

プログラミング演習II

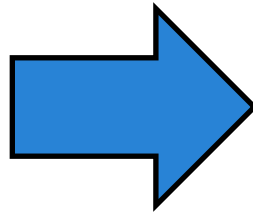
課題4 画像処理

第3週目

担当：篠田一馬

課題4の概要

- 画像処理プログラムを作成することで、ファイル入出力, コマンドライン引数, ポインタ配列, ビット演算を学ぶ



全体の流れ

- 1週目 (ファイル操作, コマンドライン引数)
 - ユーザが指定した画像ファイルのヘッダ情報をテキストファイルに出力
- 2週目 (ポインタ配列と動的確保)
 - ユーザが指定した画像ファイルを読み込み, コピーを別ファイルとして出力
- 3週目 (ビット演算)
 - ユーザが指定した画像ファイルを減色または左右反転させて別ファイルとして出力

モジュール設計

現時点のプログラムの構造

■ main.cに全ての変数と関数を定義している

■ 可読性低い, 毎回全てコンパイル必要, 秘匿性低い

```
#include ...
```

```
#define ...
```

構造体の定義

関数プロトタイプ宣言

```
int main(int argc, char *argv[])
```

```
{
```

```
...
```

```
}
```

iioloadFile関数の定義

iiosaveFile関数の定義

iiomallocImageBuffer関数の定義

iiofreeImageBuffer関数の定義

ipCopy関数の定義

iioloadFileにしか関係しない定数

ファイルの読み書きや
領域の確保解放に関係するもの

画像処理(画素値の編集)に関係するもの

モジュール設計

■ 機能ごとに独立したファイルに分割する

■ 可読性の向上, 分割コンパイル可能, 情報の秘匿

main.c

画像ファイルをロードする関数を呼び出す
画像処理関数を呼び出す
画像ファイルをセーブする関数を呼び出す
バッファを解放する

img_io.c

画像ファイルのロード関数の定義
画像ファイルのセーブ関数の定義
画素値用バッファを確保する関数の定義
画素値用バッファを解放する関数の定義

img_proc.c

画像処理のための関数の定義

モジュール設計の方針

■ main

- 各ヘッダファイルのinclude
- main関数

■ img_io

- PIXEL構造体およびIMAGE構造体の定義
- iioLoadFile, iioSaveFile関数
- iioMallocImageBuffer, iioFreeImageBuffer関数

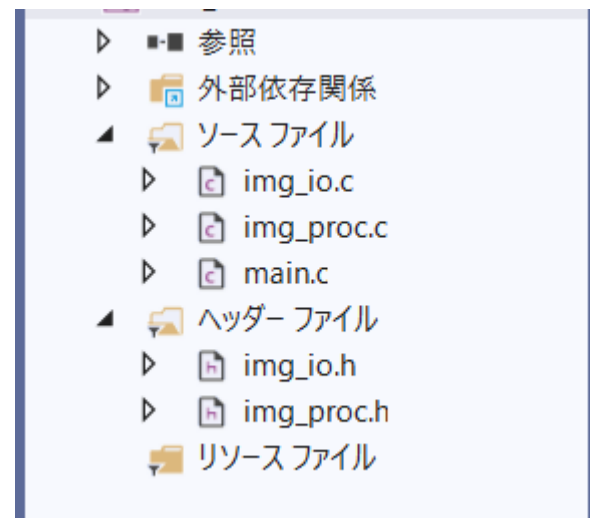
■ img_proc

- ipCopy関数
- その他の画像処理関数

【作業課題1/11】モジュール化

■ main.cと同フォルダに以下のcファイルとヘッダファイルを新規に作成し, プロジェクトに追加

- img_io.c
- img_io.h
- img_proc.c
- img_proc.h



Visual Studioの場合,
こうなればOK

【作業課題2/11】モジュール化

■ img_io.hの作成

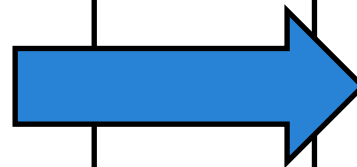
- main.cから, 以下の構造体定義と関数プロトタイプ宣言を移動させる

```
typedef struct {  
    unsigned char r;  
    unsigned char g;  
    unsigned char b;  
} PIXEL;
```

```
typedef struct {  
    int    xsize;  
    int    ysize;  
    int    level;  
    PIXEL **pBuffer;  
} IMAGE;
```

```
int iioLoadFile(IMAGE *pImage, const char *fname);  
int iioSaveFile(IMAGE *pImage, const char *fname);  
void iioMallocImageBuffer(IMAGE *pImage);  
void iioFreeImageBuffer(IMAGE *pImage);
```

main.c



img_io.h

```
#ifndef 識別子  
#define 識別子
```

ここに移動

```
#endif
```

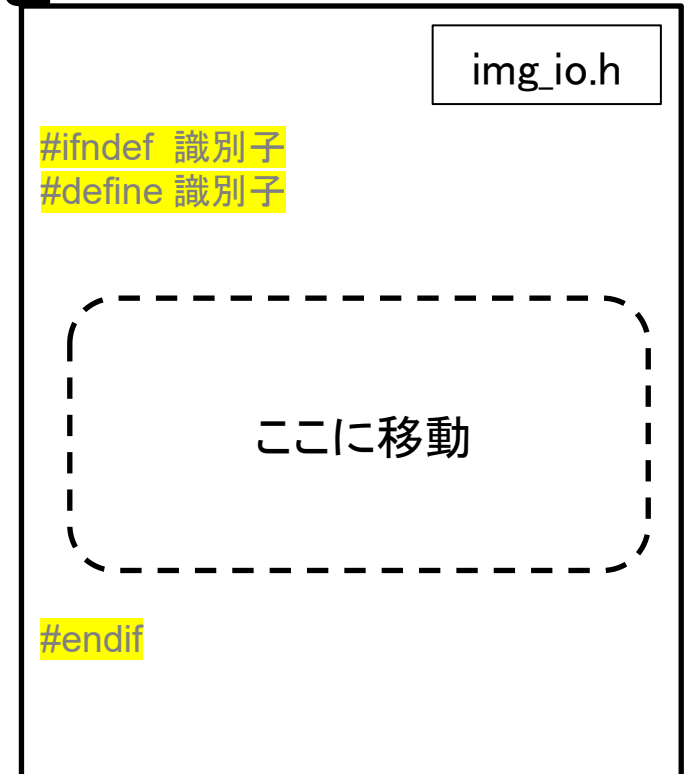
【作業課題3/11】モジュール化

■ img_io.hのインクルードガード

- #ifndef, #define, #endifを忘れずに
- 識別子は以下のルールに従うこと

本課題の識別子の命名規則:
拡張子を除いたファイル名_学籍番号

学籍番号123456Aの人がimg_io.hの識別子
を作成する場合の例:
IMG_IO_123456A



【作業課題4/11】モジュール化

■ img_io.cの作成

- 適切なヘッダファイルをincludeする

img_io.c

```
#define _CRT_SECURE_NO_DEPRECATE
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include "img_io.h"
```

(Warning抑制のためのもの)
malloc関数に関するヘッダ
FILEに関するヘッダ
str関数に関するヘッダ

【作業課題5/11】モジュール化

■ img_io.cの作成

■ 適切なヘッダファイルをincludeする

img_io.c

```
#define _CRT_SECURE_NO_DEPRECATED
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include "img_io.h"
```

先に作成したimg_io.hをinclude

【補足】

<>で囲むと、プリプロセッサはまずシステムで定められた場所にヘッダファイルがあるか探す。

“ ”で囲むと、プリプロセッサはまずカレントフォルダ内にヘッダファイルがあるか探す。

自作ヘッダファイルは“ ”で囲むとよい

【作業課題6/11】モジュール化

■ img_io.cの作成

■ 適切な定数をdefineする

img_io.c

```
#define _CRT_SECURE_NO_DEPRECATE
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include "img_io.h"

#define LINEMAX 100
```

LINEMAXはiioLoadFile関数でしか使用しないので, main.cからimg_io.cに移動する.

【作業課題7/11】モジュール化

■ img_io.cの作成

- 以下4つの関数定義をmain.cから移動

main.c

```
int iioLoadFile(IMAGE *pImage, const char *fname)
{ ....
}

int iioSaveFile(IMAGE *pImage, const char *fname)
{ ....
}

void iioMallocImageBuffer(IMAGE *pImage)
{ ....
}

void iioFreeImageBuffer(IMAGE *pImage)
{ ....
}
```

img_io.c

```
#define _CRT_SECURE_NO_DEPRECATED
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include "img_io.h"

#define LINEMAX 100
```

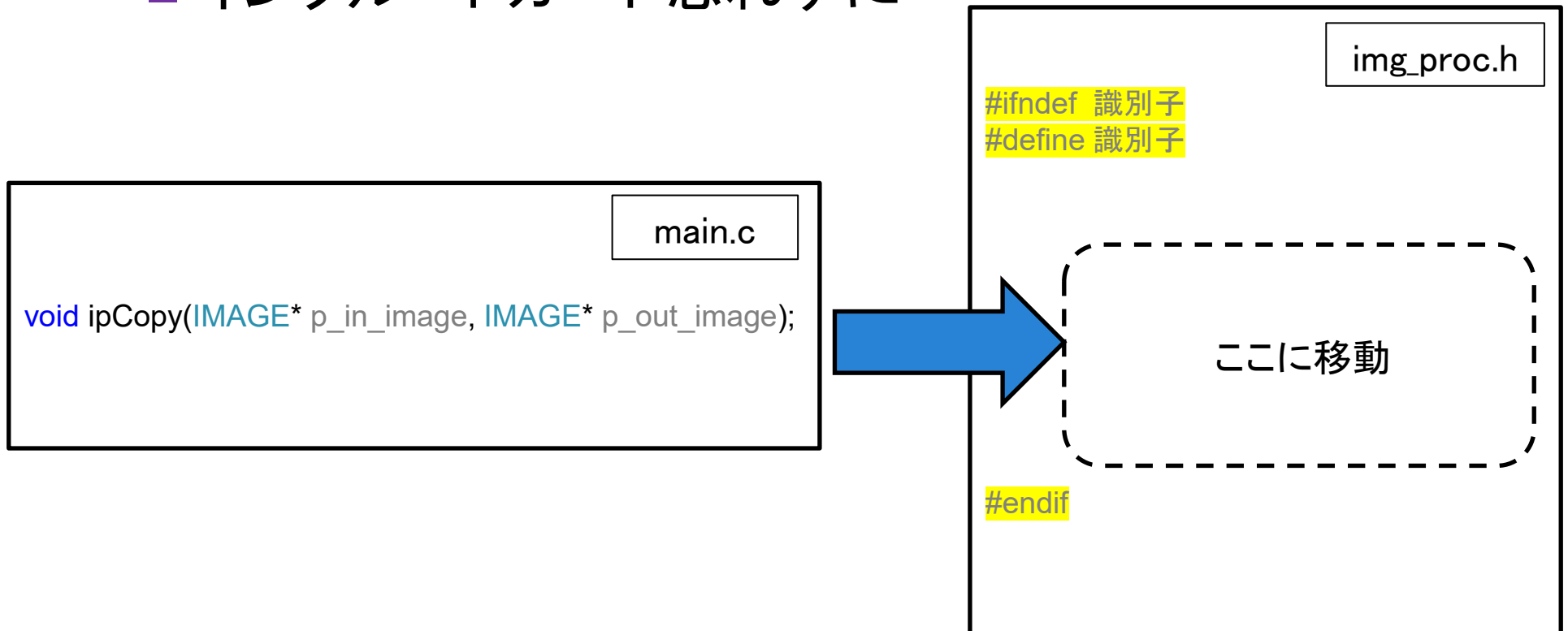


ここに移動

【作業課題8/11】モジュール化

■ img_proc.hの作成

- main.cから以下の関数プロトタイプ宣言を移動させる
- インクルードガード忘れずに



【作業課題9/11】モジュール化

■ img_proc.cの作成

■ 適切なヘッダファイルをincludeする

img_proc.c

```
#include "img_io.h"  
#include "img_proc.h"
```

先に作成したimg_io.hとimg_proc.hをinclude

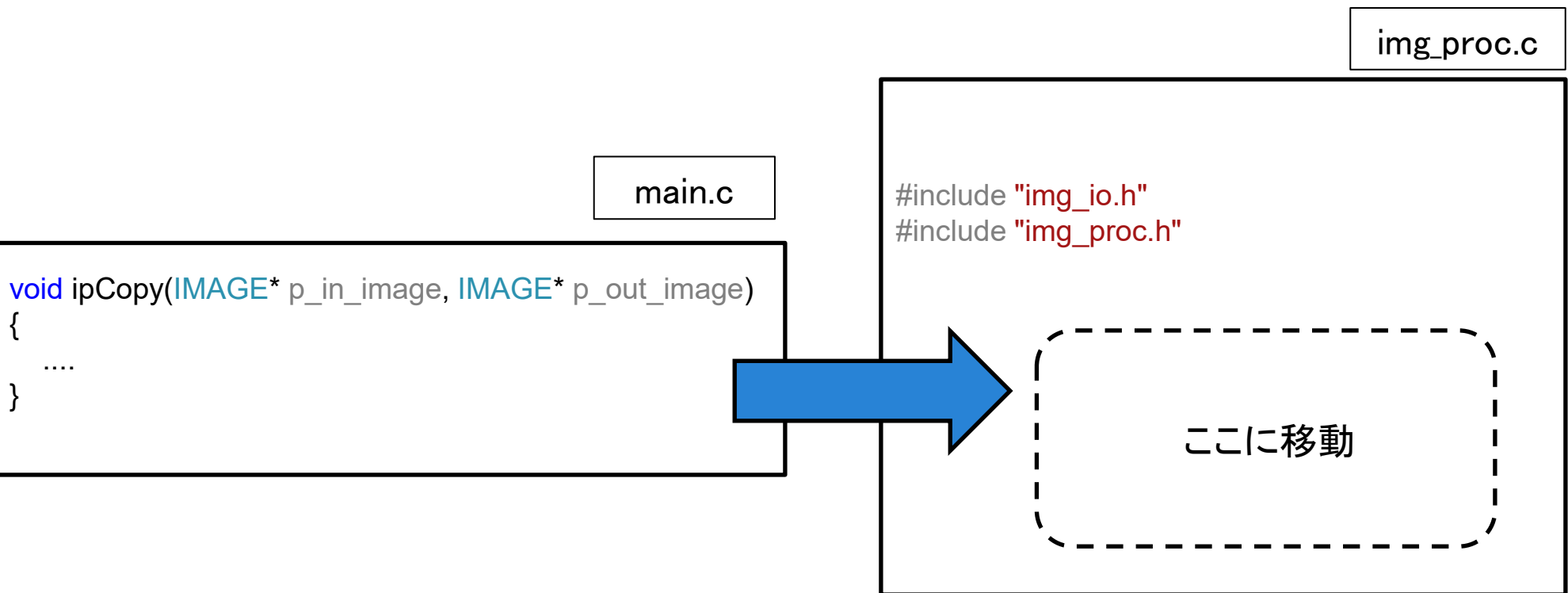
【注意】

img_proc.cではiioMallocImageBuffer関数を呼び出す必要があるため、img_io.hも必要になる。

【作業課題10/11】モジュール化

■ img_proc.cの作成

- 以下の関数定義をmain.cから移動



【作業課題11/11】モジュール化

■ main.cの修正

- 以下の2つのヘッダファイルを追加でincludeする

main.c

```
....  
  
#include "img_io.h"  
#include "img_proc.h"  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    ...  
}
```

main.cではiioFreeImageBuffer関数やipCopy関数を呼び出す必要があるため、どちらのヘッダも必要になる。

モジュール化の確認

- これでモジュール化が完了したので、実行する
 - これまでと同じ結果が得られるか確認する
 - また、main.cがいかにコンパクトになったか確認する

main.c

画像ファイルをロードする関数を呼び出す
画像処理関数を呼び出す
画像ファイルをセーブする関数を呼び出す
バッファを解放する

img_io.c

画像ファイルのロード関数の定義
画像ファイルのセーブ関数の定義
画素値用バッファを確保する関数の定義
画素値用バッファを解放する関数の定義

img_proc.c

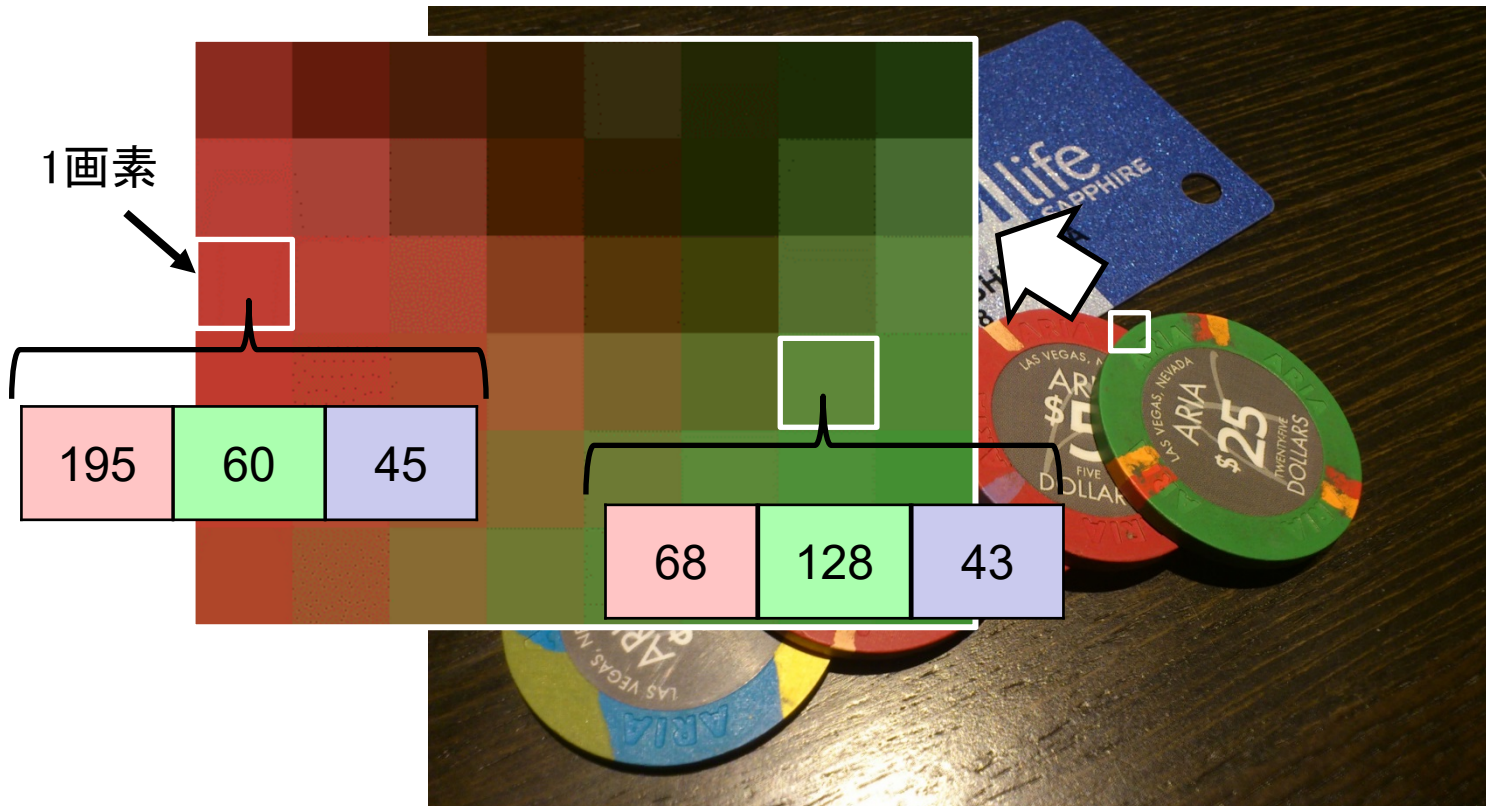
画像処理のための関数の定義

作業課題の目安: 10分

画素値の基本(復習)

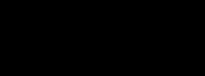
デジタル画像データの基本

- 画素ごとに赤，緑，青の3色の情報を持っている
- 赤，緑，青 (RGB) の組み合わせで色を表現



画素値の例

- 一般的には0から255(8 bit)で表現
- 全部で16,777,216色を表現可能

R	G	B	色
0	0	0	
255	0	0	
0	255	0	
0	0	255	
255	255	0	
0	255	255	
255	0	255	

R	G	B	色
10	10	10	
128	128	128	
200	200	200	
255	255	255	
255	192	0	
202	254	207	
235	189	173	

画素値の範囲について

- 0から255なので, unsigned char に格納
- 型変換やオーバーフロー/アンダーフローに注意

```
typedef struct {  
    unsigned char r;  
    unsigned char g;  
    unsigned char b;  
} PIXEL;
```

```
typedef struct {  
    int    xsize;  
    int    ysize;  
    int    level;  
    PIXEL **pBuffer;  
} IMAGE;
```

例:

```
pImage->pBuffer[0][0].r = 0;    /* rは0 */
```

```
pImage->pBuffer[0][0].r = 100; /* rは100 */
```

```
pImage->pBuffer[0][0].r = 300; /* rは44 */
```

```
pImage->pBuffer[0][0].r = 255 - 256; /* rは255 */
```

ビット演算を利用した 減色処理

減色処理

- RGB各色の数値の組み合わせを減らしつつ、
原画像の色に近い色に割り当て



原画像

RGB各色 0から255

色数: $256^3 = 16,777,216$ 色



減色画像の例

RGB各色 0, 64, 128, 192のみ

色数: $4^3 = 64$ 色

下位6ビットを0にしている

減色処理の実装方法

■ If文で切り分ける

- 例: 0以上64未満の画素値は全て0にする, 64以上128未満の画素値は全て64にする...

■ 割り算

- 例: 画素値を64で割ってから小数点を切り捨てて, 64倍する

■ ビット演算を使うと最も簡単

ビット演算

■ 2進表記の各桁で論理演算を行う

■ AND(&), OR(|), 右ビットSHIFT(>>)の例

```
unsigned char A = 113; /* 0111 0001 */  
unsigned char B = 31;  /* 0001 1111 */  
unsigned char D;
```

```
D = A & B;          /* AND:  0001 0001 (17) */  
D = A | B;          /* OR:   0111 1111 (127) */  
D = A >> 3;         /* SHIFT: 0000 1110 (14) */
```

他にもXOR(^), 左ビットSHIFT(<<), NOT(~)などがある

右シフト演算の補足

■ 符号なし変数:

- 隙間は0で埋められる (論理シフト)

■ 符号あり変数のシフト

- 隙間は最上位ビットで埋められる* (算術シフト)

```
unsigned char A = 113; /* 0111 0001 */
```

```
char C = -64;          /* 1100 0000 */
```

```
char D;
```

```
D = A >> 3;           /* 0000 1110 (14) */
```

```
D = C >> 3;           /* 1111 1000 (-8) */
```

AND演算のマスクと16進数表記

- AND演算を利用すると、所望のビットを残して、他を切り捨てることができる
 - Bにおいて0の桁は、ANDをとると必ず0
 - Bにおいて1の桁は、ANDをとると必ずAと一致
 - このような処理をビットマスクとよぶ

```
unsigned char A = 113; /* 0111 0001 */
```

```
unsigned char B = 31; /* 0001 1111 */
```

```
unsigned char D;
```

上位3ビットを0にするマスク

```
D = A & B; /* AND: 0001 0001 (17) */
```

必ず0 Aのビットと一致

マスクBの計算が面倒であれば

- 10進表記ではなく16進表記を利用すると楽
 - 2進数の下位4ビットは16進数の下一桁目,
2進数の上位4ビットは16進数の次の桁に相当
 - 0001→1, 1111→F

```
unsigned char A = 113; /* 0111 0001 */  
unsigned char B = 0x1F; /* 0001 1111 */  
unsigned char D;
```

上位3ビットを0に
するマスク

```
D = A & B; /* AND: 0001 0001 (17) */
```

必ず0 Aのビットと一致

【演習課題4_3_1】

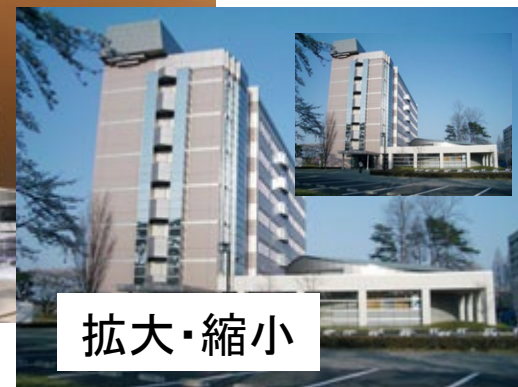
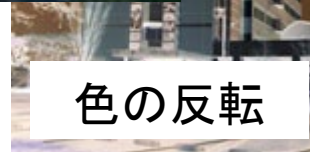
- 画像の各画素の下位nビットを0でビットマスクすることで、減色画像を作成する
 - $n = (\text{自身の学籍番号の下一桁} \% 7) + 1$ とする
 - img_procにipBitMask関数として実装すること
 - プロトタイプ宣言も忘れずに追加
 - main.cでは, ipCopy関数の代わりにipBitMask関数を呼び出す

演習課題の目安: 10分

最終レポートについて

課題4の最終レポート

- ユーザが指定した方法で入力画像を処理し，結果を別ファイルとして出力するプログラムを作成
 - 減色処理と左右反転処理は必須
 - 他の画像処理はオプション

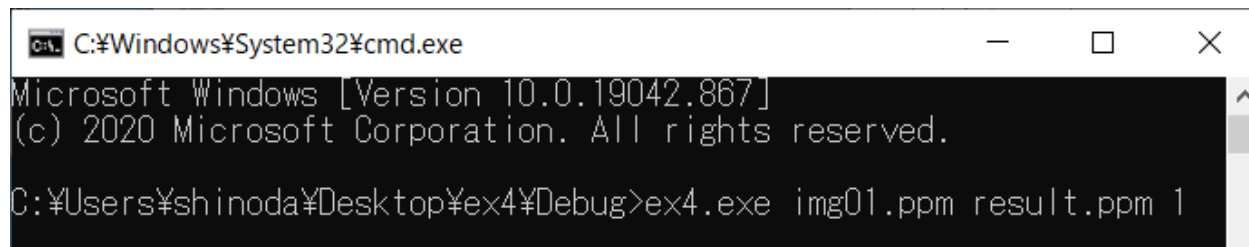


コマンドライン引数について

- ユーザのコマンドライン引数指定により, 入力ファイル名, 出力ファイル名, 画像処理を選択できるようにすること
 - `ex4.exe [入力ファイル名] [出力ファイル名] [モード]`
- モードの仕様
 - 0: 減色処理, 1: 左右反転, それ以外: コピー
 - オプション課題を実装したら2, 3, 4...で指定する
- 減色処理における下位nビットマスクは, $n = (\text{自身の学籍番号の下一桁} \% 7) + 1$ とする

コマンドライン引数の指定例

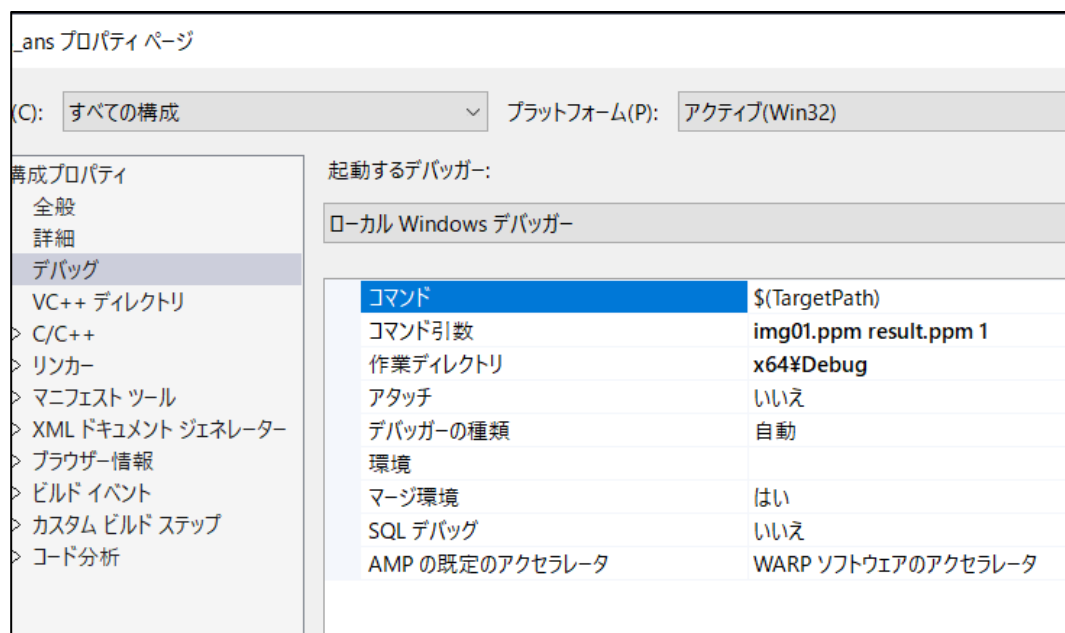
■ コマンドラインの場合



```
C:\Windows\System32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 10.0.19042.867]
(c) 2020 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\shinoda\Desktop\ex4\Debug>ex4.exe img01.ppm result.ppm 1
```

■ Visual Studioのコマンド引数の場合



実装の方針(1)

- main.cで、コマンドライン引数によってユーザが画像処理を選べるように改良する
 - main.cでのコマンドライン引数は”文字列”なので注意

```
int main(int argc, char* argv[])
{
    ...
    int mode;
    mode ← コマンドライン引数によるmode指定;

    ... /* 画像のロード */

    /* modeが0であれば減色処理 */
    /* modeが1であれば左右反転 */
    /* それ以外であればコピー */

    ... /* 画像のセーブ */
```

※文字列から数値への変換はatoi関数が便利.

[例]

```
int b;
b = atoi("3");
```

とすると, bには数値として3が代入される.

実装の方針(2)

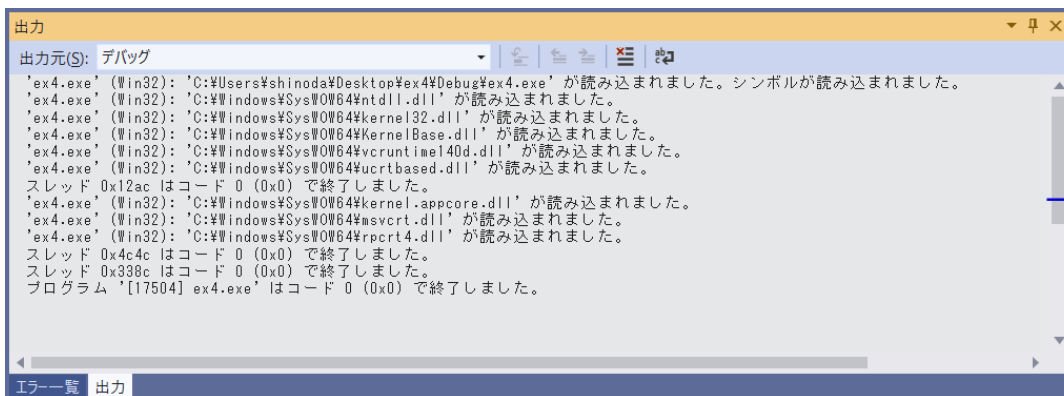
- img_proc内, ipLRMirror関数を新たに作成
 - 左右を反転する方法は各自で考えること

```
void ipLRMirror(IMAGE *p_in_image, IMAGE* p_out_image)
{
    int i, j;

    ...
}
```

レポートに載せる実行結果について

- 全てのモードの出力画像をのせ，結果が正しいか各画像ごとに説明し，必要に応じて考察をする
- デバッグ実行後の出力ウィンドウ（下記）を先頭行から全てのせ，メモリリークがないかを説明
 - モードに1を指定したときのみでかまわない
 - 確認ができればVisual Studio以外でもよい



最終レポートについての補足

- ソースコードと実行結果とも全員異なる内容になるのでレポートのコピペは不可能
 - 他人のソースコードやレポートをコピーした場合、オリジナルの作成者を含め単位は保証しない
 - これが原因で毎年数名が不可となっている
- 画像処理の実装種類数が多いほど評価UP
 - 例年は8割以上の学生がオプション課題を実装し、中には10種類以上の処理を実装する人も数名

レポートのテンプレートファイル

- レポート作成にあたっては、講義webページにあるレポートテンプレートファイルをダウンロードして利用すること
- 提出時はPDFに変換すること

終わった人は

- 作業が終わったら、レポートに備えてUSBメモリ等にプログラムをコピーする
- 最終週も出席を取るため、全員ネットワーク実験室に集まること

補足

より良い例外処理

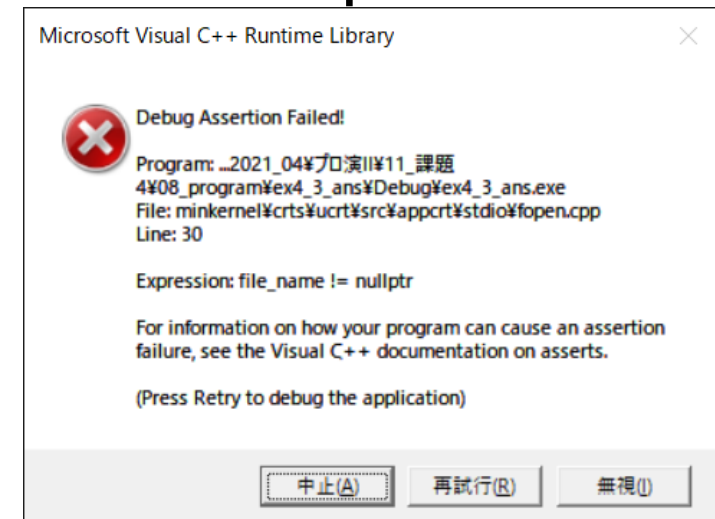
- ユーザが不適切な方法でプログラムを実行した場合でも安全に終了させるための工夫
 - argcをチェックし、こちらが意図した分だけコマンドライン引数を与えられているか
 - 入力/出力ファイルは正しくopenできているか
 - モードの書式は正しいか
- 不適切な場合、エラーメッセージを出力するとともにmainで1をreturnして終了するとよい

簡単なデバッグテクニック

- 怪しい処理行の前にブレークポイントを置き、ステップ実行(1行ずつ実行)
 - どの処理に分岐するか一目でわかる
 - 止まらない場合は、処理がそこまで到達していない
- (全環境共通) 適当なprintf文を大量に設置する
 - コマンドプロンプトに表示される文字から、どこまで処理されたか一目でわかる
 - かなりいいかげんな方法であり、ステップ実行が難しい環境などで有用

よくある実行時エラー

- エラー文を読むことで解決することが多い
- よくあるケース
 - コマンドライン引数を与えずに実行
 - 動的確保/解放のコードに間違い
 - `iiioMallocImageBuffer`関数を呼び出す前に`pBuffer`に画素値を書き込み/読み込み
 - 画像処理関数において、配列の範囲外にアクセス



画像処理テクニックの例(1)

■ 回転, 反転

- コピー先のインデクスを変える(回転時はサイズ注意)

■ モノクロ化

- 各画素でRGB値を同じ値にする

■ 拡大/縮小

- 拡大: ある画素の値を複数の画素にコピー
- 縮小: 特定の位置の画素はコピーし, 他は切り捨て

■ モザイク化

- 出力画像の $n \times n$ 画素を入力画像の同範囲の平均値で置き換え

画像処理テクニックの例(2)

■ 特定の色 of 物体を検出

- RGB値がある範囲内の画素値はそのまま, 他は0で置き換える

■ ノイズ付加

- ある確率分布に従う乱数を生成し, 画素値に付加

■ ノイズ除去

- 付加されたノイズによって対処方法が異なる
- 平均値フィルタやメディアンフィルタなど

■ ぼかし処理, 輪郭強調, エッジ検出

- 講義資料webページの補足説明を参照

バイナリエディタ(1/2)

- 画像ファイルやテキストファイルのバイナリ情報が閲覧できる
- **これを利用すれば減色処理の正否がわかる**
- Visual Studioの場合, ファイル→開く→ファイル
... →対象のファイルを選択する→「開く」の下
矢印→「ファイルを開くアプリケーションを選択」
→「バイナリエディター」を選択

バイナリエディタ(2/2)

- バイナリデータと位置は16進数表記
- 右側にASCIIコードに従ったテキストも表示

1バイト×16個の
数値(バイナリ)データ

対応する文字
(対応する文字が
なければドット)

1行に16バイト
分を表示

img01.ppm	+	X															
00000000	50	36	0A	23	20	43	72	65	61	74	65	64	20	62	79	20	P6.# Created by
00000010	49	72	66	61	6E	56	69	65	77	0A	32	35	36	20	31	39	IrfanView.256 19
00000020	32	0A	32	35	35	0A	1A	25	29	09	14	1A	00	0A	0F	0B	2.255..%)).....
00000030	1C	23	07	1B	22	00	16	1E	00	19	20	17	32	39	22	42	.#..".......29"B
00000040	4D	27	50	64	23	5A	79	20	64	91	2D	79	AD	39	86	BE	M'Pd#Zy d.-y.9..
00000050	39	82	B9	34	7B	B1	33	88	BE	33	84	B9	33	7F	B0	38	9..4{.3..3..3..8
00000060	7F	AD	3F	83	B0	3F	83	B2	3B	81	B2	39	81	B3	3B	83	..?..?..;..9...;
00000070	B3	3B	83	B3	3B	83	B3	3C	84	B4	3C	84	B4	3D	85	B5	..;...<..<..=..
00000080	3D	85	B5	3E	86	B6	40	84	B5	40	84	B5	41	85	B6	41	=..>..@..@..A..A
00000090	85	B6	42	86	B7	42	86	B7	43	87	B8	43	87	B8	43	87	..B..B..C..C..C..
000000a0	B8	43	87	B8	43	87	B8	44	88	B9	44	88	B9	44	88	B9	.C..C..D..D..D..
000000b0	44	88	B9	44	88	B9	45	89	B8	45	89	B8	46	8A	B9	46	D..D..E..E..F..F
000000c0	8A	B9	46	8A	B9	46	8A	B9	47	8B	BA	47	8B	BA	3D	8D	..F..F..G..G..=.
000000d0	C0	40	8D	C1	40	8D	C1	42	8E	C0	44	8E	BE	45	8E	BE	@ @ P D E