

delta

CCD



Przyjrzyjcie się dokładnie (najlepiej przez lupę) fotografii zamieszczonej w gazecie. Czy widzicie, że fotografia składa się z siatki zlewających się kropek różnej wielkości odległych od siebie o około $\frac{1}{3}$ mm?

Wielkość kropek określa jakość zdjęcia — jego rozdzielczość. Podobnie jest w przypadku klisz, tu rozdzielczość określana jest przez wielkość tzw. ziarna kliszy, typowo wynosi ona $\frac{1}{100}$ mm (czyli dziesięciokrotnie mniej niż grubość włosa ludzkiego). Można wyprodukować kliszę o mniejszych nawet ziarnach, jednak cena, jaką za to płacimy, jest wysoka: im mniejsze ziarno, czyli większa rozdzielczość — tym mniejsza czułość, a i tak typowa czułość kliszy fotograficznej jest niewiele większa niż czułość oka. Ponadto klisza ma jeszcze jedną poważną wadę: np. na zdjęciach nieba potrafimy dosyć dobrze zmierzyć położenia gwiazd, natomiast określenie na podstawie zaciernienia kliszy jasności poszczególnych gwiazd nie jest ani łatwe, ani jednoznaczne.

A więc klisza fotograficzna, będąca jednym z największych osiągnięć techniki XIX w., pozostawia uczucie niedosytu: przy bardzo dobrej rozdzielczości jej czułość oraz wierność odtworzenia skali jasności są dla wielu celów zdecydowanie zbyt niskie.

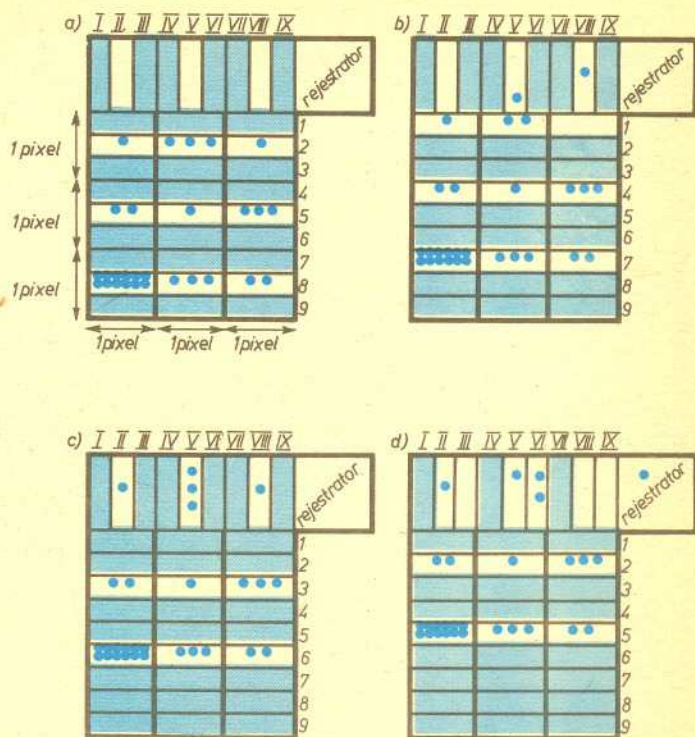
Zupełnie przeciwne oceny uzyskuje fotomnożnik, instrument działający na podobnej zasadzie co fotokomórka. Każdy wie, że prąd przepływający przez fotokomórkę zmienia się pod wpływem oświetlenia. Okazuje się, że czułość fotomnożnika jest kilkunastokrotnie większa niż czułość kliszy, a jego charakterystyka jest liniowa, co znaczy, że natężenie prądu jest dokładnie proporcjonalne do natężenia oświetlenia. Natomiast rozdzielczość fotomnożnika jest fatalna, bo żadna,

Od kilkudziesięciu lat pracuje się nad pomysłami połączenia zalet tych dwóch „detektorów”. Można powiedzieć, że produktem tej pracy jest m.in. telewizja, ale tam, gdzie potrzebna była skrajnie wysoka czułość, trzeba było szukać dalej.

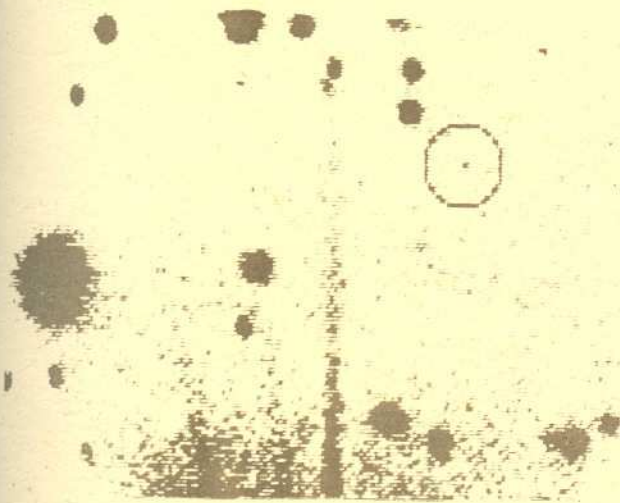
Najprostszym urządzeniem byłaby siatka fotomnożników, jednak zarówno ich duże rozmiary, jak i ogromna ilość oprzyrządowania elektronicznego powodowały, że trzeba było poszukiwać innych dróg. Wreszcie w 1973 roku w Laboratorium Bella (USA) udało się skonstruować pierwsze duże urządzenie nowego typu. Nazwano je trzema literami: CCD (czyta się sjsjidi) od angielskiej nazwy (charge-coupled device). Czułość tego urządzenia jest jeszcze pięciokrotnie wyższa niż fotomnożnika, liniowa charakterystyka pozwala na dokładne odtworzenie rozkładu jasności obserwowanego obiektu; otrzymujemy obraz o wystarczająco dobrej rozdzielczości.

Zasada działania CCD jest następująca: całe urządzenie podzielone jest na elementy zwane pixelami (to też dziwaczny skrót od słów picture element). Pixel jest równoważny ziarnu kliszy i jego wielkość decyduje o rozdzielczości instrumentu. Każdy pixel podzielony jest na 3 paski, jak na rysunku. W czasie naświetlania paski zakreskowane są naładowane tak, że odpychają od siebie elektrony (podobnie jak obudowa i „żeberka” oznaczone podwójną linią). Prawie każdy foton, padający na płytkę CCD, powoduje wybitcie jednego elektronu z regularnej krzemowej siatki krystalicznej. Elektron zewsząd odpychany „ładuje” w najbliższym niezakreskowanym pasku — jest to środkowy pasek jakiegoś pixela. Podobnie dzieje się ze wszystkimi wybitymi elektronami. Po skończonej ekspozycji uwięzione elektrony są zliczane w pęczkach odpowiadających poszczególnym pixelom i liczby te są zapamiętywane przez komputer.

Prześledźmy ów proces na rysunku, gdzie przedstawiono schemat CCD mający 9 pixeli (3×3) oraz u góry — rząderek rejestrujący. A więc zaczynamy. W czasie ekspozycji do pasków nr 1, 3, 4, 6, 7, 9 przyłożone jest napięcie odpychające elektrony. Wszystkie elektrony grzęzną w paskach 2, 5, 8 (rys. a). Rozpoczynając zliczanie odłączamy napięcie od pasków 1, 4, 7 i elektrony rozlewają się po obszarach 1—2, 4—5 i 7—8. Następnie przykładamy napięcie do pasków 2, 5, 8, co zmusza pozostałe tam elektrony do przesunięcia się do pasków 1, 4, 7 (rys. b). Ale pasek 1 styka się z paskami II, V i VIII rzędka rejestrującego. Jeśli więc po odłączeniu napięcia od pasków 3 i 6 przyłożymy napięcie znowu do pasków 1, 4, 7, to elektrony, które znajdowały się w najwyższym szeregu pixeli, znajdą się w rzędku rejestrującym, a te, które były w szeregu środkowym, zostaną przesunięte do szeregu najwyższego (rys. c). Jeszcze jedno przełączenie napięć (wyłączenie 2, 5, włączenie 3, 6) i sytuacja staje się prawie taka sama jak na początku operacji, tylko że elektrony z szeregu górnego znajdują się w rzędku rejestrującym, a szereg dolny (paski 7, 8, 9) jest pusty — wszystkie elektrony są przesunięte o „oczko” wyżej (rys. d).



Teraz ta sama zasada jest wykorzystana do przesuwania w prawo, w kierunku rejestratora, elektronów w rzędku rejestrującym. Po opróżnieniu, zliczeniu i zapamiętaniu liczb tych elektronów całą operację przełączania napięć rozpoczynamy od początku.



Reprodukcja obrazu uzyskanego przy użyciu CCD, na którym widoczna jest kometa Halleya (wewnątrz kółka).

Prostota pomysłu i konstrukcji pozwoliła na to, że już w 10 lat od wymyślenia CCD stał się najbardziej rozpowszechnionym, od wojska po astronomię, superczułym detektorem obrazującym. Dzisiaj można kupić w sklepie CCD o liczbie pixeli 300×300 , a większe, np. 800×800 , produkowane są na zamówienie wojska. Taki CCD o 640000 pixeli ma rozmiary 12×12 mm, czyli rozmiar 1 pixela jest również 10 razy mniejszy niż grubość włosa ludzkiego. A więc udało się połączyć zalety kliszy fotograficznej i fotomnożnika — powstał zupełnie nowy wspaniały detektor — CCD.

Właśnie przy użyciu CCD dwaj astronomowie amerykańscy, David C. Jewitt i G. Edward Danielson, odkryli kometa Halleya 16 października 1982 roku. W momencie odkrycia kometa była oddalona od Słońca o ponad półtora miliarda kilometrów i miała wtedy jasność 24 mag. Po raz pierwszy dostrzeżono kometa tak wcześnie — trzy lata przed jej zbliżeniem do Słońca i w tak dużej odległości od Słońca. Na zdjęciach kometa została zarejestrowana prawie dwa lata później.