České vysoké učení technické v Praze FIT

Programování v Pythonu

Jiří Znamenáček

Příprava studijního programu Informatika je podporována projektem financovaným z Evropského sociálního fondu a rozpočtu hlavního města Prahy.

Praha & EU: Investujeme do vaší budoucnosti

Python – PNG

Úvod

Grafický formát PNG (*Portable Network Graphics*) vznikl jako reakce na licenční politiku kolem formátu GIF (odtud též *PNG is Not GIF* :) a přestože ho zcela nenahrazoval, byl záhy standardizován a obecně poměrně kladně přijat. V mnoha ohledech konkuruje i jiným formátům, především tím, že je poměrně snadno implementovatelný a jeho struktura zahrnuje volitelné rozšiřování podle potřeb příslušných aplikací. Na druhou stranu jde o čistě RGB-formát, takže nenahrazuje formáty schopné pracovat v jiných barvových prostorech (jako je např. CMYK).

PNG podporuje obrázky ve stupních šedi (*grayscale*; 8- i 16-bitové), plné barevné hloubce (*truecolor*; běžně 24-, ale i 48-bitové) plus obrázky s barevnou paletou (*colormap*, *index color*). Navíc je to vše možno kombinovat s průhledností v podobě až 16-bitového alfa kanálu, zobrazovat prokládaně a přikládat k obrázkům barvové ICC-profily.

Struktura PNG

I. Globální struktura PNG-souboru je následující:

- hlavička – vždy stejných 8 bajtů `89 50 4E 47 0D 0A 1A 0A`, jinak to není PNG
- série různých typů *chunků*, které mají všechny stejnou strukturu:
    1. délka dat chunku [4 bajty]
    2. typ chunku [4 bajty]
    3. data chunku
    4. kontrolní součet (*CRC*) chunku [4 bajty]

PS: Struktura hlavičky kromě i lidsky viditelné identifikace (2.-4. bajt představují `PNG`) slouží k odchycení možných problémů při přenosu – první bajt testuje zachování nejvyššího bitu, další pak překlady řádků nebo *EOF*.

I. Nejjednodušší sekvence chunků, která poskytne validní PNG-obrázek, je takováto:

- `IHDR` – hlavička; obsahuje všechny informace potřebné k rozkódování obrázku
- `IDAT` – vlastní data obrázku
- `IEND` – ukončovací chunk (neobsahuje žádná data)

  → Chunků `IDAT` může být více. Měly by být všechny za sebou.

PS: Druhý nejjednodušší typ obrázku bude ještě mezi `IHDR` a `IDAT` obsahovat barevnou paletu `PLTE`.

Poznámky

I. Ze způsobu pojmenování typu chunku (tedy podle toho, které bity jsou nastavené; prakticky se to projevuje zápisem buď velkými nebo malými písmeny) se dá poznat mnohem více – zda je příslušný chunk nutný pro přečtení obrázku (např. *IDAT* versus *tEXt*), veřejný či privátní (pro nějakou konkrétní aplikaci) nebo zachovává-li se při transformaci obrázku (např. *hIST*).

Praktická stránka věci: Pro zpracování obrázku vás zajímají pouze chunky, jejichž typ je zapsán verzálkami (velkými písmeny).

I. Vícebajtová čísla (např. délka dat) jsou zakódována v pořadí *big endian*, tedy od nejvýznamnějšího bajtu vlevo po nejméně významný vpravo (tj. poslední bajt vpravo určuje číslo v rozmezí 0-255, předchozí v násobcích 256 atd.).

→ Viz http://www.w3.org/TR/PNG/#7Integers-and-byte-order

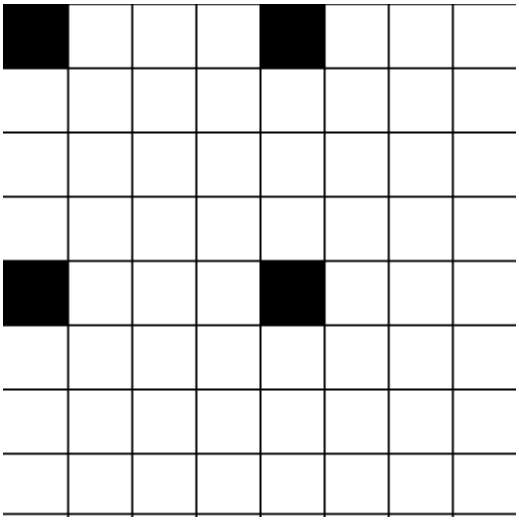
I. Pro rozkomprimování zakomprimovaných chunků `IDAT` můžete použít knihovní metodu *zlib.decompress()*, která implementuje algoritmus *DEFLATE*.

I. Kontrolní součet se provádí nad sekvencí *typ chunku* + *data chunku*, je ho tedy možno počítat průběžně. Použitý algoritmus není moc vhodný pro delší data (nedokáže v nich už tak snadno rozpoznat chybu), proto se v praxi datové chunky `IDAT` dělí obvykle po 8 kB. V zápočtovém programu můžete použít implementaci CRC *zlib.crc32()*.

→ Více viz http://www.root.cz/clanky/nepovinne-chunky-v-png-a-kontrola-pomoci-crc/ . Pro ukázkovou implementaci CRC-algoritmu viz http://www.w3.org/TR/PNG/#D-CRCAppendix .

I. Barvová paleta je v datech příslušného chunku `PLTE` uložena nekomprimovaně.

I. Prokládání v PNG je jakýsi vtipný kompromis mezi původním GIFem (přenos různých řádků) a formátem JPEG (přenos různě významných členů transformace). Jeho nejmenší složkou jsou bloky 8x8, z nichž se přenáší hodnoty pixelů podle následujícího schématu:



```
1 6 4 6 2 6 4 6
7 7 7 7 7 7 7 7
5 6 5 6 5 6 5 6
7 7 7 7 7 7 7 7
3 6 4 6 3 6 4 6
7 7 7 7 7 7 7 7
5 6 5 6 5 6 5 6
7 7 7 7 7 7 7 7
```

→ Viz http://www.root.cz/clanky/radkove-filtry-v-png/

Chunk IHDR

Chunk `IHDR`, je vlastně úplně nejdůležitější – zjistíme z něj totiž obecné informace o obrázku včetně všech potřebných pro jeho dekódování. Struktura jeho datové části je následující:

1. šířka obrázku v pixelech [4 bajty]
2. výška obrázku v pixelech [4 bajty]
3. bitová hloubka [1 bajt]
4. barvový typ [1 bajt]
5. metoda komprese [1 bajt]
6. metoda filtrace [1 bajt]
7. metoda prokládání [1 bajt]

Díky tomu, že datová část obsahuje vždy právě 13 bajtů, je začátek chunku `IHDR` vždy stejný – po délce dat `b'\x00\x00\x00\r'` (tedy 13 hexadecimálně) následuje typ chunku `b'IHDR'`. Dále následuje 13 bajtů údajů a nakonec 4

bajty kontrolního součtu (z hlavičky a dat).

Chunk `IHDR` tedy plně určuje strukturu obrázku. My se ze všech možností omezíme pouze na tu nejpodobnější formátu PPM a tedy i nejjednodušší na zpracování (a případné konktrolní zobrazení) – obrázky s osmibitovou barevnou hloubkou (tj. hodnota `8`) a *truecolour* (barvový typ `2`) bez alfa-kanálu, které zaznamenávají pro každý pixel tři barvové hodnoty RGB v rozmezí 0-255. Komprese a filtrace jsou podle aktuálního standardu vždy typu `0`. Prokládání nás nebude zajímat (dost se to s ním – nepřekvapivě – komplikuje), proto námi zpracovávané obrázky zde musí mít `0`.

→ „Metoda komprese“ je v aktuálním standardu jedna jediná, a to `0` (*deflate/inflate compression with a sliding window of at most 32768 bytes*).

→ „Metoda filtrace“ je v aktuálním standardu jedna jediná, a to `0` (*adaptive filtering with five basic filter types*). Číslo zde uvedené nemá s čísly označujícími filtry u jednotlivých *scanlines* tedy prakticky nic společného, každá *scanline* může mít filtr 0 až 4 (a všechny patří do aktuální rodiny `0`).

→ „Metody prokládání“ jsou v aktuálním standardu právě dvě – `0` (žádné prokládání) a `1` (prokládání *Adam7 interlace*).

Chunk IEND

Protějškem chunku `IHDR` je chunk `IEND`, který označuje konec PNG-obrázku. Slouží tedy jako signál pro ukončení čtení a zpracovávání dat.

Díky jeho funkci je jeho struktura extrémně jednoduchá:

- 4 bajty délka dat chunku – `b'\x00\x00\x00\x00'` (je nulová)
- 4 bajty typ chunku – `b'IEND'`
- data chunku – `b''` (žádná nejsou)
- 4 bajty konktrolní součet chunku – `b'\xaeB`\x82'` (tedy `0×ae 0×42 0×60 0×82`)

  → Hodnotu kontrolního součtu si snadno ověříte pomocí `zlib.crc32(b'IEND')`.

Chunk(y) IDAT

Vlastní data obrázku jsou uložena v jednom nebo více chuncích IDAT. Přitom platí:

- data z více IDAT-chunků se složí dohromady a uvažují jako celek
- (složená) data jsou zkomprimovaná
- (rozkomprimovaná) data představují zafiltrované řádky – první hodnota je varianta filtru, následují (zafiltrované) barvy pixelů v řádce (tj. tři pro každý pixel – RGB)
- rozfiltrované řádky představují už skutečná RGB-data jednotlivých pixelů

PS: Pro rozkomprimování zakomprimovaných chunků IDAT můžete použít knihovní metodu *zlib.decompress()*.

Filtrace

Protože RGB-data obrázku se v rámci PNG komprimují, je vhodné je předpřipravit tak, aby se lépe komprimovala (sekvence opakujících se znaků se komprimují lépe než náhodné neopakující se znaky). Pro tyto účely byly vymyšleny tzv. *filtry*, které slouží k úpravě dat obrázku před jejich kompresí (a tudíž pak opačným směrem i při jejich dekompresi).

Nejjednodušší možný filtr (0) přitom data vůbec nemění, další tři (1, 2 a 3) jsou konvoluční filtry (v podstatě detekují postupně hrany vertikální, horizontální a pod úhlem 45°) a poslední z nich (4, Paethův) používá navíc *prediktor* (pro výběr barevně nejbližšího pixelu z okolních).

→ Viz http://www.root.cz/clanky/radkove-filtry-v-png/ a ...

I. Filtry operují na aktuálním **bajtu** a maximálně až na dalších třech (barevně) odpovídajících bajtech v okolních pixelech podle následujícího schématu:

```
c b          (Rc,Gc,Bc) (Rb,Gb,Bb)
a x          (Ra,Ga,Ba) (Rx,Gx,Bx)
```

Pixel **x** ve schématu představuje právě zpracovávaný pixel, pixel **a** je předcházející na stejné řádce, **b** je „stejný“ pixel na předchozí řádce a **c** předcházející pixel na předchozí řádce. Nejsou-li bajty z pixelů *a*, *b*, *c* na

aktuální pozici k dispozici (začátek řádku, první řádka), nahrazují se nulami.

I. Filtry překládající zafiltrované *scanlines* na cílové RGB berou bajty z pixelů *a*, *b*, *c* **již odfiltrované**.

I. Veškeré výpočetní operace jsou provedeny **bez přetečení** v rámci bajtu, výsledek je však samozřejmě následně „nacpán“ zpátky do bajtu jednoho.

Tabulka rekonstrukčních filtrů

Při označení (podle specifikace).

- *Filt(y)* – hodnota bajtu *y* po filtraci
- *Recon()* – zrekonstruovaná hodnota bajtu *y* po odfiltrování (při správném postupu by měla odpovídat originální hodnotě *Orig(y)*)

..je tabulka rekonstrukčních filtrů (bez redukce zpět na jeden bajt) následující:

typ	rekonstrukční funkce
0	`Recon(x) = Filt(x)`
1	`Recon(x) = Filt(x) + Recon(a)`
2	`Recon(x) = Filt(x) + Recon(b)`
3	`Recon(x) = Filt(x) + (Recon(a) + Recon(b)) // 2`
4	`Recon(x) = Filt(x) + PaethPredictor(Recon(a), Recon(b), Recon(c))`

→ Upraveno podle http://www.w3.org/TR/PNG/#9Filters

Definice filtru *Paeth* (*a*, *b*, *c* jsou jednotlivé **bajty** z odpovídajících pixelů):

```
def paeth(a, b, c):
    p = a + b - c
    pa = abs(p - a)
    pb = abs(p - b)
    pc = abs(p - c)
    if pa <= pb and pa <= pc:
        return a
    elif pb <= pc:
        return b
    else:
        return c
```

Poznámky k „výrobě“ PNG

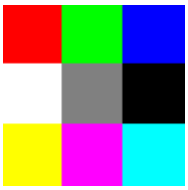
I. Pokud byste chtěli PNG i ukládat, nejjednodušší je používat filtr `0` – není to efektivní, ale zase s ním není co složitě počítat.

I. Stejně tak je jednodušší ukládat obrázky jako plnobarevné v osmibitové barevné hloubce, protože zapisujete přímo jednotlivé RBG-hodnoty pro každý pixel.

I. Když se budete chtít vyřádit, můžete místo RGB-hodnot ukládat pro každý pixel pouze jeho index v paletě. Ale také ho nechte osmibitový, protože menší počet bitů všechno výrazně zkomplikuje (viz příklady).

Příklad – PNG bez palety, 8 bpp

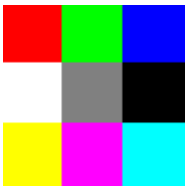
Podívejme se na zub obrázku sachovnice.png, který je v osmibitové barevné hloubce a neobsahuje barvovou paletu:



```
STRUKTURA:
  header: b'\x89PNG\r\n\x1a\n'
  chunks:
    {
     'length': b'\x00\x00\x00\r',
     'type':   b'IHDR',
     'data':   b'\x00\x00\x00\x03\x00\x00\x00\x03\x08\x02\x00\x00\
     'CRC':    b'\xd9J"\xe8',
    },
    {
     'length': b'\x00\x00\x00\x1c',
     'type':   b'IDAT',
     'data':   b'x\x9c%\xc3\xb1\r\x00\x00\x0c\xc3 >\xcf\xe9\xeeP$\
     'CRC':    b'\xa6|\xffu',
    },
    {
     'length': b'\x00\x00\x00\x00',
     'type':   b'IEND',
     'data':   b'',
     'CRC':    b'\xaeB`\x82',
    }

IHDR (obrázky s jinou konečnou pěticí než právě 82000 nebudeme zpr
    {
     'width':  3,
     'height': 3,
     'bit depth':   8,
     'colour type': 2,
     'compression method': 0,
     'filter method':      0,
     'interlace method':   0,
    }

IDAT:
  b'x\x9c%\xc3\xb1\r\x00\x00\x0c\xc3 >\xcf\xe9\xeeP$\x84_m\x83\x92

IDAT - rozkomprimovaný:
  b'\x00\xff\x00\x00\x00\xff\x00\x00\x00\xff\x00\xff\xff\xff\x7f\x

IDAT - zafiltrované scanlines ve tvaru "(filtr, [(RGB-hodnoty jedn
  [ (0, [(255, 0, 0), (0, 255, 0), (0, 0, 255)]),
    (0, [(255, 255, 255), (127, 127, 127), (0, 0, 0)]),
    (0, [(255, 255, 0), (255, 0, 255), (0, 255, 255)]) ]

IDAT - odfiltrované pixely (tady je to jednoduché, když je filtr 0
  [ [(255, 0, 0), (0, 255, 0), (0, 0, 255)],
    [(255, 255, 255), (127, 127, 127), (0, 0, 0)],
    [(255, 255, 0), (255, 0, 255), (0, 255, 255)] ]
```

Příklad - PNG s paletou, 4 bpp

Podívejme se na zub podobnému obrázku sachovnice.PLTE.png, tentokrát však s paletou a ve čtyřbitové barevné hloubce:



```
STRUKTURA:
  header: b'\x89PNG\r\n\x1a\n'}
  chunks:
    {
     'length': b'\x00\x00\x00\r',
     'type':   b'IHDR',
     'data':   b'\x00\x00\x00\x03\x00\x00\x00\x03\x04\x03\x00\x00\
     'CRC':    b'\xa4\x06\xa8\x8c',
    },
    {
     'length': b'\x00\x00\x00\x1b',
     'type':   b'PLTE',
     'data':   b'\xff\x00\x00\x00\xff\x00\x00\x00\xff\xff\xff\xff\
     'CRC':    b'\x9cx:m',
    },
    {
     'length': b'\x00\x00\x00\x1b',
     'type':   b'IDAT',
     'data':   b'x^\x05\x80\x81\x10\x00\x00\x0c\x02\x7f&\x83\x08$\
     'CRC':    b'\xfeh\xa0=',
    },
    {
     'length': b'\x00\x00\x00\x00',
     'type':   b'IEND',
     'data':   b'',
     'CRC':    b'\xaeB`\x82',
    }

IHDR:
    {
     'width':  b'\x00\x00\x00\x03',
     'height': b'\x00\x00\x00\x03',
     'bit depth':   4,
     'colour type': 3,
     'compression method': 0,
     'filter method':      0,
     'interlace method':   0,
    }

PLTE:
  b'\xff\x00\x00\x00\xff\x00\x00\x00\xff\xff\xff\xff\x7f\x7f\x7f\x
    0 - 255   0   0
    1 -   0 255   0
    2 -   0   0 255
    3 - 255 255 255
    4 - 127 127 127
    5 -   0   0   0
    6 - 255 255   0
    7 - 255   0 255
    8 -   0 255 255

IDAT:
    b'x^\x05\x80\x81\x10\x00\x00\x0c\x02\x7f&\x83\x08$\x8b4B\xef\x
```