowy, tzn. sys-

---

<sup>12</sup> B. de Boer *The origins of vowel systems*, Oxford University Press, Oxford 2001; P.-Y. Oudeyer *Origins and learnability of syllable systems, a cultural evolutionary model*, w: *Artificial evolution. 5th International Conference Proceedings 2001*, ed. P. Collet, C. Fonlupt, J.-K. Hao, E. Lutton, M. Schoenauer, Springer-Verlag, Berlin 2002, s. 143-155.

<sup>13</sup> J. Batali *Computational simulations of the emergence of grammar*, w: J.R. Hurford, M. Studdert-Kennedy, Ch. Knight *Approaches to the evolution of language*.

<sup>14</sup> S. Kirkby *Spontaneous evolution of linguistic structure. An iterated learning model of the emergence of regularity and irregularity*, „IEEE Transactions on Evolutionary Computation” 2001 no 5(2), s. 102-110.

## Oudeyer Samoorganizacja w ewolucji mowy

temów dźwięków jako fizycznych nośników języka (mogą być nimi także gesty w językach, którymi posługują się głuchoniemi). Celem tego eksperymentu jest przyczynienie się do nowego ujęcia problemu poprzez ujednoznaczenie, ocenę i uzupełnienie kilku hipotez naukowych.

### Digitalność i kombinatoryczność

Istoty ludzkie posiadają złożony system fonacyjny. Fonacje są digitalne i kombinatoryczne, tzn. są skonstruowane z jednostek elementarnych, „wyrzeźbionych” w kontinuum słuchowym i głosowym, oraz systematycznie rekombinowanych i ponownie używanych. Te jednostki są obecne na wielu poziomach (na przykład elementarne sposoby przerywania przepływu powietrza w kanale fonacyjnym, które nazywane są gestami; koordynacje gestów, nazywane fonemami, na które składają się spółgłoski i samogłoski; sylaby). O ile przestrzeń artykulacyjna jest ciągła i potencjalnie dopuszcza nieskończoną liczbę gestów i fonemów, to każdy język na swój sposób tę przestrzeń dzieli, używając niewielkiego i skończonego zestawu gestów i fonemów<sup>15</sup>. To właśnie dlatego nazywamy tę właściwość *k o d o w a n i e m f o n e m i c z n y m*.

### Uniwersalia i zróżnicowanie

Mimo wielkiej różnorodności tych jednostek w językach świata stwierdzamy istnienie wyraźnych regularności. Dla przykładu, niektóre systemy samogłoskowe są znacznie częstsze od innych, choćby system pięciu samogłosek *e, i, o, a, u*. Dotyczy to również spółgłosek. Sposób, w jaki kombinowane są jednostki, również jest bardzo szczególny: z jednej strony nie wszystkie sekwencje fonemów są dopuszczone w danym języku, z drugiej, zbiór kombinacji fonemów jest wyznaczony przez typy rodzajowe. Uporządkowanie ze względu na typy rodzajowe oznacza, że można na przykład określić kombinacje fonemów mogących w języku japońskim kształtować sylaby (dokładnie mówiąc „mory”) za pomocą typów „CV/CVC/VC”, gdzie na przykład „CV” jest typem oznaczającym sylaby złożone z dwóch miejsc, w pierwszym są tylko fonemy z kategorii, którą nazywamy „spółgłoskami”, a w drugim dopuszczone są tylko fonemy z kategorii „samogłosek”.

### Podział kulturowy

Trzeba tu dodać, że mowa jest kodem konwencjonalnym. W językach ludzkości istnieją regularności statystyczne, ale każda wspólnota językowa posiada swój własny sposób kategoryzowania dźwięków oraz swój własny zbiór reguł kombinacji tych dźwięków. Japończycy na przykład nie słyszą różnicy pomiędzy angielski-

<sup>15</sup> M. Studdert-Kennedy, L. Goldstein *Launching language. The gestural origin of discrete infinity*, w: *Language evolution. The state of the art*, ed. M. Christiansen, S. Kirby, Oxford University Press, Oxford 2003.

## Prezentacje

mi *r* w *read* i *l* w *lead*. W jaki więc sposób społeczność językowa wypracowuje kod, który jest wspólny dla wszystkich jej członków, a nikt tego nie musi pilnować?

Po pracach De Boera czy Kaplana<sup>16</sup> wiadomo już, w jaki sposób nowy dźwięk lub nowe słowo mogą rozpowszechnić się i zostać zaakceptowane w danej populacji. Jednak mechanizmy negocjacji, zwane też „dynamiką uzgodnień”, odwołują się do zastanych językowych konwencji i interakcji. Odpowiednie modele dotyczą więc raczej kształtowania się i ewolucji języków, nie proponują rozwiązań w kwestii pochodzenia języka. Jakim cudem pojawiły się pierwsze konwencje mówienia, skoro nie było jeszcze konwencjonalnych systemów komunikacji?

Model, który przedstawię, skupia się przede wszystkim na tym ostatnim pytaniu. Wiąże się ono w sposób oczywisty z problemem kształtowania języków, ponieważ chodzi o zrozumienie, w jaki sposób kod mówienia mógł zostać ukształtowany i stworzyć podstawę dla najwcześniejszych języków. Zasadnicza różnica między tymi dwoma pytaniami tkwi w właściwościach, które muszą charakteryzować poszukiwany mechanizm. W przypadku pytania o pochodzenie mowy, trzeba szukać takiego mechanizmu wyjaśniającego, który nie zakłada ani istnienia konwencji językowych, ani istnienia specyficznych dla języka struktur kognitywnych. Bo to oznaczałoby, że mamy do czynienia z jednostkami, które już mówią, a więc którym język już się objawił.

## Samoorganizacja i ewolucja mówienia

Naturalne staje się pytanie o to, jak pojawia się organizacja mowy i w jaki sposób taki wspólny i konwencjonalny kod mógł się ukształtować w społeczności agensów, którzy nie posługiwali się jeszcze konwencjami językowymi. Jak już wcześniej wykazałem, istnieją dwa rodzaje odpowiedzi. Pierwszy to odpowiedź funkcjonalna: ustala ona funkcję systemów dźwiękowych i pokazuje, że systemy, które mają wyżej opisaną organizację, mogą z powodzeniem pełnić tę funkcję. Rozwiązanie to zaproponowali Liljencrantz i Lindblöm<sup>17</sup>, wykazując, że statystyczne regularności w repertuarach fonemów dają się przewidzieć, jeśli poszukamy optymalnych systemów głosowych. Tego rodzaju odpowiedź jest konieczna, ale niewystarczająca: nie pozwala wyjaśnić, w jaki sposób ewolucja (genetyczna czy kulturowa) potrafiła odnaleźć tę *quasi*-optymalną strukturę ani też tego, w jaki sposób wspólnota językowa dokonuje „wyboru” jakiegoś szczególnego rozwiązania spośród wielu rozwiązań *quasi*-optymalnych. Chodzi zwłaszcza o to, że prostolinijne mechanizmy darwinowskie nawet uzupełnione mutacjami aleatorycznymi nie są na tyle skuteczne, aby móc odnaleźć struktury złożone, takie jak struktury mówienia – teren do przebadania jest zbyt rozległy.

---

<sup>16</sup> B. de Boer *The origins of vowel systems*; F. Kaplan *La naissance d'une langue chez les robots*.

<sup>17</sup> J. Liljencrantz, B. Lindblöm *Numerical simulation of vowel quality systems. The role of perceptual contrasts*, „Language” 1972 no 48, s. 839-862.

## Oudeyer Samoorganizacja w ewolucji mowy

Konieczna okazuje się zatem odpowiedź drugiego typu: trzeba ustalić, w jaki sposób dobór naturalny mógł „odnaleźć” te struktury. Można wykazać, że samoorganizacja jest władna ograniczyć w tym właśnie przypadku przestrzeń poszukiwań i wspomóc dobór naturalny. Wystarczy dowieść, że system o wiele prostszy od struktury, którą staramy się wyjaśnić, samoorganizuje się spontanicznie, generując tę właśnie strukturę.

Przedstawimy teraz taki system i pokażemy, w jaki sposób przesłanki, relatywnie proste z ewolucyjnego punktu widzenia, mogą prowadzić do samozorganizowanego kształtowania się kodów mówienia.

### Informatyczny eksperyment kształtowania podstawowych struktur mowy

Ten model informatyczny jest indywiduocentryczny: polega na kombinacji robotów wirtualnych, wyposażonych w model aparatów słuchowego i ruchowego oraz w sieć neuronalną, łączącą modalność percepcyjną i modalność motoryczną. Sieci neuronalne determinują ich zachowanie, które polega głównie na imitacji gaworzenia. To gaworzenie sprzężone z plastycznością sieci pozwala robotom nauczyć się ustanawiania odpowiedniości między domeną percepcji słuchowych i domeną ruchów w aparacie głosowym. Roboty są zainstalowane w jednym pomieszczeniu, aby mogły słyszeć nie tylko własne gaworzenie, ale również gaworzenie swoich sąsiadów. W ten sposób będziemy mogli wykazać, że pojawienie się wspólnych właściwości w fonacjach produkowanych przez roboty należące do tej samej populacji ma charakter żywiolowy.

Ujmując rzecz technicznie<sup>18</sup>: agensy są wyposażone w sztuczne ucho (jego właściwości dają się modyfikować w celu zbadania ich specyficznej roli, zobacz poniżej), zdolne do przekształcenia sygnału akustycznego w impulsy nerwowe, które pobudzają neurony na mapie sztucznych neuronów percepcyjnych. Posiadają również mapę neuronów motorycznych, której aktywacja przenosi się na ruchy w modelu aparatu głosowego, a ten z kolei wytwarza falę akustyczną (jej stopień realizmu również może być modyfikowany). Mapy neuronalne (percepcyjna i motoryczna) są całkowicie między sobą połączone [ilustracja 4]. W punkcie wyjścia parametry wewnętrzne wszystkich neuronów oraz połączenia między obiema mapami są aleatoryczne. Aby wytworzyć fonację robot uaktywnia aleatorycznie wybrane neurony swojej mapy motorycznej, której wewnętrzne parametry kodują konfiguracje artykulacyjne aż do zbudowania sekwencji, co wytwarza trajektorię artykulacyjną i – za pośrednictwem modelu kanału fonacyjnego – trajektorię akustyczną, postrzeganą dzięki modelowi aparatu słuchowego. Na tym polega gaworzenie robotów. Dlatego na początku doświadczenia roboty wydają odgłosy aleatoryczne co do miejsca w przestrzeni głosowej. Sieci neuronów dysponują nadto dwiema formami plastyczności: 1) połączenia intermodalne ewoluują w ten sposób,

---

<sup>18</sup> Dajemy tu jedynie ogólny opis systemu; dokładny opis matematyczny zob. P.-Y. Oudeyer *Self-organization...*



## Prezentacje

że robot uczy się zgodności pomiędzy dostrzeganymi trajektoriami audytywnymi i poleceniami motorycznymi, które je wytwarzają, kiedy gaworzy<sup>19</sup>; 2) neurony każdej z map ewoluują w taki sposób, by modelować układ dźwięków, które słyszy robot<sup>20</sup>: połączenia między dwiema mapami percepcyjnymi są również takie, że układ dźwięków kodowanych przez mapę percepcyjną (mapę dostrzeżonych dźwięków) pozostaje w przybliżeniu taki sam, jak dystrybucja dźwięków zakodowanych na mapie motorycznej (mapie wytwarzanych dźwięków). Inaczej mówiąc, architektura neuronalna agensa polega na tym, że ma on tendencję do wytwarzania takiej samej dystrybucji dźwięków, jak ta, którą słyszy. Jeśli robot wsłucha się w strumień mowy jakiegoś języka, jego gaworzenie wyreguluje się i upodobni do dystrybucji dźwięków w tym języku. Jeśli ten język zawiera samogłoski *a*, *e*, *i*, ale nie *o*, to w gaworzeniu robota częściej będą wymawiane *a*, *e*, *i* niż *o*. To zachowanie jest zgodne z obserwowanym u małych dzieci i czasami określa się je jako *phonological attunement*<sup>21</sup>.

Scalony mechanizm samoorganizacji.

Kombinatoryczność, dwoistość uniwersalia/ różnicowanie  
i podział kulturowy

Ten typ konstrukcji był często używany w literaturze przedmiotu do modelowania zjawisk nabywania mowy przez dzieci<sup>22</sup> poprzez eksperymenty, w których system uczył wymawiania dźwięków/sylab języka, jaki słyszał. Jednak prezentowane tu doświadczenie jest odmienne: nie zakładamy, że w punkcie wyjścia istnieją ukonstytuowany już system mowy. Umieszczamy jedynie populację gaworzących robotów w jednym miejscu tak, by mogły rejestrować zarówno swoje własne gaworzenie, jak i gaworzenie sąsiadów. Ponieważ rodzaj plastyczności ich mózgow

---

<sup>19</sup> Połączenia między dwiema mapami neuronów podlegają zmianom zgodnie z prawem Hebb'a: więzi między neuronami, często aktywowanymi w tym samym czasie, stają się silniejsze, a te, które wiążą neurony o nieskorelowanej aktywności, stają się słabsze. Połączenia są początkowo aleatoryczne, a dzięki gaworzeniu agensów organizują się w taki sposób, że każdy z nich staje się zdolny do znalezienia poleceń motorycznych zgodnych z dźwiękiem, który „słyszy”.

<sup>20</sup> Neurony dostosowują się do bodźców przez wzrost siły przekaźnictwa synaptycznego: dynamika procesu polega na tym, że jeśli bodziec *S* jest postrzeżony, neurony modyfikują się w taki sposób, by w przypadku szybkiej, powtórnej prezentacji *S* reagować ze zdwojoną siłą.

<sup>21</sup> M. Vihman *Phonological development. The origins of language in the child*, Blackwell, Cambridge (Mass.) 1996.

<sup>22</sup> T. Kohonen *The neural phonetic typewriter*, „Computer” 1988 no 21(3), s. 11-22; V. Sanguinetti, R. Laboissière, D.J. Ostry *A dynamic biomechanical model for neural control of speech production*, „Journal of the Acoustical Society of America” 1998 no 103(3), s. 1615-1627.

sprawia, że gaworzą, dostosowując się do tego, co słyszą wokół siebie, i dlatego, że statystycznie rzecz biorąc wszystkie roboty produkują fonacje aleatoryczne co do miejsca w przestrzeni głosów, stan początkowy jest stanem równowagi, czyli maksymalnej entropii.

Jednak w procesie symulacji stwierdzamy, że ta równowaga nie jest stała. Pojawia się szum – „stochastyczność” – który sprawia, przypadkowo i od czasu do czasu, że niektóre typy fonacji będą występowały częściej niż inne. Opisany wcześniej mechanizm wiązania ze sobą map wprowadza pozytywne sprzężenie zwrotne: odchylenia od średniej, kiedy okazują się wystarczająco duże, są wzmacniane i wtedy symetria systemu załamuje się. Mapy neuronalne samoorganizują się w skupione grupy neuronów, kodując bardzo dokładnie konfiguracje akustyczne i artykulacyjne w przestrzeni fonacji [ilustracja 5]. Krótko mówiąc, w ciągłej przestrzeni fonacyjnej wyodrębniono dyskretne segmenty. Fonacje wytwarzane przez agensów nie są już holistyczne, ale zbinaryzowane: są konstruowane systematycznie przez zestawianie w sekwencję kilku kluczowych konfiguracji, które można już nazwać fonemami. Stwierdzamy pojawianie się opisanego wcześniej binarnego kodowania fonemicznego i kombinatorycznego. „Kod fonemiczny”, który uzyskujemy, jest taki sam u wszystkich agensów w tej samej symulacji, różny zaś w innych symulacjach. Tak wygląda kształtowanie się odmiennej dla każdej grupy „konwencji kulturowej”.

Można wykonać nasze doświadczenie w wielu wariantach, co pozwoli sprecyzować wnioski. Przede wszystkim można przeprowadzić to doświadczenie z jednym tylko agensem, który słucha swojego gaworzenia. I w tym wypadku daje się zaobserwować zjawisko krystalizacji jego fonacji: bardzo szybko zaczyna wytwarzać wyłącznie trajektorie głosowe przechodzące przez kilka kluczowych konfiguracji artykulacyjnych, które są systematycznie powtarzane. Można z tego wnioskować, że pojawienie się kodowania fonemicznego, tzn. binarności/kombinatoryczności, nie jest rezultatem interakcji społecznych, ale właściwości wewnętrznego sprzężenia w każdym automacie percepcyjnych i motorycznych modalności mowy. Jednakże fonacje izolowanych gaworzących robotów krystalizują się w różne systemy fonacji i dopiero, kiedy roboty znajdują się w tym samym miejscu i będą słyszeć się wzajemnie, nastąpi ich ujednoczenie.

Drugi ważny wariant tego doświadczenia wprowadza do modeli zróżnicowanie właściwości morfofizjologicznych aparatów słuchowych i fonacyjnych w celu określenia wpływu tych właściwości na systemy, które się kształtują (lub nie). Szczególnie ważną cechą aparatów jest nieliniowość funkcji, określającej korelację fali akustycznej i percepcji słuchowej z bodźcami motorycznymi i konfiguracjami aparatu fonacyjnego. Ten ostatni jest u człowieka tak skonstruowany, że w przypadku pewnych konfiguracji artykulacyjnych niewielkie modyfikacje oznaczają niewielkie zmiany wytwarzanego i postrzeganego dźwięku. Jeśli chodzi o inne konfiguracje, to niewielkie modyfikacje prowadzą do wielkich zmian w produkowanym dźwięku. Ta właściwość pełni kluczową rolę w wielu teoriach, które chcą wyjaśnić fonemiczne kodowanie mowy, na przykład w teorii kwantowej

## Prezentacje

Stevensa<sup>23</sup> czy w modelu DRM<sup>24</sup>. Możliwe jest zarówno użycie realistycznego modelu aparatów akustycznych i fonacyjnych, uwzględniającego wspomniane typy nieliniowości, jak i skonstruowanie modelu fikcyjnego, celowo liniowego, aby określić znaczenie nieliniowości. Takie doświadczenia zostały przeprowadzone. W przypadku użycia modelu liniowego zaobserwowano w populacji gaworzących robotów opisaną wcześniej krystalizację: ich fonacje samoorganizują się w system kombinatoryczny, w którym pewne konfiguracje artykulacyjne są systematycznie wykorzystywane jako punkty kluczowe trajektorii głosowych. Można z tego wyciągnąć pierwszy wniosek: te symulacje dowodzą, że kodowanie fonemiczne może pojawić się w aparatach fonacyjnych i słuchowych spontanicznie, bez liniowości. Nie oznacza to, że nieliniowości nie przyspieszają kształtowania się kodowania fonemicznego, ale pokazuje, że nie są one konieczne, inaczej, niż twierdzą teoria kwantowa i model DRM.

Jeśli na liniowym modelu audiofonacyjnym wykona się wiele symulacji i jeśli przedmiotem szczególnego zainteresowania jest dystrybucja kluczowych konfiguracji artykulacyjnych (w których można dopatrzeć się pewnego rodzaju fonemów), zauważamy, że wszystkie są rozmieszczone w miejscach aleatorycznych i w ten sam sposób korzystają z przestrzeni możliwych konfiguracji. Jednak kiedy używa się modelu realistycznego, nastawionego na odtworzenie właściwości wytwarzania i ostrzegania samogłosek<sup>25</sup>, dostrzegamy zjawisko dodatkowe. Oprócz krystalizacji, która jest taka sama jak w modelu liniowym, kształtujące się systemy wokalizacji wykazują statystyczne regularności bardzo zbliżone do systemów mowy ludzkiej. Można na przykład dokonać obliczeń statystycznych w odniesieniu do samogłosek, pojawiających się jako kluczowe konfiguracje artykulacyjne w systemach, które wyłaniają się w tym doświadczeniu poprzez wielokrotne symulacje. Rezultaty przedstawiono na ilustracji 6. Pozwalają one stwierdzić, że z jednej strony zachodzi pewne zróżnicowanie systemów samogłosek, z drugiej zaś, pewne systemy pojawiają się o wiele częściej niż inne. Mamy więc tę samą parę uniwersalia/zróżnicowanie, którą widzimy w językach ludzkich. Symulacja pozwala na spójne wyjaśnienie tego podobieństwa:

- 1) system dynamiczny utworzony przez zbiór gaworzących agensów z charakteryzującymi je wewnętrznymi sprzężeniami sensoryczno-motorycznymi zawiera pewną liczbę atraktorów, które są kombinatorycznymi systemami fonacji z kodowaniem fonemicznym wspólnym dla wszystkich członków populacji;
- 2) pod wpływem szumu i niewielkich zmian warunków początkowych system dynamiczny podlega oddziaływaniu określonego atraktora, co pozwala wyjaśnić

---

<sup>23</sup> K.N. Stevens *On the quantal nature of speech*, „Journal of Phonetics” 1989 no 17, s. 3-45.

<sup>24</sup> M. Mrayati, R. Carre, B. Guerin *Distinctive regions and modes: A New theory of speech production*, „Speech Communication” 1988 no 7, s. 257-286.

<sup>25</sup> W sprawie dokładnego opisu modelu opartego na pracach B. de Boera (*The origins of vowel systems*) zob. P.-Y. Oudeyer *Self-organization...*

„zdecentralizowany wybór zbiorowy” populacji, kiedy przyjmuje ona taki, a nie inny system;

- 3) nieliniowości aparatów słuchowych i fonacyjnych wprowadzają asymetrie pomiędzy atraktorami: niektóre atraktory mają większy basen przyciągania, zwłaszcza te z fonemami lokującymi się w przedziałach, w których niewielkie modyfikacje artykulacyjne wywołują niewielkie zmiany percepcyjne, czego konsekwencją jest zwiększenie prawdopodobieństwa, że system na nie „wpadnie”.

Mamy tu nie tylko odpowiedniość strukturalną pomiędzy symulacjami i rzeczywistością, okazuje się także, że systemy samogłosek pojawiające się najczęściej w populacjach robotów są prawie identyczne i występują w takich samych proporcjach, jak najczęściej występujące w językach świata systemy. Istnieje więc również pewna zgodność ilościowa. Tym samym można uznać, że nieliniowość zarówno aparatów słuchowych, jak i fonacyjnych jest czynnikiem wyjaśniającym, dlaczego niektóre systemy fonemów są statystycznie częstsze od innych. Natomiast samo istnienie fonemów, tzn. istnienie systemu fonacji, w którym inwariantne konfiguracje artykulacyjne lub słuchowe są systematycznie powtarzane, nie wymaga tych nieliniowości.

Trzeba jednak zauważyć, że w tych symulacjach architektury neuronalne określa wiele parametrów i że nie wszystkie wartości tych parametrów pozwalają na uzyskanie takich rezultatów. Zarazem okazuje się, że jeden z tych parametrów ma wielki wpływ na rezultaty<sup>26</sup>: neuronom przypisana jest mniejsza lub większa wybiórczość  $\sigma$  w odniesieniu do bodźców. Jeśli ta wybiórczość jest zbyt mała, nie dochodzi do żadnej krystalizacji, choć roboty są zdolne do uczenia się relacji pomiędzy przestrzenią słuchową i przestrzenią motoryczną. Jeśli jest za duża, wówczas system krystalizuje się jako system zdegenerowany, w którym wszystkie fonacje są dokładnie takie same i są stacjonarne: istnieje wyłącznie jeden fonem. Jednak pomiędzy tymi dwiema skrajnościami rozpościera się rozległa przestrzeń pozwalająca wyłonić taką krystalizację, przy której w populacji gaworzących robotów kształtuje się system kombinatoryczny z wieloma fonemami.

#### W stronę nowej wizji ewolucyjnych scenariuszy pochodzenia mowy

Przedstawione uwagi mają ważną konsekwencję, jeśli użyje się tego modelu do wyobrażenia sobie scenariuszy ewolucyjnych, które mogły prowadzić do kształtowania się pierwszych systemów fonacyjnych mających te same podstawowe właściwości, co systemy mowy człowieka współczesnego. Z wyjaśnień tych wynika przede wszystkim że daleko posunięta zmienność parametrów architektury neuronalnej nie przeszkadza w wyłonieniu kombinatorycznych systemów mowy wspólnych dla całej populacji. Dalej wynika z nich, że dzięki takiej architekturze neuronalnej podobny system mowy może wyłonić się bez udziału jakichś szczególnych właściwości aparatów słuchowych i fonacyjnych, wystarczą te, które umożliwiają gaworzenie

---

<sup>26</sup> Zob. P.-Y. Oudeyer *Self-organization...*

## Prezentacje

dysponujące pewną różnorodnością dźwięków. Chodzi zwłaszcza o to, że nie jest konieczna jakakolwiek nieliniowość. Wreszcie, sama architektura neuronalna jest relatywnie prosta: używa jednostek neuronalnych, których właściwości wewnętrzne i właściwości plastyczności są nader klasyczne i odpowiadają – na poziomie funkcjonalnym – sposobowi, w jaki funkcjonuje większość jednostek neuronalnych mózgu ssaków<sup>27</sup>. Specyfiką tej konstrukcji jest to, że słuchowe mapy neuronalne są ściśle i bezpośrednio połączone z mapami motorycznymi i że te połączenia są plastyczne. Ta konstrukcja i te połączenia ukazują się na początku jako elementy istotne wcale nie mowy, lecz zwykłej zdolności uczenia się imitowania dźwięków, nazywamy to tutaj adaptacyjną imitacją głosową<sup>28</sup>. Prowadzi nas to do następującego scenariusza ewolucyjnego będącego konceptualizacją pochodzenia fonemicznych systemów fonacyjnych wspólnych dla członków danej wspólnoty:

- 1) Adaptacyjna imitacja głosowa pojawia się u wielu zwierząt<sup>29</sup>, które posiadają wyuczony system sygnalizacji głosowej, ale u których nie istnieje język. Etołodzy ustalili zresztą wiele potencjalnych zalet reprodukcyjnych charakteryzujących zdolność głosowej imitacji adaptacyjnej w zbiorowości jednostek (na przykład fakt, że pozwala zaznaczyć przynależność do grupy). Zasadna jest więc myśl, że istoty ludzkie, zanim nauczyły się mówić, mogły dysponować zdolnością głosowego naśladowania się i że ta zdolność imitacji pojawiła się przed językiem.
- 2) Zdolność do adaptacyjnej imitacji głosowej, podobnie jak większość zalet reprodukcyjnych zidentyfikowanych przez etologów w celu wyjaśnienia obecności tej zdolności u niektórych zwierząt, nie wymaga kodowanego fonemicznie kombinatorycznego systemu głosowego. Przedział parametrów, w których parametr wybiórczości  $\sigma$  jest niski, również pozwala robotom nauczyć się bardzo dobrze głosowych odpowiedności percepcyjno-motorycznych, nie generując przy tym systemu fonemicznego.
- 3) Jeśli odniesiemy się teraz do kontekstu ekologicznego, w którym dysponowanie kombinatorycznym systemem mowy miałyby stanowić zaletę reprodukcyjną, to opisane przez nas eksperymenty upoważniają do stwierdzenia, że zwykła zmiana wartości parametru wybiórczości  $\sigma$  map neuronów słuchowych i motorycznych pozwoliłaby spontanicznie wyłonić się systemom głosowym, mającym wiele podstawowych właściwości wspólnych z współczesnymi systemami ludzkiej mowy, można nawet w przybliżeniu przewidzieć systemy samogłosek, kiedy używa się modelu ich wytwarzania i percepcji u człowieka. Pozwala to zrozumieć, że to, co było wielkim krokiem w narodzinach języka, a więc kształtowanie się kombinatorycznych systemów głosowych, mogło być skutkiem nie-

---

<sup>27</sup> Tamże.

<sup>28</sup> Co odpowiada terminologii angielskiej: *adaptive vocal mimicry*.

<sup>29</sup> *Social influences on vocal development*, ed. Ch.T. Snowdon, M. Hausberger, Cambridge University Press, New York 1997; M.D. Hauser *The evolution of communication*, MIT Press (Bradford Books), Cambridge (Mass.) 1997.

wielkiej zmiany biologicznej dzięki właściwościom samoorganizacyjnym materii neuronalnej i jej multimodalnych sprzężeń.

Scenariusz, w którym fonemiczne systemy mowy byłyby wybierane dzięki zaletom reprodukcyjnym, jakich mogłyby dostarczyć – wybór możliwy dzięki relatywnej łatwości generowania tych systemów w oparciu o biologiczne podstawy adaptacyjnej imitacji głosowej – nie jest jednak jedynym, jaki ten model może wesprzeć. Nieco wcześniej wyjaśniłem, że w przedziale wartości parametru  $\sigma$ , który pozwala kształtować się systemom fonemicznym, zdolność imitacji głosowej jest nienaruszona i równie produktywna. Jednak przy równych osiągnięciach imitacyjnych przejście parametru  $\sigma$  od tego przedziału do przedziału niskiej wybiórczości nie stanowi kosztu metabolicznego *a priori*. Wynika stąd, że w kontekście ekologicznym, w którym struktury neuronalne wyłaniają się w następstwie selekcyjnego nacisku na adaptacyjną imitację głosową, neutralne mutacje/odmiany mogły się zdarzyć i spontanicznie generować fonemiczne systemy mowy bez lingwistycznego nacisku selekcyjnego. Pewna obserwacja czyni ten scenariusz szczególnie stymulującym: wśród gatunków zwierzęcych zdolnych do nauczenia się imitacji głosowych, u których istnieją wspólne kulturowe systemy głosowe, ale które nie mają języka, niektóre wytwarzają wokalizacje lub śpiewy ustrukturuwane wokół jednostek podstawowych, systematycznie powtarzanych. Wśród ptaków dotyczy to na przykład kanarków i zeberek<sup>30</sup>, z wielorybów zaś humbaków<sup>31</sup>. Funkcja tego *quasi*-fonemicznego strukturuwania jest jeszcze niewystarczająco skonceptualizowana w etologii. Model, który przedstawiłem, ponieważ jest obojętny na wiele właściwości aparatów słuchowych i głosowych, a architektura neuronalna, jaką zakłada, odpowiada minimalnemu wyposażeniu wymaganemu do adaptacyjnej imitacji głosowej, może się odnosić również do kształtowania śpiewów u wspomnianych zwierząt. W tym wypadku pozwala postawić hipotezę, którą wzmacnia niepewność co do funkcji kodowania kombinatorycznego tych śpiewów: kombinatoryka jednostek mogłaby kształtować się spontanicznie jako efekt uboczny wyposażenia biologicznego służącego do adaptacyjnej imitacji głosowej. Równie racjonalne jest wyobrażenie sobie, że coś takiego mogło się zdarzyć u istot ludzkich: systemy kombinatoryczne mowy byłyby dopiero później mobilizowane do spełniania swojej funkcji lingwistycznej. Jeśli tak, to wiele podstawowych właściwości systemów mowy człowieka współczesnego byłoby egzaptacjami.

## Konkluzja

Dzięki zbudowaniu i użyciu modelu informatycznego wykazałem, w jaki sposób konstrukcja relatywnie prostego sensoryczno-motorycznego sprzężenia audio-

---

<sup>30</sup> E.A. Brenowitz, M.D. Beecher *Song learning in birds. Diversity and plasticity, opportunities and challenges*, „Trends in Neuroscience” 2005 no 28 (3), s. 127-132.

<sup>31</sup> P. Tyack *Interactions between singing hawaiian humpback whales and conspecifics nearby*, „Behavioral Ecology and Sociobiology” 1981 no 8 (2), s. 105-116.

## Prezentacje

fonacyjnego umożliwiła, zgodnie z dynamiką samoorganizacyjną, spontaniczne kształtowanie się kombinatorycznych i kodowanych fonemicznie systemów głosowych, wspólnych wszystkim jednostkom tej samej zbiorowości i charakteryzowanym przez dwoistość uniwersalia/zróźnicowanie. Pierwsza wartość tego przedsięwzięcia polega na tym, że po raz pierwszy można było zaproponować jednolite wyjaśnienie tych trzech zjawisk.

Co więcej, ta architektura sprzężenia wielomodalnego odpowiada minimalnemu materiałowi neuronalnemu, niezbędnemu do adaptacyjnej imitacji głosowej i nie zawiera żadnego elementu biologicznego swoistego dla mowy ludzkiej. Zjawisko krystalizacji systemu zachodzi dla dużego przedziału parametrów tego modelu, co pokazuje, że biologiczna innowacja, umożliwiająca przejście od systemów głosowych pozbawionych artykulacji do systemów charakteryzujących się szeregiem podstawowych właściwości mowy człowieka współczesnego, mogła być niewielka. Nie wydaje się konieczne, aby struktury neuronalne *a priori* i specyficznie kodujące układ fonemiczny oraz typowe regularności mowy musiały być generowane w sposób wrodzony, bo tylko tak miałyby być możliwe kształtowanie i uczenie się takich kodów mowy. Druga wartość tego przedsięwzięcia polega na tym, że pozwala ono zrozumieć, w jaki sposób właściwości samoorganizacji prostych struktur neuronalnych mogły narzucić przestrzeni form biologicznych mowy ograniczenia i umożliwić ich generowanie, a potem selekcję podczas filogenezy.

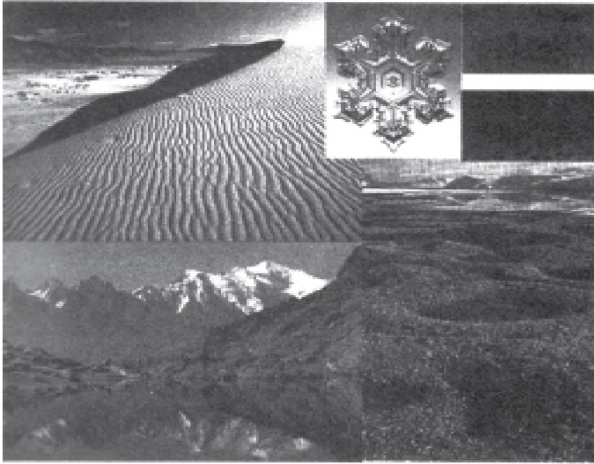
Te nowe hipotezy prawdopodobnie nie mogłyby się pojawić bez wykorzystania symulacji informatycznych, ponieważ dynamiki implikowane przez te hipotezy są złożone i trudne do przewidzenia w pracy poprzestającej na poszukiwaniu formuł słownych. Świadczy to o potencjalnej ważności, jaką mogą mieć te nowe narzędzia metodologiczne w naukach humanistycznych i naukach przyrodniczych. Jednakże modele informatyczne abstrahują od wielu mechanizmów biologicznych i etologicznych, polegają więc przede wszystkim na teoretycznej pracy refleksji nad przestrzenią hipotez: kiedy przestrzeń jest na nowo skonceptualizowana, zaś wewnętrzna spójność hipotez sprawdzona za pomocą symulacji, cała praca potwierdzenia i umocowania hipotez w rzeczywistości obserwacji biologicznych pozostaje do wykonania. Trzecia wartość tego przedsięwzięcia wiąże się nie tyle z wypracowaniem nowych specjalnych hipotez, co z konstruowaniem warsztatu badawczego, znajdowaniem narzędzi pozwalających rozwinąć nowe intuicje i nowe pojęcia przydatne w myśleniu o pochodzeniu i ewolucji mowy<sup>32</sup>.

Przełożył Adam Dziadek

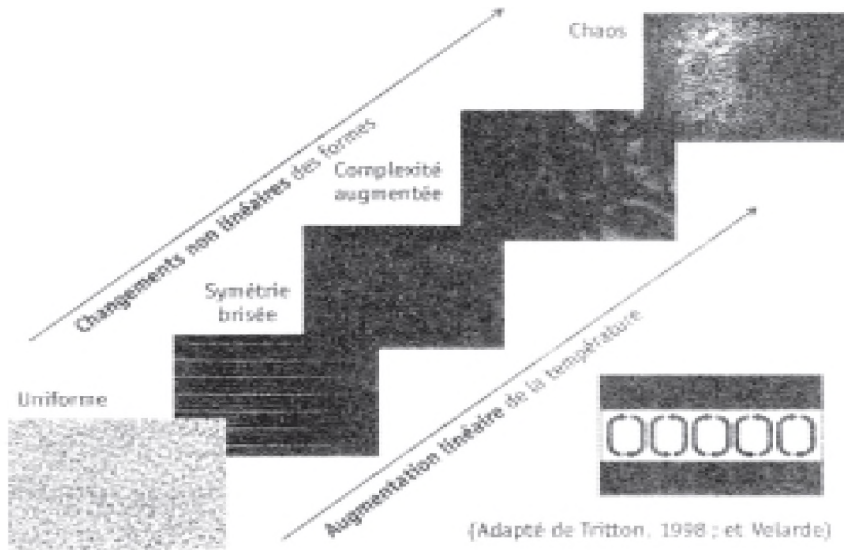
---

<sup>32</sup> Praca ta została zrealizowana w dużej części w Sony Computer Science Laboratory w Paryżu przy wsparciu Luca Steelsa.

## Oudeyer Samoorganizacja w ewolucji mowy



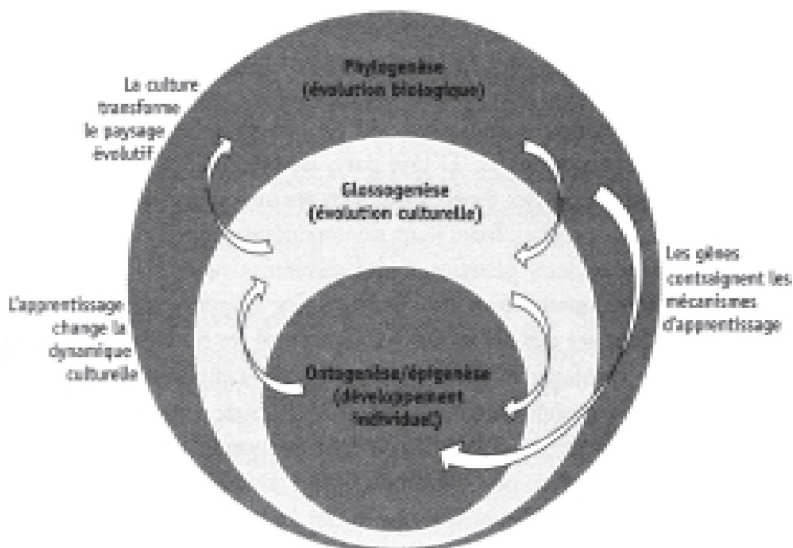
**Ilustracja 1.** Natura obfituje w formy i motywy zorganizowane, chociaż nigdzie nie znajdziemy planów, które posłużyły do ich zbudowania: dlatego właśnie mówi się, że są one samozorganizowane. Na ilustracji mamy równoległe pasma przebiegające przez wydmy; pęcherzyki wody na powierzchni wstrząśniętego płynu; struktury polihedralne kryształka lodu; góry, których kształty są takie same, bez względu na to, czy ogląda się je z wysokości skał, czy z wysokości szczytu.



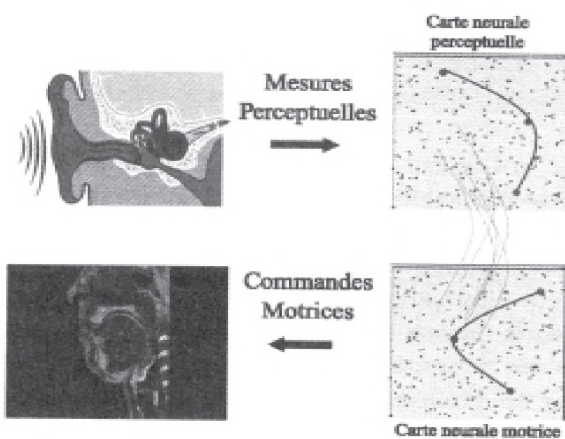
**Ilustracja 2.** Komórki Rayleigha-Bénarda: jeśli podgrzewamy od spodu cienką warstwę oliwy rozlaną na płaskiej powierzchni, wówczas prądy konwekcyjne, nabierające szczególnych kształtów geometrycznych (linie, kostki heksagonalne), samoorganizują się. Kształty te zmieniają się gwałtownie, kiedy przekroczony zostaje pewien próg temperatury. Ten typ nieliniowości jest właściwy wielu systemom samozorganizowanym zarówno świata nieorganicznego, jak i żywego. Napisy na ilustracji: *Changements non linéaires des formes* – Nieliniowe zmiany form; *Chaos* – Chaos; *Complexité augmentée* – Wzrost złożoności; *Symétrie brisée* – Złamana symetria; *Uniforme* – Jednolite; *Augmentation linéaire de la température* – Liniowy przyrost temperatury. (Zdjęcia z: D.J. Tritton *Physical fluid dynamics*, Oxford University Press, Oxford 1988 i od M. Velarde z Universidad Complutense, Madrid).



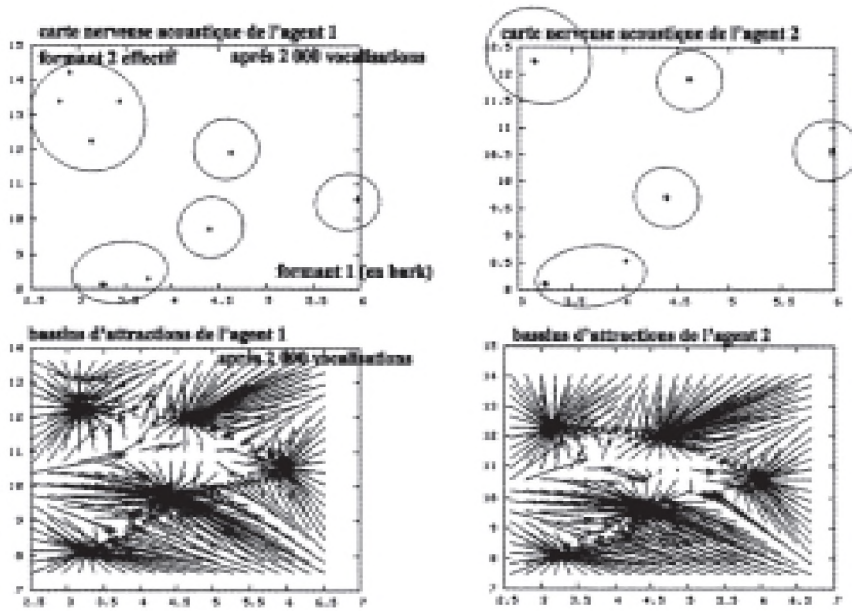
## Prezentacje



**Ilustracja 3.** Wielostopniowość interakcji u źródeł mowy. Napisy na ilustracji: *La culture transforme le paysage évolutif* – Kultura przekształca pejzaż ewolucyjny; *L'apprentissage change la dynamique culturelle* – Uczenie się zmienia dynamikę kultury; *Les gènes contraignent les mécanismes d'apprentissage* – Geny wymuszają mechanizmy uczenia się; *Phylogénèse (évolution biologique)* – Filogeneza (ewolucja biologiczna); *Glossogénèse (évolution culturelle)* – Glossogeneza (ewolucja kulturowa); *Ontogénèse/épigénèse (développement individuel)* – Ontogeneza/epigeneza (rozwój jednostki).

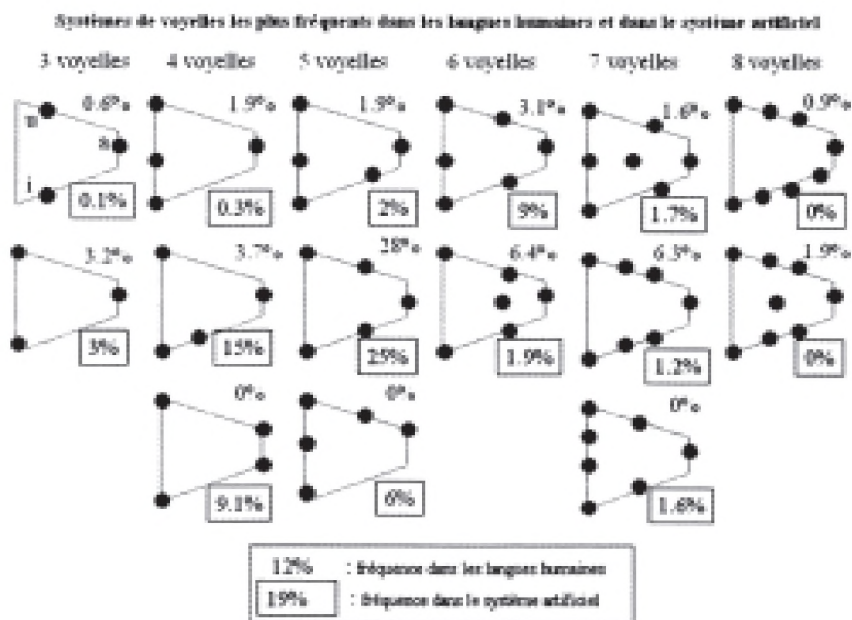


**Ilustracja 4.** Architektura robota w sztucznym systemie. Każdy robot jest wyposażony w sztuczne ucho, w sztuczny kanał głosowy i dwie sieci sztucznych neuronów, jedną percepcyjną, a drugą motoryczną, które łączą te dwa organy. Napisy na ilustracji: *Mesures perceptuelles* – Wskaźniki percepcyjne; *Commandes Motrices* – Instrukcje motoryczne; *Carte neural perceptuelle* – Mapa neuronalna percepcji; *Carte neural motrice* – Mapa neuronalna motoryki.



**Ilustracja 5.** Początkowa symetria map neuronalnych robotów bardzo szybko ulega złamaniu, a neurony, które początkowo kodowały aleatorycznie konfiguracje głosowe rozłożone w przestrzeni fonacji, kodują teraz niewielką liczbę konfiguracji, które są systematycznie powtarzane przez agensów w czasie ich gaworzenia: przestrzeń głosowa staje się nieciągła. Pojawiające się konfiguracje elementarne są takie same w wszystkich agensów tej samej populacji, ale różne w przypadku różnych populacji. Można to zobaczyć na tym rysunku, który przedstawia mapę neuronów percepcyjnych dwu agensów po 2000 fonacji (u góry), jak i przedstawienie dystrybucji tych fonacji (na dole). Przestrzeń słuchowa jest rzutowana na formanty F1 i F2 mierzone w barksach, co pozwala przedstawić samogłoski systemu głosowego samorganizowanego w tej symulacji. Napisy na ilustracji: *Carte nerveuse acoustique de l'agent 1* – Mapa neuronalna akustyczna agensa 1; *Carte nerveuse acoustique de l'agent 2* – Mapa neuronalna akustyczna agensa 2; *Bassin d'attractions de l'agent 1* – Basen przyciągania agensa 1; *Bassin d'attractions de l'agent 2* – Basen przyciągania agensa 2; *formant 2 effectif* – formant F2; *après 2000 vocalisation* – po 2000 fonacji; *formant 1 (en bark)* – formant F1 (w barksach).

## Prezentacje



**Ilustracja 6.** Porównanie dystrybucji samorganizowanych systemów samogłosek w systemie sztucznym i dystrybucji systemów samogłosek w językach ludzkich (na podstawie bazy danych UPSID, zob I. Maddieson *Patterns of sounds*, Cambridge University Press, Cambridge 1984). Systemy samogłosek są przedstawione na trójkącie samogłoskowym, którego wymiar horyzontalny odpowiada formantowi F1, a wymiar wertykalny – F2. Można zauważyć, że najczęstsze systemy tworzone przez sztucznych agensów są również tymi, które najczęściej występują i u ludzi, zwłaszcza system 5 symetrycznych samogłosek *a, e, i, o, u* – w 25% w systemach sztucznych i 28% w językach ludzkich. Napisy na ilustracjach: *Systèmes de voyelles les plus fréquentes dans les langues humaines et dans le système artificiel* – Najczęstsze systemy samogłosek w językach naturalnych i w systemie sztucznym; *fréquence dans les langues humaines* – częstotliwość w językach naturalnych; *fréquence dans le système artificiel* – częstotliwość w systemie sztucznym.

**Oudeyer** Samoorganizacja w ewolucji mowy

## Abstract

**Pierre-Yves OUDEYER**

**Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (Bordeaux)**

### Self-Organisation in the Evolution of Speech

In this article Pierre-Yves Oudeyer summarises the main tenets of his doctoral thesis, for which he was awarded the prestigious Prix Associations Françaises des Sciences et Technologies de l'Information in 2005. Oudeyer focuses on the origin of speech, and questions how that speech can be spontaneously generated by the coupling of evolutionarily simple neural structures connecting perception and production. He explores this hypothesis by constructing a computational system to model the effects of linking auditory and vocal motor neural nets. His innovative findings are supported by research in robotics, which represent a key contribution to evolutionary phonetics.