

Compression d'animations issues de motion capture

Maxime Tournier

19 juin 2007

Présentation

Introduction

Thème

Problèmes soulevés

Etat de l'art

Compression d'animations

Compression par analyse multi-résolution

Compression par analyse statistique

Représentation des orientations

Travail Réalisé

Tour d'horizon des quaternions

Analyse multi-résolution non-linéaire

Analyse statistique des orientations

Méthode hybride

Résultats - Discussion

Conclusion

Présentation

Introduction

Thème

Problèmes soulevés

Etat de l'art

Compression d'animations

Compression par analyse multi-résolution

Compression par analyse statistique

Représentation des orientations

Travail Réalisé

Tour d'horizon des quaternions

Analyse multi-résolution non-linéaire

Analyse statistique des orientations

Méthode hybride

Résultats - Discussion

Conclusion

Stage Master 2 Recherche

- ▶ Mars à Juin 2007
- ▶ Equipe EVASION
- ▶ Encadrant : Lionel Revéret
- ▶ Thème : Compression d'animations issues de capture du mouvement

La capture de mouvement

► Principe



- Omniprésente dans l'industrie : jeux vidéo, cinéma, médical ...
- Données de *qualité*, en grande quantité

Problème de taille !

D'importants volumes de données :

- ▶ 30 articulations, 3 angles par articulation, 100 Hz
- ▶ Des supports de taille limitée : DVD
- ▶ Transmission des données sur internet : bande-passante limitée

Solution : la compression

Nécessité de *compresser* les données

- ▶ Techniques standard : mal adaptées (e.g. gzip)
- ▶ Utiliser les connaissances *a priori* sur la nature des données
- ▶ Exploiter des redondances, compresser avec *perte* : meilleurs résultats

Compression avec perte

La compression avec perte pose certains problèmes :

- ▶ Quantifier la *qualité* du résultat
- ▶ Reconstruire les données avec moins d'information disponible
- ▶ Prendre en compte la structure complexe des données (e.g. orientation)

Présentation

Introduction

Thème

Problèmes soulevés

Etat de l'art

Compression d'animations

Compression par analyse multi-résolution

Compression par analyse statistique

Représentation des orientations

Travail Réalisé

Tour d'horizon des quaternions

Analyse multi-résolution non-linéaire

Analyse statistique des orientations

Méthode hybride

Résultats - Discussion

Conclusion

Compression d'animations

- ▶ Travaux précédents principalement sur la compression de *maillages*
- ▶ Exploitation des redondances/corrélations dans les mouvements des sommets
- ▶ Capture de mouvement : animations de *squelettes*
 - ▶ Réduction de la dimension de l'espace du mouvement

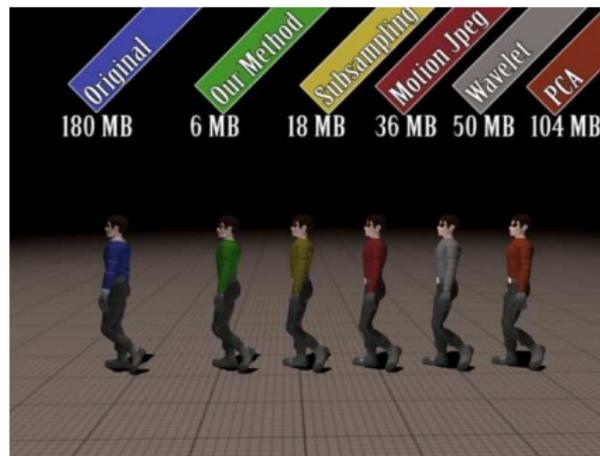
Réduction de la dimension du mouvement

- ▶ Pollard *et al.* 2004 : Analyse en Composantes Principales (ACP) sur les positions des articulations
 - ▶ But : réduction de l'espace de recherche pour un problème d'optimisation
 - ▶ Mouvements courts, nécessite une large base de mouvements
- ▶ Grochow *et al.* 2004 : Estimation d'une distribution de probabilités qui capture les corrélations et le style
 - ▶ Apprentissage sur une large base de mouvements annotés
 - ▶ Problème d'optimisation lourde

Compression d'animations de squelettes

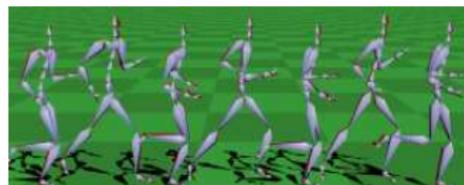
Arikan 2006 : *Compression of Motion Capture Databases*, 35 :1

- ▶ Compression par ACP d'une *classe* de mouvements similaires
- ▶ Utilisation des *positions* des articulations
 - ▶ optimisation pour des os de taille constante
- ▶ Splines pour le mouvement des articulations
 - ▶ Elimination des détails
- ▶ Quantifie les données sur 16 bits



Compression d'animations de squelettes

Beaudoin *et al.* 2007 : *Adapting Wavelet compression for human motion capture clips*, 48 :1



- ▶ Utilisation des *orientations*
 - ▶ Angles d'Euler
- ▶ Compression par ondelettes
 - ▶ Processus d'adaptation de la base pour minimiser l'erreur quadratique sur les positions
- ▶ Quantifient les données sur 16 bits

Métrique d'erreur

- ▶ Norme L^2 : non-adaptée
- ▶ 3 grandes classes de métriques sur la qualité :
 - ▶ Heuristiques : binaires
 - ▶ Perceptives : scores
 - ▶ Apprentissage statistique : scores
- ▶ Problème difficile, encore ouvert

Compression de données de mouvement

Deux branches principales pour la compression de données de mouvement :

- ▶ Compression par analyse multi-résolution
- ▶ Compression par analyse statistique

Compression par analyse multi-résolution

La compression par analyse multi-résolution s'effectue par :

- ▶ La formation d'une représentation en niveaux de détails
- ▶ L'élimination des détails les plus faibles
- ▶ Un codage adapté de l'information restante

Compression par ondelettes

- ▶ Excellents résultats sur les images (e.g. JPEG2000)



- ▶ Ondelettes classiques mal adaptées au cas non-linéaire
 - ▶ Sweldens 98, *Lifting scheme*

Représentations multi-résolution - cas non-linéaire

- ▶ Lee et Shin 01 : *A Coordinate-Invariant Approach to multiresolution motion analysis*
 - ▶ Multi-résolution sur des signaux de quaternions
- ▶ Rahman *et al* 2005 : *Multiscale representation for manifold-valuated data*
 - ▶ Généralisation de la méthode aux variétés riemanniennes
- ▶ Présentées en détail plus loin

Outline

Présentation

Introduction

Thème

Problèmes soulevés

Etat de l'art

Compression d'animations

Compression par analyse multi-résolution

Compression par analyse statistique

Représentation des orientations

Travail Réalisé

Tour d'horizon des quaternions

Analyse multi-résolution non-linéaire

Analyse statistique des orientations

Méthode hybride

Compression par analyse statistique

La compression par analyse statistique peut s'effectuer par :

- ▶ L'étude des redondances statistiques présentes dans les données
- ▶ La génération d'une représentation plus compacte des données
- ▶ L'utilisation de cette représentation afin de compresser

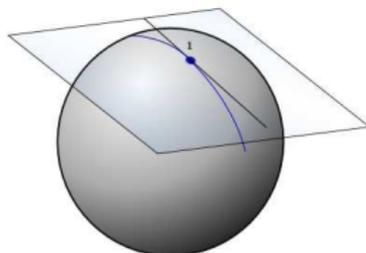
Exemple : ACP

Analyse statistique de données d'orientation

- ▶ Rotations = espace non-linéaire \Rightarrow cadres statistiques & probabilistes classiques non adaptés
- ▶ Pennec 99 : *Probabilities and statistics on riemannian manifolds*
 - ▶ Outils de base : moyenne, variance, ...
- ▶ Fletcher 03 : Analyse en *Géodésiques Principales* (AGP)

Analyse en Géodésiques Principales

- ▶ Analogue de l'ACP pour les données à valeur dans des *variétés* riemanniennes (\approx munies d'une métrique)
- ▶ Projections sur des *géodésiques* en maximisant la variance
- ▶ Approximation de l'AGP dans l'espace tangent



Utilisation des angles d'Euler

Problèmes liés à la représentation des orientations par des angles d'Euler :

- ▶ Singularités - Périodicité
- ▶ Pas d'invariance sous l'action des transformations rigides
 - ▶ Calcul de la moyenne ?
- ▶ Problématiques dans le cas de la compression avec perte
 - ▶ Reconstruction du signal partiel, problèmes d'interpolation

Méthode de compression adaptée aux données d'orientation

Nous proposons une méthode de compression robuste pour les orientations, utilisant :

- ▶ Des analyses multi-résolution & statistique *adaptées* aux orientations
- ▶ Les logarithmes de quaternions
 - ▶ Moins de singularités
 - ▶ Invariance aux transformations rigides

Présentation

Introduction

Thème

Problèmes soulevés

Etat de l'art

Compression d'animations

Compression par analyse multi-résolution

Compression par analyse statistique

Représentation des orientations

Travail Réalisé

Tour d'horizon des quaternions

Analyse multi-résolution non-linéaire

Analyse statistique des orientations

Méthode hybride

Résultats - Discussion

Conclusion

Quaternions : présentation

- ▶ Corps non-commutatif \mathbb{H} , 4 vecteurs de base $1, i, j, k$ tels que :

$$i^2 = j^2 = k^2 = i.j.k = -1$$

- ▶ Equivalence entre conjugaison par un quaternion unitaire et rotation de l'espace

$$q : x \longmapsto q.x.\bar{q}$$

- ▶ Travail avec des données de la sphère S^3

S^3 : présentation, propriétés

- ▶ Ensemble des quaternions unitaires : $S^3 = \{q \in \mathbb{H} / |q| = 1\}$
 - ▶ Interpolations par SLERP pour rester sur la sphère
- ▶ Structure de groupe de Lie
 - ▶ “groupe continu”
 - ▶ Aspect algébrique : opérations de multiplication, inversion, ...
- ▶ Variété riemannienne de dimension 3
 - ▶ “ressemble localement à \mathbb{R}^3 ”
 - ▶ Aspect géométrique : symétries, distances, ...

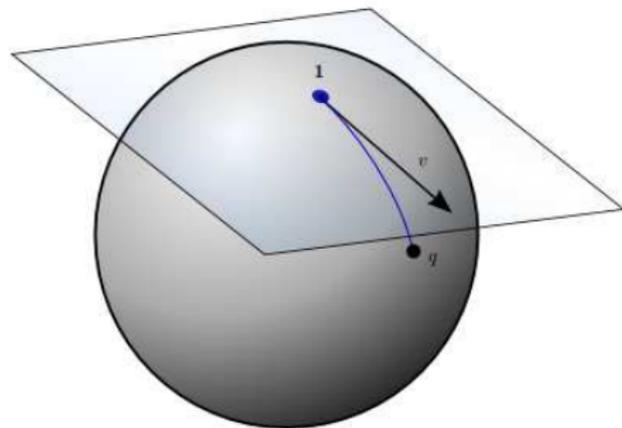
Espace tangent à S^3 - logarithmes de quaternions

Linéarisation locale de S^3 en un point p

- ▶ “directions” à partir de p
- ▶ Passage à l'espace tangent à l'identité :

$$S^3 \begin{array}{c} \xrightarrow{\exp} \\ \xleftarrow{\ln} \end{array} T_1(S^3) \equiv \mathbb{R}^3$$

- ▶ *cf.* complexes : $c = e^{i\theta}$
- ▶ Passage à l'espace tangent en un point quelconque :
 $\log_p(q) = \ln(p^{-1}.q)$



Représentations des orientations

Rotations \iff Quat. unitaires \iff Logarithmes de quat.
 $SO(3) \iff S^3 \iff T_1(S^3) \equiv \mathbb{R}^3$
Logarithmes de quaternions :

- ▶ Plus compacts que les quaternions
- ▶ Moins de singularités que les angles d'Euler
- ▶ Passage aux quaternions facile (e.g. composition des rotations)
- ▶ *Vecteurs de l'espace tangent* à S^3

Outline

Présentation

Introduction

Thème

Problèmes soulevés

Etat de l'art

Compression d'animations

Compression par analyse multi-résolution

Compression par analyse statistique

Représentation des orientations

Travail Réalisé

Tour d'horizon des quaternions

Analyse multi-résolution non-linéaire

Analyse statistique des orientations

Méthode hybride

Multi-résolution dans S^3

- ▶ Lee & Shin 2001 : *A Coordinate-Invariant approach to multiresolution motion analysis*
- ▶ Application du *lifting scheme* aux données de S^3 en utilisant les logarithmes de quaternions
 - ▶ Sweldens 98. *The lifting scheme : a construction of second generation wavelets*

Lifting Scheme

- ▶ But : obtenir une représentation multi-résolution de données
- ▶ Le principe est le suivant :
 - ▶ Séparer les données en deux parties A et B , e.g. par sous-échantillonnage
 - ▶ Utiliser A pour reconstituer le signal entier, grâce à un opérateur : $pred$
 - ▶ Corriger la prédiction au moyen des éléments de B
 - ▶ Répéter le processus sur A
- ▶ Pyramide niveaux de détails (=corrections des prédictions) de tailles décroissantes

Lifting Scheme

Exemple :

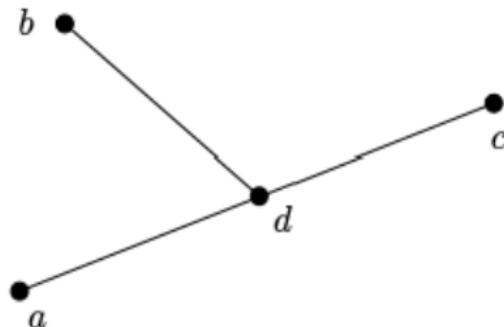


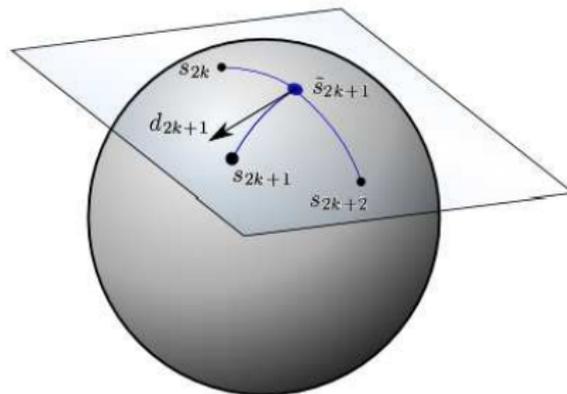
Fig.: Soit $S = \{a, b, c\}$. On forme $A = \{a, c\}$ et $B = \{b\}$. La prédiction $\tilde{S} = \text{pred}(A) = \{a, d, c\}$, où $d = \frac{a+c}{2}$. L'ensemble D des détails est donc $\{b - d\}$. On réitère alors le processus sur A .

Adaptation aux données d'orientation

- ▶ Lee & Shin 01 : *lifting scheme* pour des quaternions

- ▶ Itération :

- ▶ Sous-échantillonnage de S pour donner A et B
- ▶ Prédiction par SLERP entre deux points successifs
- ▶ Les détails sont stockés sous forme de logarithmes de quaternions



- ▶ On réitère le processus sur le signal sous-échantillonné

Compression de données d'orientation

- ▶ Chaque itération décompose le signal en base+détails
 - ▶ Pyramide de détails
- ▶ Les niveaux de détail les plus élevés (= les plus fins) sont éliminés
 - ▶ Taille des données divisée par deux lorsque le dernier niveau est éliminé
- ▶ Reconstruction dans le sens inverse
 - ▶ Prédiction puis corrections à l'aide des détails pour le niveau courant

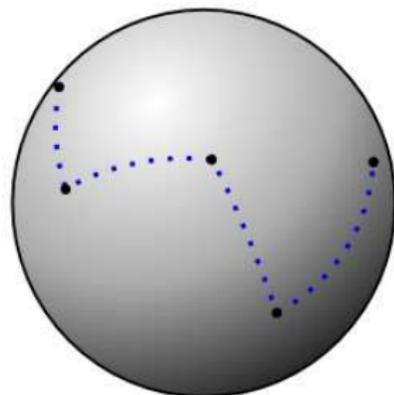
Exemple

- ▶ Exemple : Vidéo 1

Exemple

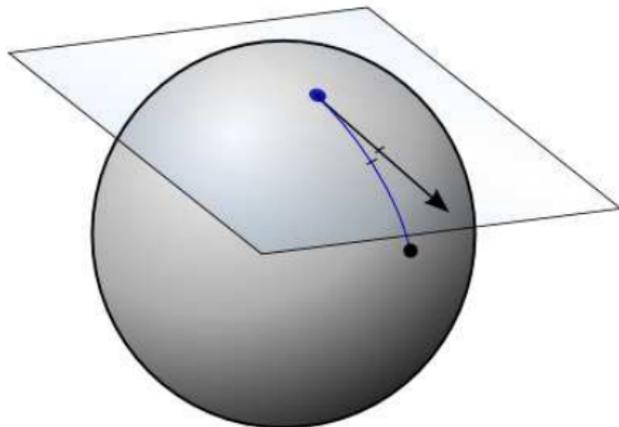
- ▶ Exemple : Vidéo 1

- ▶ Problèmes de discontinuité de la dérivée première



Problèmes de l'interpolation SLERP

- ▶ SLERP = interpolation linéaire dans l'espace tangent
- ▶ Problèmes de discontinuité de la dérivée première pour une reconstruction partielle

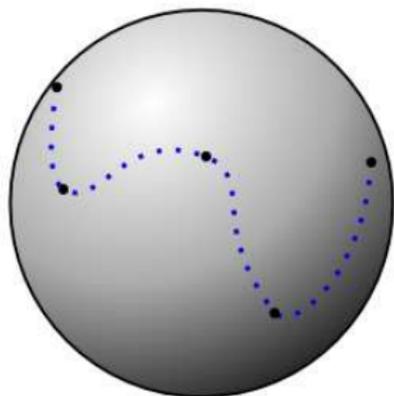


Amélioration : utilisation de splines

Rahman *et al.* 2005 :
généralisation de la méthode
précédente aux variétés
riemanniennes

- ▶ Interpolation par spline dans l'espace tangent lors de la prédiction
- ▶ 4 points utilisés au lieu de 2
- ▶ Signal reconstruit plus lisse, plus naturel

- ▶ Décroissance rapide des détails



Problèmes d'oscillation

- ▶ Problème : les contacts des pieds sur le sol sont lissés
- ▶ Artefacts visuels : glissement des pieds au sol, *footskating*

Outline

Présentation

Introduction

Thème

Problèmes soulevés

Etat de l'art

Compression d'animations

Compression par analyse multi-résolution

Compression par analyse statistique

Représentation des orientations

Travail Réalisé

Tour d'horizon des quaternions

Analyse multi-résolution non-linéaire

Analyse statistique des orientations

Méthode hybride

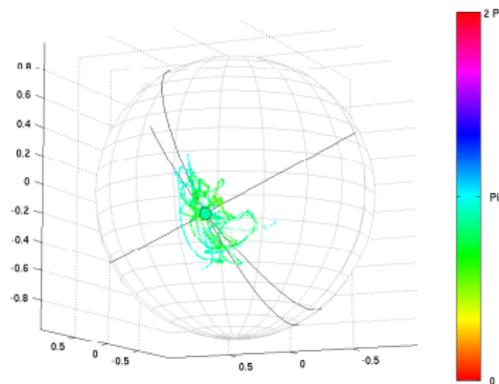
Statistiques non-linéaires

- ▶ Domaine jeune : Pennec 99 Probabilites and Statistics on riemannian manifolds
- ▶ Beaucoup de résultats élémentaires dans le cas linéaire ne sont plus triviaux
 - ▶ Moyenne de Karcher 77

$$\begin{aligned}\mu &= \underset{i \in I}{\text{Karcher}(x_i)} \\ &= \arg \min_{x \in M} \sum_{i \in I} d(x, x_i)^2\end{aligned}$$

Analyse en Géodésiques Principales

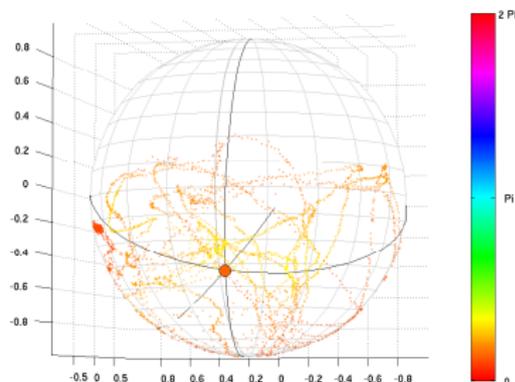
- ▶ Introduite par Fletcher en 2003
- ▶ Analogie riemannien de l'Analyse en Composantes Principales
 - ▶ Projection sur des géodésiques maximisant la variance



Analyse en Géodésiques Principales

Approximation en linéarisant
l'opérateur de projection sur une
géodésique

- ▶ \simeq ACP des données prises dans l'espace tangent à la moyenne
- ▶ Vecteurs propres \leftrightarrow géodésiques passant par la moyenne



AGP sur des données réelles

Nous avons adapté l'algorithme au cas de plusieurs signaux de quaternions

- ▶ Matrice de quaternions $N \times M$

AGP sur des données réelles

Nous avons adapté l'algorithme au cas de plusieurs signaux de quaternions

- ▶ Matrice de quaternions $N \times M$
 - ▶ Données centrées sur leurs moyennes respectives μ_j (*i.e.* par colonne)

AGP sur des données réelles

Nous avons adapté l'algorithme au cas de plusieurs signaux de quaternions

- ▶ Matrice de quaternions $N \times M$
 - ▶ Données centrées sur leurs moyennes respectives μ_j (*i.e.* par colonne)
 - ▶ Linéarisation par passage à l'espace tangent

AGP sur des données réelles

Nous avons adapté l'algorithme au cas de plusieurs signaux de quaternions

- ▶ Matrice de quaternions $N \times M$
 - ▶ Données centrées sur leurs moyennes respectives μ_j (*i.e.* par colonne)
 - ▶ Linéarisation par passage à l'espace tangent
 - ▶ ACP de la matrice des données linéarisées

AGP sur des données réelles

Nous avons adapté l'algorithme au cas de plusieurs signaux de quaternions

- ▶ Matrice de quaternions $N \times M$
 - ▶ Données centrées sur leurs moyennes respectives μ_j (*i.e.* par colonne)
 - ▶ Linéarisation par passage à l'espace tangent
 - ▶ ACP de la matrice des données linéarisées
- ▶ Vecteurs propres \leftrightarrow concaténation de M géodésiques

AGP sur des données réelles

Nous avons adapté l'algorithme au cas de plusieurs signaux de quaternions

- ▶ Matrice de quaternions $N \times M$
 - ▶ Données centrées sur leurs moyennes respectives μ_j (i.e. par colonne)
 - ▶ Linéarisation par passage à l'espace tangent
 - ▶ ACP de la matrice des données linéarisées
- ▶ Vecteurs propres \leftrightarrow concaténation de M géodésiques
 - ▶ Passage de 90 à une dizaine de degrés de liberté en conservant 95% de la variance

AGP sur des données réelles

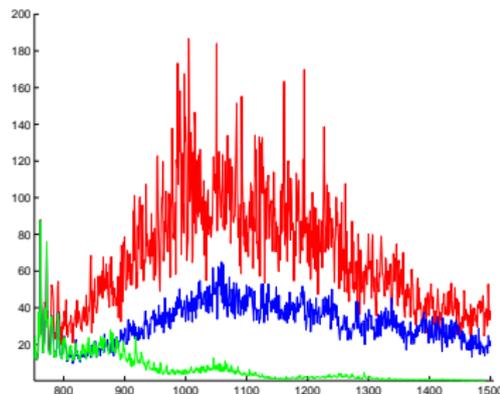
Nous avons adapté l'algorithme au cas de plusieurs signaux de quaternions

- ▶ Matrice de quaternions $N \times M$
 - ▶ Données centrées sur leurs moyennes respectives μ_j (i.e. par colonne)
 - ▶ Linéarisation par passage à l'espace tangent
 - ▶ ACP de la matrice des données linéarisées
- ▶ Vecteurs propres \leftrightarrow concaténation de M géodésiques
 - ▶ Passage de 90 à une dizaine de degrés de liberté en conservant 95% de la variance
 - ▶ Compression des données par élimination des coordonnées inutiles

AGP sur des données réelles

Problème lors de la reconstruction :

- ▶ Vidéo 2
- ▶ Signal bruité
- ▶ Le spectre de Fourier des positions reconstruites montre la présence de hautes fréquences parasites
 - ▶ original (*bleu*)
 - ▶ compression AGP (*rouge*)
 - ▶ compression multi-résolution (*vert*)



- ▶ Inapplicable en l'état à la compression d'animations

Outline

Présentation

Introduction

Thème

Problèmes soulevés

Etat de l'art

Compression d'animations

Compression par analyse multi-résolution

Compression par analyse statistique

Représentation des orientations

Travail Réalisé

Tour d'horizon des quaternions

Analyse multi-résolution non-linéaire

Analyse statistique des orientations

Méthode hybride

AGP pour améliorer la compression multirésolution

Compression multi-résolution : meilleurs résultats qu'une compression par AGP.

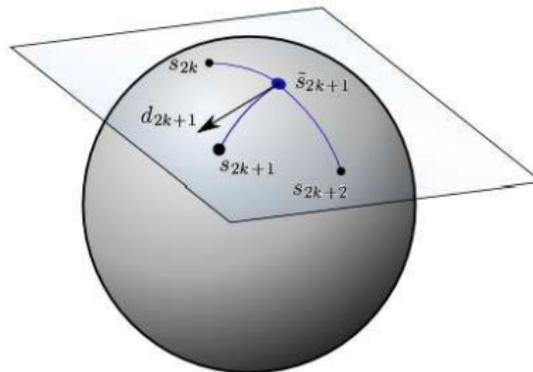
De meilleurs taux de compression sont cependant possibles :

- ▶ Utiliser l'AGP *par niveaux* de détails afin de les compacter
- ▶ La reconstruction par ondelettes splines lisse le résultat

Adaptation de l'algorithme

Nous n'encodons plus directement les détails sous forme de logarithme mais :

1. Moyennes par articulation
 μ_j
2. Images dans les espaces tangents aux moyennes
3. AGP approximée par l'ACP des données issues de 2)



Adaptation de l'algorithme

Afin de reconstruire les détails du niveau courant, nous stockons alors :

- ▶ Les moyennes par articulation
- ▶ Les vecteurs propres retenus
- ▶ Les coordonnées sur ces vecteurs propres

Nous pouvons ainsi reconstruire chaque niveau de détails, puis l'animation entière

Limitations

- ▶ Les premiers niveaux sont reconstruits en un seul avant application de l'AGP (sinon $N \leq M$)
 - ▶ Version sous-échantillonnée du signal original
- ▶ Pour les premiers niveaux de détails, l'AGP sur la version mono-résolution équivalente :
 - ▶ + est plus "rentable" *i.e.* moins de surcharge, moins de vecteurs propres qu'une AGP par niveaux ($\approx 2x$ moins)
 - ▶ - introduit des hautes fréquences parasites
- ▶ Equilibre à trouver entre qualité et compression

Premier niveau de détail

- ▶ Premier niveau de détail = version basse résolution du signal
 - ▶ Rôle différent : les niveaux supérieurs *interpolent* ses informations
 - ▶ Le plus petit en taille des données

⇒ Nécessité d'une reconstruction fidèle

- ▶ L'AGP donne moins de vecteurs propres pour ce premier niveau à variance égale

⇒ Reconstruction de meilleure qualité à nombre de vecteurs propres égal

Présentation

Introduction

Thème

Problèmes soulevés

Etat de l'art

Compression d'animations

Compression par analyse multi-résolution

Compression par analyse statistique

Représentation des orientations

Travail Réalisé

Tour d'horizon des quaternions

Analyse multi-résolution non-linéaire

Analyse statistique des orientations

Méthode hybride

Résultats - Discussion

Conclusion

Compression naïve

- ▶ Animations de marche (6,8 :1 et 215 :1)
- ▶ Pas de traitement de faveur pour le 1^{er} niveau

⇒ Footskate important, faibles qualité en regard du taux de compression

Les taux de compressions de l'état de l'art (35 :1 Arikani et 48 :1 Beaudoin) sont obtenus en quantifiant les données sur 16 bits, ce que nous n'avons pas effectué.

Compression adaptée

- ▶ Animation de marche (28,4 :1)
- ▶ 1^{er} niveau : on conserve cette fois 99.9% de la variance
 - ▶ 90% pour les autres niveaux

⇒ Qualité grandement améliorée

Compressions fortes

- ▶ Animations de danse (52 : 1 et 108 :1)
 - ▶ Compression effectuée en ajustant les paramètres
- ⇒ Taux de compression importants, bonne qualité

Discussion : compression

- ▶ Pas de métrique d'erreur perceptive efficace !
- ▶ Paramètres peu intuitifs
 - ▶ Nombre de niveaux éliminés
 - ▶ Variance conservée
 - ▶ Eventuelle reconstruction des premiers niveaux avant AGP
- ▶ Performances de l'AGP sur les niveaux de détails

Discussion : artéfacts

- ▶ Liés à l'utilisation des orientations
 - ▶ Cumul des erreurs le long de la hiérarchie
 - ▶ Relativement faibles
- ▶ *Footskating* : plusieurs solutions
 - ▶ Détection automatique des empreintes de pied
 - ▶ Encoder les erreurs de positions commises sur les pieds pour corriger les animations par cinématique inverse

Discussion : Discontinuités C^1

- ▶ Liées aux contacts
 - ▶ Importantes perceptivement !
 - ▶ Lissées par les ondelettes splines
- ▶ Solutions envisageables
 - ▶ Autre base d'ondelettes
 - ▶ Patches de correction locale dans les hautes fréquences

Présentation

Introduction

Thème

Problèmes soulevés

Etat de l'art

Compression d'animations

Compression par analyse multi-résolution

Compression par analyse statistique

Représentation des orientations

Travail Réalisé

Tour d'horizon des quaternions

Analyse multi-résolution non-linéaire

Analyse statistique des orientations

Méthode hybride

Résultats - Discussion

Conclusion

Contributions

- ▶ Méthode de compression d'animations issues de capture de mouvement
- ▶ Taux de compression supérieurs à l'état de l'art
- ▶ Combinaison de deux techniques d'analyse non-linéaire pour la compression du mouvement
 - ▶ Adaptation de l'AGP pour prendre en compte plusieurs articulations
 - ▶ Adaptation de l'analyse multi-résolution afin de permettre l'AGP des niveaux de détails

Fin de la présentation - Questions

Merci de votre attention !