マルチメディア信号処理 第 1 回レポート課題

河野達彦
28G17041 小寺健太

2017 年 6 月 14 日

1　課題 1.1

1.1　アルゴリズム概要

私たちの班は C++ で以下のようなプログラムを作成した．

Algorithm 1 拡大・縮小・回転に対応するパターンマッチング

Require: テンプレート画像 10〜15 枚，探索対象画像 (image.pgm)
Ensure: 各テンプレート画像の中心位置座標，拡大倍率，回転角

```
画像の読み込み
for image.pgm を左上からスキャン do
  if 画素が黒でない then
    target ← 8 近傍で接続しているオブジェクトを切り抜く
    for 各テンプレート画像に対して do
      オブジェクトの画素値の合計から各テンプレートの拡大倍率を算出
      for 回転角= -90 to 90 do
        template ← 拡大倍率と回転角を反映したテンプレート画像を用意し切り抜く
        diff ← (target と template の画素値の差)^2の和/比較画素数
      end for
    end for
    target に対して最小の diff を与える template 番号，中心位置座標，拡大倍率，回転角を出力
  end if
end for
```

1.2　実装の詳細

1.2.1　画像の読み込み

画像に関するデータをメンバにもつクラスを用意し，そのメソッドとして Readdata() を作成した．Readdata() はファイルパスを引数とし，bool 値を返す．メソッド内で画素値データを 2 次元 vector の data に格納し，またその画素値が走査済みかどうかを保持する 2 次元 vector の visited を作成する (makevisited())．与えられた pgm ファイルは画像の幅や高さ，各画素値はスペース区切りで羅列されている．よって ifstream で画像を開いたのち¿¿演算子を用いることでうまく読み込みができた．template 画像の番号は連続であるがフォルダによって画像の数が異なるため，ファイルの取得に失敗した場合は false を返す関数として実装し全ての template 画像を読み込むようにした．

```
// 画像の読み込みファイルが存在しない場合 false を返す
bool readdata(string filename){
  string str;
  ifstream fin(filename);
  if(fin){
    fin >> str; fin.ignore();
    if(str != "P2") cout << "file format error" << endl;
    getline(fin, str); // コメント読み捨て
    fin >> W >> H;
    data.resize(H);
    for(int i=0; i<H; i++){
      data[i].resize(W);
    }
    fin >> str; //255
    int h=0, w=0;
    while(fin >> str){
      data[h][w] = stoi(str);
      w  = (w+1) % W;
      if(w == 0) h++;
    }
    makevisited();
    return true;
  }
  else return false;
}
```

1.2.2 画像の切り抜き

Algorithm1 において切り抜きと表現した操作は trimming() メソッドによって行われる．trimming() は黒でない画素座標を引数とし，8 近傍で連結するオブジェクトに内接する長方形を考えその左上点の座標と長方形の幅および高さを計算する．それに加え拡大倍率算出に使われるオブジェクトの画素値の合計も同時に計算する．連結部の走査は Queue を用いた幅優先探索アルゴリズムで実現した．これに伴い，画素値が走査済みかどうかを保持する 2 次元 vector である visited が必要になる．visited の要素は bool であり，Raddata() 内で黒でない画素が格納されている座標に false を格納した．1 度訪れた画素座標には true が格納される．

```
// 未踏はfalse, 訪問済みtrue
// が入っている場所は0true, ついでに総面積S画素値の合計も算出(=)
void makevisited(){
  visited.resize(H);
  for(int i=0; i<H; i++){
    visited[i].assign(W,false);
  }
  S = 0;
  for(int h=0; h<H; h++){
    for(int w=0; w<W; w++){
      if(data[h][w] == 0){
        visited[h][w] = true;
      }
      else{
        S += data[h][w];
      }
    }
  }
}
```

```
// 内接する四角の左上端と幅，オブジェクトの画素値の合計を計算
void trimming(int h, int w){
  queue<Point> que;
  int dp[3] = {-1,0,1};
  que.push({h,w});
  visited[h][w] = true;
  S_trim = data[h][w];
  int max_h=0, min_h=MAX, max_w=0, min_w=MAX;
  while(que.size()){
    Point p = que.front(); que.pop();
    max_h = max(max_h, p.h);
    min_h = min(min_h, p.h);
    max_w = max(max_w, p.w);
    min_w = min(min_w, p.w);
    for(int i=0; i<3; i++){
      for(int j=0; j<3; j++){
        Point np = {p.h + dp[i], p.w + dp[j]};
        if(np.h>=0 && np.h<H && np.w>=0 && np.w<W){
          if(! visited[np.h][np.w]){
            que.push(np);
            S_trim += data[np.h][np.w];
            visited[np.h][np.w] = true;
          }
        }
      }
    }
  }
  upleft.h = min_h;
  upleft.w = min_w;
  H_trim = max_h - min_h;
  W_trim = max_w - min_w;
}
```

1.2.3 拡大倍率と回転への対応

実装当初は画素数の比を元に template 画像の拡大倍率を算出していたが良い結果が得られなかった．某氏の助言により画素値の総和の比を元に算出したところ非常に良い精度で得られた．image.pgm 中の注目しているオブジェクトに対して切り出しを行なっているため画素値の総和は既知である．さらに各 template 画像についても読み込み時に既に算出している．したがって総当たりをすることなく，各 template 画像が注目オブジェクトに一致するとしたときの拡大倍率を算出することが可能である．一方，回転については-90 度〜90 度の 180 通りを総当たりした．

1.2.4 target と template の比較方法

今回の課題において要となるのは image.pgm 中の注目しているオブジェクト (target) と拡大倍率，回転角を反映した各種 template 画像 (template) を何を基準にして比較するかという点だろう．本プログラムでは target と template の両方に対して内接する長方形で切り出しを行うことで解決した．もし target に対して適切な template 画像，拡大倍率，回転角の template であれば，切り出した後の画像は等しくなるはずである．したがって単純に左上のピクセルから比較すればよいことが分かる．この手法を実現するためには template の画像データを用意し切り出しを行う必要がある．balance() 関数はある template 元画像クラス，拡大倍率，回転角を引数とし，それらを反映した新たな template 画像クラスを返す関数である．なお生成する画像は特に補完を行わず，写像後小数点以下を切り捨てた画素値を与えた．

```
// 入力画像を倍し度回転させた画像を返すscalerot
Image balance(Image templates, double scale, int rot){
```

```
    double theta = rot*M_PI/180;
    Image temp;
    temp.H = templates.H * scale;
    temp.W = templates.W * scale;
    // のオリジナル28*28画像から画素を持ってくるので拡大倍率によらず中心は常にtemplate(14,14)
    Point c = {templates.H/2, templates.W/2};

    temp.data.resize(temp.H);
    for(int i=0; i<temp.H; i++)
      temp.data[i].resize(temp.W);画像中心を中心として回転

    //
    for(int h=0; h<temp.H; h++){
      for(int w=0; w<temp.W; w++){
        double h_s = h/scale;
        double w_s = w/scale;
        int h_r = cos(-theta)*(h_s-c.h) - sin(-theta)*(w_s-c.w) + c.h;
        int w_r = sin(-theta)*(h_s-c.h) + cos(-theta)*(w_s-c.w) + c.w;
        if(h_r >= templates.H) h_r = templates.H-1;
        if(w_r >= templates.W) w_r = templates.W-1;
        if(h_r < 0) h_r = 0;
        if(w_r < 0) w_r = 0;
        temp.data[h][w] = templates.data[h_r][w_r];
      }
    }
    temp.makevisited();
    return temp;
}
```

また比較の範囲は target と template が重なっている部分のみとした．これは切り出し後の幅と高さについて 2 画像のの最小値をとることで実現できる．target と最も一致する template は，1 画素あたりの画素値の差の 2 乗が最小のものとした．某氏の指摘により比較領域の画素数で割ることに気づき精度が向上したことを記しておく．

1.3 実行環境と結果

以下は Macbook Pro(Intel Corei5 2GHz プロセッサ，8GB メモリ）で実行した結果である．また実行時間は chorno ライブラリを用いて計測した．なおコンパイルは g++ -O3 -std=c++11 で行った．

1.3.1 image1

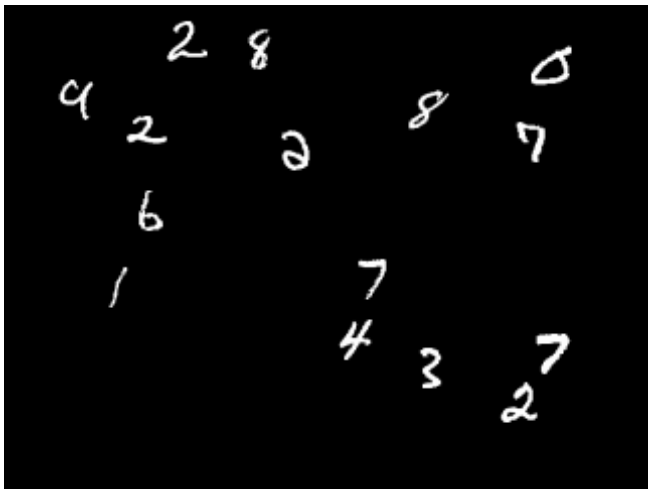


図 1 image1 解答と実行結果

表 1　image1 実行結果と解答

解答					実行結果				
画像	w	h	回転角	拡大倍率	画像	w	h	回転角	拡大倍率
template1	212	179	0	1	template1	212	179	0	1
template2	145	72	0	1	template2	145	72	0	1
template3	126	22	0	1	template3	126	22	0	1
template4	70	63	0	1	template4	70	63	0	1
template5	36	45	0	1	template5	36	45	0	1
template6	56	139	0	1	template6	56	139	0	1
template7	184	132	0	1	template7	184	132	0	1
template8	262	66	0	1	template8	262	66	0	1
template9	71	104	0	1	template9	71	104	0	1
template10	272	170	0	1	template10	272	170	0	1
template11	209	51	0	1	template11	209	51	0	1
template12	272	31	0	1	template12	272	31	0	1
template13	256	198	0	1	template13	256	198	0	1
template14	174	165	0	1	template14	174	165	0	1
template15	89	19	0	1	template15	89	19	0	1

実行時間は 1.351 秒であった．座標，回転角，拡大倍率の全てを正しく得ることができた．

1.3.2　image3

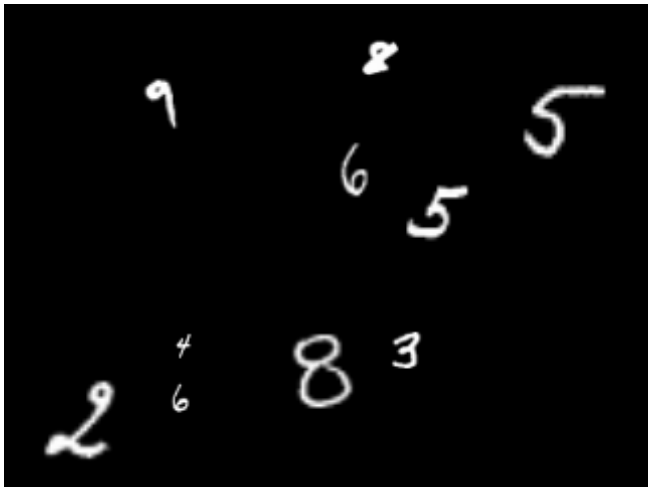


図 2　image3　回答と実行結果

表 2　image3　解答と実行結果

解答					実行結果				
画像	w	h	回転角	拡大倍率	画像	w	h	回転角	拡大倍率
template1	40	209	0	1.9	template1	38	207	-1	1.89766
template2	87	197	0	0.7	template8	86	196	-18	0.820375
template3	157	181	0	1.8	template3	156	180	3	1.79956
template4	89	169	0	0.6	template4	88	169	0	0.599469
template5	78	45	0	1.2	template5	76	43	3	1.20264
template6	186	26	0	0.9	template6	185	25	0	0.896784
template7	214	104	0	1.5	template7	212	102	-2	1.4978
template8	173	85	0	1.3	template8	172	84	-2	1.30326
template9	275	55	0	2	template9	274	54	-2	2.00127
template10	200	171	0	0.9	template10	199	170	-3	0.898823

実行時間は 0.879 秒であった．template2 が template8 と誤識別されてしまった．他のオブジェクトに関しては座標は 2 以内，拡大倍率は 0.01 以内，回転角は 3 度以内の誤差で検出できた．

1.3.3　image4

図 3　image4

表 3　image4 解答と実行結果

解答					実行結果				
template 番号	w	h	回転角	拡大倍率	template 番号	w	h	回転角	拡大倍率
template1	217	36	-35	1.6	template1	216	34	-33	1.59986
template2	50	37	65	1	template2	48	36	65	0.999354
template3	225	165	-38	1.6	template3	224	163	-37	1.6004
template4	50	161	-8	0.7	template4	49	160	-9	0.698452
template5	139	148	-11	0.5	template5	137	147	-22	0.498287
template6	25	91	87	1.4	template6	23	91	87	1.39994
template7	14	129	-69	0.5	template7	13	128	-78	0.49995
template8	155	64	29	1	template8	154	63	29	1
template9	199	101	55	1.1	template9	197	100	53	1.09943
template10	102	190	44	1.3	template10	100	189	41	1.29979

実行時間は 0.769 秒であった．全てのオブジェクトに関して十分な精度で検出できた．座標は 2 以内，拡大倍率は 0.01 以内，回転角は 11 度以内の誤差で検出できた．

1.3.4　image5

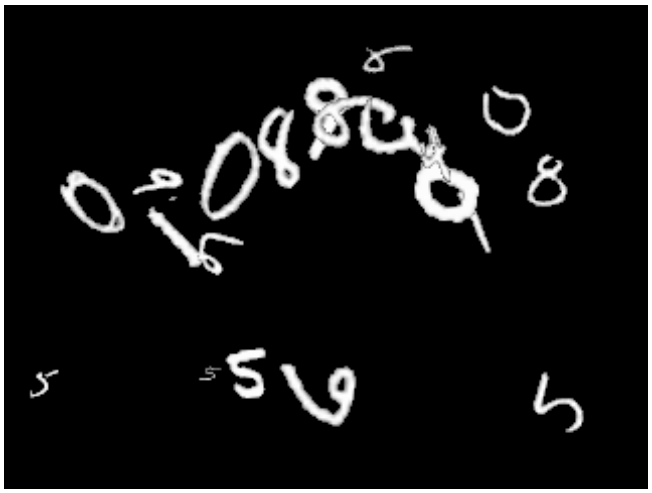


図 4　image5

20 個のうち正しく識別できたのは template7,8,9,12,17,20 の 6 個であった．オブジェクト同士が重なっている画像を識別することは今後への課題とする．

1.4　考察

1.4.1　計算時間

全ての拡大倍率，回転角について総当たりをした場合の計算量は，image.pgm の高さと幅 H, W, template 画像の高さと幅 H_t, W_t, 拡大倍率 S, 回転角 R, template 画像数 T を用いて

$$O(H \cdot W \cdot H_t \cdot W_t \cdot S \cdot R \cdot T)$$

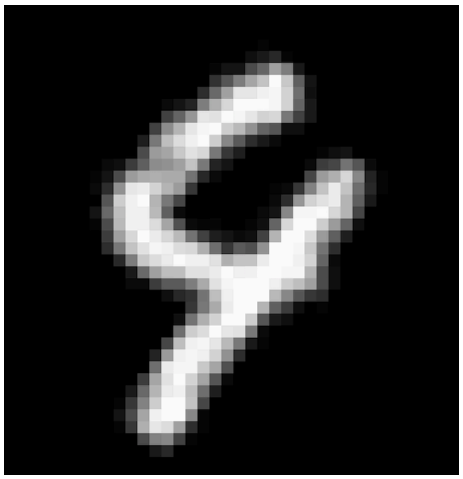
で表される．これはおよそ 10^{13} ステップあり全テンプレートの走査に 10000 秒程度かかることが予想される．一方今回私たちのプログラムは以下の計算量で走査を終える．

$$O(H \cdot W + H_t \cdot W_t + H_t \cdot W_t \cdot R \cdot T \cdot T)$$

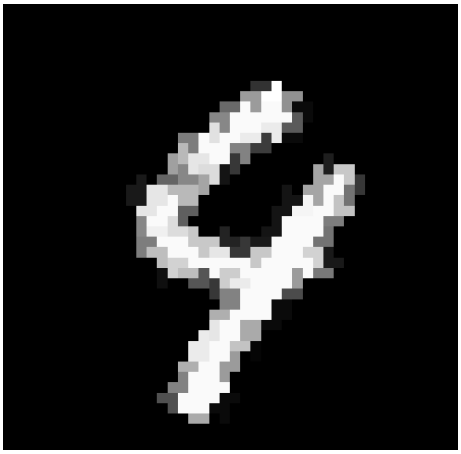
これはおよそ 10^8 ステップあり，1/10 秒ほどで全テンプレートの走査を終えることができると考えられる．上記の実験では 1 秒前後で終えることができ，明らかな改善があったと言える．

1.4.2　精度

image3 における誤識別や，出力結果の誤差について考察する．図 5 は image.pgm 中のオブジェクトと本アルゴリズムで作られた template 画像である．



(a)image.pgm 中のオブジェクト



(b)template 画像に拡大・回転処理をした画像

図 5

このように明らかな補完処理の差があるため，特に違いの少ない手書き文字の識別は非常に難しくなる．

2　感想

2.1　河野

2.2　小寺

河野さんがメインで実装を行うと簡単にできてしまいそうだったので，僕の実装をサポートをしていただくお願いを聞き入れてもらった．複雑ではないプログラムとはいえ，1 から実装するのは思ったよりも苦労した．今回の課題で最大の山場は target と template を比較する方法である．重心を使わずにできないかと考え，思いついた時は非常に嬉しかった．また画像の回転を実装する際，あくまで template の元画像から画素値を参照しているために画像の中心位置は拡大倍率によらない点に気付くまで苦労した．加えて，あらかじめ引数をそのまま返す関数を書いておき後ほど拡張したり，可読性を上げるために名前が短く分かりやすい変数を新たに宣言したりといった，ただ結果を出すだけでなく今後に繋がるような学びが多くあった．様々な角度で的確な助言をくれた河野さん並びに西田くんには非常に感謝している．まだまだ直すところはたくさんありそうなので，今後も修正を続けたい．

付録

```
// g++ -O3 -std=c++11 find.cpp && ./a.out
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <vector>
#include <string>
#include <queue>
#include <cmath>
#include <chrono>
using namespace std;

typedef struct{
  int h;
  int w;
}Point;

typedef struct{
  int template_num;
  int diff;
  Point c_dist;
  double scale;
  int rot;
}Output;

class Image{
public:
  const int MAX = 10000;
  int W, H, W_trim, H_trim;
  double S, S_trim;
  Point upleft;
  vector<vector<int>> data;
  vector<vector<bool>> visited;

  // 画像の読み込みファイルが存在しない場合を返す false
  bool readdata(string filename){
    string str;
    ifstream fin(filename);
    if(fin){
      fin >> str; fin.ignore();
      if(str != "P2") cout << "file format error" << endl;
      getline(fin, str); // コメント読み捨て
      fin >> W >> H;
      data.resize(H);
      for(int i=0; i<H; i++){
        data[i].resize(W);
      }
      fin >> str; //255
      int h=0, w=0;
      while(fin >> str){
        data[h][w] = stoi(str);
        w  = (w+1) % W;
        if(w == 0) h++;
      }
      makevisited();
      return true;
    }
    else return false;
  }

  // 未踏はfalse, 訪問済みtrue
  // が入っている場所は0true, ついでに総面積S画素値の合計も算出(=)
  void makevisited(){
    visited.resize(H);
```

```
    for(int i=0; i<H; i++){
      visited[i].assign(W,false);
    }
    S = 0;
    for(int h=0; h<H; h++){
      for(int w=0; w<W; w++){
        if(data[h][w] == 0){
          visited[h][w] = true;
        }
        else{
          S += data[h][w];
        }
      }
    }
  }

  // 内接する四角の左上端と幅，オブジェクトの画素値の合計を計算
  void trimming(int h, int w){
    queue<Point> que;
    int dp[3] = {-1,0,1};
    que.push({h,w});
    visited[h][w] = true;
    S_trim = data[h][w];
    int max_h=0, min_h=MAX, max_w=0, min_w=MAX;
    while(que.size()){
      Point p = que.front(); que.pop();
      max_h = max(max_h, p.h);
      min_h = min(min_h, p.h);
      max_w = max(max_w, p.w);
      min_w = min(min_w, p.w);
      for(int i=0; i<3; i++){
        for(int j=0; j<3; j++){
          Point np = {p.h + dp[i], p.w + dp[j]};
          if(np.h>=0 && np.h<H && np.w>=0 && np.w<W){
            if(! visited[np.h][np.w]){
              que.push(np);
              S_trim += data[np.h][np.w];
              visited[np.h][np.w] = true;
            }
          }
        }
      }
    }
    upleft.h = min_h;
    upleft.w = min_w;
    H_trim = max_h - min_h;
    W_trim = max_w - min_w;
  }
};

// 入力画像を倍し度回転させた画像を返すscalerot
Image balance(Image templates, double scale, int rot){
    double theta = rot*M_PI/180;
    Image temp;
    temp.H = templates.H * scale;
    temp.W = templates.W * scale;
    // のオリジナル28*28画像から画素を持ってくるので拡大倍率によらず中心は常にtemplate(14,14)
    Point c = {templates.H/2, templates.W/2};

    temp.data.resize(temp.H);
    for(int i=0; i<temp.H; i++)
      temp.data[i].resize(temp.W);画像中心を中心として回転

    //
```

```
    for(int h=0; h<temp.H; h++){
      for(int w=0; w<temp.W; w++){
        double h_s = h/scale;
        double w_s = w/scale;
        int h_r = cos(-theta)*(h_s-c.h) - sin(-theta)*(w_s-c.w) + c.h;
        int w_r = sin(-theta)*(h_s-c.h) + cos(-theta)*(w_s-c.w) + c.w;
        if(h_r >= templates.H) h_r = templates.H-1;
        if(w_r >= templates.W) w_r = templates.W-1;
        if(h_r < 0) h_r = 0;
        if(w_r < 0) w_r = 0;
        temp.data[h][w] = templates.data[h_r][w_r];
      }
    }
    temp.makevisited();
    return temp;
}

int main(){
  // 時間計測開始


  Image target;
  target.readdata("images/images4/image.pgm");

  // 画像がある限り読み込みtemplate
  vector<Image> templates;
  for(int i=0; 1;i++){
    templates.resize(i+1);
    if(! templates[i].readdata("images/images4/template"+to_string(i+1)+".pgm")){
      templates.resize(i);
      break;
    }
  }
  auto start = std::chrono::system_clock::now();
  // の走査target オブジェクトを見つけるごとに最適なを探すtemplate
  for(int h=0; h<target.H; h++){
    for(int w=0; w<target.W; w++){
      if(! target.visited[h][w]){
        target.trimming(h,w);
        Output ans;
        ans.diff = 2147483647;
        Output now;
        for(int i=0; i<templates.size(); i++){
          now.template_num = i;
          // の倍率を画素値の和の比から求め，角度はtemplateまで総当たり-90~90
          now.scale = sqrt((double)target.S_trim / (double)templates[i].S);
          for(int r=0; r<180; r++){
            now.rot = r-90;
            Image temp = balance(templates[i], now.scale, now.rot);
            // は度できればよいtemplate1trimming 縮小により離れた点を読むことを防ぐ
            bool trimmed = false;
            for(int h_=0; h_<temp.H; h_++){
              for(int w_=0; w_<temp.W; w_++){
                if(! temp.visited[h_][w_] and ! trimmed){
                  temp.trimming(h_, w_);
                  now.c_dist = {temp.H/2-temp.upleft.h, temp.W/2-temp.upleft.w};
                  trimmed = true;
                }
              }
            }
            // 左上の点を合わせて比較範囲は小さい方に合わせる
            int diff = 0;
            Point range = {min(target.H_trim,temp.H_trim), min(target.W_trim, temp.W_trim)};
            for(int dh=0; dh<range.h; dh++){
```

```
              for(int dw=0; dw<range.w; dw++){
                int temp_pixel = temp.data[temp.upleft.h+dh][temp.upleft.w+dw];
                int target_pixel = target.data[target.upleft.h+dh][target.upleft.w+dw];
                // 画素あたりの画素値の差の乗を求める12
                diff += pow((temp_pixel - target_pixel), 2) / (range.h * range.w) ;
              }
            }
            // が小さい方を答えとするdiff
            if(diff < ans.diff){
              now.diff = diff;
              ans = now;
            }
          }
        }
        int center_h = target.upleft.h + (ans.c_dist.h);
        int center_w = target.upleft.w + (ans.c_dist.w);
        cout << "template" << ans.template_num+1 << "  " << center_w << "  " << center_h
             << " " << ans.rot << "  " << ans.scale << endl;
        ofstream ofs("result.csv",ios::app);
        ofs << "template" << ans.template_num+1 << "," << center_w << "," << center_h
             << "," << ans.rot << "," << ans.scale << endl;
      }
    }
  }

  auto end = std::chrono::system_clock::now();
  auto dur = end - start;
  auto msec = std::chrono::duration_cast<std::chrono::milliseconds>(dur).count();
  std::cout << msec << " milli sec \n";
  return 0;
}
```