



SPIDER'S WEB > NAUKA > TECH

**Nasz mózg stworzył
teorie pozwalające na
opisanie
skomplikowanych
zjawisk, choć... jeszcze
nie dojrzał do ich**

interpretacji



MACIEJ DOBRZYŃSKI
29 LISTOPADA 2015



Wiemy coraz więcej, zarówno o otaczającym nas świecie jak i o nas samych. Bynajmniej nie jesteśmy tylko biernymi czytelnikami. Wszystko co wiemy, miliony stron ksiąg, traktatów i podręczników, dzieł wiekopomnych i błahych stworzyliśmy my sami. Bo coś tam zrozumieliśmy, coś dojrzeliśmy w gąszczu praw i zasad kierujących światem. Nasze rozumienie nie zawsze odpowiadało rzeczywistości, a to co uważaliśmy za słuszne czasem prowadziło na manowce. Mimo tego, chyba nawet największy sceptyk przyzna, że Internet w kieszeni to postęp

w stosunku do papirusowych zwojów dostępnych uczonej w piśmie elicie.

Ten sam sceptyk szybko też zauważy, że nasze rozumienie zjawisk pozostaje coraz bardziej w tyle za szybko akumulującą się wiedzą. Pewnie będzie miał rację, bo zjawiska, które staramy się zrozumieć, są niezwykle złożone. Już pojedyncza komórka naszego ciała stanowi imponujących rozmiarów mikrokosmos. W kwietniu 2003 roku dzięki [*Human Genome Project*](#) kierowanemu przez Craiga Ventera po raz pierwszy poznaliśmy wszystkie dwadzieścia parę tysięcy genów jednego z anonimowych dawców. Integralną częścią projektu był aspekt obliczeniowy.

Dopasowanie i posortowanie 3 miliardów par zasad DNA udało się dzięki komputerom, a dokładniej [klastrze](#) o mocy 250 gigaFLOPów (miliardów operacji zmienno-przecinkowych na sekundę), czyli nieco ponad [dwukrotnie więcej](#) niż moc CPU współczesnych konsol PlayStation 4 lub Xbox One. Ogromna ilość generowanych danych wymagała ogromnej, jak na ówczesne warunki, pamięci masowej. Podczas gdy domowym standardem były dyski o pojemności 10 GB, projekt wymagał 4 TB.

Pomimo niekwestionowanego postępu w odczycie ludzkiego genomu, pełne zrozumienie jak poszczególne geny współpracują ze sobą zajmie nam jeszcze sporo czasu.

Geny to tylko zapis, sedno tkwi w ich interpretacji przez procesy komórkowe. Jak to możliwe, że z pojedynczej zapłodnionej komórki powstaje tak bardzo zróżnicowany organizm? Jakie procesy prowadzą do powstania mózgu na jednym, a stopy na drugim końcu ciała? Jak bardzo uszkodzone geny zaburzają procesy komórkowe? Czym jest choroba, a jeśli już nastąpi, jak ją pokonać?

Na wiele z tych pytań udało się odpowiedzieć, choć obraz wcale się nie rozjaśnił. Już wiemy, że geny to nie wszystko. Wszystko kontrolują reakcje biochemiczne, szkopuł w tym, że są ich miliony.

Białkowe struktury naszego umysłu nie rozszyfrują takiej układanki, choć i na to znaleźliśmy sposób - stworzyliśmy komputery. Analiza ogromnych układów połączonych siecią interakcji, to dla nich wymarzone zadanie. Testowanie prototypów samolotów, przewidywanie pogody, czy zachowań rynków finansowych już od dawna odbywa się *in silico*, czyli "w krzemie". Rewolucja komputerowa nie ominęła także biologii. Przy obecnych apetytach naukowców na analizowanie coraz bardziej złożonych problemów, poznanie i zrozumienie procesów życiowych napędzających nas samych zawdzięczamy prawie wyłącznie postępowi w elektronice i technikach informacyjnych.

Geny definiują trójwymiarowe struktury białek, tak ważne dla procesów biochemicznych, w których owe białka uczestniczą. Białka, np. enzymy, i geny powiązane są milionami oddziaływań chemicznych, które wpływają na siebie nawzajem. Pchani głodem wiedzy, naukowcy wyodrębnili wiele z nich. Wiemy na przykład, że ludzie, podobnie jak i inne organizmy żywe, posiadają wewnętrzny zegar biologiczny, który kontroluje *rytm dobowy*. Mechanizm oparty jest na *kilku genach*, które nawzajem regulują swoją aktywność. Wynikiem tak zorganizowanej kontroli, tzw. sprzężeń zwrotnych, są oscylacje, dzięki którym w ciągu doby procesy przebiegają z różną prędkością. Dobowe oscylacje powodują obniżenie temperatury ciała około 5 nad ranem, a wydzielająca się o zmierzchu melatonina pozawala zasnąć.

Innym częstym motywem w biologii są *przełączniki*. Nie powinno to nikogo dziwić, w końcu nie posiadamy kończyn składających się w 30% z ręki, a

w 70% z nogi, nasze oczy nie posiadają kubków smakowych, a w nosie nie rosną nam paznokcie. Na pewnym etapie rozwoju organizmu musi nastąpić decyzja. Komórki "ogólnego przeznaczenia" muszą się *zróżnicować* w jedną z wielu typów komórek ciała. Proces wymaga przełączenia wieluset genów, co można porównać do przekierowania nadjeżdżającego pociągu na odpowiedni tor.

Tu nie może być sytuacji pośrednich, bo każda pomyłka skutkuje błędem rozwoju.

Mechanizm kontrolujący przełączanie musi być niezawodny i odporny na zakłócenia, których wiele w mikroskopijnej komórce. Pamiętajmy, że wszystko oparte jest na reakcjach chemicznych, a te zależne są od temperatury, stężeń i swobody z jaką cząsteczki biologiczne takie jak białka lub DNA mogą się przemieszczać w zatłoczonym środowisku komórkowym. Dzięki miliardom lat ewolucji wyłoniły się rozwiązania, które pozwalają bezbłędnie osiągać dwa różne stany pomimo nieuniknionych zakłóceń. Okazuje się, że wiele reakcji chemicznych w komórkach, a także w całym organizmie, połączonych jest sprzężeniami, które tworzą dobrze znany inżynierom układ bistabilny. Nie ma w nim miejsca na wartości pośrednie, a jeśli już się zdarzą, szybko dążą do jednej z dwóch możliwości, tak lub nie, włączyć - wyłączyć, życie lub śmierć.

Oscylatory, przełączniki, sprzężenia zwrotne, wszystko wydaje się znajome. W oparciu o podobne zasady konstruujemy urządzenia elektroniczne. Chciałoby się to wszystko zapisać w komputerze, wcisnąć ENTER i zacząć zadawać pytania. Co się stanie gdy wyłączymy jeden gen? A co jeśli kilkadziesiąt? Czy zrakowaciała komórka powróci do normalnego stanu, gdy wprowadzimy dodatkową substancję - lek? Wiele schorzeń wynika z jednoczesnego zaburzenia kilku elementów połączonego systemu. W tej sytuacji na nic zda się intuicja, by przewidzieć taką modyfikację procesu, która doprowadzi do uzdrowienia chorej komórki, organu, czy organizmu.

W zasadzie nic nie stałoby na przeszkodzie, by zacząć zabawę w komputerze, gdyby nie jeden drobiazg - nie znamy wszystkich połączeń!

Pomimo lotów na Marsa, coraz cieńszych telefonów i coraz bardziej upakowanych procesorów, podejrzenie procesów komórkowych wymaga niezwyklej pomysłowości, a i tak efekty są dalekie od zadowalających. Przyzwyczajeni jesteśmy do książkowych [wizualizacji komórek](#), podczas, gdy obraz z mikroskopu to [czarno-szare mazaje](#). Widać na nim główne struktury komórki, lecz zidentyfikowanie głównych aktorów, których w komórce znajduje się tysiące rodzajów, wymaga dużo bardziej wyrafinowanych narzędzi.

Nie do końca też wiemy, które białka ze sobą oddziałują i na które geny mają wpływ. Spośród tych białek i genów, których oddziaływania znamy, nie wiemy do końca z jaką szybkością owe oddziaływania (reakcje chemiczne) przebiegają. A wszystko ma potencjalne znaczenie. Mutacje w genie kodującym receptor hormonu wzrostu ([EGFR](#)) prowadzą do jego ciągłej aktywności, czyli przeprowadzania reakcji chemicznej nawet wtedy gdy zachodzić nie powinna. Jak bardzo to niebezpieczne doskonale wiedzą miliony pacjentów zapadających na raka. Wiele jego odmian ma właśnie zaburzone działanie EGFR, który w normalnych warunkach przekazuje sygnał wzywający komórkę do podziału. Mutacja powoduje, że sygnał występuje cały czas, co skutkuje nadmiernym rozmnożeniem komórek tam gdzie to niepożądane, czyli guzami.

Czy nadejdzie dzień, w którym poznamy wszystkie elementy układanki i zdołamy zasymulować całego człowieka?

Istnieje kilka inicjatyw, które zamierzają spełnić to marzenie. Jedną z nich jest [Wirtualny Człowiek](#), platforma skupiająca kilkanaście projektów, symulujących między innymi serce, czy wątrobę.

Mimo najlepszych chęci, perspektywa symulacji całego organizmu, wydaje się jednak dość odległa. Kłopoty sprawiają nam nawet najprostsze jednokomórkowce. W 2012 roku prestiżowy magazyn Cell opublikował pracę na temat symulacji niewielkiej bakterii zamieszkującej nasze genitalia, [Mycoplasma genitalium](#). Mimo, że infekuje drogi moczowe i potrafi skomplikować ciążę, jest dość wdzięcznym organizmem do badań. Jej DNA zawiera jedynie 580 tysięcy par zasad zorganizowanych w 525 genów (dla porównania, genom człowieka zawiera 3 miliardy par zasad i około 20 tysięcy genów). Symulacje 10-godzinnego cyklu komórkowego w zależności od palety kilkuset modyfikacji genów trwały 10 godzin każda na 128-rdzeniowym klastrze. Całkiem niedużo.

Jak przystało na porządną pracę naukową finansowaną z publicznych pieniędzy, autorzy udostępnili serwis do przeprowadzania symulacji we własnym zakresie. Wystarczy odwiedzić stronę [Whole Cell Wiki](#).

Podobne symulacje z komórkami człowieka wymagałyby znacznie większych mocy obliczeniowych. Nawet jeśli (bardzo!) optymistycznie przyjmiemy, że 40-krotne zwiększenie liczby genów wymaga takiego samego zwiększenia nakładów obliczeniowych, jedną komórkę symulowalibyśmy pół miesiąca. Oczywiście istnieją większe klastry, a procesory co roku przyspieszają. Obecny rekordzista, chiński [Tianhe-2](#) zawiera 3 miliony rdzeni. To już pozwoliłoby na symulację w rozsądnym czasie prawie 25 tysięcy komórek. Jak to się ma do całego ludzkiego organizmu? W naszym ciele znajduje się około [40 bilionów](#) komórek, czyli miliard razy więcej niż nasze obecne, bardzo konserwatywnie oszacowane możliwości obliczeniowe! Przy czym nie wzięliśmy w nich pod uwagę dodatkowych 100 bilionów bakterii zamieszkujących naszą skórę i trzewia. Naukowcy poświęcają im coraz więcej uwagi, bo okazuje się, że [bakterie wpływają](#) na wiele aspektów naszego dobrostanu. Na przykład, pożyteczne pomagają w trawieniu, inne mogą przyczynić się do otyłości.

Symulacje komórek, organów, a nawet całej fizjologii człowieka z pewnością pomogą w testowaniu i doborze terapii do indywidualnych cech pacjenta.

Nie da się jednak ukryć, że najbardziej ekscytującym organem z punktu widzenia symulacji jest mózg. Półtora kilograma szarej masy, już w pojedynkę stanowi potężne i [fascynujące narzędzie](#). Składa się ze 100 miliardów wyspecjalizowanych komórek, neuronów, połączonych siecią, bagatela, miliona miliardów synaps. Jeszcze długo nie będziemy dysponować mocą obliczeniową, która pozwoli nawet na najprymitywniejszą symulację całego mózgu. Pierwsze próby już istnieją, choć ich skala jest nieco deprymująca.

W październiku tego roku, zespół należący do europejskiego projektu poznania ludzkiego mózgu opublikował [wstępne wyniki](#) symulacji 1/3 milimetra (!) sześciennego tkanki mózgowej szczura. To "tylko" 30 tysięcy neuronów i 40 milionów synaps. Do symulacji kilku miliardów równań różniczkowych wykorzystano superkomputer IBM BlueGene/Q o łącznej mocy 840 teraFLOPów (milion milionów operacji zmiennie-przecinkowych na sekundę). Pamięć operacyjna maszyny? 65 terabajtów... Superkomputer absolutnie nie należy do czołówki obliczeniowych gigantów. Aktualnie znajduje się na odległym 122. miejscu [listy top 500](#), a od chińskiego lidera wolniejszy jest 65 razy. Podczas gdy ludzkiemu mózgowi wystarcza, w zależności od wysiłku umysłowego, 12-20 watów energii, zasilanie BlueGene/Q wymaga ich 329 tysięcy.

Autorzy odtworzyli niektóre wyniki eksperymentalne dając nadzieję, że tego rodzaju symulacje dostarczą wiarygodnego narzędzia do testowania zachowań mózgu. Na początek udostępnili interaktywny portal,

w którym zamieszczono wizualizacje symulacji, jak również [narzędzia do ich powtórzenia](#). Lecz odtworzenie wyników badań wcale nie oznacza, że coś z tego rozumiemy. [Sceptycy](#) zarzucają europejskim dysydentom finansowanie ([miliard euro przez 10 lat](#)) badań, które obiecują wyniki mimo, że bardzo daleko nam jeszcze do zrozumienia działania nawet pojedynczych neuronów, a co dopiero ich miliardów.

Krytyka nie jest bezzasadna. Ulubionym obiektem badań nad mózgiem jest zwierzę, które... takowego nie posiada.

To mała nicienka, o wdzięcznej nazwie [Caenorhabditis elegans](#). Jeszcze do października tego roku wydawało się, że jego układ nerwowy zawiera 383 neurony. Wszystkie dokładnie skatalogowane wraz z dokładną mapą połączeń. Zbadano nawet jak zaburzenia poszczególnych neuronów wpływają na zachowania nicienia, np. umiejętność poszukiwania pożywienia, albo znajdowania cieplejszych miejsc do zasiedlenia. Bomba nadeszła parę miesięcy temu. Po trzech latach mozolnej pracy, zespół naukowców wykazał [istnienie neuronu nr 384 i 385!](#) Dwa nowe neurony dostały nawet swoją nazwę, *tajemnicze komórki męskie* (ang. mystery cells of the male). Co kontrolują? Sex..., a dokładniej pomagają nicieniowi wybrać poszukiwania partnerki zamiast jedzenia.

Symulacja nicienia wydaje się być w zasięgu naszych

możliwości. Oprócz wspomnianych komórek nerwowych jego ciało ma tylko 600 dodatkowych komórek. Wiemy gdzie się znajdują i jakiego są typu. Strona projektu [OpenWorm](#) zawiera całą dokumentację, kody źródłowe do przeprowadzenia symulacji na własną rękę, a nawet aplikację na iOS. Dobra wiadomość dla ambitnych, bo cel - symulacja całego organizmu wielokomórkowego wraz z zachowaniami - jeszcze nie został osiągnięty, a do projektu może dołączyć każdy.

Z tej perspektywy obietnice symulacji człowieka, lub "choć" całego mózgu wydają się dzieciennym machaniem szabelką.

Choć może to i lepiej, bo nawet jeśli kiedyś nadludzkim wysiłkiem zbierzemy całą dostępną moc obliczeniową i odtworzymy działanie mózgu w komputerze, to przecież nie robimy tego bynajmniej by oglądać na ekranie tempa spalania glukozy. Przecież gdzieś tam po cichu liczymy, że symulacja odtworzy tą nieuchwytną magię, gdy miliardy neuronów zaczynają niezwykłą skoordynowaną pracę, którą zwykliśmy nazywać świadomością. Czy tak narodzi się zapowiadana przez Ray'a Kurzweila [superinteligencja](#)?

A może sposób, w jaki obliczamy bardzo złożone układy stanowi jedną z tych ślepych uliczek, jakich wiele doświadczyliśmy w nauce? Być może coś jest nie tak w naszym sposobie opisu zjawisk skoro ciągle

kiepsko radzimy sobie z symulacjami nawet najprostszych organizmów, pomimo wspomagania ze strony potężnych energochłonnych komputerów? By opisać grawitację, Isaac Newton wymyślił cały aparat matematyczny w postaci rachunku różniczkowego. Używamy go do dziś, między innymi do wzmiankowanych tu symulacji zmian w czasie stężeń cząsteczek biochemicznych w komórkach, choć daje się odczuć, że do opisu większych układów potrzebować możemy całkiem nowej matematyki.

Być może za 100 lat z politowaniem popatrzymy na obecne wysiłki, bo po drodze pojawi się ktoś, kto całkowicie wywróci nasze postrzeganie układów złożonych.

Istnieje również prawdopodobieństwo, że jeszcze długo nie będzie nam to dane. W końcu przez miliony lat gatunek *homo* ewoluował w środowisku, w którym ważniejsze było decydowanie o tym kiedy warto zapolować na zwierzynę, gdzie się osiedlić i w którym momencie zacząć gromadzić pożywienie, by przeżyć zimną porę. [Robert Hooke](#) po raz pierwszy zaobserwował komórkę 350 lat temu, a prawdziwy rozwój genetyki i biologii molekularnej nastąpił dopiero w ostatnich kilkudziesięciu latach. Nie da się oprzeć wrażeniu, że **nasz mózg stworzył teorie pozwalające na opisanie skomplikowanych zjawisk, choć jeszcze nie dojrzał do ich interpretacji.**

Dziesięć lat temu profesor [Jadwiga Staniszkis](#), znana

polska socjolog opublikowała opowiadanie zatytułowane "Podwójna pętla" zamieszczone w zbiorze *PL+50. Historie przyszłości*. W przygnębiającej wizji rodem z serii filmów *Matrix*, "System" wykorzystuje ludzi do rozwiązywania skomplikowanych problemów, z którymi sobie nie radzi. Do zadań zaprzęga nie pojedynczych ludzi, lecz całe pajęczyny połączonych umysłami osobników. Pomimo pesymistycznego tonu opowiadania, wydaje się, że tak właśnie musimy atakować najtrudniejsze problemy. **Razem**. Pierwszy krok w postaci globalnej sieci już zrobiliśmy. Warto teraz popracować nad skoordynowaniem wysiłków.

[Dobrzynski]