

# INFORMATIKA

## Počítačová grafika, 1. část

EDUARD BARTL

Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc

Počítačová grafika je zajímavou a bezesporu důležitou informatickou disciplínou, která se zabývá metodami pro tvorbu a manipulaci digitálního obrazu, případně digitální animace (někdy je počítačovou grafikou také nazýván předmět zájmu této disciplíny, tedy právě zmíněný digitální obraz nebo animace). Přes svoji důležitost je jí ve výuce informatiky zpravidla věnováno málo nebo vůbec žádný prostor. Cílem tohoto několikadílného příspěvku tedy je poskytnout čtenáři (zejména učiteli nebo studentovi na střední škole) základní vhled do této disciplíny formou, která je – alespoň podle skromného názoru autora – v určitém ohledu neotřelá.

### 1. Úvod

Počítačová grafika se zrodila brzo poté, kdy se objevily první elektronické počítače.<sup>1)</sup> Důvodem je patrně skutečnost, že pro většinu lidí je přirozené vnímat okolní svět pomocí obrazové informace. Pokud tedy počítač vykoná nějaký výpočet, jehož výsledek se nedá jednoduše vyjádřit (například pomocí jednoho nebo několika málo čísel) a přesto má být pro člověka snadno a rychle vstřebatelný, pak jej zpravidla vyjádříme s využitím nějakého grafického prvku. Třeba můžeme číselné výsledky uspořádat do tabulky, ve které jsou jednotlivé buňky odděleny čarami, nebo můžeme výsledek zobrazit pomocí grafu. Velmi dobrým příkladem užitečnosti grafického zobrazení je výsledek měření výpočetního tomografu; lékař jistě ocení, když výsledkem nebudou miliony čísel popisujících strukturu zkou-

---

<sup>1)</sup>Termín počítačová grafika poprvé použili roku 1960 Verne Hudson a William Fetter, kteří pracovali pro společnost Boeing.

maného objektu, ale jeden trojrozměrný obrázek přímo znázorňující tento model.

Počítačová grafika zaujímá v informatice poněkud zvláštní místo. Je to zjevně dáno tím, že ke svému životu potřebuje nejen matematiku a některá další infromatická odvětví (jmenujme například lineární algebru, geometrii, teorii informace a kódování, umělou inteligenci), ale i několik zcela neinformatických disciplín (kupříkladu psychologii, fyziologii oka nebo optiku). Neobvyklé postavení počítačové grafiky v informatice je také dáno jejím využitím ve výtvarném umění a filmové tvorbě.

Počítačovou grafiku můžeme rozdělit na dvourozměrnou a trojrozměrnou počítačovou grafiku podle toho, zdali je jejím předmětem zájmu dvourozměrný (často také říkáme 2D) nebo trojrozměrný (3D) obraz nebo animace. Trojrozměrná počítačová grafika využívá metody dvourozměrné a významným způsobem je obohacuje o další metody, které řeší problémy typické pro trojrozměrné scény, například řešení viditelnosti, osvětlení scény, zobrazování stínů atd. Tento několikadílný článek se bude zabývat výhradně dvourozměrnou počítačovou grafikou.

## 2. Matematický model obrazu

Digitální obraz můžeme uměle vygenerovat (jak uvidíme v dalších dílech tohoto článku) nebo získat pomocí nějakého zařízení. Zastavme se nyní krátce u problematiky získávání dvourozměrného obrazu. Toto mírné odbočení nám později pomůže zavést jednoduchou definici digitálního obrazu, ze které pak můžeme vyvodit, jakým způsobem uložit obraz do paměti počítače.

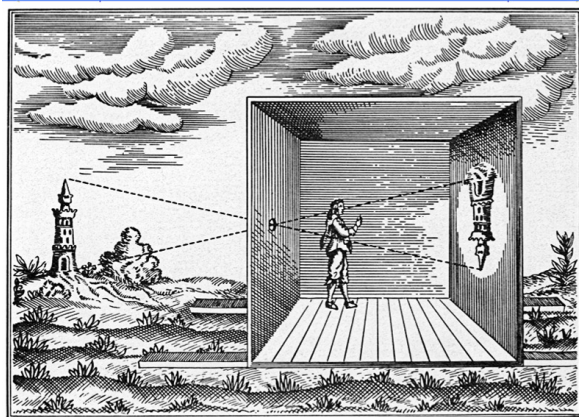
V současné době nejpoužívanějším zařízením pro získání obrazu je bezesporu digitální fotoaparát. Digitální fotoaparát je postaven na principu klasického fotoaparátu a je doplněn o elektronické zařízení, které obdržený obraz takzvaně *digitalizuje*, tedy převede do podoby, která umožňuje jeho uložení na elektronické paměťové médium.

Je všeobecně známo, že první fotografie se objevily v první polovině 19. století. Méně známá je však skutečnost, že princip klasického fotoaparátu je založen na zařízení, které se jmenuje *camera obscura*<sup>2)</sup> a jehož princip byl popsán Aristotelem kolem roku 350 před naším letopočtem. Dobové vyobrazení camera obscury na obr. 1 dobře vystihuje, jakým způsobem

---

<sup>2)</sup>Překlad tohoto latinského názvu je *tmavý pokoj*; mohli bychom jej přeložit také jako *temná komora*. V anglické literatuře se často používá název *pinhole camera* – *dírková komora*.

toto zařízení pracuje. Technická realizace je ve skutečnosti o něco složitější, velikost otvoru ve stěně totiž ovlivňuje kvalitu získaného obrazu na průmětně. Čím je otvor větší, tím více světla dopadá na průmětnu, obraz je tak jasnější, ale kvůli difrakci je rozmazanější. Zmenšením otvoru získáme ostřejší obraz, který je však málo jasný. Tento problém se řeší umístěním vhodné čočky do otvoru stěny.



Obr. 1 Camera obscura (13. století), zdroj Wikipedia

Získaný obraz na průmětně camera obscury můžeme popsat pomocí funkce

$$o: \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow C, \quad (1)$$

kteřé budeme říkat *obrazová funkce* a která bodu o souřadnicích  $\langle x, y \rangle \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}$  přiřazuje nějakou barvu z množiny všech barev  $C$ .

Zdůrazněme, že obrazová funkce je velmi obecným *matematickým modelem* získaného obrazu. Pokud bychom ji chtěli použít k uložení obrazu do paměti počítače, případně k zobrazení obrazu na displeji, tak příliš neuspějeme. Důvody jsou dva.

Zprvé, jednotlivými prvky množiny  $C$  jsou barvy, které jsou pro naše účely příliš abstraktními objekty. Každou barvu v množině  $C$  bychom měli být schopni nějak rozumně popsat, nejlépe pomocí čísla nebo několika málo čísel. Touto problematikou se budeme zabývat v sekci 3, 4 a 5.

Zadruhé, body tohoto obrazu jsou ideální objekty (napříště jim budeme říkat *geometrické body*) patřícími do geometrického světa, v našem reálném světě se však nevyskytují – neumíme je žádným zařízením zobrazit a

neumíme je ani vidět. Přesto si je umíme v naší mysli představit, a proto také o nich teď můžeme rozprávět. Jakým způsobem pracovat s těmito geometrickými body si povíme v sekci 6.

### 3. Barvy

Zabývat se podrobně popisem barev vyžaduje hluboké znalosti optiky, fyziologie lidského oka a dalších souvisejících disciplín. Abychom se příliš nevzdalovali od směru našeho výkladu, pokusíme se být maximálně struční. Zopakování několika základních pojmů z optiky se však nevyneme.

Jak víme, světlo je elektromagnetické vlnění, které je charakterizováno vlnovou délkou  $\lambda$  a frekvencí  $f$ , mezi kterými platí známý vztah

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

kde  $c$  je rychlost světla ve vakuu. Zajímat nás bude pouze malý rozsah vlnových délek, přibližně od 400 nm do 700 nm. V tomto rozsahu jsme totiž schopni světlo vnímat naším zrakem, proto také nazýváme toto světlo *viditelným světlem*. Různé vlnové délky viditelného světla vyvolávají odlišný zrakový vjem – vnímáme je jako světlo různé *barvy*. Konkrétně, viditelné světlo s vlnovou délkou v rozsahu přibližně od 400 nm do 450 nm vnímáme jako fialové, v rozsahu od 450 nm do 490 nm jako modré, od 490 nm do 560 nm jako zelené, od 560 nm do 590 nm jako žluté a od 590 nm do 700 nm jako červené. Těmto barvám říkáme *spektrální barvy*.<sup>3)</sup> Celé barevné spektrum je znázorněno na obr. 2.



Obr. 2 Barevné spektrum, zdroj Wikipedia.

Další barvy vznikají složením spektrálních barev. Například bílá barva vzniká složením viditelného světla všech vlnových délek.

Doposud jsme se bavili o *barvě světla*. Pokud ovšem použijeme slovo *barva* v běžné mluvě, tak tím máme zpravidla na mysli barvu nějakého

---

<sup>3)</sup>Někdy se mezi spektrální barvy uvádí také tyrkysová barva, která je v barevném spektru na rozhraní mezi modrou a zelenou (vlnová délka kolem 490 nm, a dále pak oranžová barva, jež je na rozhraní mezi žlutou a červenou (vlnová délka kolem 590 nm).

předmětu. Jak tedy spolu souvisí barva světla s barvou předmětu? Odpověď je jednoduchá. Barva předmětu je dána barvou odraženého světla. Pokud během vegetačního období posvítí na list lípy bílé světlo, odražené světlo bude v zelené části spektra a my proto budeme tento list vnímat jako zelený.<sup>4)</sup> Dobrým příkladem je také dopadající světlo na bílou stěnu pokoje. Taková stěna totiž velmi dobře odráží viditelné světlo všech vlnových délek. Posvítíme-li tedy na stěnu bílým světlem, téměř všechny vlnové délky se odrazí, složením vznikne opět bílé světlo, stěnu tak vnímáme jako bílou. Jestliže ale na stěnu posvítíme červeným světlem, odrazí se červené světlo a stěnu vnímáme jako červenou. Pokud bychom tedy neměli možnost zjistit barvu světla v místnosti, budeme přesvědčeni, že je stěna natřena na červeno.

#### 4. Barevné modely

Řekli jsme si, že množina  $C$  v definici obrazové funkce obsahuje jako své prvky barvy. Jakým způsobem počítač s barvami pracuje? Počítač si jistě, narozdíl od člověka, neumí vytvořit vjem barvy. Jednotlivé barvy musíme nějakým způsobem kódovat tak, aby s nimi mohl počítač pracovat (například uložit je do paměti). K tomuto účelu složí *barevné modely*, z nichž nejznámější se nazývá RGB barevný model.

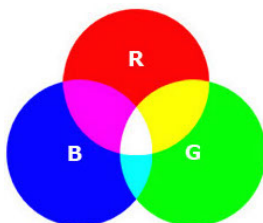
Jak můžeme tušit, zkratka RGB poukazuje na tři základní barvy, se kterými tento barevný model pracuje – jedná se o červenou (anglicky red), zelenou (anglicky green) a modrou barvu (anglicky blue). Výběr těchto základních barev není náhodný a souvisí se skutečností, že podstatnou část dalších barev (zdůrazněme, že nikoliv všechny) jsme schopni získat složením těchto tří základních barev. Pokud například posvítíme na nějaké místo bílé stěny baterkou, která vydává červené světlo a do stejného místa dále posvítíme baterkou, která vydává zelené světlo, odražené světlo bude mít barvu žlutou. Takovému skládání říkáme *aditivní*, schematicky

---

<sup>4)</sup>Souvisí to s chlorofylem, který je přítomný v rostlinách, sinicích a řasách. Chlorofyl totiž silně pohlcuje fialové, modré a červené světlo, vlnové délky odraženého světla se budou pohybovat zejména kolem 550 nm, list lípy pak vnímáme jako zelený. Na podzim se však chlorofyl rozkládá, v listech začnou převládat třísloviny, které zelené světlo pohlcují a naopak odrážejí světlo žluté nebo červené barvy. Na podzim proto listy dostávají svoje typické červenožluté zbarvení.

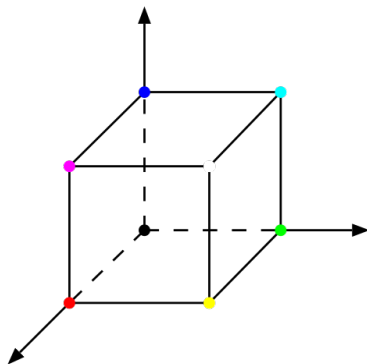
Pokud dáme někomu za úkol popsat, jak vypadá list stromu, tak jistě ve své odpovědi zmíní, že je zelený. Vlastnost „být zelený“ je tedy úzce svázána s významem sousloví „list stromu“. Uvědomíme-li si ale fyzikální podstatu věci, dojdeme k poněkud překvapivému zjištění, že je totiž tento úzký vztah dán „nepřátelským“ chováním listů k zelené barvě světla – je to jediná barva, kterou odráží.

je znázorněno na obr. 3.



Obr. 3 Aditivní skládání barev, zdroj Wikipedia

RGB model znázorňujeme pomocí jednotkové krychle, které říkáme *RGB krychle*. Vidíme ji na obr. 4. Krychle je umístěna do souřadnicového

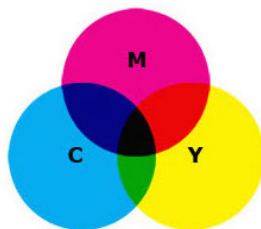


Obr. 4 RGB krychle, zdroj Wikipedia

vého systému způsobem, který vidíme na právě zmíněném obrázku. Každá barva je určena, jak jsme již řekli, určitým zastoupením základních barev – červené, zelené a modré barvy. Barvu zobrazitelnou RGB modelem tedy reprezentujeme jako bod o souřadnicích  $\langle r, g, b \rangle$ , kde  $r$ ,  $g$  a  $b$  jsou reálná čísla z intervalu  $[0, 1]$ , která vyjadřují stupeň zastoupení základních barev. Například tedy černá barva je reprezentovaná bodem o souřadnicích  $\langle 0, 0, 0 \rangle$ , žlutá barva (vzniklá složením červené a zelené) je reprezentovaná bodem o souřadnicích  $\langle 1, 1, 0 \rangle$ , bod  $\langle 0.7, 0.7, 0.7 \rangle$  určuje barvu, kterou bychom mohli pojmenovat jako světle šedá a podobně.

Vidíme tedy, že ve vrcholech leží základní barvy nebo barvy, které vznikají složením základních barev – těm se říká *doplňkové barvy* a jedná se o tyrkysovou (anglicky cyan), purpurovou (anglicky magenta) a žlutou (anglicky yellow). Na tělesové uhlopříčce se nacházejí šedé odstíny, které začínají v počátku souřadnicového systému černou barvou a končí v protilehlém vrcholu bílou barvou. Vzdalováním se od tělesové úhlopříčky obdržíme barvy, které jsou více saturované (syté). Saturace a desaturace barvy jsou základními barevnými transformacemi a podrobněji se jimi budeme zabývat v příštím díle.

Pozastavme se ještě na chvíli u skládání barev. Řekli jsme, že skládání v RGB modelu funguje tak, že kupříkladu složením červené a zelené barvy vznikne barva žlutá. Toto skládání jde však zcela zásadně proti naší zkušenosti se skládáním (v tomto případě bychom možná spíše měli říct mícháním) vodových barev při malování na papír. Pokud totiž namalujeme vodovou barvou nějaký červený objekt a posléze ho přemalujeme na zeleno, jistě nevznikne žlutý, ale spíše hnědý obrázek. Tento typ skládání barev je samozřejmě zcela v souladu s tím, co jsme si doposud řekli; jen je potřeba dobře si uvědomit, že je takové skládání výrazně složitější. Na bílém papíru jsou totiž na sobě dvě vrstvy barvy, některé vlnové délky dopadajícího světla jsou první vrstvou odraženy, jiné projdou do druhé vrstvy, od které se opět nějaké vlnové délky odrazí, jiné projdou až na papír. Výsledné odražené světlo, jehož barvu pak vnímáme, bude spíše tmavšího odstínu. Tomuto typu skládání barev se říká *subtraktivní*, znázorněno je na obr. 5.



Obr. 5 Subtraktivní skládání barev, zdroj Wikipedia

Na subtraktivním skládání barev je založen model, který je v jistém smyslu opačný k modelu RGB. Nazývá se CMY modelem. V uvedené zkratce jsou opět použity základní barvy, kterými jsou v tomto případě tyrkysová (C), purpurová (M) a žlutá (Y). Pozorný čtenář si jistě všiml,

že základní barvy CMY modelu jsou doplňkovými barvami RGB modelu. Dá se pak vytušit, že doplňkovými barvami modelu CMY budou právě základní barvy modelu RGB, tedy červená, zelená a modrá.

CMY model zobrazujeme opět jako krychli vhodně umístěnou do souřadnicového systému. Vše pak funguje stejně jako v RGB modelu – každá zobrazitelná barva je reprezentována bodem ležícím uvnitř nebo na povrchu krychle a číselně vyjádřená souřadnicemi  $\langle c, m, y \rangle$ , kde  $c, m, y \in [0, 1]$  určují stupeň zastoupení jednotlivých základních barev; rozdíl oproti RGB modelu je pouze ve volbě základních barev a v subtraktivnosti jejich skládání. V počátku souřadnicového systému je tedy bílá barva, v protilehlém vrcholu je černá barva a podobně.

Ze vzájemného vztahu základních a doplňkových barev v RGB a CMY modelu můžeme snadno odvodit obecný vzoreček umožňující transformovat jeden model na druhý. Pokud tedy budeme uvažovat jistou barvu, která má v RGB krychli souřadnice  $\langle r, g, b \rangle$ , tak jsou její souřadnice  $\langle c, m, y \rangle$  v CMY krychli vyjádřeny vztahem

$$\langle c, m, y \rangle = \langle 1 - r, 1 - g, 1 - b \rangle.$$

Jak jsme si již řekli, RGB model je založen na aditivním skládání barev. Tento typ skládání se přesně hodí na popis barev zobrazovaných na CRT monitorech nebo LCD displejích. Fungování těchto dvou typů zobrazovacích zařízení je sice založeno na zcela jiných principech, oba však skládají světelné paprsky různých barev aditivním způsobem. CRT monitory i LCD displeje proto používají pro popis zobrazených barev RGB barevný model. CMY model využívající subtraktivní skládání se naproti tomu používá v tiskařské technice. V tiskařské praxi se však z technických důvodů přidává k základním barvám modelu CMY ještě jedna barva, totiž černá barva. Vzniká tak model CMYK (písmeno K odkazuje na anglické slovo black).

Barevné modely RGB a CMY mají jednu zásadní nevýhodu – tvorba barev v těchto modelech je málo intuitivní. Pokusíme se to demonstrovat na následujícím příkladu. Uvažujme barvu, která má v RGB modelu souřadnice  $\langle 0.1, 0.83, 0.75 \rangle$ . Tuto barvu si můžete zobrazit v nějakém grafickém editoru; kvůli vysokému podílu modré a zejména pak zelené barvy, bychom výsledek mohli pojmenovat jako zelenomodrá barva. Představme si nyní, že touto barvou vybarvíme v grafickém editoru nějaký geometrický objekt, ale později zjistíme, že je tato barva příliš světlá. Rádi bychom přibližně zachovali odstín této barvy, ale učinili ji trochu tmavší. Kterou



barevnou složku změním a o kolik? Na tuto otázku se nedá uspokojivě odpovědět. Z tohoto důvodu se v různých grafických aplikacích používají i jiné barevné modely (například HSL nebo HSV modely, více informací o těchto modelech je možné najít na v [1] nebo v [2]).

## 5. Barevná hloubka

V počítačové grafice máme pro vyjádření zastoupení jednotlivých barev k dispozici jen omezené množství paměti. V dnešní době se zpravidla pro uložení každé základní barvy používá 1 bajt, tedy 8 bitů. Pro všechny tři základní barvy tedy potřebujeme 24 bitů. Celkový počet bitů potřebných pro vyjádření základních barev (a potažmo všech barev vyjádřitelných v daném barevném modelu) se nazývá *barevná hloubka*.

Systém využívající barevnou hloubku o velikosti 24 bitů se nazývá *true color* systém a dnes jej využívá například formát Blu-Ray. Pojmenování *true color* (do češtiny se překládá jako plurál – věrné barvy) bylo zvoleno proto, že díky 24 bitům jsme schopni vyjádřit celkem

$$2^{24} = 16\,777\,216 \text{ barev.}$$

Lidské oko je schopno rozlišit kolem 10 milionů barev, tato barevná hloubka tedy umožňuje uložit obrazovou informaci s věrným barevným vyjádřením.

V minulosti se kvůli technickým omezením používaly i menší barevné hloubky, například 16 bitů<sup>5)</sup> (systémy využívající tuto hloubku se nazývají *high color* systémy), 12 bitů, 8 bitů nebo dokonce pouhé 4 bity.<sup>6)</sup> Tyto barevné hloubky se však dnes využívají velmi zřídka, pouze v některých speciálních aplikacích. Naopak je možné setkat se s vyšší barevnou hloubkou, konkrétně 32 bitů. Otázkou je, zdali je užitečné nadále zvyšovat počet vyjádřitelných barev; ve skutečnosti je i v tomto případě použito 8 bitů na vyjádření každé základní barvy (stejně jako v případě 24 bitové

---

<sup>5)</sup>Mezi tři základní barvy bylo těchto 16 bitů zpravidla rozděleno tak, že na červenou a modrou barvu bylo vyčleněno po 5 bitech, na zelenou barvu pak 6 bitů.

<sup>6)</sup>Příkladem, který si autor nemůže dovolit z nostalgických důvodů neuvést, jsou osmi-bitové počítače, které byly velmi oblíbené v 80. letech 20. století. Konkrétně, v Československu velmi populární počítače Atari s označením 800XL (i některé pozdější modely) používaly několik grafických režimů; v jednom z nich byla k dispozici 4 bitová barevná hloubka, v jiném dokonce pouze 1 bitová (obraz byl tedy dvoubarevný, nikoliv však nutně černobílý). Většího počtu barev, než kolik byl schopen daný režim zobrazovat, bylo dosahováno sofistikovanými programátorskými technikami využívajících krátkého okamžiku, během kterého se paprsek vykreslující obraz na stínítko obrazovky vracel z konce jednoho řádku na začátek bezprostředně následujícího řádku.

barevné hloubky), poslední bajt je využit jako takzvaný alfa-kanál, kterým se realizuje průhlednost obrazu. O tom, jak alfa-kanál funguje, si povíme v jednom z následujících dílů článku.

## 6. Pixely

Pokud budeme chtít s geometrickými body obrazu pracovat v našem reálném světě, budeme z nich muset vytvořit objekty, které budeme schopni výpočetně „uchopit“. Takovým objektům se pak v počítačové grafice říká *fyzické pixely*.<sup>7)</sup> Obvykle se definují jako obdélníkové plošky, které jsou těsně vedle sebe a pokrývají část průmětny, která nás zajímá.

Kromě fyzického pixelu budeme také v dalších dílech pracovat s pojmem *logického pixelu*. Důvodem pro zavedení tohoto pojmu je potřeba nějakým způsobem vyjádřit souřadnice daného fyzického pixelu – z fyzického pixelu tedy vybereme nějaký geometrický bod (často je to střed fyzického pixelu nebo jeden z jeho vrcholů) a tomuto bodu budeme říkat logický pixel. Souřadnice logického pixelu pak určují souřadnice příslušného fyzického pixelu.

K fyzickým a logickým pixelům se vrátíme později (například při výkladu Bresenhamova algoritmu pro rasterizaci základních geometrických útvarů), vše si pak demonstrujeme na obrázcích. Dodejme, že pokud budeme mluvit o *pixelu*, tak tím budeme mít na mysli fyzický pixel.

## 7. Digitální obraz

Vraťme se nyní k obrazové funkci  $o$ , viz předpis (1). Řekli jsme si, že se jedná o velmi obecný a pro praktické účely nepříliš vhodný model obrazu. Pomocí barevných modelů si však umíme poradit s množinou všech barev  $C$  a pomocí fyzických a logických pixelů si umíme poradit i s jednotlivými geometrickými body tohoto obrazu.

Pokud budeme chtít na počítači zpracovat obraz získaný na průmětně camera obscura, vytvoříme z něho takzvaný *digitální obraz*. Postup je následující. Na průmětně camera obscura nejprve nadefinujeme obdélníkovou oblast našeho zájmu. Počátek souřadnicového systému umístíme do některého z vrcholů tohoto obdélníka. V počítačové grafice se tento počátek zpravidla umísťuje do levého horního rohu, kladná polovina osy  $x$  směřuje doprava, jak jsme zvyklí; kladná polovina osy  $y$  však obvykle smě-

---

<sup>7)</sup>Slovo *pixel* vzniklo zkrácením anglických slov *picture element*, tedy *obrazový bod*. Svého času byla také zavedena zkratka *pel*, ta se však neujala.

řuje dolů. Obraz je tedy určen barvami všech geometrických bodů ležících v obdélníkové oblasti našeho zájmu.

Obdélníkovou oblast našeho zájmu pak souvisle pokryjeme fyzickými pixely. Logický pixel každého fyzického pixelu umístíme například do jeho levého horního vrcholu. Měřítko na osách zvolíme tak, aby měly fyzické pixely jednotkovou šířku i výšku. Důsledkem toho je, že  $x$ -ová i  $y$ -ová souřadnice logického (a potažmo i fyzického) pixelu je přirozené číslo. Barva fyzického pixelu o souřadnicích  $\langle x, y \rangle$  je pak určena barvou příslušného logického pixelu, tedy hodnotou  $o(x, y)$ .<sup>8)</sup> Tuto barvu pak kódujeme s využitím nějakého barevného modelu. V případě RGB modelu nebo CMY modelu tedy barvu kódujeme jako trojici čísel, kde jednotlivá čísla této trojice určují stupeň zastoupení základních barev.

Z pohledu programátora je digitální obraz dvourozměrným polem, jehož hodnoty určují barvy příslušných pixelů. Takto definovanému digitálnímu obrazu se v počítačové grafice říká *rastrový obraz* nebo *rastrová grafika* (pixely nesoucí informaci o barvě totiž tvoří rastr). Existují i jiné přístupy (například *vektorová grafika*), které se však používají jen v některých speciálních aplikacích a proto se jimi nebudeme zabývat.

## 8. Závěr

První díl série článků o počítačové grafice byl pouze úvodní. Čtenář byl seznámen se základními pojmy, které budou nezbytné pro pochopení dalších dílů. V těch se budeme věnovat zejména algoritmům využívaných ve dvourozměrné počítačové grafice.

## Literatura

- [1] *Huges, J. F. a kol.: Computer Graphics. Principles and Practice. 3. vydání, Addison-Wesley, 2014.*
- [2] *Felkel, P., Sochor, J., Žára, J., Beneš, B.: Moderní počítačová grafika. 2. vydání, Computer Press, 2005.*
- [3] *Martíšek, D.: Matematické principy grafických systémů. Littera, 2002.*

---

<sup>8)</sup>V technické praxi se tomuto „odebíráni barev“ z obrazové funkce říká *vzorkování*. Vzorkování je pak součástí procesu, kterému se říká *digitalizace*. Problematika vzorkování a digitalizace je poměrně dosti složitá, vyžaduje znalost alespoň základních kurzů vysokoškolské matematiky. Pro účely tohoto článku jsme proto tyto pojmy značně zjednodušili; pro další výklad však bude tento zjednodušený pohled dostačující.