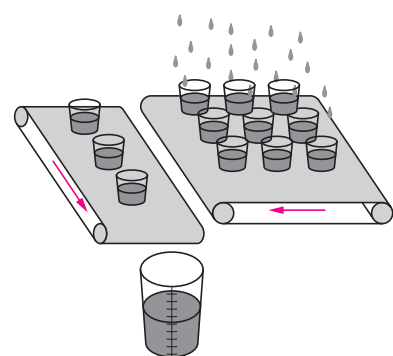


# Kamery CCD w astronomii

Wojciech *PYCH*\*



Schemat urządzenia mechanicznego działającego analogicznie do CCD.

Samo określenie CCD (po angielsku *charge-coupled device*) oznacza jedynie zestaw miniaturowych kondensatorów połączonych w taki sposób, że możliwe jest przesłanie ładunku zgromadzonego w pojedynczym elemencie do jednego z jego sąsiadów. Na końcu takiego łańcucha ładunek z każdego elementu można zamienić na napięcie elektryczne, a następnie na sygnał cyfrowy. Urządzenia CCD mogą więc być wykorzystywane jako rodzaj pamięci elektronicznej lub jako elementy opóźniające sygnał w układach elektronicznych. Początkowo układy te konstruowane były w nadziei na wykorzystanie ich jako pamięci do komputerów. Okazało się jednak, że efekt fotoelektryczny może być źródłem elektronów gromadzonych w kondensatorach matrycy CCD, dzięki czemu ich ilość jest proporcjonalna do natężenia padającego światła. Odpowiednie rozmieszczenie elementów światłoczułych pozwala więc na cyfrową rejestrację padającego na nie światła, a zatem obrazu.

Na rysunku przedstawiamy schemat urządzenia mechanicznego działającego analogicznie do kamer CCD. W tym przypadku na przesuującym się taśmociągu umieszczone zostały kubeczki zbierające krople padającego deszczu. Na jego końcu woda z kubeczków przelewana jest do jednego rzędu kubeczków umieszczonego na taśmociągu przesuującym się w kierunku prostopadłym. Na końcu drugiego taśmociągu znajduje się naczynie ze skalą pozwalającą zmierzyć ilość wody w kolejnych kubeczkach.

Technologia CCD ma już 40 lat. Pierwsza działająca matryca CCD powstała w 1969 roku w Bell Telephone Laboratories. Początki nie były spektakularne. Pierwsze urządzenie miało zaledwie 9 elementów ustawionych w rzędzie. Nie rejestrowało ono światła, a jedynie umożliwiało przesłanie ładunku z jednego końca na drugi. Główni konstruktorzy – Willard Boyle i George Smith – ogłosili to wydarzenie w artykule opublikowanym w kwietniu 1970 roku. Już wtedy zwrócili uwagę na potencjalną możliwość wykorzystania matryc CCD do rejestracji obrazów. Ostatecznie CCD nigdy nie były wykorzystywane jako pamięci do komputerów, za to skutecznie zastąpiły klisze fotograficzne.

Pierwsza matryca CCD, która w praktyce służyła do obrazowania, została wyprodukowana przez firmę Fairchild Electronics w 1974 roku. Była to mozaika jedynie  $100 \times 100$  punktów obrazu (pikseli). Już wtedy podjęto próby wykorzystania jej do pierwszych cyfrowych zdjęć astronomicznych. Jednym z podstawowych parametrów urządzeń światłoczułych jest wydajność kwantowa, czyli stosunek liczby fotonów zarejestrowanych do liczby fotonów padających. Dla nowego instrumentu wydajność kwantowa wynosiła około 0,5% i była nieco niższa od tego, co oferowały najlepsze płyty fotograficzne. Innym ważnym parametrem jest szum odczytu sygnału. W matrycy z 1974 roku wynosił on 30 elektronów. Oznacza to, że na obraz ciemnego tła nieba nałożona była „kaszka” o takim rozrzucie zliczeń w sąsiednich punktach.

Pierwsza kamera CCD, na stałe zamontowana przy profesjonalnym jednometrowym teleskopie w obserwatorium Kitt Peak w Arizonie, uruchomiona została w 1979 roku. Zawierała ona matrycę firmy RCA o rozdzielczości  $512 \times 320$  pikseli. Wtedy też ujawniła się przewaga nowych detektorów nad używanymi w tym czasie płytami fotograficznymi. Wydajność kwantowa okazała się około 50-krotnie wyższa (w barwie czerwonej), a sygnał liniowo zależał od oświetlenia. Początkowo największą słabością była bardzo mała rozdzielczość w porównaniu do dużych płyt fotograficznych.

W Polsce po raz pierwszy kamera CCD została uruchomiona w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Warszawskiego. Współpracuje ona z 60-centymetrowym teleskopem w stacji obserwacyjnej w Ostrowiku. Rozdzielczość obrazów produkowanych przez tę kamerę to  $512 \times 512$  pikseli.

\*Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika, Warszawa



Zdjęcie galaktyki spiralnej M51 – jedno z pierwszych zdjęć wykonanych za pomocą pierwszej w Polsce astronomicznej kamery CCD (styczeń 1992).

Na zdjęciu pokazana jest galaktyka spiralna M51. Jest to jedno z pierwszych zdjęć nieba wykonanych tą kamerą.

Od momentu powstania matryc CCD do dzisiaj są one systematycznie ulepszone. Obecnie można już kupić matryce o rozdzielczościach rzędu  $10\,000 \times 10\,000$  pikseli. Dostępny dla różnych rodzajów kamer zakres długości fal elektromagnetycznych zaczyna się od 0,1 nm (promienie X) i ciągnie się aż do 1100 nm (podczerwień). Mamy też specjalne detektory cząstek oparte na tej technologii. Wydajność transferu ładunku pomiędzy sąsiednimi elementami matrycy wzrosła do 99,999%, a szum odczytu spadł do 1 elektronu. Zakres dynamiki, czyli stosunek zliczeń w najjaśniejszym, nieprześwietlonym elemencie obrazu do zliczeń na poziomie sygnału własnego kamery, osiąga wartość  $10^6$ .

Współcześnie detektory cyfrowe praktycznie całkowicie wyparły tradycyjne metody fotograficzne z działalności naukowej.

Zastosowanie kamer CCD w astronomii stało się źródłem ogromnego postępu. Dzięki nim nasze teleskopy uzyskały większy zasięg zarówno pod względem jasności obserwowanych obiektów, rozdzielczości kątowej uzyskiwanych obrazów, jak też dokładności pomiarów jasności i pozycji kosmicznych źródeł promieniowania. Gdyby

astronomia dalej opierała się na fotografii analogowej, nie mielibyśmy szans na wiele dokonanych już odkryć. Bez kamer CCD nie byłoby chociażby ogromnego przecież wkładu Teleskopu Hubble'a do naszej wiedzy o Wszechświecie.

Matryce CCD są pierwszymi, chociaż obecnie już nie jedynymi urządzeniami umożliwiającymi cyfrową rejestrację obrazu. W życiu codziennym jesteśmy świadkami gwałtownego wypierania filmów fotograficznych przez technologię cyfrową.



## Zadania

Redaguje Ewa CZUCHRY

**F 749.** Niebezpiecznie jest fotografować tygrysa z odległości mniejszej niż 20 m. Jakich rozmiarów powinna być *camera obscura* z otworkiem o średnicy  $d = 1$  mm, aby widoczne były pręgi tygrysa? Odległość między pręgami na sierści tygrysa wynosi  $l = 20$  cm.

Rozwiązanie na str. 13

**F 750.** Na środku płaskiego ekranu znajduje się punktowe źródło światła. Równoległe do ekranu umieszczono zwierciadło płaskie w kształcie trójkąta równobocznego o długości boku  $a = 10$  cm. Oszacować rozmiar  $S$  „zajęczka” na ekranie.

Rozwiązanie na str. 24

Redaguje Waldemar POMPE

**M 1255.** Niech  $a, b, c, d$  oraz  $n$  będą liczbami całkowitymi dodatnimi spełniającymi zależność

$$a^2 + b^2 + c^2 + d^2 = 7 \cdot 4^n.$$

Wykazać, że każda z liczb  $a, b, c, d$  jest większa lub równa  $2^{n-1}$ .

Rozwiązanie na str. 16

**M 1256.** Liczby rzeczywiste  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , gdzie  $n \geq 4$ , spełniają nierówności

$$a_1 + a_2 + \dots + a_n \geq n \quad \text{oraz} \quad a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2 \geq n^2.$$

Udowodnić, że co najmniej jedna z liczb  $a_1, a_2, \dots, a_n$  jest większa lub równa 2.

Rozwiązanie na str. 16

**M 1257.** Na bokach  $AB, BC, CA$  trójkąta  $ABC$  zbudowano – na zewnątrz trójkąta  $ABC$  – kwadraty  $ABRS, BCPQ$  oraz  $ACMN$ . Dowieść, że pola trójkątów  $NAS, BRQ$  oraz  $MPC$  są równe.

Rozwiązanie na str. 24

