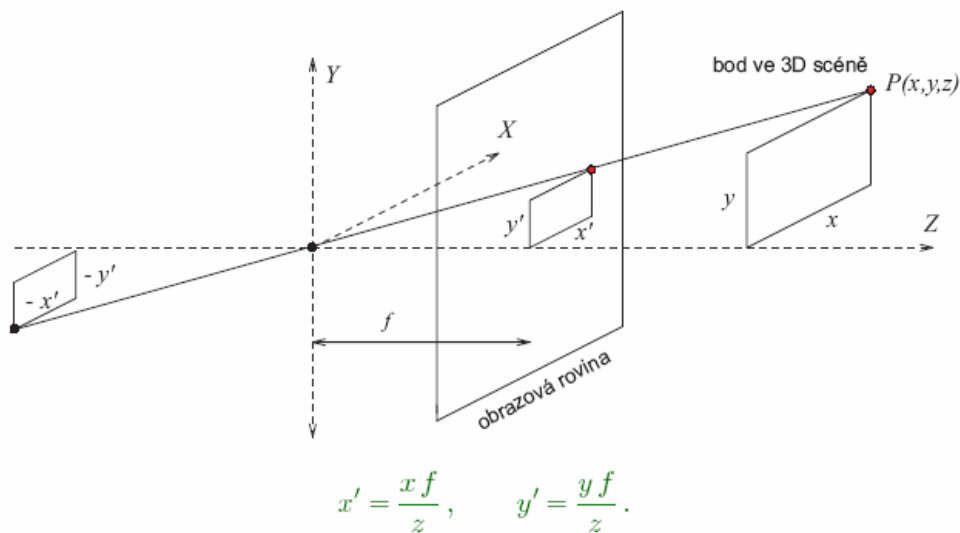


## 44. Obraz jako signál.

**Obraz** je vícerozměrný signál. Je chápán intuitivně jako obraz na sítnici lidského oka nebo obraz sejmutý TV kamerou. Může být modelován matematicky pomocí spojitě skálaární funkce  $f$  dvou nebo tří proměnných, tomu se říká **obrazová funkce**. Obraz je teda popsán obrazovou funkcí dvou souřadnic  $f(x,y)$  v rovině. Obrazová funkce tří proměnných se použije, buď když se plošné obrazy mění v čase  $t$ , tj.  $f(x,y,t)$  nebo v případě objemových obrazů  $f(x,y,z)$ . Hodnoty obrazové funkce odpovídají některé měřené fyzikální veličině, např. jas u obrazu z černobílé TV kamery, teplotě u termovizní kamery nebo schopnosti pohlcovat záření v daném místě objemu u rentgenového tomografu,...

Z obrazu můžeme zjistovat např. velikost, polohu nebo průměrný jas vybraného objektu.



**Digitální obraz** má obrazovou funkci představovanou maticí. Prvky matice jsou obrazové elementy (pixely z angl. picture element).

**Digitalizace** spočívá ve vzorkování obrazu a v kvantování. Čím jemnější je vzorkování a kvantování, tím lépe je aproximován původní spojitý obrazový signál.

### Geometrické hledisko

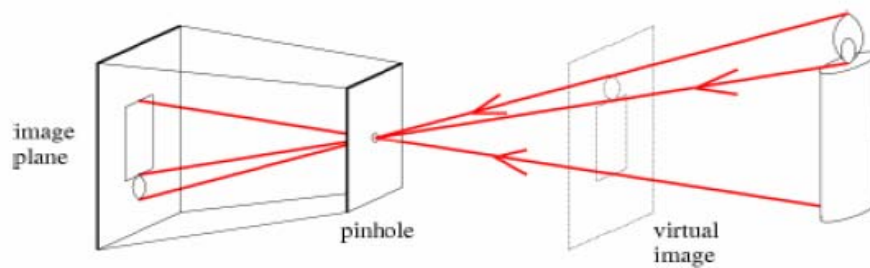
#### Úkol optické soustavy

Optická soustava (objektiv) soustřeďuje dopadající energii (fotony) a na snímáči se vytváří obraz. Měřenou fyzikální veličinou je ozáření [ $\text{Wm}^{-2}$ ].

#### Aproximace geometrickou optikou

Vlnové délky elektromagnetického záření jsou velmi malé ve srovnání s použitými zařízeními. Energie fotonu jsou malé ve srovnání s energetickou citlivostí použitých zařízení.

## Dírková komora

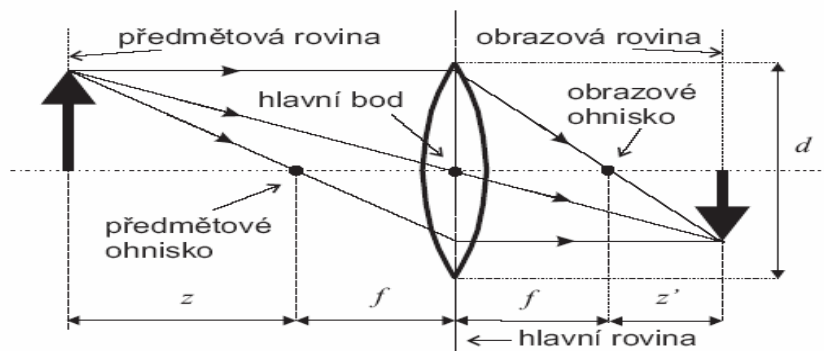


Větší dírka propustí více světla, ale rozmaže obrázek. Při malé dírce se začnou projevovat ohybové jevy a obrázek bude také rozmazán. Existuje však optimum, kdy je obrázek nejvíce zaostřen.

## ČOČKY

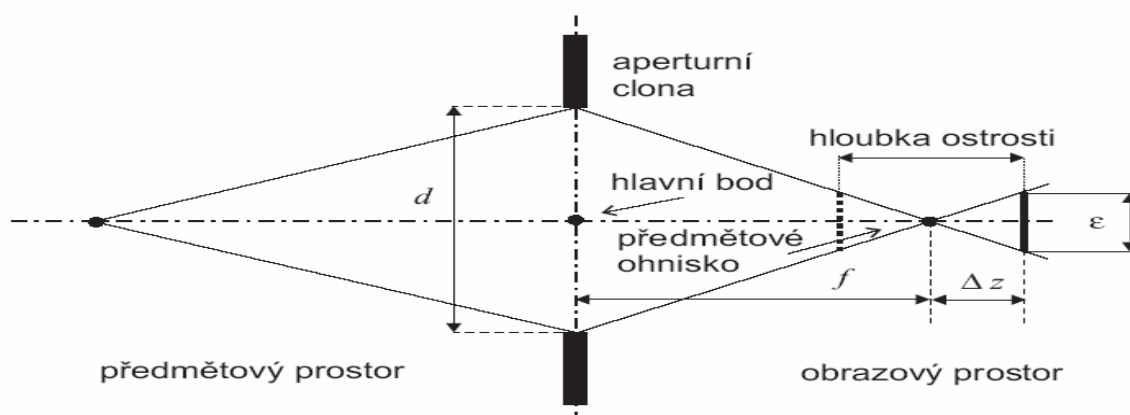
**Index lomu**  $\sin \alpha_1 = n \sin \alpha_2$   $n$  - index lomu

### TENKÁ ČOČKA

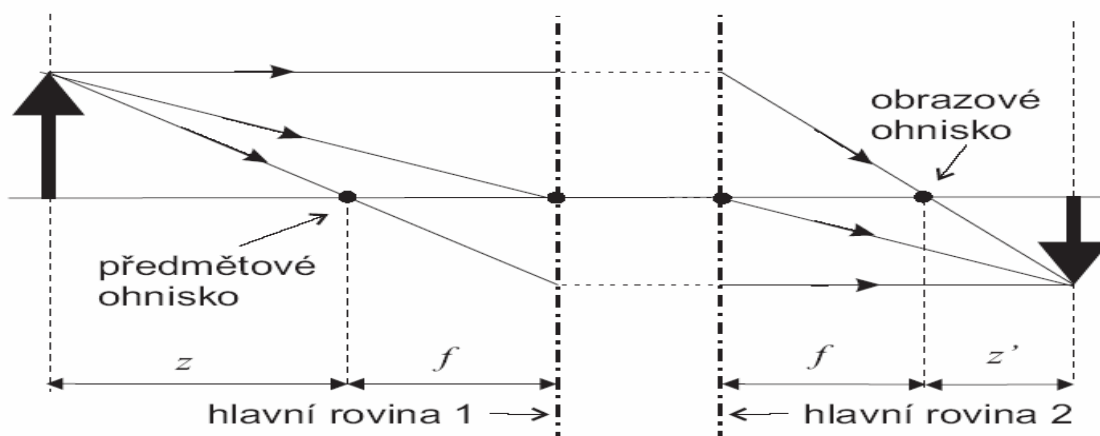


v newtonovském tvaru  $\frac{1}{z' + f} = \frac{1}{f} + \frac{1}{f + z}$  nebo  $z z' = -f^2$

### HLOUBKA OSTROTI



## TLUSTÁ (SLOŽENÁ) ČOČKA APROXIMACE OPTICKÉ SOUSTAVY



Optické soustavy (objektiv) se používají pro odstranění aberací (optických vad jako jsou např. vinetace).

### Radiometrické hledisko

**Radiometrie** je část fyziky, která se zabývá tokem a přenosem vyzářené energie. Dovoluje vysvětlit mechanismus vzniku obrazu.

Neformálně řečeno, jas v daném pixelu závisí na tvaru objektu, odrazivých vlastnostech jeho povrchu, poloze pozorovatele a poloze a typu světelných zdrojů.

Radiometrická analýza změn jasu může přinést ztrátu informace. Základní radiometrickou veličinou je **zářivý tok**  $\Phi$  [W], **zář** (měrná zářivost [Wm<sup>-2</sup>sr<sup>-1</sup>], zář udává světelný výkon)

**Fotometrie**, která využívá veličiny popisující odezvu vjemů zrakového smyslu u člověka.

Fotometrické veličiny závisí na spektrální charakteristice zdroje záření a citlivosti světločivých buněk na sítnici oka. Fotometrickou veličinou je **světelný tok**  $\Phi_{ph}$  [lm (= lumen)], **jas** (měrná svítivost  $L_{ph}$  [lm<sup>-2</sup>sr<sup>-1</sup>])

Mezi radiometrickými a fotometrickými veličinami platí převodní vztah 1[W] = 680 [lm] pro vlnovou délku světla  $\lambda = 555\text{nm}$  a fotooptické vidění.

Nechť je  $K(\lambda)$  **světelná účinnost** [lm W<sup>-1</sup>],  $S(\lambda)$  [W] je výkon příslušného zdroje záření,  $\lambda$  [m] je vlnová délka.

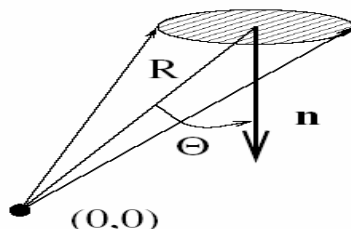
Potom světelný tok  $\Phi_{ph}$  udává celkovou vnímanou odezvu vjemu

$$\Phi_{ph} = \int_{\lambda} K(\lambda)S(\lambda)d\lambda .$$

### PROSTOROVÝ UHEL

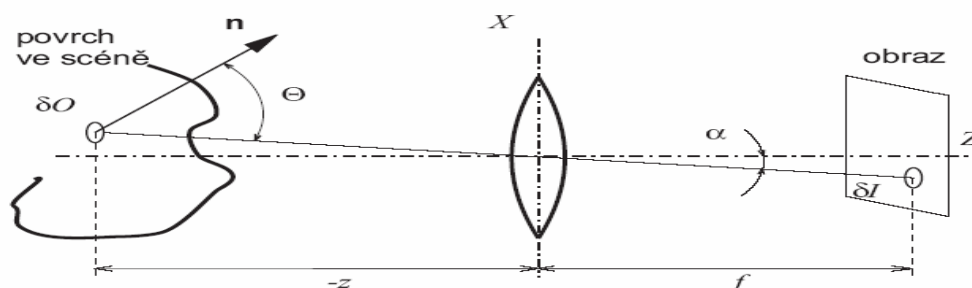
Malá ploška  $A$  ve větší vzdálenosti  $R$  od počátku souřadného systému, tj.  $R^2 \gg A$ , s úhlem  $\Theta$  mezi normálou k plošce a spojnici polopřímku od počátku k plošce odpovídá

$$\Omega = \frac{A \cos \Theta}{R^2}.$$



Prostorový uhel je dán plochou na jednotkové kouli, kterou ohraničí kužel s vrcholem ve středu koule.

### ROVNICE OZÁŘENÍ



Světelná energie je čočkou soustředěna do obrazu. Zanedbáme ztráty v čočce a uvažujeme, že žádné další světlo na element obrazu nedopadá. Potom pro ozáření  $E$  elementární plošky platí

$$E = \frac{\delta\Phi}{\delta I} = L \frac{\delta O}{\delta I} \frac{\pi}{4} \left(\frac{d}{z}\right)^2 \cos^3 \alpha \cos \Theta.$$

Po substituci za  $\frac{\delta O}{\delta I}$  dostaneme **rovnici ozáření** udávající, jaká je ozáření  $E$  obrazového senzoru vyvolané září  $L$  na povrchu pozorované scény

$$E = L \frac{\pi}{4} \left(\frac{d}{f}\right)^2 \cos^4 \alpha.$$

**Funkce odrazivosti**  $R(n \cdot L, n \cdot V, L \cdot V)$   $L$  - zdroj světla;  $V$  - pozorovatel;  $n$  - normála  
**Lambertovský povrch** (ideálně matný) odráží světelnou energii rovnoměrně do všech směrů.

### KOMPRESSE OBRAZŮ

Cíl spočívá v redukcí množství dat potřebných k reprezentaci obrazu. Spotřebované množství paměti se měří např. v bitech. Komprese se používá pro přenos a uchování dat.

### ROZDELENÍ METOD

#### 1. Segmentace objektů v obraze

Je potřebná interpretace obrazu (metody závislé na datech). Dosahuje se nejvyšších kompresních poměrů. Nemožná zpětní rekonstrukce výchozího obrazu.

## 2. Odstranění redundantní informace

**BEZEZTRÁTOVÉ METODY** – umožňují úplnou rekonstrukci výchozího signálu, např. GIF, PNG

**ZTRÁTOVÉ METODY** - umožňují pouze částečnou rekonstrukci výchozího signálu, info nenávratně ztracené (zvuk, obraz) pomocí DFT, FFT, JPEG, MPEG, MPS

## MATEMATICKÁ MORFOLOGIA

Použití: matematický nástroj pro předzpracování a segmentaci obrazů.

Operátory matematické morfologie se používají na výpočetně rychle zpracování obrázků. Dají se aplikovat v biologii, materiálovém výskumě, geologii, kriminalistice, rozpoznávání znaků a dokumentů. Morfologické metody se dají použít nejen pro 2D obrazy, ale také na zpracování 1D signálů.

**BINÁRNÍ MATEMATICKÁ MORFOLOGIE** – množina dvojic celých čísel (patří do  $\mathbf{Z}^2$ ).

**MORFOLOGICKÁ TRASFORMACE  $\Psi$**  je daná relací mezi *obrazem* (bodovou množinou X) a typicky menší bodovou množinou *strukturím elementem* B.

**DUALITA** – ke každé morfologické transformaci  $\Psi(X)$  existuje duální transformace  $\Psi^*(X)$

$$\Psi(X) = (\Psi^*(X^c))^c$$

**TRANSLACE  $X_h$**   $X_h = \{p \text{ patří } E^2, p = x+h \text{ pro některá } x \in X\}$

## BINÁRNÍ MATEMATICKÁ MORFOLOGIE

Základními transformacemi matematické morfologie jsou *dilatace*, *eroze*, *otevření* a *uzavření*.

**Dilatace** skládá body dvou množin pomocí vektorového součtu. Je  $X \oplus B$  bodovou množinou všech možných vektorových součtů pro dvojice pixelů, vždy pro jeden z množiny X a jeden z množiny B. Dilatace je komutativní a asociativní. Samostatně se používá k zaplnění malých děr a jako stavební kámen složitějších operací. Zvětšuje původní velikost objektu.

**Eroze** je definována tak, že pro každý bod obrazu p sa ověřuje, zda pro všechna p+b leží výsledek v X. Slouží pro zjednodušení struktury. V kombinaci s dilatací se používá pro zachování původních rozměrů.

Obě transformace jsou invariantne vůči posunu a rostoucí. Není jsou navzájem inverzním zobrazením. Jejich kombinace jsou dalšími významnými morfologickými transformacemi:

**Otevření** - eroze je následovaná dilatací

**Uzavření** – dilatace je následovaná erozí.

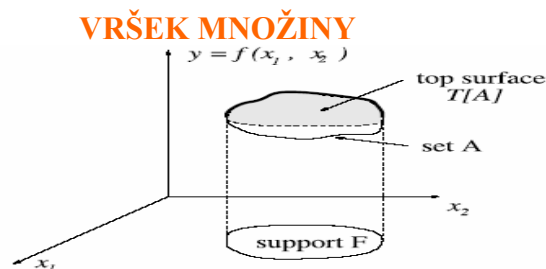
Otevření a uzavření strukturním elementem se používá pro odstranění detailů v obraze, které jsou menší než strukturní element. Celkový tvar objektu se tak neporuší. Otevření oddělí

objekty spojené úzkou šíjí a zjednoduší strukturu objektů. Uzavření spojí objekty, které jsou blízko u sebe, zaplní malé díry a vyhladí obrys tím, že zaplní úzke zálivy.

**IDEMPOTENTNOST** znamená, že opakované použití těchto operací nemění předchozí výsledek.

## ŠEDOTÓNOVÁ MATEMATICKÁ MORFOLOGIE

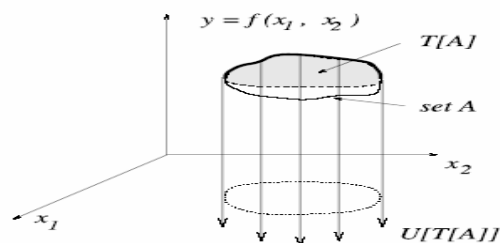
Strukturální element je funkcí dvou proměnných a ovlivňuje, jakým způsobem se berou v úvahu hodnoty obrazu v okolí. Hodnota strukturálního elementu je přičtena, když se v okolí počítá maximum opačně.



Nechť  $A \subseteq \mathbb{E}^n$  a nechť definiční obor  $F = \{x \in \mathbb{E}^{n-1} \text{ pro některá } y \in \mathbb{E}, (x, y) \in A\}$ . **Vršek** množiny  $A$ , označovaný  $T[A]$ , je zobrazením  $F \rightarrow \mathbb{E}$  definovaným jako

$$T[A](x) = \max\{y, (x, y) \in A\} .$$

### STÍN MNOŽINY



Nechť  $F \subseteq \mathbb{E}^{n-1}$  a  $f: F \rightarrow \mathbb{E}$ .

**Stín** funkce  $f$  se označuje  $U[f]$ ,  $U[f] \subseteq F \times \mathbb{E}$

$$U[f] = \{(x, y) \in F \times \mathbb{E}, y \leq f(x)\} .$$

**Šedotónová dilatace** – definovat jako vršek dilatace jejich stínů.

**Šedotónová eroze** dvou fcí: Najde jejich stíny, eroduje je binární erozí a vypočte výsledek jako vršek množiny.

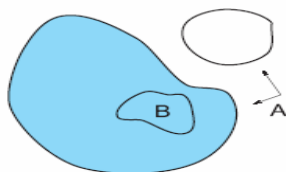
**Tři typy extrému obrazové funkce**

Globálním maximem je pixel s nejvyšší hodnotou

Lokálním maximem je pixel  $p$ , právě když pro každý sousední pixel  $q$  pixelu  $p$  platí  $I(p) \geq I(q)$

Regionální maximum  $M$  digit. šedotón. obrazu  $I$  je množina pixelů s odpovídající hodnotou  $h$ , kde každý pixel sousedící s množinou  $M$  má menší hodnotu ako  $h$ .

Morfologická rekonstrukce  $\rho_A(B)$  množiny  $A$  z množiny  $B$  je sjednocením souvislých částí množiny  $A$  s neprázdným průnikem s  $B$



**KOSTRA (SKELET)** – podlouhlé objekty má smysl reprezentovat kostrou, formální definice kostry se opírá o pojem maximální kruh (když se hranice množiny dotýkají ve 2 a více bodech, což znamená, že předané místo dotyku již kruh nelze zvětšit).

## PŘEDZPRACOVÁNÍ OBRAZU

Vstupem je obraz a výstupem je obraz. Obraz se neimpetuje. Cílem je **potlačit zkreslení, odstranění šumu, zvýšení kontrastu, zdůraznění charakteristik** obrazu pro další zpracování.

**podle velikosti okolí zpracovávaného pixelu**

<i>Operace</i>	<i>Zpracovávané okolí</i>
Transformace jasové stupnice	Stejná pro všechny pixely
Jasové korekce	Jen okamžitý pixel
Geometrické transformace	Teoreticky pixel, prakticky malé okolí
Lokální filtrace	Malé okolí
Obnovení (restaurace) obrazu	Celý obraz

## SOFTWAREVÉ NÁSTRJE

MATLAB, PHOTOSHOP, GIMP

## TECHNICKÉ PROSTŘEDKY PRO POŘÍZENÍ, ZPRACOVÁNÍ A ZOBRAZENÍ

Prostředky pro pořízení – analog. videokamera, scanner, snímače, dig. fotoaparát

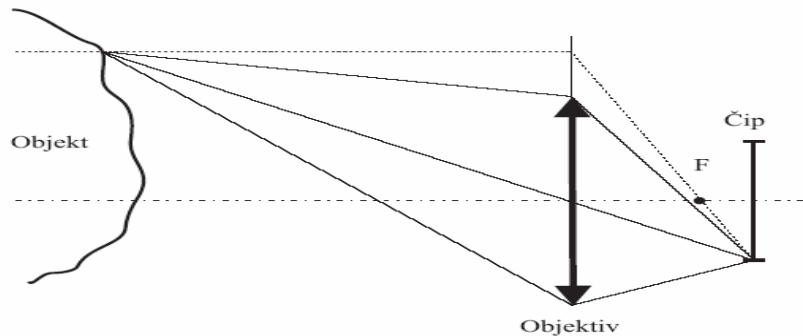
Prostředky pro zpracování – výpočetní technika

Prostředky pro zobrazení – monitor, film, tiskárna, dig. fotoaparát s LCD výstupem, holografie, interferometrie

Polarizační filtr – odstraní nebo vybere polarizovaný obraz

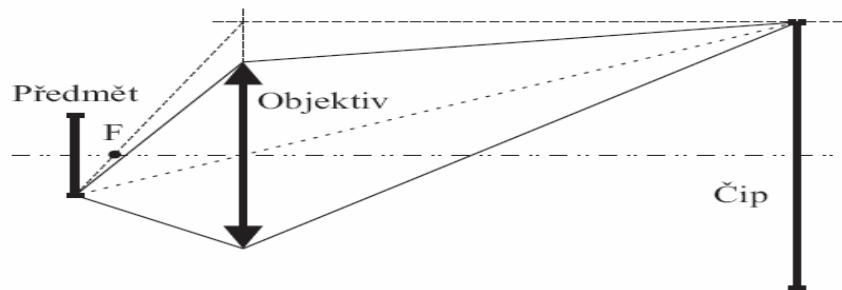
### NORMÁLNÍ OBJEKTIV

Vzdálenost objektu  $\gg$  ohnisková vzdálenost.  
Normální, širokoúhlý, teleobjektiv.



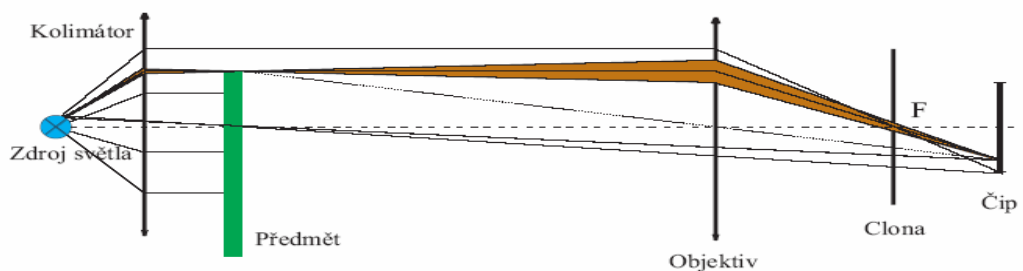
### MIKROSKOPICKÝ OBJEKTIV

Obraz zvětšen, typicky krátká pracovní vzdálenost (cca 1mm), ale může být i velká (cca 100mm). Typicky je úhel porozování velký a malá hloubka ostrosti.



### TELECENTRICKÝ OBJEKTIV

Výhodné tam, kde se mění poloha objektu na optické ose nebo objekt je „tlustý“. Pokud se objekt k čočce přiblíží, vypadá větší, a když se vzdálí, zdá se menší. Telecentr. objektiv vznikne tak, že malý aperturní otvor se umístí až do obraz. hlav. bodu. Tím se dosáhne toho, že obraz vytvářejí pouze paprsky, které jsou přibližně rovnoběžné s optickou osou. Je to výhodné, ale drahé.



Posuneme apert. clonu mezi hlav. bod a obraz. rovinu, dostaneme **hypercentrický objektiv**, kde jsou vzdálenější predmety (objekty) zobrazené jako větší.

### CCD snímače

V čidlech převádí světelnou energii na elektrický náboj, je analog. posuvný registr. Výhodou je velká citlivost, poměrně nízký šum. Nevýhodou CCD kamer je vzájemné ovlivňování nábojů v soused. Pixelch- blooming; malý rozsah intenzit (2 řady); výroba poměrně komplikovaná.

### CMOS snímače

Levné. Výhodou je větší rozsah intenzit (4 řady), velká rychlost vyčítání (100 ns), náhodný přístup k pixelům. Nevýhodou je o řád větší šum než u CCD kamer.