

Teleskop Hubble'a niepotrzebny?

Jan KALINOWSKI

Zdolność rozdzielcza teleskopów naziemnych jest ograniczona w istotny sposób przez atmosferę ziemską. Zamiast ostrych obrazów odległych gwiazd w teleskopie widać rozmazane, migocące plamki o wielkości kątowej co najmniej pół sekundy. Dzieje się tak dlatego, że światło, zanim wpadnie do teleskopu, musi przejść przez grubą warstwę atmosfery podlegającej ciągłym zmianom na skutek lokalnych turbulencji. Zniekształcenia obrazu na skutek turbulencji są znacznie większe niż spowodowane dyfrakcją światła w instrumencie obserwacyjnym. Dlatego zdolność rozdzielcza dużych teleskopów nie jest istotnie lepsza od zdolności rozdzielczej teleskopów o rozmiarach 10–20 cm. Jest to szczególnie ważne teraz, gdy mają niedługo powstać teleskopy o rozmiarach rzędu 10 metrów.

Próbuje się temu zaradzić na różne sposoby. Najlepszym rozwiązaniem jest umieszczenie teleskopu w przestrzeni kosmicznej. Jest to jednak bardzo kosztowne przedsięwzięcie, a doświadczenia z umieszczonym w 1990 roku na orbicie okołoziemskiej teleskopem Hubble'a pokazują, że nie jest to wcale łatwe zadanie. Tańszy i stosowany od dawna sposób polega na umieszczaniu teleskopów wysoko w górach. Na przykład, obserwacje gwiazd i galaktyk prowadzone za pomocą teleskopów umieszczonych na górze Mauna Kea na Hawajach (4200 m n.p.m.) dostarczają zwykle dwukrotnie więcej informacji od obserwacji prowadzonych na mniejszych wysokościach. Dla niektórych astronomów ten sposób nie jest jednak dostatecznie dobry. Obecnie kilka grup naukowców pracuje intensywnie nad tzw. systemem optyki adaptacyjnej, który powinien pozwolić na prowadzenie obserwacji astronomicznych z Ziemi z dokładnością porównywalną do tej, jaką powinien osiągnąć teleskop Hubble'a nawet po uporaniu się z problemami związanymi z jego aberracją sferyczną. Optyka adaptacyjna stała się w ostatnich latach jedną z najintensywniej rozwijanych nowinek technologicznych w astronomii. Jeśli więc wszystko się uda, to w przyszłości teleskopy naziemne w niektórych zakresach widma promieniowania elektromagnetycznego będą mogły konkurować z teleskopami kosmicznymi.

Idea optyki adaptacyjnej jest bardzo prosta. Światło gwiazdy – zanim wpadnie do teleskopu – należy odbić od elastycznego zwierciadła, które powinno być tak zdeformowane, żeby kasowało zniekształcenia światła spowodowane przez atmosferę. Pomysł jest dość stary. Prawie czterdzieści lat temu Horace W. Babcock wpadł na pomysł zastosowania systemu optycznego do „poprawiania” obrazów obiektów astronomicznych. Kłopot polega na tym, że trzeba wiedzieć najpierw, jakim zniekształceniom uległo światło przy przejściu przez atmosferę, oraz że zniekształcenia te ulegają ciągłym, bardzo szybkim zmianom. Informację taką można uzyskać monitorując zniekształcenia obrazu jasnej gwiazdy leżącej blisko interesującego nas obiektu. Pomysł Babcocka czekał jednak na techniczną realizację wiele lat. Dopiero rozwój komputeryzacji umożliwił zbudowanie systemu analizującego sygnał reprezentujący zniekształcenia spowodowane przez atmosferę i sterującego deformacją elastycznego zwierciadła w celu uzyskania „prawdziwego” obrazu naszego obiektu.

Prototyp takiego systemu, opracowanego przez Południowe Obserwatorium Europejskie (ang. *European Southern Observatory*), pozwolił niedawno uzyskać za pomocą 3,5 metrowego teleskopu w La Silla w Andach chilijskich obraz gwiazdy o wymiarach kątowych 0,18 sekundy. Jest to więc zdolność rozdzielcza klasy teleskopu Hubble'a. Wadą tego systemu jest to, że nie zawsze w pobliżu interesującego nas obiektu znajduje się dostatecznie jasna gwiazda (prototyp wymagał obecności gwiazdy o jasności co najmniej 5 mag.). Dlatego inna grupa badawcza z Honolulu pracuje nad systemem, który nie wymagałby istnienia jasnego sąsiada. Idea polega na tym, aby wykorzystać zniekształcony obraz bezpośrednio interesującego nas obiektu, tworzony przez główne zwierciadło teleskopu. Otóż, jeśli szybko zmienić ostrość tego obrazu przez przesunięcie od i do ogniska zwierciadła układu optycznego analizującego ten obraz, to pojawia się na nim układ cieni i światła charakteryzujący zaburzenia

Jak podzielić tort?

Piotr HAJŁASZ

Dwie osoby chcą się podzielić ciastkiem. Jak powinny to zrobić, aby podział był sprawiedliwy? Pomysł jest bardzo prosty. Jeden dzieli, drugi zaś wybiera. Jest to tzw. podział pragmatyczny (nazwa pochodzi od Hugona Steinhausa).

No dobrze, ale jak to zrobić w przypadku, gdy n osób chce równo podzielić tort między siebie?

Z doświadczenia wiemy, że zwykle Pani Domu dzieli tort i rozdaje gościom, lecz jakże często czujemy się pokrzywdzeni i w duchu mówimy: „To niesprawiedliwe, on ma lepszy kawałek”.

Czy można więc tak podzielić tort, aby nikt nie czuł się pokrzywdzony? Może na wadze? Nie, to niczego nie rozwiąże, bo dla kogoś jakiś kawałek, mimo że mniejszy, może przedstawiać większą wartość – jeśli jest np. z orzechem. Każdy ma swoją własną miarę wartościującą, który kawałek tortu jest lepszy, a który gorszy, i nie ma wagi, na której można by rozważyć tort na kawałki tak, aby nikt nie czuł się pokrzywdzony. Zresztą i tak nie mamy wagi.

Czy można więc wybrnąć z tej sytuacji? Można. Taki sprawiedliwy sposób podziału znaleźli Stefan Banach i Bronisław Knaster (dla $n = 3$ problem ten rozwiązał wcześniej Steinhaus). Sposób dzielenia tortu pomiędzy n osób będziemy określali indukcyjnie ze względu na liczbę osób.

Dla dwóch już potrafimy. Przypuśćmy, że wiemy, jak podzielić tort pomiędzy $n - 1$ osób. Opiszemy teraz sposób podziału pomiędzy n osób.

Najpierw ponumerujemy te osoby liczbami od 1 do n . Osoba nr 1 wskazuje na torcie, jak duży kawałek chce dostać. Następnie po kolei osoby wypowiadają się, czy przypadkiem nr 1 nie chce wziąć za dużo. Jeżeli wszystkie osoby zgadzają się z 1, to bierze ona ten

kawałek i pozostałe $n - 1$ osób dzieli się tym, co zostało – a to już wiadomo, jak zrobić (założenie indukcyjne).

Załóżmy więc, że któraś z osób, na przykład nr 4, twierdzi, że osoba nr 1 jest zbyt zachłanna i chce wziąć za dużo. Wtedy osoba nr 4 musi wskazać mniejszy kawałek będący częścią kawałka, który wskazała osoba nr 1, a który to kawałek usatysfakcjonowałby osobę nr 4. Oczywiście, żadna z osób 1, 2, 3 nie może stwierdzić, że osoba nr 4 chce za dużo, bo przecież zgodzili się na większy kawałek. Co najwyżej któraś z osób 5, 6, ..., n może zaprotestować i wówczas ta osoba protestująca musi wskazać część kawałka, który wskazała osoba nr 4 itd.

Tak czy inaczej, po skończonej liczbie kroków znajdzie się osoba wskazująca jakiś kawałek na tortcie, z którą to osobą wszystkie pozostałe będą się zgadzały, że nie jest za duży. Wtedy ta osoba bierze ten kawałek, a resztą dzieli się pozostałe $n - 1$ osób (założenie indukcyjne).

Ten podział tortu pomiędzy n osób rozsądnie jest też nazwać podziałem pragmatycznym. Problemem sprawiedliwego podziału bardzo się interesował Hugo Steinhaus. W szwedzkim czasopiśmie *Econometrica* ukazał się w 1948 r. artykuł, w którym Steinhaus pisał między innymi o podziale spadku. Uważał też, że podział pragmatyczny nadaje się do rozstrzygnięcia niektórych sporów międzynarodowych.

Powróćmy jednak do podziału tortu. Banach zauważył, że z rozwiązania tego problemu można wyprowadzić pewne ważne twierdzenie matematyczne.

Zacznijmy jednak od pewnej dygresji. Jednym z najważniejszych pojęć w matematyce jest miara. Pojęcie to jest wspólnym uogólnieniem takich pojęć, jak długość, powierzchnia, objętość. W matematyce występuje kilka modyfikacji pojęcia miary. To, co my zdefiniujemy, nosi oficjalną nazwę miary unormowanej, skończenie addytywnej, mierzącej wszystkie podzbiory zbioru X (uff!). My będziemy w skrócie mówili po prostu „miara”. A oto ta definicja.

atmosferyczne. Można by więc posłużyć się nim do sterowania zwierciadłem elastycznym. Obecnie trwają prace nad budową prototypu takiego systemu. Entuzjaści sądzą, że za 2–3 lata będzie można uzyskiwać zdjęcia o „kosmicznej” jakości.

Okazało się jednak, że prace nad optyką adaptacyjną były prowadzone od lat w USA pod auspicjami Departamentu Obrony i były objęte ścisłą tajemnicą. Dopiero w maju 1991 zezwolono na opublikowanie prac na ten temat. W numerze 353(1991) czasopisma *Nature* pojawiły się dwie prace informujące o doświadczeniach przeprowadzonych w 1983 i 1988 r. Nie warto byłoby o tym pisać, gdyby nie fakt, że zastosowano w tych doświadczeniach inną metodę pozyskiwania informacji o turbulencjach atmosfery. Metoda ta również pozwala uwolnić się od istotnie ograniczającego pole obserwacji warunku istnienia jasnej gwiazdy przewodniej w bezpośredniej bliskości badanego obiektu. W doświadczeniach C.A. Primmermana (*Nature* 353(1991), str. 141) i R.Q. Fugate (*Nature* 353(1991), str. 144) zamiast naturalnej gwiazdy przewodniej wykorzystano sztuczną. Sztuczna gwiazda przewodnia została uzyskana za pomocą światła laserowego (stąd też ingerencja Departamentu Obrony, który interesował się propagacją światła laserowego w atmosferze w kontekście „wojen gwiazdnych”). Światło lasera, wysłane przez układ optyczny teleskopu, było ogniskowane na wysokości około 5 km nad Ziemią i na skutek rozpraszania Rayleigha na atmosferycznym azocie i tlenie dawało obraz sztucznej gwiazdy. Monitorowanie tego obrazu dostarczało informacji o stanie atmosfery.

W doświadczeniu Primmermana typowy cykl obserwacji wyglądał następująco. Najpierw przez 1 ms obserwowano zniekształcony obraz naturalnej gwiazdy przy płaskim zwierciadle korekcyjnym. Następnie wysyłano światło lasera i na podstawie obserwacji sztucznej gwiazdy przewodniej korygowano kształt zwierciadła. Cała ta operacja trwała tylko 500 μ s. Po tym obserwowano poprawiony obraz gwiazdy. Jakość uzyskanego w ten sposób obrazu gwiazdy Procyon (α CMi) była doskonała. Dla niektórych obserwacji stosunek natężenia światła w maksimum do teoretycznej wartości natężenia światła ograniczonego jedynie przez dyfrakcję wynosił 0,46, a szerokość otrzymanego obrazu była równa dyfrakcyjnej zdolności rozdzielczej teleskopu (teleskop miał 60 cm średnicy, faktyczna zdolność rozdzielcza bez systemu korekcyjnego była około 10 razy gorsza).

W doświadczeniu Fugate używano teleskopu o średnicy 1,5 m uzyskując poprawę kątową zdolności rozdzielczej z $2''$ do $0,18''$. Pozwoliło to na rozdzielenie układu podwójnego 53 ξ Ursae Majoris o rozmiarach kątowych $1,3''$ już po jednej sekundzie obserwacji!

W innym doświadczeniu (R.A. Humphreys, *Opt. Lett.* 16 (1991)) sztuczna gwiazda przewodnia uzyskana była na wysokości 90 km w warstwie mezosferycznego sodu na skutek rezonansowego rozpraszania światła lasera. Metoda ta powinna być lepsza od przedstawionych powyżej, ale obecnie zbudowanie lasera o odpowiedniej mocy, częstotliwości światła i długości impulsu napotyka istotne trudności techniczne.

Interesujące jest to, że systemy optyki adaptacyjnej można w zasadzie wbudować we wszystkie istniejące teleskopy. Co więcej, uzyskane wyniki dowodzą, że w niedalekiej przyszłości systemy optyki adaptacyjnej powinny umożliwić poprawę zdolności rozdzielczej największych naziemnych teleskopów na tyle, żeby mogły konkurować z teleskopami umieszczanymi poza atmosferą ziemską. Ostatnio prowadzone są też prace nad wykorzystaniem sieci neuronowych do optyki adaptacyjnej zamiast tradycyjnych technik komputerowych. Może to nie tylko uprościć algorytmy korekcyjne, ale ich zdolność uczenia się może umożliwić optymalne korygowanie zaburzeń atmosferycznych.

Czy to oznacza, że teleskop Hubble'a (i inne teleskopy kosmiczne) będzie zupełnie niepotrzebny? Niestety, nie. Optyka adaptacyjna prawdopodobnie będzie najbardziej efektywna w zakresie podczerwonym, gdzie zaburzenia atmosferyczne są stosunkowo niewielkie. W zakresie widzialnym trudno będzie jednak konkurować z teleskopem Hubble'a, a w ultrafiolecie teleskop Hubble'a będzie bezkonkurencyjny, bo atmosfera praktycznie nie przepuszcza ultrafioletu.