

Journée thématique
GdR STIC Santé - Thème F
GdR Robotique - Robotique Médicale
Analyse des gestes médico-chirurgicaux

Richard MOREAU

Laboratoire AMPÈRE
UMR CNRS 5005, INSA-LYON, Université de Lyon

13 Mars 2013



La Chirurgie Mini Invasive (CMI)

De nombreux avantages pour les patients ...
... mais de nouvelles contraintes pour les chirurgiens

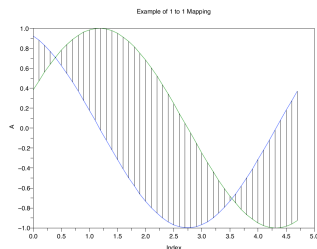
- Apprentissage des gestes
- Il existe des simulateurs pour s'entraîner
- Ils peuvent également servir d'outils de certification
- Nécessité d'une **évaluation objective**



Mesure de la similarité entre des gestes

Comment comparer des séries multi-dimensionnelles ?

- L'approche la plus intuitive :
Norme P
$$L_p(x, y) = \sum_{i=1}^n (|x_i - y_i|^p)^{\frac{1}{p}}$$
- Sensibilité aux bruits et aux valeurs aberrantes
- Des distorsions apparaissent si le nombre d'échantillons est différent



Il faut donc des **techniques plus flexibles**

Indicateurs de distance non métrique

Les méthodes d'analyse doivent être **robustes** vis à vis :

- de la possibilité de données multi-dimensionnelles ;
- de la possible différence de la période d'échantillonnage ou le nombre d'échantillons ;
- de la présence d'éventuelles mesures aberrantes ;
- des éventuels bruits de mesure.

Le modèle de similarité entre les données doit être un compromis entre la **complexité pour évaluer un geste** par rapport à un autre et la facilité d'implémentation afin de fournir un **score simple**.



DTW

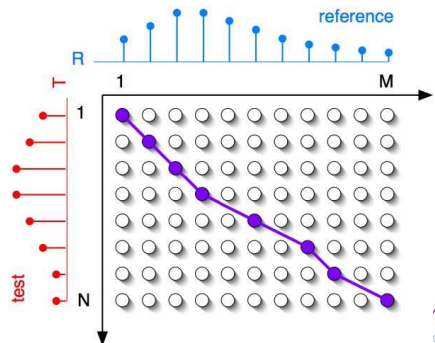
À partir de deux séquences A et B tel que :

$$A = a_1, \dots, a_i, \dots, a_n$$

$$B = b_1, \dots, b_j, \dots, b_m$$

Algorithm

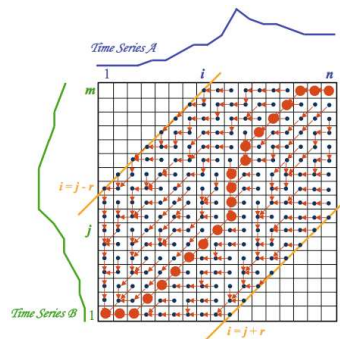
- Une matrice $n \times m$ contient chacune des distances $d(a_i, b_j)$
- Chaque élément de matrice correspond à l'alignement entre a_i et b_j
- La déformation est une série continue des éléments de matrice qui définit le mapping entre A et B



DTW

Algorithme

- Le chemin retenu est le plus court ;
- La méthode classique requiert l'évaluation d'un nombre exponentiel de déformation ;
- Nécessité d'une **programmation dynamique**



MD-DTW et MD-DDTW

Algorithme de MD-DTW

- Normalisation de chaque dimension à une moyenne nulle et une variance unitaire
- Si nécessaire, utilisation d'un filtre Gaussien
- Calcul de la matrice de distance D de taille $n \times m$:

$$D(i,j) = \sum_{k=1}^K |a(i,k) - b(j,k)|$$

où K est le nombre de dimensions

- Algorithme classique 1D-DTW

Algorithme de MD-DDTW

- Algorithme classique DTW pose problème lorsque les 2 séquences ont de trop grandes variations
-> **utilisation de la dérivée**
- Calcul de la matrice de distance D de taille $n \times m$:

$$D(i,j) = \sum_{k=1}^K \left(\frac{d(a(i,k))}{d(t)} - \frac{d(b(j,k))}{d(t)} \right)^2$$



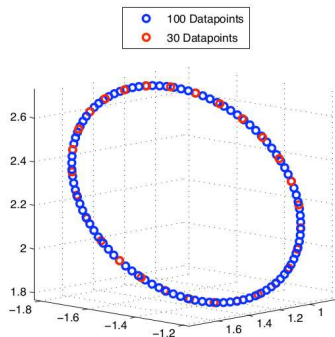
Bilan des performances

Les algorithmes MD-DTW et MD-DTW sont testés sur une trajectoire circulaire simple avec comme critères :

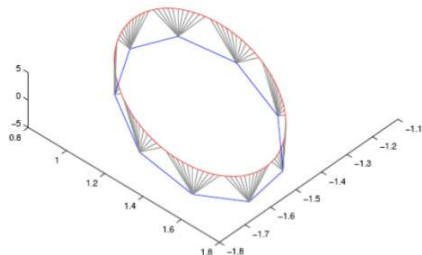
- ❶ Différence sur le nombre d'échantillons
- ❷ Présence de points aberrants
- ❸ Existence de bruits de mesure



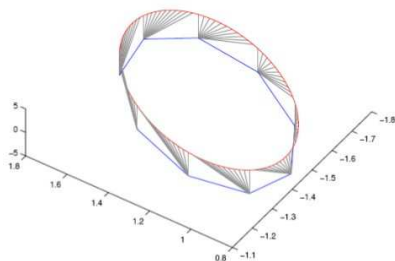
Différence sur le nombre d'échantillons



MD-DTW

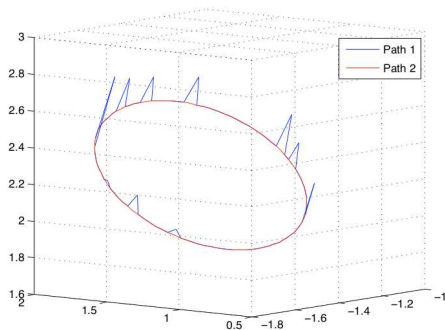


MD-DDTW



Nbre echant. Traj 1	Nbre echant. Traj 2	d(MD-DTW)	d(MD-DDTW)
100	10	8.54	30.8
100	30	2.68	7.57
100	50	1.58	3.20
100	70	1.12	1.36
100	90	0.87	0.85

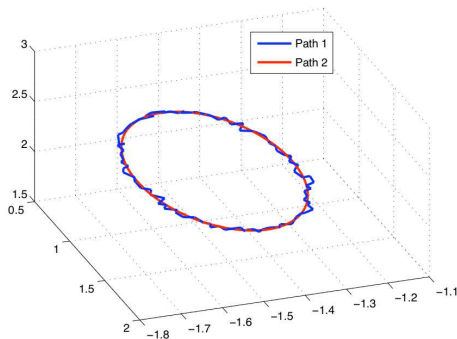
Présence de mesures aberrantes



% de points de mesures aberrantes	Amplitude ajoutée	d(MD-DTW)	d(MD-DDTW)	d(MD-DDTW) données filtrées
5	0.05	0.23	0.48	0.90
5	0.1	0.36	0.71	0.91
5	0.3	1.04	2.09	0.89
10	0.05	0.45	0.87	0.89
10	0.1	0.76	1.53	0.89
10	0.3	2.69	5.38	0.91
15	0.05	0.54	1.00	0.91
15	0.1	1.19	2.10	0.90
15	0.3	3.03	5.45	0.91

Il est nécessaire d'appliquer un filtre pour l'estimation de la dérivée, dans ce cas l'algorithme MD-DDTW n'est pas sensible à la présence de points de mesure aberrants.

Présence de bruits de mesures



SNR <i>Signal-to-Noise Ratio</i>	d(MD-DTW)	d(MD-DDTW)	d(MD-DDTW) <i>données filtrées</i>
50	1.50	1.48	0.81
48	1.64	1.75	0.81
45	2.24	2.45	0.81
43	2.74	3.16	0.80
40	3.39	4.00	0.80
35	6.04	7.29	0.80

Une nouvelle méthode doit être développée pour permettre d'obtenir des résultats **plus robuste aux conditions expérimentales.**



Principe

- ① Données initiales en fonction du temps t

$$\overrightarrow{r_i(t)} = [x_i(t), y_i(t), z_i(t)]$$

- ② Calcul de la longueur d'arc s
 $i \in [1, n-1]$ où n est le nombre d'échantillons

$$s_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2}$$

- ③ Calcul de la longueur d'arc cumulée l

$$\vec{l} = \begin{bmatrix} 0 \\ s_1 \\ s_1 + s_2 \\ \vdots \\ \sum_{i=2}^{i=n} (s_{i-1}) \end{bmatrix}$$



- ④ Paramétrisation des données en fonction de cette longueur d'arc cumulée

$$\overrightarrow{R_i(l_i)} = [R_{x_i}(l_i), R_{y_i}(l_i), R_{z_i}(l_i)]$$

- ⑤ Calcul de la courbure κ

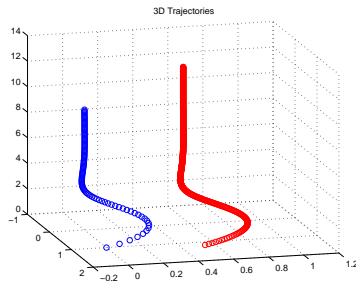
$$\kappa_i = \|\overrightarrow{R_i''(l_i)}\|$$

Il est intéressant de paramétrer une trajectoire en fonction de sa longueur d'arc car ce paramétrage renseigne sur la **forme de la trajectoire indépendamment du système de coordonnées choisi.**



Exemple en simulation

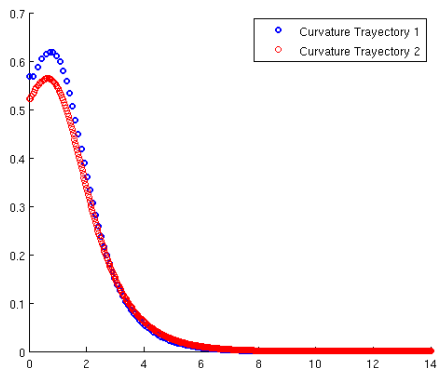
- 2 trajectoires simples
- l'une d'elle est une homothétie
- position spatiale différente
- nombre d'échantillons différent



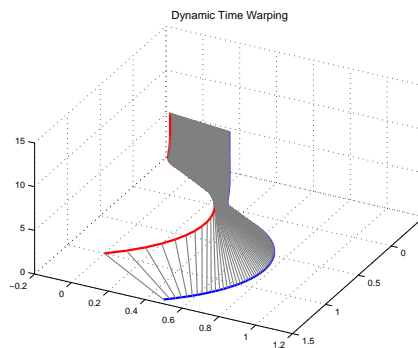
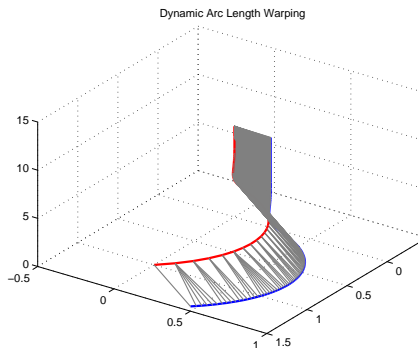
Exemple en simulation

Visualisation de la courbure

$$\kappa = f(l)$$



Exemple en simulation



DALW	MD-DTW
60.25	61.86



Résultats Expérimentaux

Protocole :

- Un exosquelette à 4ddl du membre supérieur
- Deux gestes proches
- Analyse de la trajectoire du poignée (x, y, z)
- 10 personnes différentes réalisent 2×10 gestes



Résultats Expérimentaux

4 analyses :

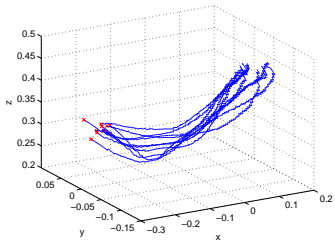
- nature du geste et personne identiques
- nature des gestes différente mais personne identique
- nature du geste identique mais personnes différentes
- nature des gestes et personnes différentes



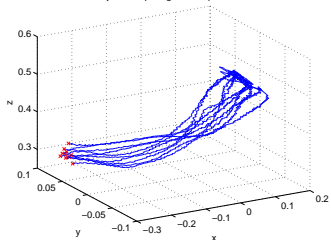
Trajectoires étudiées

Personne 1

Trajectoires pour geste 1 – personne 1

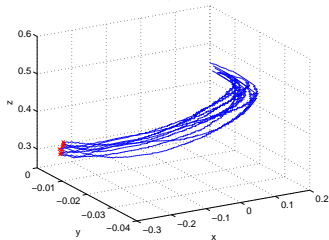


Trajectoires pour geste 2 – personne 1

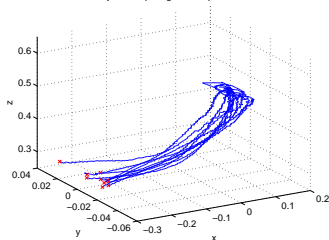


Personne 2

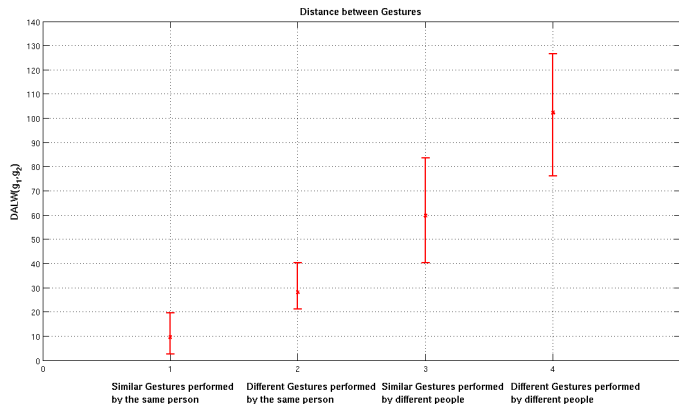
Trajectoires pour geste 1 – personne 2



Trajectoires pour geste 2 – personne 2



Différentiation des trajectoires



Conclusion

- Pour une formation de qualité, il est nécessaire de proposer d'une **évaluation objective** des gestes
- Nouvelle méthode proposée : **DALW**
- Informations sur la forme du geste
- **Réduction de la dimension du problème** avec la courbure
- Comparaison de **gestes exécutées à des vitesses différentes**
- Indépendamment d'un système de coordonnées particuliers



Perspectives

- Validation sur des données issues d'un simulateur en laparoscopie (ENDO-trainer)
- Intégration des données liées aux efforts et aux couples
- Implémentation en temps réel
- Généralisation sur d'autres gestes médicaux

