Informatyka bez komputerów?

Prof. dr Władysław M. TURSKI

To nie będzie tekst o nędzy. „Bez komputerów" nie dlatego, że ich nie ma, lecz dlatego, że być może nie są potrzebne. No, nie dla całej informatyki, ale dla kawałka, aspektu, podejścia.

Historycznie rzecz biorąc, nie można zaprzeczyć, że problemy obliczalności, którymi zajmował się Turing przed wojną (II światową), należą do informatyki. A że Turing nie używał wtedy komputerów, to sprawa oczywista. Są więc wielkie problemy informatyczne, które można formułować i badać bez związku z komputerami. W każdym razie bez związku z konkretnymi komputerami, boć przecie Turing skonstruował czysto myślowy model uniwersalnej maszyny liczącej.

Zauważmy, że maszyna Turinga nigdy nie pretendowała do roli wzorca czy prototypu jakiejkolwiek rzeczywistej maszyny liczącej, że nie ma ona żadnego związku z konstrukcją konkretnych komputerów. A jednak ... chcąc wykazać uniwersalność jakiejkolwiek konkretnej maszyny liczącej, demonstrujemy jej równoważność właśnie owej abstrakcyjnej maszynie Turinga. Praktyczne znaczenie mają, naturalnie, konkretne komputery, twory z układów elektronicznych, obudowanych różnymi elektro-mechanicznymi i foto-elektronicznymi urządzeniami peryferyjnymi. Ale znaczenie poznawcze ma maszyna Turinga: to za jej pomocą tworzy się pojęcie obliczalności i bada zakres możliwości obliczeń.

Niektórzy powiedzą: ba, ale to przecież matematyka, albo nawet filozofia, a nie żadna informatyka. Nie warto zapewne sprzeczać się o etykietki; ze scholastycznych podziałów, tu matematyka, tu informatyka, niewiele wynika. Zauważmy jednak, że gdyby nie pojawiły się rzeczywiste komputery, programowane maszyny liczące, niewielu byłoby amatorów badania problemów obliczalności. Gdyby nie komputery, problem ten byłby niezwykle ezoteryczny, rzeczywiście ważny tylko dla wąskiego grona filozofów matematyki. Ale komputery są. (I to jak jeszcze!) A przez to, że są, że stosuje się je tak powszechnie, do tak szalenie praktycznych zadań, problem obliczalności i wiele problemów pokrewnych stało się ważne dla licznego grona.

W historii nauki zjawisko to wcale nie nowe: działalność praktyczna wyzwala zainteresowanie problemami, które w zasadzie mogły być sformułowane i roztrząsane całkiem abstrakcyjnie, w zupełnej izolacji od jakichkolwiek konkretów. Tyle tylko, że bez owych konkretów, bez owej działalności praktycznej, albo nikomu by nie przyszły do głowy, albo stanowiłyby co najwyżej ciekawostkę.

Pojawienie się komputerów i niepohamowany rozwój ich zastosowań pobudza zainteresowanie bardzo głębokimi problemami, które bez istnienia komputerów prawie na pewno nie znalazłyby uznania badaczy.

Wspomnieliśmy już o problemie obliczalności i jego pochodnych. Z grubsza powiedziawszy, chodzi o to, jakie zadania dopuszczają rozwiązania algorytmiczne oraz o to, jak zmienia się koszt rozwiązania zadania w zależności od jego (tj. zadania) rozmiarów charakterystycznych.

Oczywiście nie wszystkie zadania można rozwiązać algorytmicznie. Wiadomo na przykład, że nie można skonstruować ogólnego algorytmu badania, czy zadany algorytm zawsze prowadzi do kończących się obliczeń, nie można też ułożyć ogólnego algorytmu podziału zadanego algorytmu na wzajemnie niezależne części (części, które można wykonywać niezależnie). Ale są zadania, co do których nie wiadomo, czy w ogóle mogą być rozwiązane algorytmicznie, mimo że skądinąd wiadomo, że są one rozwiązywalne. Należy do nich tzw. problem rozpoznawania postaci: nie wiadomo, czy istnieje algorytm pozwalający np. odróżnić A od innych liter. Co więcej, nie ma żadnej pewności, czy uda się ten problem kiedykolwiek rozstrzygnąć, tj. albo ustalić na pewno, że odpowiedni algorytm istnieje, albo udowodnić, że nie można go skonstruować.

Jeśli wiadomo, że algorytm istnieje, to naturalnie chcielibyśmy go poznać; często dowód istnienia jest konstrukcyjny i wtedy łapiemy dwie sroki za ogon: wiemy, że algorytm istnieje i znamy jakiś, lepszy czy gorszy, konkretny algorytm. Ale nie zawsze życie jest takie piękne ...

Samo pojęcie kosztu wykonania algorytmu wynikło z niesłychanie praktycznych przesłanek: wiadomo, że moc obliczeniowa komputerów ustalonej klasy rośnie z kwadratem ich ceny. Jeśli więc koszt wykonania algorytmu rośnie z rozmiarem zadania nie szybciej niż kwadrat (no, niechby nie szybciej niż n-ta potęga!) tego rozmiaru, mamy do czynienia z dosyć rozsądną sytuacją: koszt rozwiązania na jednostkę rozmiaru zadania jest mniej więcej stały (albo rośnie w sposób umiarkowany). Ale jeśli koszt wykonania algorytmu rośnie wykładniczo, nie ma właściwie żadnej szansy na rozwiązanie dużego „egzemplarza" takiego zadania.

Można powiedzieć, no dobrze, w takim przypadku trzeba zmienić algorytm — dla danego zadania znaleźć tańszy algorytm. Ale czy to będzie możliwe? Podkreślmy, że pytamy o możliwość, to bardziej fundamentalne pytanie niż „czy umiemy taki tańszy algorytm skonstruować?". Dla niektórych zadań znamy dobre dolne oszacowanie kosztu algorytmów (wiemy, że tańszych nie ma i oszacowanie nie jest banalne, w rodzaju „koszt jest dodatni"), ale wszystkie znane algorytmy są sporo droższe od tego oszacowania. Zachęca to do intensywnych poszukiwań, obiecuje znaczną premię pomysłowemu odkrywcy. A może to tylko złudzenie, miraż, może to dolne oszacowanie jest zbyt optymistyczne (jak ta góralska odpowiedź na pytanie ,,daleko do Krzeptówek?" — ,,Ano, mila i oho". Myślisz, że to mila i kawałeczek, a to mila i pięciokroć tyle).

Wiemy też, że są zadania, dla których nie ma najtańszych algorytmów: ze znajomości każdego algorytmu rozwiązującego je wynika możliwość skonstruowania tańszego.

Nic dziwnego, że badanie złożoności algorytmów (bo tak oficjalnie nazywa się studiowanie problematyki wrodzonych kosztów algorytmów) rozwinęło się w rozległą i piękną dziedzinę informatyki, przekraczającą granice podziałów, które jeszcze kilka lat temu uważano za nieprzekraczalne (np. między analizą numeryczną i metodologią programowania).

Weźmy inny przykład. Komputery z łatwością wykonują najbardziej złożone rachunki logiczne. Zasady rachunku logicznego przywykliśmy uważać za rachunkowe wyrażenie reguł myślenia. Wynikałoby z tego, że komputery ,,myślą". Ale przepaść między tym, co ,,potrafi" komputer, a tym, co potrafi kilkuletnie dziecko, nie zmniejsza się ani trochę mimo dwudziestopięcioletnich już prób stworzenia ,,sztucznej inteligencji".

To prawda, że komputery świetnie grają w szachy; w każdym razie dużo lepiej niż autor tego artykułu. Ale podczas gdy kilkuletnie dziecko równie łatwo można nauczyć dowolnej z kilkudziesięciu (czy więcej) gier, dla komputera trzeba pisać specjalny program dla każdej gry oddzielnie. Z biegłości wykonywania działań rachunku logicznego wcale nie wynika biegłość myślenia czy rozumowania. Co więc wyrażają formuły logiczne? Reguły myślenia? Czy może są one po prostu przyjętym (w cywilizacji pochodzącej z basenu Morza Śródziemnego) sposobem przekazywania argumentów?

Powiesz, Czytelniku, że to już naprawdę czysta filozofia? Ależ tak! Tylko że właśnie dzięki komputerom odpowiedź na to pytanie ma znaczenie nie tylko poznawcze, ale także czysto praktyczne. Pojawienie się komputerów to bodajże najważniejsze zdarzenie, prawdziwy przełom w filozofii, nawet jeśli nie wszyscy filozofowie jeszcze to sobie uświadomili!

Wszystkie znane dziś komputery licząc — dyssypują energię. Ma to swoje znaczenie praktyczne: jak odprowadzić ogromne ilości ciepła wytwarzające się w układach liczących (to nieważne, że w układach VLSI chodzi o ułamki wata — wydzielają się one bowiem w mikroskopijnej objętości!). Ale ma to też ogromne znaczenie poznawcze: wszystkie procesy, dzięki którym komputery liczą, prowadzą do wydatków energii, nie na skutek niedoskonałości konstrukcji, ale z zasady (zmiana polaryzacji elementu musi wywołać zmianę pola elektromagnetycznego, a więc emisję energii poza element). Wynika stąd fundamentalna nieodwracalność procesu obliczeniowego (kłania się termodynamika, entropia itd.). A przecież można sobie wyobrazić — teoretyczny — model komputera liczącego bez strat energii: elementami liczącymi byłyby idealnie sprężyste kule bilardowe, toczące się bez tarcia po stole, na którym ustawiano by program z idealnie sprężystych zastawek, od których kule odbijałyby się tak jak kulka we ,,flipperze". Dane zadawalibyśmy przez wtoczenie kul przez niektóre z oznaczonych bramek (kodem byłoby: bramka z wtoczoną kulą — 1, bramka bez kuli — 0), a wyniki odczytywalibyśmy z tego, przez które bramki kule się wytoczą (kodowanie podobne jak poprzednio). Pomijając różne niedoskonałości modelu, wpływ ciał niebieskich, prądów powietrza itp., mamy komputer idealny — liczący bez strat energii, a więc w sposób odwracalny.

Czy nieodwracalność procesów obliczeniowych w dzisiejszych komputerach wpływa na ich realną użyteczność? A czy będzie ha nią wpływać w przyszłości, gdy postępy miniaturyzacji dadzą nam zamiast mikrokomputerów nanokomputery i pikokomputery? Problem informatyczny do rozwiązania — chyba na pewno — bez komputerów!

Ale żart na stronę, gdyby komputery się nie przegrzewały, nikt chyba nie podjąłby tematu, czy liczenie musi być dyssypatywne! A ostatnio całkiem poważni uczeni, w całkiem poważnej uczelni (MIT w amerykańskim Cambridge), podjęli próbę stworzenia nowej fizyki, obejmującej kosmologię, fizykę cząstek elementarnych, mechanikę kwantową i teorię pola, jednym słowem: próbę stworzenia jednolitej teorii świata, traktując świat jako komputer, a dokładniej, jako automat komórkowy. Toż to odwrócenie ,,normalnego" porządku rzeczy — nie dzięki zdobyczom fizyki mamy komputery, lecz dzięki pojęciom i wynikom informatyki próbuje się uprościć podstawy fizyki!

Informatykę można uprawiać bez komputerów, zwłaszcza gdy w pokoju obok ma się superkomputer!

P.S. Autor niniejszego nie lubi sztuki abstrakcyjnej. Uznaje natomiast, że artyście przysługuje prawo wyboru stylu najbardziej odpowiadającego wizji świata, jaką ma artysta, zwłaszcza temu, który udowodnił (na przykładach!), że potrafi malować obrazy ,,jak żywe". Wiem wtedy, że prawo wyboru nie zostało użyte do zamaskowania indolencji.

Rozwiązanie zadania M 409. Niech E i F będą punktami przecięcia AM i AN z BD. Rozważmy sześcian $ABCDA_1B_1C_1D_1$. Wybierzmy na krawędziach A_1B_1 i A_1D_1 punkty K i L tak, aby $A_1K = CN$ i $A_1L = CM$. Niech P i Q będą odpowiednio punktami przecięcia prostych AK i BA_1, AL i DA_1. W trójkącie A_1PQ mamy $A_1P = BE$ ($BM = AB - CM = CN = A_1K$) i $A_1Q = DF$ ($A_1L = DN$), a z przystawania trójkątów AKL i AMN i równości $AP = AE$ i $AQ = AF$ wynika równość $PQ = EF$. Kąt PA_1Q jest równy $\frac{\pi}{3}$, ponieważ trójkąt A_1BD jest równoboczny.