

Czas i przestrzeń w cyfrowym świecie

Zagadnienia czasu i przestrzeni pobudzają ludzką wyobraźnię niemal od zarania dziejów - już starożytni filozofowie prowadzili na ich temat burzliwe dyskusje i stawiali śmiałe tezy, które z kolei inni badacze podważali, prezentując wynikające z nich paradoksy – wystarczy wspomnieć Zenon z Elei (V w. p.n.e.) i jego opowieść o wyścigu Achillesa z żółwiem¹. Zainteresowanie tą tematyką wynika przede wszystkim z wyjątkowego charakteru przedmiotu badań. Z jednej strony każdy dostrzega upływ czasu i obraz otaczającego go świata, co pociąga naturalną ciekawość i potrzebę zadawania pytań, z drugiej – nauka XXI wieku wciąż nie potrafi odpowiedzieć na najprostsze z nich, które mogłoby sformułować nawet dziecko: *Czym jest świat? Czy ma kres, a jeśli tak, to co znajduje się za jego granicą? Czy możliwa jest podróż w przeszłość lub przyszłość?*

Analiza przestrzeni stanowi jedną z podstawowych zdolności człowieka, ale też fundamentalną cechę organizmów na każdym poziomie rozwoju, umożliwiającą prawidłowe funkcjonowanie w otaczającym środowisku, a tym samym przetrwanie. Postrzeganie wymiaru przestrzennego opiera się nie tylko na analizie obrazu docierającego do narządów wzroku (rozmiar obserwowanego obiektu, jasność otoczenia, barwa, jej intensywność), ale również na wykorzystaniu zmysłu dotyku, odbiorze wrażeń akustycznych, czy nawet węchowych i odczuwaniu zmian temperatury. Niektóre zwierzęta przy poruszaniu się wykorzystują też echolokację (znane wszystkim nietoperze, ale też np. delfiny), czy specyficzne narządy pozwalające na rozpoznawanie zmian pól elektrycznych (tzw. elektrorepcja, którą posiadają m.in. dziobaki, rekiny i płaszczki) lub magnetycznych (tzw. magnetorepcja, zaobserwowana m.in. u wędrownych ptaków, ryb i pszczół). Brak umiejętności wnioskowania na temat odległości pomiędzy obserwowanymi obiektami oraz o relacjach opisujących ich wzajemne położenie praktycznie uniemożliwiłoby wykonywanie wielu prostych czynności. Z kolei postrzeganie upływu czasu i zmian zachodzących w otoczeniu stanowi niezbędną podstawę dedukcji, która umożliwia naukę, zdobywanie życiowego

¹ Żółw rusza pierwszy i pokonuje odległość d metrów. Wtedy startuje Achilles, biegnący dwa razy szybciej. Kiedy dotrze do miejsca, gdzie znajdował się żółw, ten umknie o kolejne $d/2$ m. Achilles pokonuje brakujące $d/2$ m, ale gad przesunie się o następne $d/4$ m, itd. Skąd paradoksalny wniosek, że Achilles nigdy nie dogoni żółwia.

doświadczenia i umiejętności przewidywania następstw podejmowanych działań (dzięki obserwacji przyczyn i skutków różnych procesów).

Nie mniej istotne niż postrzeganie świata, jest zagadnienie przechowywania wiedzy o nim. Już w 1978 roku B. Kuipers przytaczał liczne badania, z których wyłania się obraz tzw. „mapy poznawczej”, będącej nieobserwowalną fizycznie strukturą informacji przechowywaną w ludzkim mózgu. Uczenie się polega na wprowadzaniu do niej nowych faktów, natomiast znalezienie rozwiązania problemu (jak dotarcie do miejsca, którego wprost nie widzimy) związane jest z wykonywaniem zapytań do tej bazy wiedzy. Właśnie ta tajemnicza i ulotna struktura, skryta w umyśle każdego z nas, stanowi temat rozważań wielu naukowców, szczególnie tych związanych z takimi działami sztucznej inteligencji, jak analiza obrazu, robotyka, czy przetwarzanie języka naturalnego. Pomimo bowiem, że współczesne komputery potrafią wykonywać miliony skomplikowanych obliczeń w przeciągu sekundy, to wciąż nie są w stanie sprawnie poruszać się w nieznanym środowisku czy chociażby nawiązać sensowny dialog z człowiekiem².

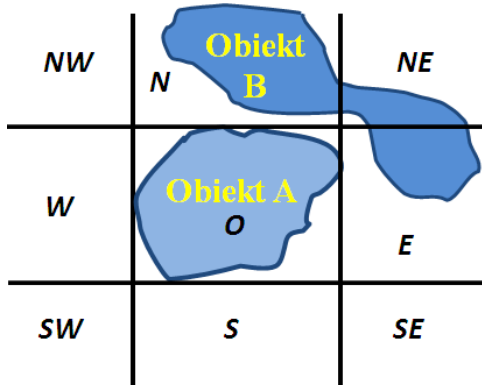
Komputerowe modelowanie czasu i przestrzeni, a więc próba reprezentacji w systemach obrazu otaczającego nas świata, rozwija się bardzo dynamicznie przede wszystkim w dwóch konkurencyjnych nurtach. Pierwszym są metody ilościowe, wykorzystujące zdolność maszyn do błyskawicznego przeliczania informacji pochodzących z nadajników GPS, sensorów i niezwykle czułych urządzeń pomiarowych. Techniki te wykorzystują skomplikowane wzory geometryczne i topologiczne oraz operują na setkach parametrów precyzyjniejszych niż uzyskiwane przez najlepszego geodetę. I paradoksalnie właśnie ten perfekcjonizm i dokładność nieosiągalna przez człowieka jest źródłem poważnych problemów, na które napotykają twórcy takich systemów. Przykładowo, złożony system może okazać się zupełnie bezużyteczny, gdy zabraknie danych z jednego z kilkudziesięciu czujników. Metody te nie radzą sobie również z informacją mniej precyzyjną – przeciętny mężczyzna, nie wiedząc, czy oglądany garnitur jest czarny, czy w kolorze grafitowym, może użyć określenia *ciemny* – technika ilościowa nie daje już takiej możliwości maszynie. Kłopotliwe jest też właściwe tłumaczenie złożonych wyników na dane czytelne przez

² Wyrazem tego problemu jest tzw. Test Turinga. Wyobraźmy sobie, że na internetowym chacie dyskutujemy z kilkoma osobami i paroma robotami. Jeśli po ustalonym czasie wciąż nie jesteśmy pewni, który z rozmówców jest maszyną, a który człowiekiem, wówczas uznajemy, że aplikacja ta na tyle dobrze imituje istotę ludzką, by zaliczyć test. Postawionemu przez A. Turinga wyzwaniu nie sprostał dotąd żaden komputer, mimo, że od jego zaproponowania minęło ponad 60 lat.

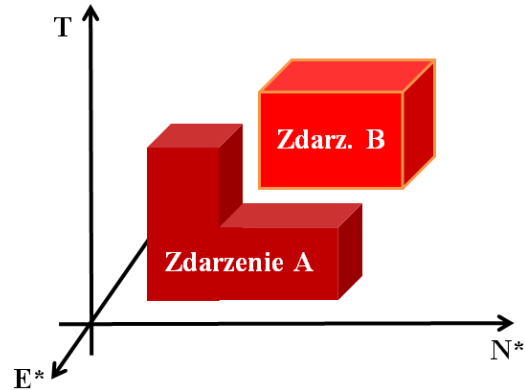
użytkownika. W tym miejscu z pomocą przychodzą nam metody jakościowe, oparte nie na dokładnych wartościach metrycznych, lecz na relacjach, które wyrazić można prostymi określeniami z życia codziennego jak *na północ od, wewnątrz, na zewnątrz, przed, po, w trakcie*. Chodź pozornie podejście takie wydaje się mniej odpowiednie, rozwiązania takie okazują się zaskakująco skuteczne. Po pierwsze opisują zależność pomiędzy dwoma obiektami bez konieczności znajomości ich rozmiarów – wystarczy informacja, że np. A jest większe od B. Powoduje to, że pojedyncza metoda jest skuteczna w wielu zastosowaniach, bez względu na to, czy opisujemy położenie komórek na szkiełku mikroskopowym, czy pozycje oddziałów wojskowych w trakcie manewrów. Techniki jakościowe budzą jednak szczególne zainteresowanie przede wszystkim dlatego, że tworzony model w sposób wyjątkowo intuicyjny odpowiada temu, jak człowiek postrzega otaczający go świat. Aby w prosty sposób zobrazować ich użyteczności Ch. Freksa przedstawił w 1991 roku tzw. Metaforę Akwarium. Wyobraźmy sobie dwoje ludzi, pana X i panią Y, którzy obserwują podwodny świat za ogromną szybą. Co ciekawe, mogą oni swobodnie rozmawiać o dowolnej rybie, która wyda im się interesująca, pomimo, że komputer zidentyfikowałby poważne problemy: wycieczkowicze nie mają przyrządów pomiarowych, obserwowane środowisko jest bardzo dynamiczne (ryby poruszają się niezwykle szybko), wreszcie każda z osób obserwuje sytuację z nieco innej perspektywy (ta sama ryba może być widoczna przez X, ale ukryta za skałą przed wzrokiem Y) i postrzega ją także inaczej (jak chociażby kolory – pani Y zapewne potrafi nazwać kilka razy więcej barw od pana X). Jaki wniosek powinniśmy wyciągnąć z tej historii? Taki, że zbliżone do naszego sposobu rozumowania metody jakościowe, mimo, że mniej dokładne, często okazują się znacznie skuteczniejsze od technik ilościowych. Im większą realną inteligencją ma wykazać się robot, tym więcej uwagi jego twórcy muszą poświęcić na studiowanie takich właśnie rozwiązań. Prawdopodobnie to w nich kryje się klucz do budowy sztucznej mapy poznawczej.

Metody jakościowe znane są informatykom od 1983 roku, kiedy J. Allen zaproponował pierwszy matematyczny model opisu relacji pomiędzy przedziałami czasowymi. My jednak zwrócimy uwagę na rozwiązanie trochę późniejsze, które ostatnio rozszerzyliśmy, dzięki czemu zyskało pewne nowe, interesujące możliwości. Formalizm CDC, wprowadzony przez R. Goyala i M. Egenhofera w 2001 roku, służy reprezentacji przestrzennej pozycji pewnego obiektu B względem obiektu A, który pełni tu rolę punktu odniesienia (choć wyraz *punkt* jest nie do końca na miejscu, gdyż badane obiekty mogą być figurami o niemal dowolnym kształcie; unikamy jedynie dziur i pewnych wyjątkowych

nieregularności – to wymóg postawiony przez autorów). Obiekty A i B znajdują się na płaszczyźnie \mathbf{R}^2 , co oznacza, że możemy wyobrazić je sobie jako dwie plamy na papierowej mapie. Podobnie, jak w kartografii, ustalamy układ współrzędnych, a następnie prowadzimy proste, które ograniczają obiekt A analogicznie do południków i równoleżników przechodzących przez skrajne obszary Polski (rys. 1.). Wówczas cała płaszczyzna (czy też



Rysunek 1.



Rysunek 2.

rzeczywistość, którą obserwujemy) zostaje podzielona na dziewięć obszarów. Osiem z nich nawiązuje do podstawowych kierunków świata i oznaczamy je w sposób wydawać by się mogło najprostszy: N – „na północ od A”, NE – „na północny-wschód od A”, i dalej podobnie: E, SE, S, SW, W, NW. Dodatkowo przez O oznaczamy prostokąt, którym ograniczyliśmy obiekt A. Warto zauważyć, że dzięki takiemu podziałowi przestrzeni, możemy teraz pozycję dowolnego innego obiektu na mapie opisać względem poszczególnych fragmentów tej układanki: najzwyczajniej wskazujemy obszary przez niego zajmowane. Przykładowo, położenie B w sytuacji pokazanej na rys. 1. możemy odnotować krótko jako N:NE:E, czyli, że B znajduje się w na północ, ale też na północny-wschód i wschód od A (położenie B względem A oznaczamy niekiedy krótko $dir(A,B)$, czyli w naszym przypadku $dir(A,B) = N:NE:E$). Taki zwarty zapis pozwala przechowywać w pamięci maszyny dużą liczbę faktów, ale także jest dla komputera łatwy w interpretacji i przetwarzaniu (możliwe jest m.in. wyciąganie wniosków o wzajemnym położeniu dwóch osób na podstawie pozycji pozostałych obiektów). Nasz rozszerzony model nazwaliśmy XCDC (ang. *eXtended CDC*) i oparliśmy przede wszystkim na dwóch istotnych obserwacjach. Po pierwsze, podobnie jak w życiu codziennym, warto na daną sytuację patrzeć nie tylko z jednej perspektywy, ale też niekiedy spojrzeć na przysłowiową „drugą stronę medalu”. Także w modelowaniu przestrzeni informacja w bazie komputera będzie pełniejsza, jeśli opiszemy ją również z punktu widzenia obiektu referencyjnego. Rozważamy więc dwie wartości, parę pozycji $[dir(A,B), dir(B,A)]$, co oznacza, że najpierw opisujemy położenie B względem A, a następnie A względem B. Jeśli

czytelnik poprowadzi teraz w wyobraźni proste ograniczające B (o, tak! wyobraźnia to klucz do sztucznej inteligencji!), to z łatwością zauważy, że $\text{dir}(B,A) = W:O:SW:S$. Możemy zatem znacznie dokładniej niż poprzednio opisać wzajemne położenie A i B: $[N:NE:E, W:O:SW:S]$. Druga nasza obserwacja to dostrzeżenie znacznie większych potrzeb współczesnych użytkowników, którym nie wystarcza już statyczna mapa otoczenia – chcą oni widzieć dynamizm zmieniającego się świata. Rozszerzyliśmy więc dodatkowo model CDC o trzecią oś (pionową na rys. 2.) wskazującą upływu czasu. Otrzymaliśmy w ten sposób przestrzeń trójwymiarową, którą reprezentujemy przy pomocy rzutów na płaszczyzny dwuwymiarowe. W każdej z płaszczyzn stosujemy parę pozycji opisanych wcześniej, co pozwala na przedstawienie skomplikowanych czasowo-przestrzennych zależności pomiędzy obiektami, takich, jak na rys. 2.: zdarzenie B (np. zamieszki) rozpoczęło się po (i być może było jego efektem) zdarzeniu A (np. demonstracja) i po jego pojawieniu się B przesunęło się na południe (uczestnicy zamieszek zepchnęli demonstrujących na południe). Jak widzimy, model XCDC pozwala na zaawansowaną i szybką analizę sytuacji z życia codziennego w oparciu o zebrane dane oraz pewne ogólne (niezależne od zastosowań) twierdzenia, jak np. fakt, że żaden obiekt nie może przebywać w tym samym czasie w dwóch różnych miejscach. Czyli przykładowo po wprowadzeniu informacji z przesłuchań świadków, Hercules Poirot zaoszczędziłby sobie godzin żmudnej pracy kierując do systemu jedno, kluczowe zapytanie: *Który z podróżnych w Orient Expressie nie ma alibi na czas morderstwa?* Szokujące? Skądże! – z informatycznego punktu widzenia nic nie stoi na przeszkodzie, aby taki program powstał. Dzisiejsze idee tworzą jutrzejszą rzeczywistość. Dlatego to **wyobraźnia** jest słowem kluczowym sztucznej inteligencji.

Tekst pobrany ze strony: <http://jedrzejosinski.pl/classes.htm>

Tekst podlega ochronie międzynarodowego prawa autorskiego i nie może być przetwarzany bez zgody autora.