

Marcin Kolankowski
MIM

Komputer DNA

POCZĄTKI WYKORZYSTANIA DNA

Kwas dezoksyrybonukleinowy (DNA) to cząsteczka złożona z czterech różnych aminokwasów (zwanymi dezoksyrybonukleotydami): adeniny, guaniny, cytydyny i tyminy. DNA występuje powszechnie w przyrodzie, jest wykorzystywane do gromadzenia i przenoszenia informacji – szczególnie z rodzica na potomka. Podwójna spirala DNA została odkryta przez dwóch naukowców: Jamesa Watson'a i Francis Crick'a w 1953 r.

Pionierem nanotechnologii wykorzystującej DNA do rozwiązywania konkretnych zadań był Leonard Adelman, pracujący na Uniwersytecie Południowej Kalifornii. W 1994 r. jako pierwszy rozwiązał problem dróg Hamiltona (The Hamiltonian Path Problem) – znalezienia najkrótszej drogi pomiędzy punktami tak, by każdy punkt odwiedzić dokładnie raz. Każdemu punktowi odpowiadała inna sekwencji DNA. Dane, będące nicią DNA z zakodowanymi miastami zostały poddane procesowi, który utworzył wiele nowych nici – prawdopodobnych rozwiązań problemu. Jedna z nich zawierała poprawną odpowiedź, dalej metodą eliminacji odczytano wynik.¹

Kolejne badania nad wykorzystaniem DNA do obliczeń komputerowych odbywały się na całym świecie. W styczniu 2000 r. portal BBC opisał wyniki doświadczeń, jakie przeprowadzono na Uniwersytecie Wisconsin-Madison. DNA przeniesiono z próbowki na nowy rodzaj powierzchni, co znacznie ułatwiło sposób w jaki dokonywano obliczeń. Na szklanej płytce powleczonej złotem wyłożono nici DNA. DNA zostało poddane procesowi rozwiązania zadania – tak zmodyfikowane aby zawierało wszystkie możliwe odpowiedzi. Później, za pomocą enzymów wszystkie błędne odpowiedzi zostały wyodrębnione i usunięte.²

ROK 2001 I PRZEŁOM W BADANIACH

Przełomowym dla problemu wykorzystania DNA do obliczeń komputerowych okazał się rok 2001. W 414 numerze Nature prof. Ehud Shapiro jako szef zespołu ludzi zajmujących się problemem komputera wykorzystującego DNA, opublikował wyniki badań przeprowadzanych w Instytucie Weizmanna w Izraelu. Działanie nanokomputera zbudowanego w Izraelu zostało zainspirowane obserwacjami związane z wykorzystaniem maszyny Turinga. Maszyna wymyślona przez Turinga analizuje i składowe informacje w postaci listy symboli. Opracowany w Instytucie Weizmanna nanokomputer jest specjalnym przypadkiem maszyny Turinga – automatem skończonym, wykorzystuje tylko dwa symbole – które można interpretować jako „tak” lub „nie”.³

Jak działa nanokomputer DNA? Rolę sprzętu – hardware'u pełnią w nim dwa enzymy – restryktaza oraz ligaza. Enzymy restrykcyjne analizują podwójną nić DNA i rozpoznają szczególne sekwencje kodu, w rozpoznanym miejscu przecinają nić.

¹ Webopedia.com, DNA computer, http://www.webopedia.com/TERM/D/DNA_computer.html

² BBC News, DNA computers take shape, 12 styczeń 2000 r.,
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/600323.stm>

³ BBC News, Test tube holds a trillion of computers, 21 listopad 2001 r.,
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/1668415.stm>

Mogą to zrobić na dwa sposoby – albo w tym samym miejscu na każdej nici, albo też w różnych miejscach. Jeżeli nastąpi przecięcie nici na różnych wysokościach tworzą się tzw. lepkie końce – jednoniciowe odcinki DNA, które pasują do odpowiednio dobranego odcinka znajdującego się na końcu drugiej cząsteczki. Przy spełnieniu pewnych wymagań cząsteczki te mogą się połączyć (proces hybrydyzacji). Rolę oprogramowania pełnią cząsteczki DNA, które zawierają informacje, jakie operacje są dozwolone. Komputer zaczyna działać, gdy wszystko zostanie zmieszane.

Komputer Shapiro z 2001 r. mógł pracować na dowolnie długiej nici DNA wejściowego, złożonego z dwóch rozróżnialnych symboli. DNA nie miało pochodzenia naturalnego – zostało przygotowane w warunkach laboratoryjnych przez zespół badaczy. Rolę oprogramowania dla komputera pełnią osiem krótkich, dwuniciowych cząstek DNA kodujących osiem możliwych operacji, które można dokonywać na wejściowej nici. Obliczenia rozpoczynały się w chwili połączenia wszystkich składników, tzn. cząsteczek reprezentujących sprzęt, cząsteczek zawierających opis operacji dozwolonych oraz danych wejściowych. Następnie działanie enzymów powodowało stopniową analizę danych, aż do chwili wyprodukowania wielu nici DNA zawierających możliwe odpowiedzi. Metodą elektroforezy wybiera się tą nić, która zawiera poprawną odpowiedź⁴.

Umiejętnie dobierając zestaw ośmiu możliwych operacji możemy uzyskiwać różne programy. Komputer zrobiony przez Shapiro może wykonywać 765 różnych programów. Wśród możliwych zadań zleconych komputerowi można wymienić m.in. rozpoznawanie, czy w zakodowanym ciągu znajduje się parzysta czy nieparzysta liczba jedynek, od jakiej cyfry rozpoczyna się wejściowy kod, czy jedynka poprzedza zero itd.⁵

Komputer z Instytutu Wietzmana działa w sposób równoległy, tzn. rozwiązuje zadanie nie kawałek po kawałku tylko pracuje jednocześnie nad rozwiązaniem całości.

KOLEJNE SUKCESY

24 lutego 2003 roku opublikowano kolejny sukces zespołu z Instytutu Wietzmana. Tym razem opracowano pojedynczą molekułę DNA, która oprócz dostarczania danych do nanokomputera, dostarcza także niezbędną energię potrzebną do działania (wcześniejsza wersja komputera potrzebowała w każdym kroku działania jedną molekułę DNA z danymi i dwie molekuly ATP). Udoskonalone urządzenie może działać bez dostarczania energii z zewnątrz i na dowolnie długich molekułach DNA wejściowego. Energia jest dostarczana przez specjalne DNA, jej źródłem jest ATP – standardowo wykorzystywane źródło energii przez wszystkie żywe organizmy. Łyżeczka takiej „zupy” złożonej z nanokomputera i paliwa zawiera ok. 15 000 trylionów komputerów, których moc sięga 330 trylionów operacji na sekundę, a dokładność 99,9% .⁶ Urządzenie skonstruowane w Instytucie Wietzmana zostało wpisane do Księgi Rekordów Guinnessa jako najmniejsze biologiczne urządzenie liczące.

⁴ Wrocławski komputer molekularny, http://pryzmat.pwr.wroc.pl/Pryzmat_170/170dna.html

⁵ Serwis Gazeta.pl. Nanokomputer zbudowany z DNA. 22 listopad 2001 r., <http://serwisy.gazeta.pl/nauka/1,34141,559703.html>

⁶ *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, DNA molecule provides a computing machine with both data and fuel, 24 luty 2003 r.,* <http://www.pnas.org/cgi/content/abstract/0535624100v1>

ZASTOSOWANIE DNA

W kwietniowym wydaniu Nature z 2004 r. ukazał się artykuł, w którym prof. Ehud Shapiro, szef zespołu zajmującego się badaniami nad wykorzystaniem komputera DNA w medycynie opisał swoje osiągnięcia. Komputer wynaleziony kilka lat wcześniej został zaprogramowany, by analizować biologiczne informacje przechowywane w mRNA. W warunkach laboratoryjnych udało się wykryć zmiany chorobowe (molekuły których obecność wskazywała na zmiany rakotwórcze), zdiagnozować typ komórek rakowych oraz rozpocząć proces zwalczania ich przez produkcję odpowiednich substancji.

Komputer z Instytutu Weizmanna jest prostym automatem, potrafiącym jedynie odpowiadać w sposób „tak” lub „nie”. Używając enzymów manipulujących mRNA komputer szuka określonych sekwencji kodu. W przypadku normalnego mRNA nic się nie dzieje, w przypadku zmienionego – komputer inicjuje proces uwolnienia antyrakowej substancji. W eksperymencie były to komórki rakowe płuca i prostaty.

Sukces eksperymentu jest dobrym początkiem, ale wykorzystanie tego sposobu do diagnozowania i leczenia ludzi jest daleką przyszłością. W ludzkim organizmie znajduje się wiele innych substancji (proteiny, kwasy nukleinowe, tłuszcze itd.) których obecność może znacznie utrudniać badanie lub wręcz je uniemożliwić.⁷

Kolejne korzyści płynące z wykorzystania badań DNA to możliwość znacznego powiększenia możliwości magazynowania informacji. DNA jest najlepszym na świecie sposobem składowania danych – jeden gram suchej nici DNA może zawierać więcej informacji niż trylion płyt CD.

Wykorzystanie DNA do obliczeń komputerowych może być przełomem w podejściu do złożonych obliczeń. Problem coraz większego zużycia energii przy wykorzystaniu tradycyjnej, krzemowej technologii oraz naturalne ograniczenia wynikające z prawa Moore’a stanowią bodziec do szukania nowych metod. Plus za wykorzystaniem DNA to przede wszystkim niewielkie rozmiary komputera o mocy zdecydowanie przewyższającej nawet najśmielsze wyobrażenia. Drugi atut to prawie niezauważalne zużycie energii oraz skrócenie czasu potrzebnego na rozwiązanie problemu przez równoległe obliczenia. Jakie są wady zastosowania technologii DNA? Przede wszystkim dostępność oraz opłacalność (przynajmniej w obecnej chwili) – rozwiązanie nawet prostego problemu wymaga znacznego nakładu pracy i czasu (przygotowanie DNA wejściowego, później znajdowanie rozwiązania w wielu możliwych wynikach, analizowanie odpowiedzi itd.). Również problemy, które możemy rozwiązywać za pomocą nanokomputera są jak dotąd trywialne. Mimo wszystko komputer DNA stanowi jedną z alternatyw, których wprowadzenie jest kwestią czasu.

⁷ Meet Dr DNA, your own nanocomputer, ABC News in science, 29 kwiecień 2004 r., <http://www.abc.net.au/science/news/stories/2004/1097455.htm>