

Modélisation et apprentissage de synergies pour le contrôle du mouvement de personnages virtuels

Application au geste d'atteinte de cible

Matthieu Aubry

12 juillet 2010





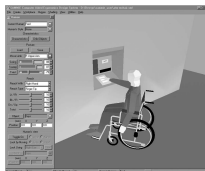
Contexte

- Mouvements de personnages virtuels
- Objectifs
 - Obtenir des mouvements réalistes
 - Simplifier la spécification des mouvements
 - Analyser l'activité humaine

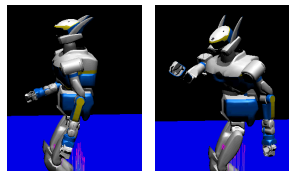
[Gaspar]



[Sammie CAD]



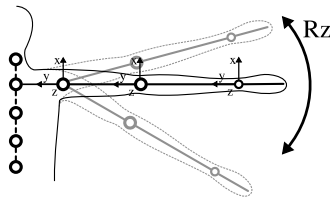
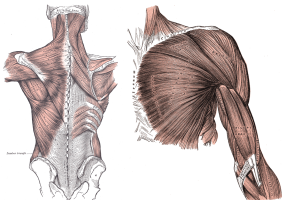
[HRP-2]





Modélisation du mouvement

- Modélisation du système musculo-squelettique
 - Degrés de libertés : transformations
- Succession de postures dans le temps
- Problématique
 - Redondance des articulations
 - Infinité de mouvements pour une même tâche





Modélisation du mouvement

- Modélisation du système musculo-squelettique
 - Degrés de libertés : transformations
- Succession de postures dans le temps
- Problématique
 - Redondance des articulations
 - Infinité de mouvements pour une même tâche



t = 0



t = 1



t = 2



t = 3

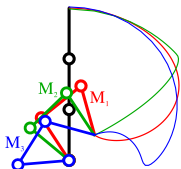


t = 4



Modélisation du mouvement

- Modélisation du système musculo-squelettique
 - Degrés de libertés : transformations
- Succession de postures dans le temps
- Problématique
 - Redondance des articulations
 - Infinité de mouvements pour une même tâche

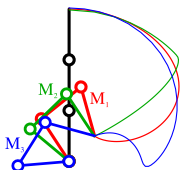


Trajectoires

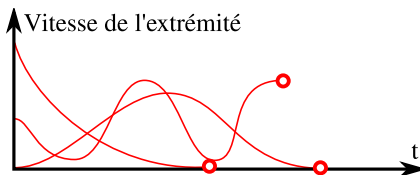


Modélisation du mouvement

- Modélisation du système musculo-squelettique
 - Degrés de libertés : transformations
- Succession de postures dans le temps
- Problématique
 - Redondance des articulations
 - Infinité de mouvements pour une même tâche



Trajectoires



Dynamique temporelle



Enjeux scientifiques

- Autonomie du contrôleur de mouvement
 - Contrôle par la spécification de la tâche
 - Sans intervention d'un animateur
- Réalisme des mouvements
 - Mécanismes fonctionnels du contrôle moteur
 - Prise en compte des spécificités individuelles
- Analyse des mouvements d'un sujet

Synergie (Larousse) - n.f. (gr. *sunergia*, coopération)

Association de plusieurs organes pour l'accomplissement d'une fonction.



Enjeux scientifiques

- Autonomie du contrôleur de mouvement
 - Contrôle par la spécification de la tâche
 - Sans intervention d'un animateur
- Réalisme des mouvements
 - Mécanismes fonctionnels du contrôle moteur
 - Prise en compte des spécificités individuelles
- Analyse des mouvements d'un sujet

Synergie (Larousse) - n.f. (gr. *sunergia*, coopération)

Association de plusieurs organes pour l'accomplissement d'une fonction.



Enjeux scientifiques

- Autonomie du contrôleur de mouvement
 - Contrôle par la spécification de la tâche
 - Sans intervention d'un animateur
- Réalisme des mouvements
 - Mécanismes fonctionnels du contrôle moteur
 - Prise en compte des spécificités individuelles
- Analyse des mouvements d'un sujet

Synergie (Larousse) - n.f. (gr. *sunergia*, coopération)

Association de plusieurs organes pour l'accomplissement d'une fonction.



Enjeux scientifiques

- Autonomie du contrôleur de mouvement
 - Contrôle par la spécification de la tâche
 - Sans intervention d'un animateur
- Réalisme des mouvements
 - Mécanismes fonctionnels du contrôle moteur
 - Prise en compte des spécificités individuelles
- Analyse des mouvements d'un sujet

Synergie (Larousse) - n.f. (gr. *sunergia*, coopération)

Association de plusieurs organes pour l'accomplissement d'une fonction.



Plan

- 1 État de l'art
- 2 Modélisation et apprentissage de synergies
- 3 Expérimentations sur le modèle
- 4 Exploitation des résultats
- 5 Bilan & Perspectives



Plan

- 1 État de l'art
- 2 Modélisation et apprentissage de synergies
- 3 Expérimentations sur le modèle
- 4 Exploitation des résultats
- 5 Bilan & Perspectives



Autonomie du contrôleur

■ Méthodes globales

[Witkin1985, Cohen1992, Courty2007, Safonova2007]

- Optimisation de l'ensemble des postures
- + Critère minimisé / - Hors ligne



■ Méthodes locales

[Gibet1995, Moosavian2007, Marteau2007]

- Optimisation de la posture suivante
- + En ligne / - Pas de critère global

■ Méthodes hybrides

[Wiley1997, Lee1999, Raunhardt2009]

- Global : planification des trajectoires
- Local : suivi posture par posture
- + Exploration / - Discontinuités



Autonomie du contrôleur

■ Méthodes globales

[Witkin1985, Cohen1992, Courty2007, Safonova2007]

- Optimisation de l'ensemble des postures
- + Critère minimisé / - Hors ligne



■ Méthodes locales

[Gibet1995, Moosavian2007, Marteau2007]

- Optimisation de la posture suivante
- + En ligne / - Pas de critère global



■ Méthodes hybrides

[Wiley1997, Lee1999, Raunhardt2009]

- Global : planification des trajectoires
- Local : suivi posture par posture
- + Exploration / - Discontinuités



Autonomie du contrôleur

■ Méthodes globales

[Witkin1985, Cohen1992, Courty2007, Safonova2007]

- Optimisation de l'ensemble des postures
- + Critère minimisé / - Hors ligne



■ Méthodes locales

[Gibet1995, Moosavian2007, Marteau2007]

- Optimisation de la posture suivante
- + En ligne / - Pas de critère global



■ Méthodes hybrides

[Wiley1997, Lee1999, Raunhardt2009]

- Global : planification des trajectoires
- Local : suivi posture par posture
- + Exploration / - Discontinuités





Réalisme des mouvements

■ Modélisation simplifiée des lois du mouvement

- Résolution bio-mimétiques [Bullock1993, Gibet1994, Souères2007]
- Ajout de tâches secondaires [Maciejewski1985, Badler1987, Baerlocher2004]
- Modélisation physique [Witkin1988, Hodgins1995, Bouënard2009]
- + Compréhension / - Pas de spécialisation à un individu

■ Exploitation de mouvements capturés

- Déformation de mouvements [Bruderlin1995, Kovar2002, LeCallennec2006]
- Apprentissage statistique [Oyama2001, Grochow2004, Tournier2009]
- + Base réelle / - Validité de la transformation

■ Méthodes hybrides

- Primitives motrices [Schaal2003, Tuan2009]
- Contraintes cinématiques [Multon2007, Raunhardt2009]
- + Limitation des données / - Spécificité à une tâche



Réalisme des mouvements

■ Modélisation simplifiée des lois du mouvement

- Résolution bio-mimétiques [Bullock1993, Gibet1994, Souères2007]
- Ajout de tâches secondaires [Maciejewski1985, Badler1987, Baerlocher2004]
- Modélisation physique [Witkin1988, Hodgins1995, Bouënard2009]
- + Compréhension / - Pas de spécialisation à un individu

■ Exploitation de mouvements capturés

- Déformation de mouvements [Bruderlin1995, Kovar2002, LeCallennec2006]
- Apprentissage statistique [Oyama2001, Grochow2004, Tournier2009]
- + Base réelle / - Validité de la transformation

■ Méthodes hybrides

- Primitives motrices [Schaal2003, Tuan2009]
- Contraintes cinématiques [Multon2007, Raunhardt2009]
- + Limitation des données / - Spécificité à une tâche



Réalisme des mouvements

■ Modélisation simplifiée des lois du mouvement

- Résolution bio-mimétiques [Bullock1993, Gibet1994, Souères2007]
- Ajout de tâches secondaires [Maciejewski1985, Badler1987, Baerlocher2004]
- Modélisation physique [Witkin1988, Hodgins1995, Bouënard2009]
- + Compréhension / - Pas de spécialisation à un individu

■ Exploitation de mouvements capturés

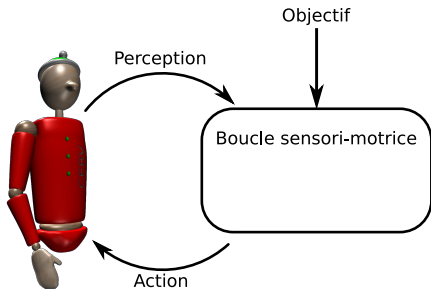
- Déformation de mouvements [Bruderlin1995, Kovar2002, LeCallennec2006]
- Apprentissage statistique [Oyama2001, Grochow2004, Tournier2009]
- + Base réelle / - Validité de la transformation

■ Méthodes hybrides

- Primitives motrices [Schaal2003, Tuan2009]
- Contraintes cinématiques [Multon2007, Raunhardt2009]
- + Limitation des données / - Spécificité à une tâche



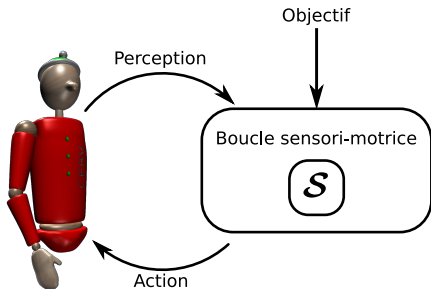
Proposition



- Autonomie du contrôle : optimisation locale
 - **boucle sensori-motrice** : simplicité et efficacité



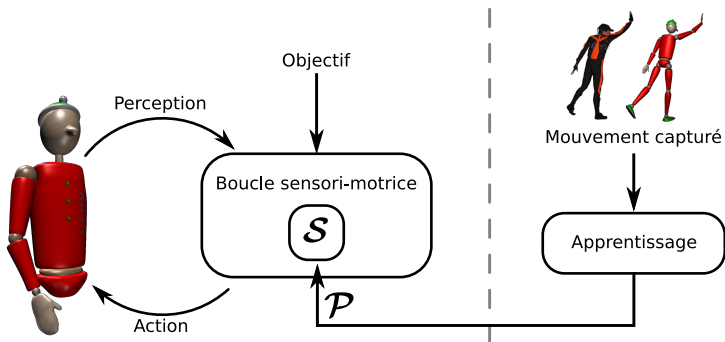
Proposition



- Réalisme : méthode hybride
 - **modélisation** des synergies (\mathcal{S})
 - apprentissage des spécificités individuelles (\mathcal{P})



Proposition

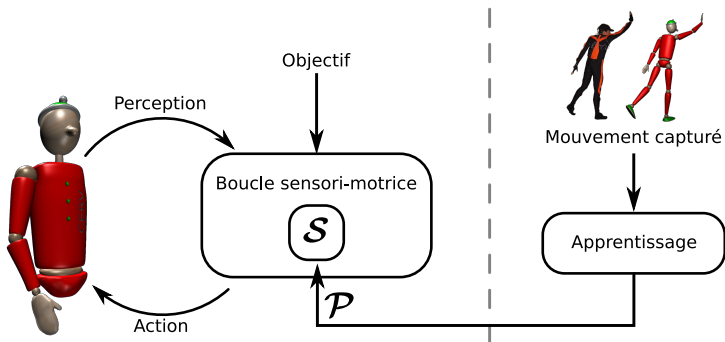


■ Réalisme : méthode hybride

- modélisation des synergies (S)
- **apprentissage** des spécificités individuelles (P)



Proposition



- Exploitation : extrapolation et analyse des spécificités d'un sujet



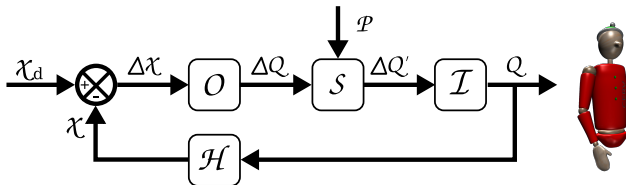
Plan

- 1 État de l'art
- 2 Modélisation et apprentissage de synergies
- 3 Expérimentations sur le modèle
- 4 Exploitation des résultats
- 5 Bilan & Perspectives



Modélisation des synergies

Boucle sensori-motrice



■ Boucle sensori-motrice

- Perception : objectif (\mathcal{X}_d), position de l'extrémité (\mathcal{X})
- Action : posture suivante (Q_t)

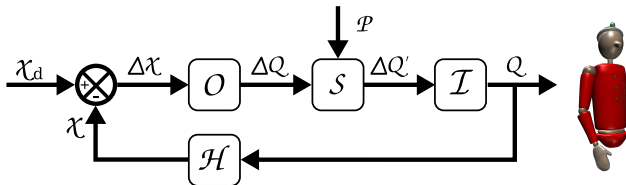
■ Fonctionnement :

- \mathcal{H} : calcul de l'erreur $\Delta \mathcal{X} = \mathcal{X}_d - \mathcal{H}(Q_t)$
- \mathcal{O} : calcul d'une commande $\Delta Q = \alpha J^T(Q) \cdot \Delta \mathcal{X}$
- \mathcal{S} : reproduction de la synergie \mathcal{P} $\Delta Q' = S_p(t) \cdot \Delta Q$
- \mathcal{I} : réalisation de la commande $\Delta Q'$ $Q_{t+dt} = Q_t + \Delta Q \cdot dt$



Modélisation des synergies

Boucle sensori-motrice



■ Boucle sensori-motrice

- Perception : objectif (\mathcal{X}_d), position de l'extrémité (\mathcal{X})
- Action : posture suivante (Q_t)

■ Fonctionnement :

- \mathcal{H} : calcul de l'erreur
- \mathcal{O} : calcul d'une commande
- \mathcal{S} : reproduction de la synergie \mathcal{P}
- \mathcal{I} : réalisation de la commande $\Delta Q'$

$$\Delta \mathcal{X} = \mathcal{X}_d - \mathcal{H}(Q_t)$$

$$\Delta Q = \alpha J^T(Q) \cdot \Delta \mathcal{X}$$

$$\Delta Q' = \mathcal{S}_{\mathcal{P}}(t) \cdot \Delta Q$$

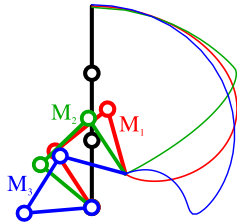
$$Q_{t+dt} = Q_t + \Delta Q \cdot dt$$



Modélisation des synergies

$$\Delta Q' = S_{\mathcal{P}}(t) \cdot \Delta Q$$

$$S_{\mathcal{P}}(t) = \underbrace{\begin{pmatrix} g_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & g_2 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & g_n \end{pmatrix}}_M \cdot \underbrace{\frac{1}{1 + e^{-s \cdot (t-o)}}}_{\phi(t)}$$



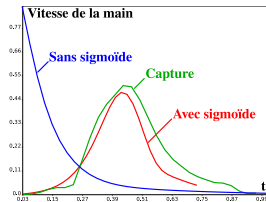
- M : composante spatiale
 - Coopération entre les différents degrés de liberté
- $\phi(t)$: composante temporelle [Bullock1993, Gibet1994]
 - Dynamique temporelle du mouvement
- \mathcal{P} : paramètres du modèle
 - Représentation des spécificités d'un mouvement



Modélisation des synergies

$$\Delta Q' = S_{\mathcal{P}}(t) \cdot \Delta Q$$

$$S_{\mathcal{P}}(t) = \underbrace{\begin{pmatrix} g_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & g_2 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & g_n \end{pmatrix}}_M \cdot \underbrace{\frac{1}{1 + e^{-s \cdot (t-o)}}}_{\phi(t)}$$



- M : composante spatiale
 - Coopération entre les différents degrés de liberté
- $\phi(t)$: composante temporelle [Bullock1993, Gibet1994]
 - Dynamique temporelle du mouvement
- \mathcal{P} : paramètres du modèle
 - Représentation des spécificités d'un mouvement



Modélisation des synergies

$$\Delta Q' = \mathcal{S}_{\mathcal{P}}(t) \cdot \Delta Q$$

$$\mathcal{S}_{\mathcal{P}}(t) = \underbrace{\begin{pmatrix} g_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & g_2 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & g_n \end{pmatrix}}_M \cdot \underbrace{\frac{1}{1 + e^{-s \cdot (t-o)}}}_{\phi(t)} \quad \mathcal{P} = \{o, s, g_1, \dots, g_n\}$$

- M : composante spatiale
 - Coopération entre les différents degrés de liberté
- $\phi(t)$: composante temporelle [Bullock1993, Gibet1994]
 - Dynamique temporelle du mouvement
- \mathcal{P} : paramètres du modèle
 - Représentation des spécificités d'un mouvement



Apprentissage de synergies



↓ \mathcal{M}_C

↓
 $\{o, s, g_1, \dots, g_n\}$

Exemple

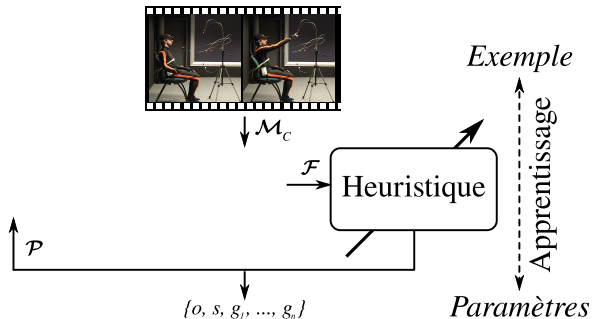
↑
Apprentissage
↓

Paramètres

- Heuristique : recherche des paramètres optimaux
- Score \mathcal{F} : évaluation d'un jeu de paramètres \mathcal{P}
 - Distance entre mouvements capturé et synthétisé ($d_{\mathcal{M}}$)
 - Optimal : mouvements identiques, $\mathcal{F} \rightarrow 0$



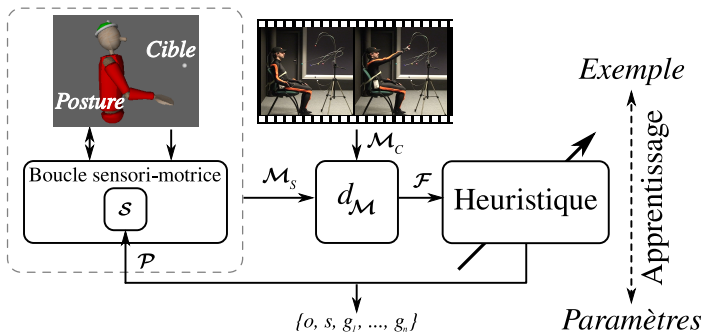
Apprentissage de synergies



- Heuristique : recherche des paramètres optimaux
- Score \mathcal{F} : évaluation d'un jeu de paramètres \mathcal{P}
 - Distance entre mouvements capturés et synthétisés ($d_{\mathcal{M}}$)
 - Optimal : mouvements identiques, $\mathcal{F} \rightarrow 0$



Apprentissage de synergies

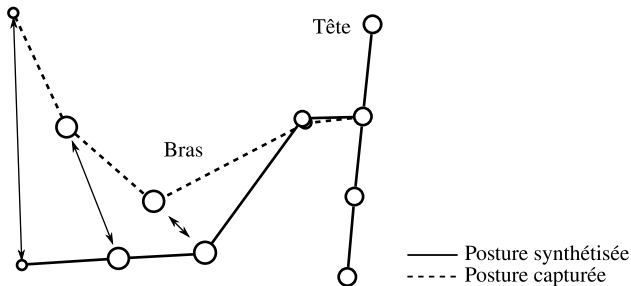


- Heuristique : recherche des paramètres optimaux
- Score \mathcal{F} : évaluation d'un jeu de paramètres \mathcal{P}
 - Distance entre mouvements capturé et synthétisé ($d_{\mathcal{M}}$)
 - Optimal : mouvements identiques, $\mathcal{F} \rightarrow 0$



Apprentissage de synergies

Evaluation d'un jeu de paramètres \mathcal{P}



- Distance d_M entre mouvement capturé / synthétisé
 - Moyenne des distances euclidiennes entre les articulations
 - Superposition des mouvements au même instant
- Score : $\mathcal{F} = d_M(\mathcal{M}_C, \mathcal{M}_S[\mathcal{P}])$
- Pénalités : Cible non atteinte ($\times 5$), instabilité ($\times 2.5$)



Plan

- 1 État de l'art
- 2 Modélisation et apprentissage de synergies
- 3 Expérimentations sur le modèle
- 4 Exploitation des résultats
- 5 Bilan & Perspectives



Présentation

- Objectifs des expériences, évaluer :
 - La capacité à reproduire les exemples
 - La qualité et la fiabilité des résultats
 - La généralité de l'architecture du modèle
- Synthèse de mouvement
 - Contrôle du bras (7 degrés de liberté)
 - Fonction d'optimisation : J^T / J^+
- Données d'apprentissage
 - 1 sujet valide → 30 cibles différentes
 - 30 mouvements d'atteinte de cible
 - Filtrage : mouvements du bras



Présentation

[Pinocchio - 7 DDL]

- Objectifs des expériences, évaluer :
 - La capacité à reproduire les exemples
 - La qualité et la fiabilité des résultats
 - La généralité de l'architecture du modèle
- Synthèse de mouvement
 - Contrôle du bras (7 degrés de liberté)
 - Fonction d'optimisation : J^T / J^+
- Données d'apprentissage
 - 1 sujet valide → 30 cibles différentes
 - 30 mouvements d'atteinte de cible
 - Filtrage : mouvements du bras





Présentation

- Objectifs des expériences, évaluer :
 - La capacité à reproduire les exemples
 - La qualité et la fiabilité des résultats
 - La généralité de l'architecture du modèle
- Synthèse de mouvement
 - Contrôle du bras (7 degrés de liberté)
 - Fonction d'optimisation : J^T / J^+
- Données d'apprentissage
 - 1 sujet valide → 30 cibles différentes
 - 30 mouvements d'atteinte de cible
 - Filtrage : mouvements du bras

[Pinocchio - 7 DDL]



[Ronan Billon - Moven©]



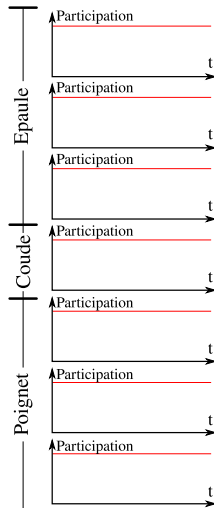


Expérience I

Comparaison de modèles de synergies

- A. 1 gain commun
Boucle sensori-motrice sans synergies
- B. 1 gain commun, 1 sigmoïde commune
Adaptation de la dynamique du mouvement
- S. 7 gains, 1 sigmoïde commune
Coopération entre degrés de libertés
- C. 7 gains, 7 sigmoïdes
Séparation de la dynamique

	A	B	S	C
\mathcal{F}_{moy}	34.769			
σ_{moy}	1.625			



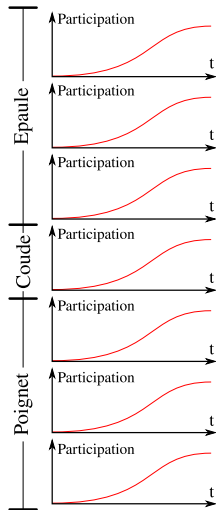


Expérience I

Comparaison de modèles de synergies

- A. 1 gain commun
Boucle sensori-motrice sans synergies
- B. 1 gain commun, 1 sigmoïde commune
Adaptation de la dynamique du mouvement
- S. 7 gains, 1 sigmoïde commune
Coopération entre degrés de libertés
- C. 7 gains, 7 sigmoïdes
Séparation de la dynamique

	A	B	S	C
\mathcal{F}_{moy}	34.769	14.873		
σ_{moy}	1.625	1.074		



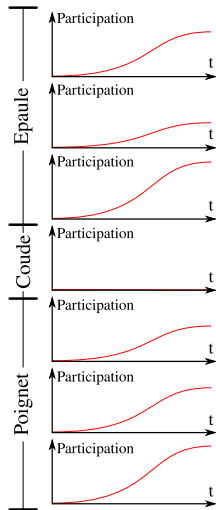


Expérience I

Comparaison de modèles de synergies

- A. 1 gain commun
Boucle sensori-motrice sans synergies
- B. 1 gain commun, 1 sigmoïde commune
Adaptation de la dynamique du mouvement
- S. 7 gains, 1 sigmoïde commune
Coopération entre degrés de libertés
- C. 7 gains, 7 sigmoïdes
Séparation de la dynamique

	A	B	S	C
\mathcal{F}_{moy}	34.769	14.873	11.569	
σ_{moy}	1.625	1.074	0.594	



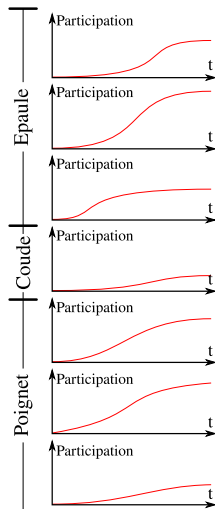


Expérience I

Comparaison de modèles de synergies

- A. 1 gain commun
Boucle sensori-motrice sans synergies
- B. 1 gain commun, 1 sigmoïde commune
Adaptation de la dynamique du mouvement
- S. 7 gains, 1 sigmoïde commune
Coopération entre degrés de libertés
- C. 7 gains, 7 sigmoïdes
Séparation de la dynamique

	A	B	S	C
\mathcal{F}_{moy}	34.769	14.873	11.569	7.613
σ_{moy}	1.625	1.074	0.594	2.266





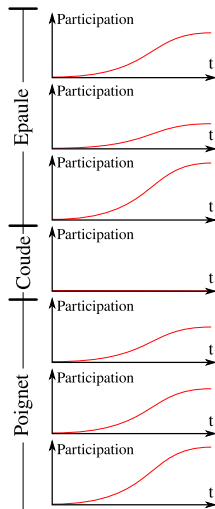
Expérience I

Comparaison de modèles de synergies

- A. 1 gain commun
Boucle sensori-motrice sans synergies
- B. 1 gain commun, 1 sigmoïde commune
Adaptation de la dynamique du mouvement
- S. 7 gains, 1 sigmoïde commune
Coopération entre degrés de libertés
- C. 7 gains, 7 sigmoïdes
Séparation de la dynamique

	A	B	S	C
\mathcal{F}_{moy}	34.769	14.873	11.569	7.613
σ_{moy}	1.625	1.074	0.594	2.266

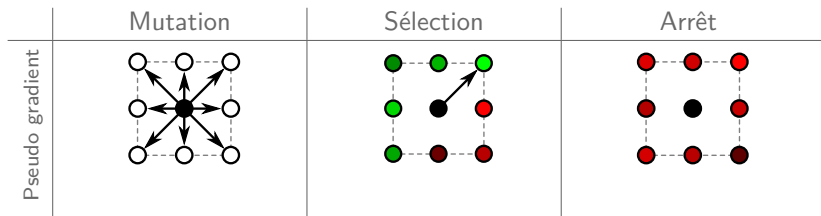
Compromis entre qualité et complexité





Expérience II-1

Comparaison d'heuristiques



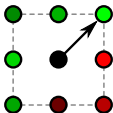
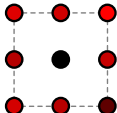
Problème

- Nombre d'évaluation conséquent
- Solution fonction de l'initialisation
- → Utilisation d'heuristiques stochastiques



Expérience II-1

Comparaison d'heuristiques

	Mutation	Sélection	Arrêt
Pseudo gradient	3^9 combinaisons × 700 générations $\approx 14 \cdot 10^6$ évaluations $\sim 16h$ ⁽¹⁾		

Problème

- Nombre d'évaluation conséquent
- Solution fonction de l'initialisation
- → Utilisation d'heuristiques stochastiques

⁽¹⁾ Processeur Intel Core 2 Quad, Q6600, 2.40GHz, 4Go de RAM, calcul sur 1 coeur



Expérience II-1

Comparaison d'heuristiques

	Mutation	Sélection	Arrêt
Pseudo gradient	3^9 combinaisons × 700 générations $\approx 14 \cdot 10^6$ évaluations $\sim 16h$ ⁽¹⁾	Exploration limitée	Minimum local

Problème

- Nombre d'évaluation conséquent
- Solution fonction de l'initialisation
- → Utilisation d'heuristiques stochastiques

⁽¹⁾ Processeur Intel Core 2 Quad, Q6600, 2.40GHz, 4Go de RAM, calcul sur 1 coeur



Expérience II-1

Comparaison d'heuristiques

	Mutation	Sélection	Arrêt
Pseudo gradient	3^9 combinaisons × 700 générations $\approx 14 \cdot 10^6$ évaluations $\sim 16h$ ⁽¹⁾	Exploration limitée	Minimum local

Problème

- Nombre d'évaluation conséquent
- Solution fonction de l'initialisation
- → Utilisation d'heuristiques stochastiques

⁽¹⁾ Processeur Intel Core 2 Quad, Q6600, 2.40GHz, 4Go de RAM, calcul sur 1 coeur



Expérience II-2

Comparaison d'heuristiques

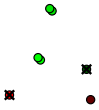

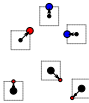
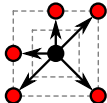
	Mutation	Sélection	Arrêt
Algo. génétique			
Recuit simulé			

- Efficacité des approches
- Bonne exploration de l'environnement
- Critère de stabilité important pour la fiabilité des résultats



Expérience II-2

Comparaison d'heuristiques

	Mutation	Sélection	Arrêt
Algo. génétique	15 individus × 5000 générations = 75000 évaluations ~ 30 min ⁽¹⁾		
Recuit simulé	10 individus × 5630 générations = 56300 évaluations ~ 21 min ⁽¹⁾		


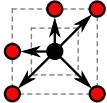
- Efficacité des approches
- Bonne exploration de l'environnement
- Critère de stabilité important pour la fiabilité des résultats

⁽¹⁾ Processeur Intel Core 2 Quad, Q6600, 2.40GHz, 4Go de RAM, calcul sur 1 coeur



Expérience II-2

Comparaison d'heuristiques

	Mutation	Sélection	Arrêt
Algo. génétique	15 individus × 5000 générations = 75000 évaluations ~ 30 min ⁽¹⁾	30 mouvements $\mathcal{F}_{moy} : 11.573$	 5000
Recuit simulé	10 individus × 5630 générations = 56300 évaluations ~ 21 min ⁽¹⁾	30 mouvements $\mathcal{F}_{moy} : 11.569$	

- Efficacité des approches
- Bonne exploration de l'environnement
- Critère de stabilité important pour la fiabilité des résultats

⁽¹⁾ Processeur Intel Core 2 Quad, Q6600, 2.40GHz, 4Go de RAM, calcul sur 1 coeur



Expérience II-2

Comparaison d'heuristiques

	Mutation	Sélection	Arrêt
Algo. génétique	15 individus × 5000 générations = 75000 évaluations ~ 30 min ⁽¹⁾	30 mouvements $\mathcal{F}_{moy} : 11.573$	20 apprentissages $\sigma_{\mathcal{F}} : 0.964$
Recuit simulé	10 individus × 5630 générations = 56300 évaluations ~ 21 min ⁽¹⁾	30 mouvements $\mathcal{F}_{moy} : 11.569$	20 apprentissages $\sigma_{\mathcal{F}} : 0.594$

- Efficacité des approches
- Bonne exploration de l'environnement
- Critère de stabilité important pour la fiabilité des résultats

⁽¹⁾ Processeur Intel Core 2 Quad, Q6600, 2.40GHz, 4Go de RAM, calcul sur 1 coeur



Expérience III : Généricité de l'architecture

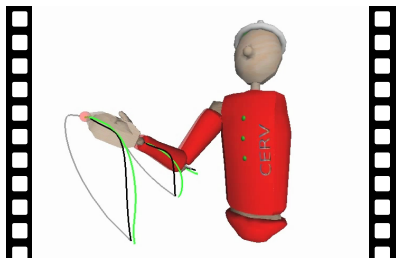
Comparaison de fonctions d'optimisations

- Deux fonctions d'optimisation différentes
 - Jacobienne transposée (J^T)
 - Pseudo inverse (J^+)
- Modèle applicable aux deux fonctions d'optimisation

	J^T	J^+
\mathcal{F}_{moy} (sans synergies)	38.55	35.41
\mathcal{F}_{moy} (avec synergies)	11.57	10.31
Amélioration	70.0%	70.9%



Résultats visuels de l'apprentissage



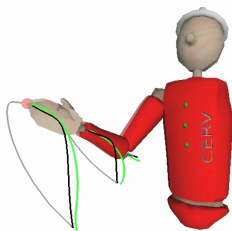
Trajectoires

Bilan

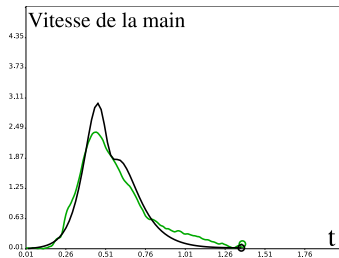
- Reproduction des spécificités grâce aux paramètres
- 30 mouvements → 30 jeux de paramètres



Résultats visuels de l'apprentissage



Trajectoires



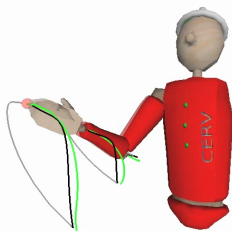
Dynamique temporelle

Bilan

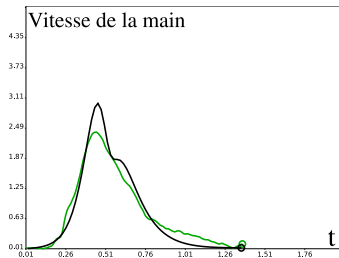
- Reproduction des spécificités grâce aux paramètres
- 30 mouvements → 30 jeux de paramètres



Résultats visuels de l'apprentissage



Trajectoires



Dynamique temporelle

Bilan

- Reproduction des spécificités grâce aux paramètres
- 30 mouvements → 30 jeux de paramètres

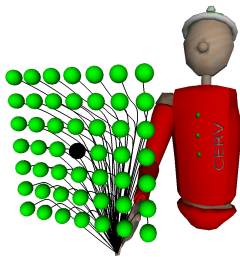


Plan

- 1 État de l'art
- 2 Modélisation et apprentissage de synergies
- 3 Expérimentations sur le modèle
- 4 Exploitation des résultats
- 5 Bilan & Perspectives



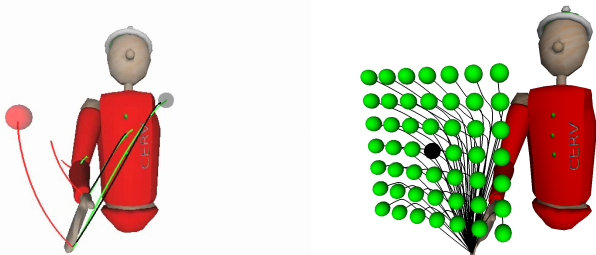
Exploitation I : Extrapolation de synergies



- Problème : sélection du jeu de paramètres adéquat
- Un catalogue de synergies
 - Liens entre postures initiales, cibles et paramètres
 - Choix de l'exemple le plus proche (posture initiale, cible)



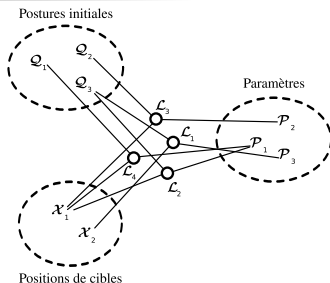
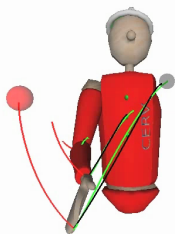
Exploitation I : Extrapolation de synergies



- Problème : sélection du jeu de paramètres adéquat
- Un catalogue de synergies
 - Liens entre postures initiales, cibles et paramètres
 - Choix de l'exemple le plus proche (posture initiale, cible)



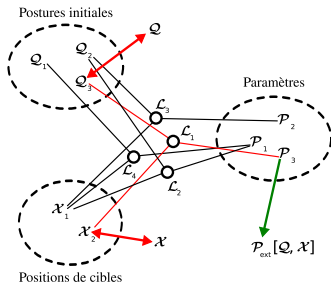
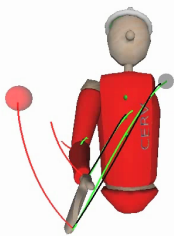
Exploitation I : Extrapolation de synergies



- Problème : sélection du jeu de paramètres adéquat
- Un catalogue de synergies
 - Liens entre postures initiales, cibles et paramètres
 - Choix de l'exemple le plus proche (posture initiale, cible)



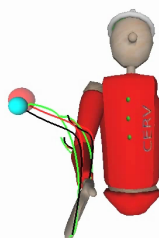
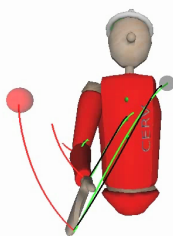
Exploitation I : Extrapolation de synergies



- Problème : sélection du jeu de paramètres adéquat
- Un catalogue de synergies
 - Liens entre postures initiales, cibles et paramètres
 - Choix de l'exemple le plus proche (posture initiale, cible)



Exploitation I : Extrapolation de synergies



- Problème : sélection du jeu de paramètres adéquat
- Un catalogue de synergies
 - Liens entre postures initiales, cibles et paramètres
 - Choix de l'exemple le plus proche (posture initiale, cible)



Exploitation I : Extrapolation de synergies

Limitation du nombre d'exemples

- Perte de qualité moyenne entre :

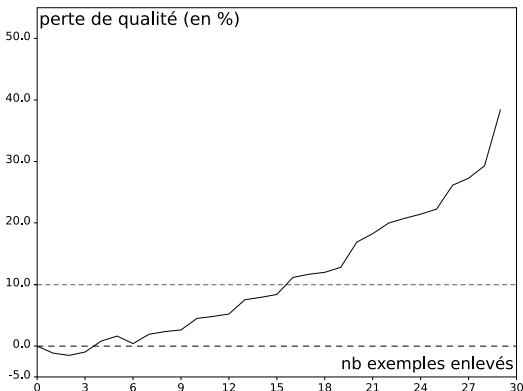
- Jeu de paramètres appris

- Jeu de paramètres extrapolé

$$d_{\mathcal{M}}(\mathcal{M}_{C,i}, \mathcal{M}_S[\mathcal{P}_i])$$

$$d_{\mathcal{M}}(\mathcal{M}_{C,i}, \mathcal{M}_S[\mathcal{P}_{ext}])$$

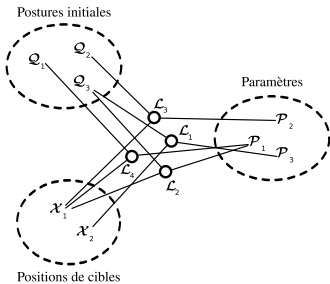
- En fonction du nombre d'exemples enlevés du catalogue





Exploitation II : Classification des synergies

Etude des spécificités d'un sujet

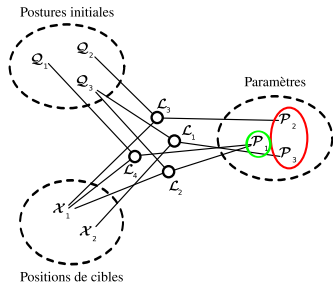


- Hypothèse : \mathcal{P} représente les spécificités une synergie
- Regroupement des synergies similaires
 - k -means [Lloyd, 1982]
 - Distance entre les valeurs des paramètres



Exploitation II : Classification des synergies

Etude des spécificités d'un sujet

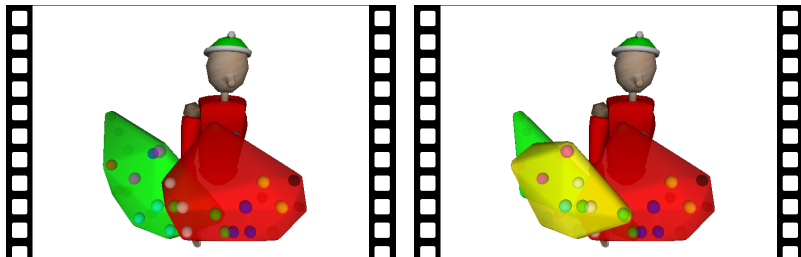


- Hypothèse : \mathcal{P} représente les spécificités une synergie
- Regroupement des synergies similaires
 - *k*-means [Lloyd, 1982]
 - Distance entre les valeurs des paramètres



Exploitation II : Classification des synergies

Visualisation des groupes de synergies



- Possibilité de régler la granularité
- Sélection du critère de comparaison



Plan

- 1 État de l'art
- 2 Modélisation et apprentissage de synergies
- 3 Expérimentations sur le modèle
- 4 Exploitation des résultats
- 5 Bilan & Perspectives



Bilan

- Autonomie et réalisme
 - Optimisation locale : boucle sensori-motrice
 - Approche hybride : modélisation des synergies et apprentissage à partir de mouvements capturés
- De nombreuses expériences pour éprouver le modèle
 - Mouvements visuellement proches des originaux
 - Apprentissage stochastique fiable grâce au critère de stabilité
 - Architecture modulaire (optimisation, synergie, heuristique)
- Possibilité d'exploitation des résultats
 - Synthèse de nouveaux mouvements
 - Analyse des spécificités d'un sujet



Bilan

- Autonomie et réalisme
 - Optimisation locale : boucle sensori-motrice
 - Approche hybride : modélisation des synergies et apprentissage à partir de mouvements capturés
- De nombreuses expériences pour éprouver le modèle
 - Mouvements visuellement proches des originaux
 - Apprentissage stochastique fiable grâce au critère de stabilité
 - Architecture modulaire (optimisation, synergie, heuristique)
- Possibilité d'exploitation des résultats
 - Synthèse de nouveaux mouvements
 - Analyse des spécificités d'un sujet



Bilan

- Autonomie et réalisme
 - Optimisation locale : boucle sensori-motrice
 - Approche hybride : modélisation des synergies et apprentissage à partir de mouvements capturés
- De nombreuses expériences pour éprouver le modèle
 - Mouvements visuellement proches des originaux
 - Apprentissage stochastique fiable grâce au critère de stabilité
 - Architecture modulaire (optimisation, synergie, heuristique)
- Possibilité d'exploitation des résultats
 - Synthèse de nouveaux mouvements
 - Analyse des spécificités d'un sujet



Perspectives

- Modélisation d'autres spécificités du mouvement humain
 - Variabilité du mouvement humain
 - Perturbations au cours du mouvement

- Utilisation du modèle
 - Etude des spécificités de sujets handicapés

- Extensions du modèle
 - Contrôle de l'ensemble du corps
 - Modélisation d'autres types de mouvements



Perspectives

- Modélisation d'autres spécificités du mouvement humain
 - Variabilité du mouvement humain
 - Perturbations au cours du mouvement

- Utilisation du modèle
 - Etude des spécificités de sujets handicapés

- Extensions du modèle
 - Contrôle de l'ensemble du corps
 - Modélisation d'autres types de mouvements



Perspectives

- Modélisation d'autres spécificités du mouvement humain
 - Variabilité du mouvement humain
 - Perturbations au cours du mouvement

- Utilisation du modèle
 - Etude des spécificités de sujets handicapés

- Extensions du modèle
 - Contrôle de l'ensemble du corps
 - Modélisation d'autres types de mouvements

Modélisation et apprentissage de synergies pour le contrôle du mouvement de personnages virtuels

Application au geste d'atteinte de cible

Matthieu Aubry

12 juillet 2010

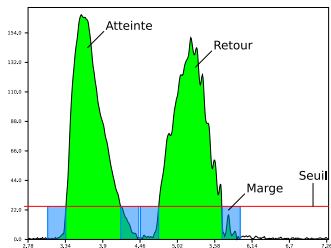
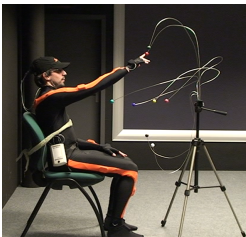


VALORIA





Protocole de capture



- 1 Capture du mouvement d'atteinte (aller + retour)
- 2 Segmentation du mouvement
- 3 Définition posture initiale, position de la cible



Distance entre mouvements

$$d_{\mathcal{M}}(\mathcal{M}_1, \mathcal{M}_2) = \frac{1}{\min(T_1, T_2)} \cdot \sum_{t=0}^{\min(T_1, T_2)} d_{\mathcal{Q}}(\mathcal{M}_1(t), \mathcal{M}_2(t))$$

$$d_{\mathcal{Q}}(\mathcal{Q}_1, \mathcal{Q}_2) = \sum_{j=1}^m \|\mathcal{X}_j[\mathcal{Q}_1] - \mathcal{X}_j[\mathcal{Q}_2]\|$$

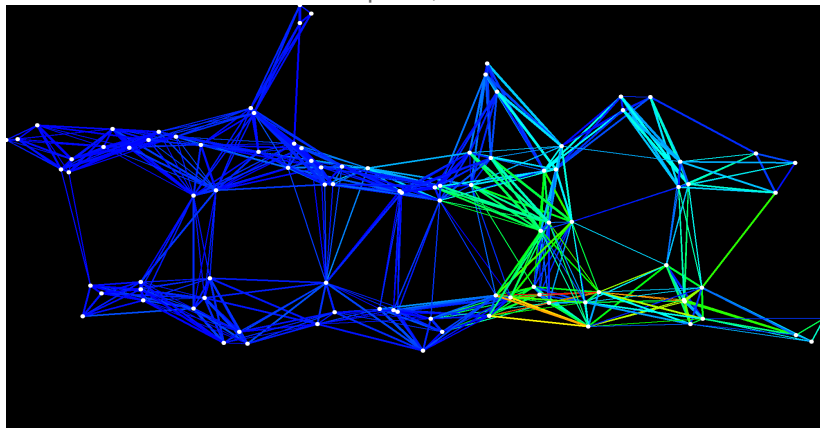
- Distance entre mouvements $d_{\mathcal{M}}$
 - T_i : durée du mouvement \mathcal{M}_i
 - $\mathcal{M}_i(t)$ la posture du mouvement i à l'instant t
- Distance entre postures $d_{\mathcal{Q}}$
 - $\mathcal{X}_j[\mathcal{Q}_i]$: position du marqueur j pour la posture \mathcal{Q}_i
 - m : nombre de marqueurs dans la chaîne articulée (un par articulation, plus un pour l'extrémité de la chaîne)



Interpolation des paramètres ?

- Projection en 2D des cibles
- Arc : distance entre les valeurs pour les deux cibles

Epaule, Rx

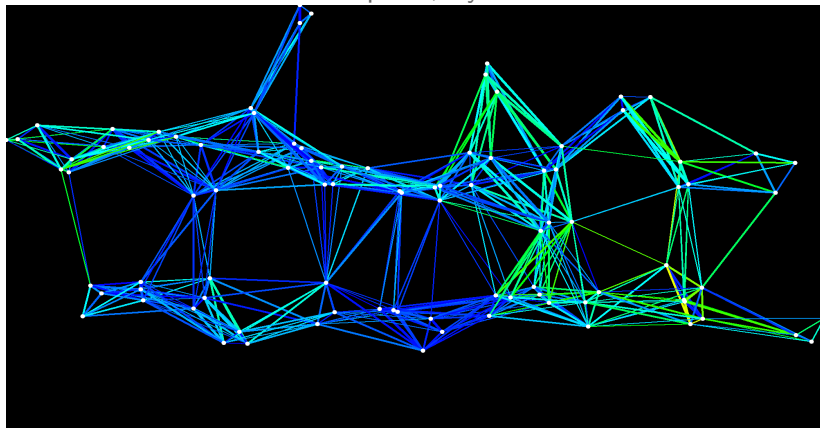




Interpolation des paramètres ?

- Projection en 2D des cibles
- Arc : distance entre les valeurs pour les deux cibles

Epaule, Ry

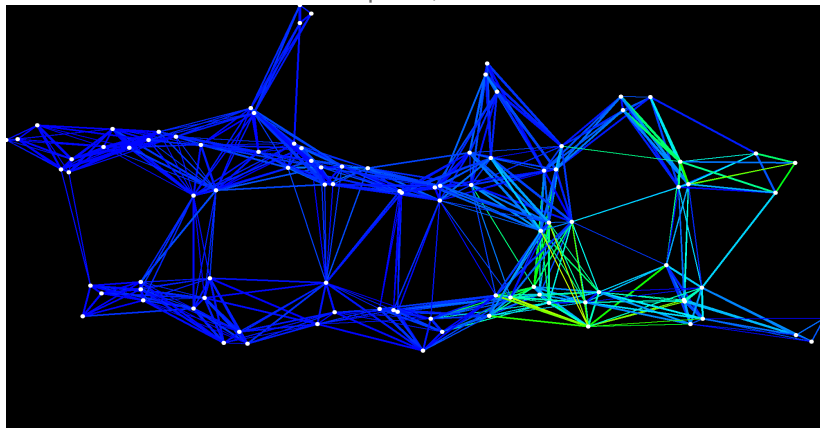




Interpolation des paramètres ?

- Projection en 2D des cibles
- Arc : distance entre les valeurs pour les deux cibles

Epaule, Rz

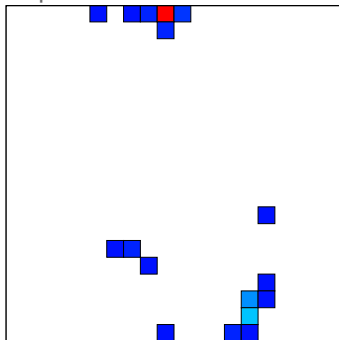




Interpolation des paramètres ?

- Projection en 2D des cibles
- Arc : distance entre les valeurs pour les deux cibles

Projection des paramètres sur une carte de Kohonen

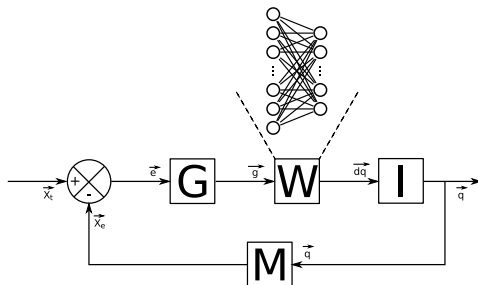




Modélisation locale des préférences articulaires

Modélisation des préférences articulaires

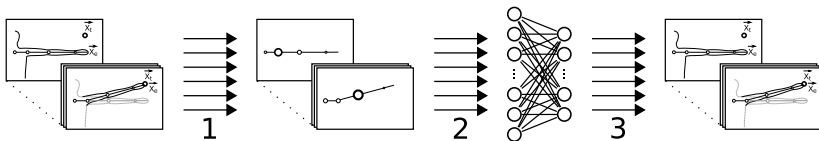
- Réseau de neurones
- $\{ \text{posture, temps, } \|\vec{e}\| \} \Rightarrow \{ \text{pondération} \}$





Modélisation locale des préférences articulaires

Apprentissage à partir de mouvements

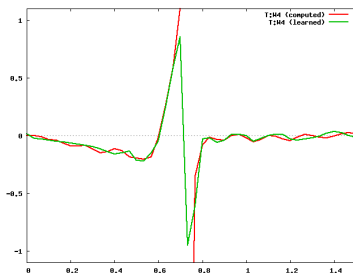
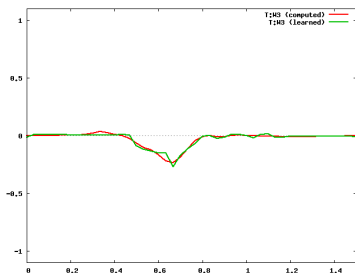


- 1** Extraire les préférences articulaires d'un mouvement
- 2** Entraîner un réseau de neurones
- 3** Utiliser ce réseau lors de la synthèse



Modélisation locale des préférences articulaires

Résultats de l'apprentissage



- Evolution au cours du temps
 - En rouge : préférence articulaire calculée
 - En vert : résultat de l'apprentissage
- Précision de l'apprentissage : **97%**



Impact de la précision sur la synthèse

- RdN pondération
 - Erreur de pondération $\sim 3\%$
 - \Rightarrow Erreur de déplacement
- Système en boucle
 - Posture différente en entrée
 - Entrée différente
 - \Rightarrow Sortie différente
 - \Rightarrow Erreur de déplacement
- Diffusion de l'erreur
 - \Rightarrow Instabilité du système



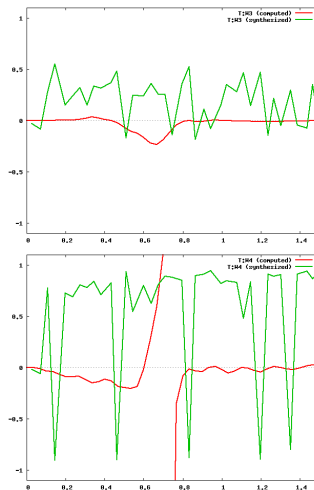
Impact de la précision sur la synthèse

- RdN pondération
 - Erreur de pondération $\sim 3\%$
 - \Rightarrow Erreur de déplacement
- Système en boucle
 - Posture différente en entrée
 - Entrée différente
 - \Rightarrow Sortie différente
 - \Rightarrow Erreur de déplacement
- Diffusion de l'erreur
 - \Rightarrow Instabilité du système



Impact de la précision sur la synthèse

- RdN pondération
 - Erreur de pondération $\sim 3\%$
 - \Rightarrow Erreur de déplacement
- Système en boucle
 - Posture différente en entrée
 - Entrée différente
 - \Rightarrow Sortie différente
 - \Rightarrow Erreur de déplacement
- Diffusion de l'erreur
 - \Rightarrow Instabilité du système

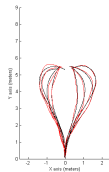




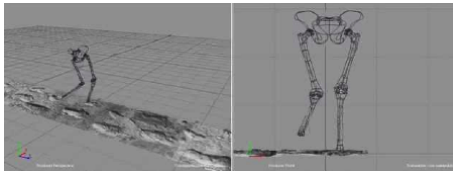


Analyse des mouvements

- Principes de l'analyse
 - Modélisation d'hypothèses sur le contrôle moteur
 - Comparaison entre les mouvements réels et synthétisés
- Applications
 - Modélisation d'invariants du mouvement
[Fitts1967, Viviani1991, Nicolas2007, Schaal2007, Arechavaleta2008]
 - Reproduction du système nerveux
[Bullock1993, Grossberg1993, Hersch2006, Souères2007, Kawato2008, Kambara2009, Tuan2009]



[Arechavaleta2006]



[Nicolas2007]