TP Imagerie médicale 3D 3 (2 x 1,5 heures)

Benjamin Gilles – 13 novembre 2013

Ce TP a pour objectif de vous faire programmer un algorithme de recalage automatique de maillages surfaciques basé sur l'algorithme ICP.

Il est à rendre AVANT le jeudi 27 novembre par courrier électronique à :
benjamin.gilles@lirmm.fr

Ce TP peut être effectué seul ou en binôme.

*TP a priori sous **Linux**.*
La bibliothèque CIMG (http://cimg.sourceforge.net/) est déployée sur le parc informatique. Elle se trouve dans le répertoire : /net/local/CImg-1.5.1. Un sous-répertoire nommé "subsol" contient le fichier CImg.h
Le logiciel Fiji (http://fiji.sc/) est installé sur les machines.

1. Visualiser les maillages avec Fiji (installé sur les machines) Plugins/3D Viewers/File/ImportWavefront (lit les .obj). Permet de voir les différences de morphologie.

2. Pour les Master 2 Informatique et les Master 2 STIC/santé qui le souhaitent, compléter le programme de recalage icp.cpp en utilisant l'algorithme ICP (obligatoire pour les Master 2 Informatique).
   A rendre : compte-rendu d'une ou deux pages + sources

3. Pour les autres Master STIC/Santé, utiliser des programmes domaine public (exemple MeshLab cf. http://sourceforge.net/apps/mediawiki/meshlab/index.php?title=Alignment) ou MATLAB pour recaler les deux maillages avec une méthode fondée sur l'ICP.
   A rendre : compte-rendu de minimum 3 pages expliquant précisément la procédure suivie, l'algorithme et le choix des paramètres.

Annexe 1: description de l'algorithme ICP

Cet algorithme sera vu en détail lors du cours du 8 novembre.

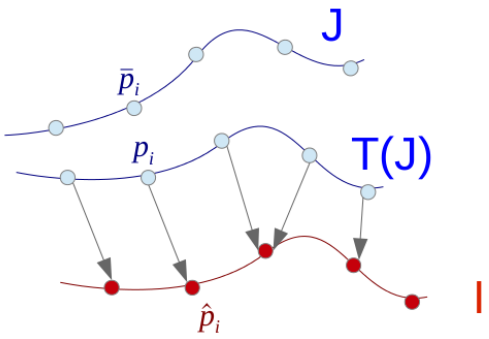
Le but est d 'aligner (de recaler) une surface **J** sur une surface **I** au moyen d'une transformation globale (rigide, affine ou similitude). Les points $\bar{p}_i$ de **J** sont transformés selon la relation :

$$p_i = A\,\bar{p}_i + t$$

où **A** est une matrice 3x3 et t un vecteur 3x1, en 3d.

A chaque itération, une nouvelle transformation est calculée de façon à approximer au mieux des *correspondances* entre **T(J)** et **I**.

On note $\hat{p}_i$, le point de **I** correspondant au point p_i (par exemple son point le plus proche). L'importance de chaque correspondance est pondéré par w_i (typiquement entre 0 et 1).



Dans un premier temps, il s'agit d'implémenter le calcul des correspondances $\hat{p}_i$ par point le plus proche : $\hat{p}_i$ est défini comme le point de **I** le plus proche du point p_i de **T(J)**.

Dans un deuxième temps, le but du TP est de calculer la transformation optimale cherchant à minimiser la distance entre les points transformés et leur point correspondant:

$$d\left(T(J),I\right) = \sum w_i \left\| A\,\bar{p}_i + t - \hat{p}_i \right\|^2$$

Pour cela, on a besoin des deux matrices 3x3 de covariance suivantes :

$$K = \sum w_i \left(\hat{p}_i - \hat{c}\right)\left(\bar{p}_i - \bar{c}\right)^T \qquad Q = \sum w_i \left(\bar{p}_i - \bar{c}\right)\left(\bar{p}_i - \bar{c}\right)^T$$

calculée à partir des centroides $\hat{c} = \dfrac{\sum w_i \hat{p}_i}{\sum w_i}$ et $\bar{c} = \dfrac{\sum w_i \bar{p}_i}{\sum w_i}$

En fonction du type de transformation (rigide, affine ou similitude), on calcule A :

- transformation affine : $A = KQ^{-1}$
- transformation rigide: $A = K\left(K^T K\right)^{-1/2}$
- similitude: $A = s\,K\left(K^T K\right)^{-1/2}$, $s = \frac{Trace\left(A\,K^T\right)}{\sum w_i \left(\bar{p}_i - \bar{c}\right)^T \left(\bar{p}_i - \bar{c}\right)}$ (note : la trace d'une matrice est la somme des termes diagonaux)

La translation optimale est obtenue par : $t = \hat{c} - A\,\bar{c}$

Après avoir établi les correspondances (1ere partie à compléter dans la fonction *Registration*), il reste a implémenter le calcul de $\hat{c}$, $\bar{c}$, Q, K et de s.

Dans un premier temps, les pondérations wi peuvent être laissées à 1. Après avoir fait marché le recalage, on vous propose d'implementer différentes pondérations vues en cours afin d'améliorer la qualité du recalage (notamment sur le modèle partiel femur_f_partial.obj).

Le programme se compile depuis un terminal avec la commande *Make* (vérifier que la librairie Cimg.h est présente dans le répertoire ou en dessous dans ../cimg/)

Le programme se lance avec la commande :

./icp modèlesource.obj modèlecible.obj

par default (en exécutant uniquement la commande .icp) , les modèles utilisés sont respectivement ./data/femur_m.obj et ./data/femur_f.obj.

Pour le recalage partiel, vous pouvez exécuter :

./icp ./data/femur_m.obj ./data/femur_f_partial.obj

Pour récupérer les coordonnées des points lors du calcul des correspondances et des matrices, il faut utiliser les fonctions fournies dans la classe **Mesh**

Par exemple, il est possible de récupérer les coordonnées du point i $\in$ **I** dans un vecteur (par exemple le vecteur *float P[3]*) en utilisant la fonction target.GetPoint(P,i).

De même, on récupère les coordonnée du point transformé p_i grâce à source.GetPoint(P,i).

Pour les points non transformés $\bar{p}_i$ (utilisés dans les matrices), on utilise source.GetPoint0(P,i).

Annexe 2: description de l'API

1. Mesh.h :

Fonctions de base de gestion de maillages :

```
struct MESH
{
    CImgList<unsigned int> faces;
    CImg<float> vertices0;
    CImg<float> vertices;
    CImg<float> correspondences;
    CImg<float> normals;
    CImg<float> weights;

    inline unsigned int getNbPoints() ;
    void getPoint0(float p[3], const unsigned int index) ;
    void getPoint(float p[3], const unsigned int index) ;
    void setPoint(const float p[3], const unsigned int index) ;
    void getCorrespondence(float p[3], const unsigned int index) ;
    void setCorrespondence(const float p[3], const unsigned int index) ;
    void getNormal(float n[3], const unsigned int index) ;
    float getWeight(const unsigned int index) ;
    void setWeight(const float w, const unsigned int index) ;

    bool LoadObj(const char* filename);
    void updateNormals();

    void drawMesh(..) ;
    void drawCorrespondences(.. );
    void drawNormals(..);
    void getTrace(..) ;

};
```

2. Mathematics.h :

Fonctions mathématiques de base pour les calculs ICP :

```
void Invert(float M_inv[3][3],const float M[3][3]) ;

void Mult(float C[3][3],const float A[3][3],const float B[3][3]) ;

void Mult(float p[3],const float A[3][3],const float p0[3]) ;

int Jacobi(float M[3][3],float e[3],float E[3][3]) ; // compute M=E.e.E^T
where e is diagonal

int ClosestRigid(float K[3][3],float R[3][3]) ; // compute R=K(K^TK)^{-1/2}
```

3. ICP.cpp

Boucle de visualisation :

```
int main(int argc,char **argv)
{
     {..} // load meshes from obj files
     {..} // init 3d view parameters and rendering parameters
     {..} // init display

    while (!disp.is_closed()) // main loop
    {
        if (init_pose)        {..} // Init camera pose
        if (redraw)        {..}   // Rotate and draw 3d object

        // Handle user interaction

        if (disp.button() ..)  { } // Mouse interaction
        switch ( disp.key())  //  keyboard interaction
        {
        case cimg::keyF.. : {..} break;  //  switch rendering mode
        case cimg::keyR :  {..} break; // reinit camera
        case cimg::keyC :  {..} break; // enable/disable visu of
correspondences
        case cimg::keyN :  {..} break; // enable/disable visu of normals
        case cimg::keyPADADD :   {..} break; // change transformation type
        case cimg::keySPACE :  // one step of icp

{
            // update global transformation
            float A[3][3]={{1,0,0},{0,1,0},{0,0,1}};  float t[3]={0,0,0};

          Registration(A,t,source,target,transformType);

            // update points
            for(unsigned int i=0;i<source.getNbPoints();i++)
            {
                float p0[3]; source.getPoint0(p0,i);
                float p[3]; Mult(p,A,p0);
          for(unsigned int j=0;j<3;j++) p[j]+=t[j];
                source.setPoint(p,i);
            }

            disp.set_key(); redraw = true;
            break;

}

        }


    }

    return 0;
}
```

4. Geometric registration :

Algorithme ICP à implémenter :

```
void Registration(float A[3][3],  float t[3], MESH& source, MESH& target,
const transformationType &transformType)

{
    target.updateNormals();
    source.updateNormals();

    // compute correspondences
    for(unsigned int i=0;i<source.getNbPoints();i++)
    {
        float p[3]; source.getPoint(p,i);
        float cp[3]={p[0],p[1],p[2]};

        ///********   TO BE COMPLETED  ************///
        source.setCorrespondence(cp,i);
    }


    // weight correspondences and reject outliers
    for(unsigned int i=0;i<source.getNbPoints();i++)
    {
        source.setWeight(1,i);
        ///********   TO BE COMPLETED  ************///
    }

    // compute centroids
    float c0[]={0,0,0}, c[]={0,0,0}, N=0;

        ///********   TO BE COMPLETED  ************///

    // fill matrices
    float Q[][3]={{1,0,0},{0,1,0},{0,0,1}}, K[][3]={{1,0,0},{0,1,0},
{0,0,1}},sx=3;

        ///********   TO BE COMPLETED  ************///

    // compute solution for affine part
{..}
    // compute solution for translation
{..}

}
```