

M2 ID3D – Animation, corps articulés et moteurs physiques

Contrôle de mouvement

*Nicolas Pronost
Université Lyon 1, LIRIS - SAARA*

<https://perso.liris.cnrs.fr/nicolas.pronost/UCBL/M2ANIM/>

Rappels sur les fondamentaux de l'animation interactive basée physique

Animation interactive basée physique

- Les 3 composants fondamentaux
 - La simulation physique temps-réel
 - lois du mouvement, intégration numérique, détection et traitement des collisions et des contraintes
 - Les objets à animer
 - corps rigides potentiellement articulés
 - masses et inerties des corps rigides, primitives de collision
 - Le contrôleur
 - calcul des valeurs des actionneurs (moments et forces) à appliquer

Actionneurs

- Moments aux articulations



Actionneurs

- Forces externes



Actionneurs

- Forces virtuelles

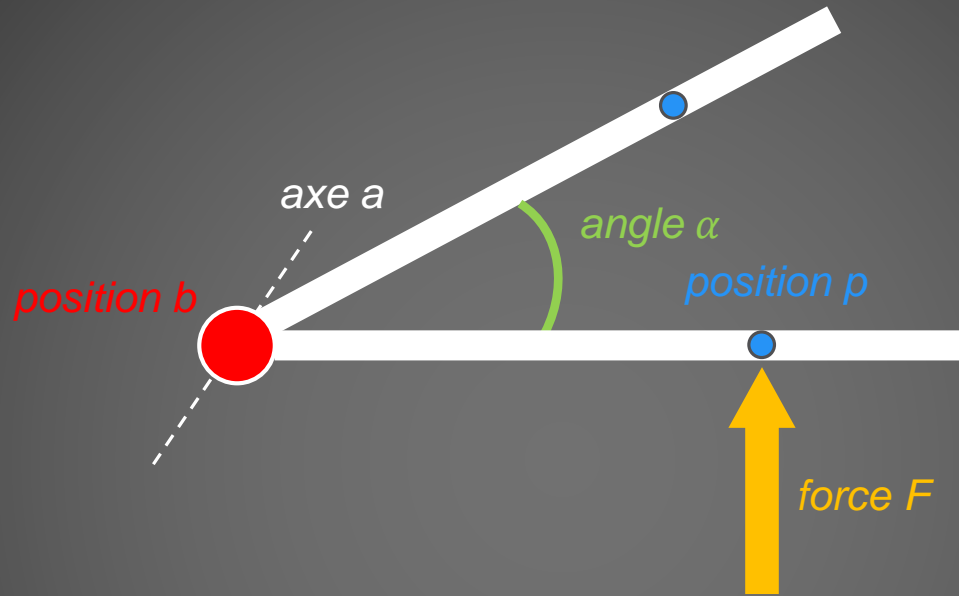


Actionneurs

- Forces musculaires



Forces virtuelles



$$\tau_{\vec{F},b} = \left(\frac{\vec{a}}{\|\vec{a}\|} \times \overrightarrow{bp} \right) \cdot \vec{F}$$

dans la direction \vec{a}

Transposé de Jacobienne

- Le terme $\left(\frac{\vec{a}}{\|\vec{a}\|} \times \overrightarrow{bp}\right)$ décrit la variation de la position p par une rotation autour de \vec{a} en b
- Dans le cas de plusieurs articulations reliées par des corps rigides, on construit une matrice de ces variations
- Chaque ligne de la matrice représente un degré de liberté et est évaluée indépendamment

$$\overrightarrow{\tau}_F = J(p)^T \vec{F}$$

$$\text{avec } J(p)^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial p_x}{\partial \alpha_1} & \frac{\partial p_y}{\partial \alpha_1} & \frac{\partial p_z}{\partial \alpha_1} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial p_x}{\partial \alpha_k} & \frac{\partial p_y}{\partial \alpha_k} & \frac{\partial p_z}{\partial \alpha_k} \end{bmatrix} \text{ et } J(p)_i^T = (\vec{a}_i \times (p - b_i))^T$$

- $J(p)^T$ est appelé la transposé de Jacobienne (J étant la Jacobienne)

Contrôleur de mouvement

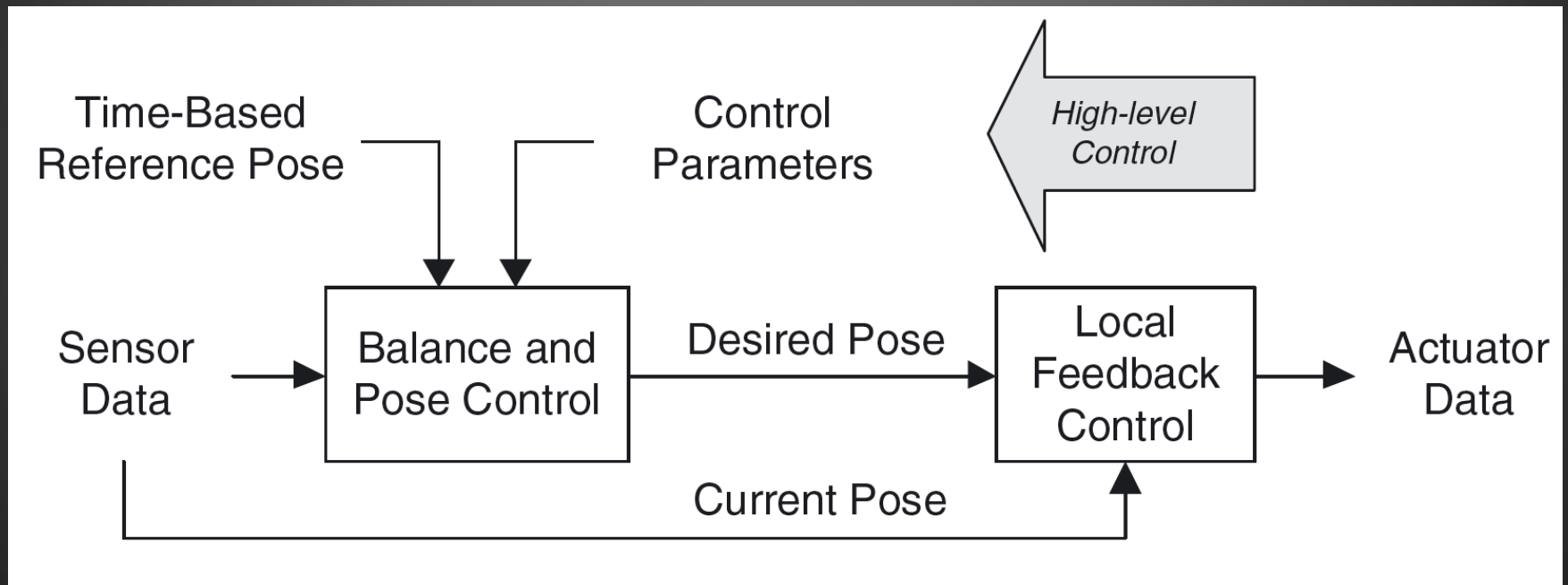
*Interactive character animation using simulated physics: a state-of-the-art review.
Geijtenbeek and Pronost, Computer Graphics Forum (31-8), 2012.*

Conception d'un contrôleur

- Contrôle dans l'espace des articulations
 - Suivi de poses par feedback local
- Contrôle par réseau de réponse à stimulus
 - Evolution génétique du contrôle connectant capteurs et actionneurs
- Contrôle par optimisation de dynamique contrainte
 - Recherche des valeurs optimales des actionneurs

Contrôle des articulations

- Suivi de poses par feedback local



Feedback local

- Calcul des moments articulaires minimisant la différence entre la pose courante et la pose désirée

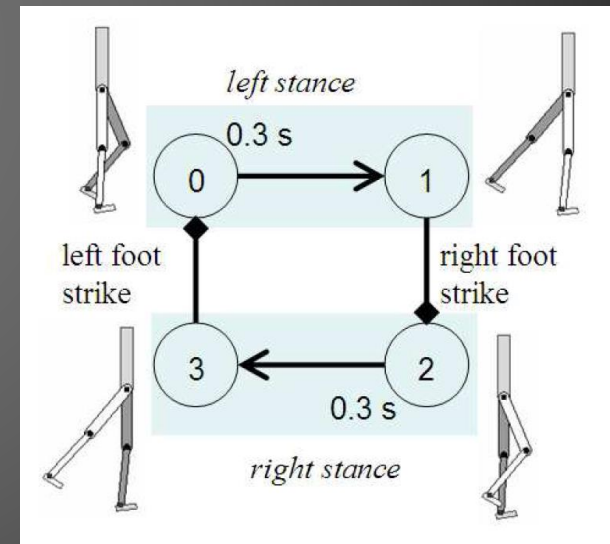
- Régulateurs Proportionnels et Dérivés

$$\tau = k_p(\theta_d - \theta) + k_v(\dot{\theta}_d - \dot{\theta})$$

- $\theta, \dot{\theta}, \theta_d, \dot{\theta}_d$ sont les angles et vitesses angulaires de la pose courante et de la pose désirée
- k_p et k_v sont les gains et régulent la réactivité à la différence d'état

Contrôle de la pose

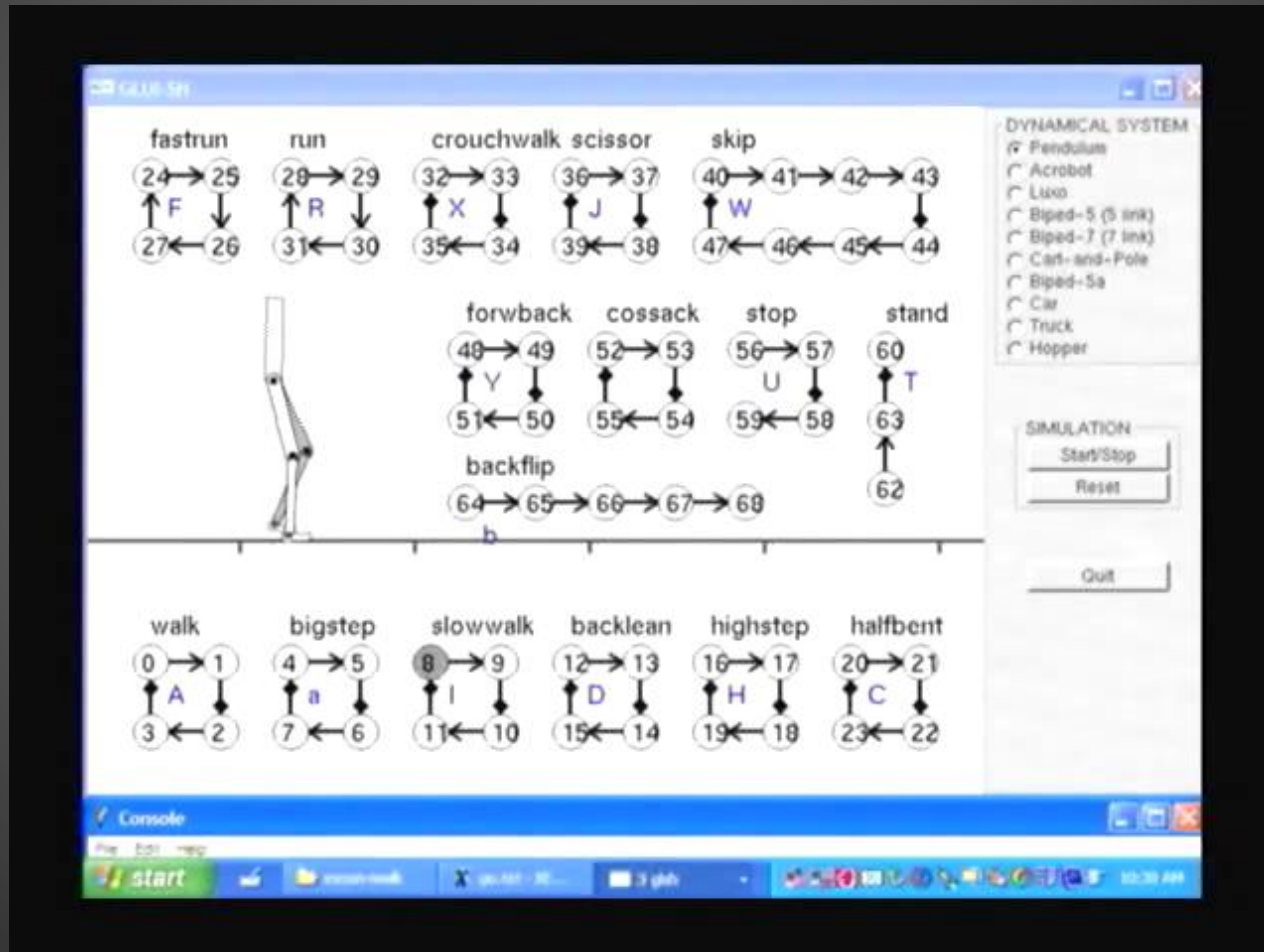
- Machine à états finis de poses cibles
 - Le mouvement cible est décrit par quelques poses clés dans une machine à états finis
 - Les transitions entre les états se font par des évènements ou un temps écoulé
 - ex. appui au sol, passage à la verticale, position relative par rapport au COM etc.
 - La pose cible est interpolée entre les poses clés
 - par palier, linéaire, courbe cubique, Catmul-Rom etc.



Yin et al. 2007

Contrôle de la pose

- SIMple Biped CONtroller (SIMBICON)



Contrôle de la pose

- Utilisation de mouvements capturés



Approximations du personnage virtuel, de la capture et des phénomènes tels que friction et déformation

- Nécessité d'un contrôle supplémentaire de l'équilibre par l'application de moments dans les membres inférieurs

Contrôle des articulations

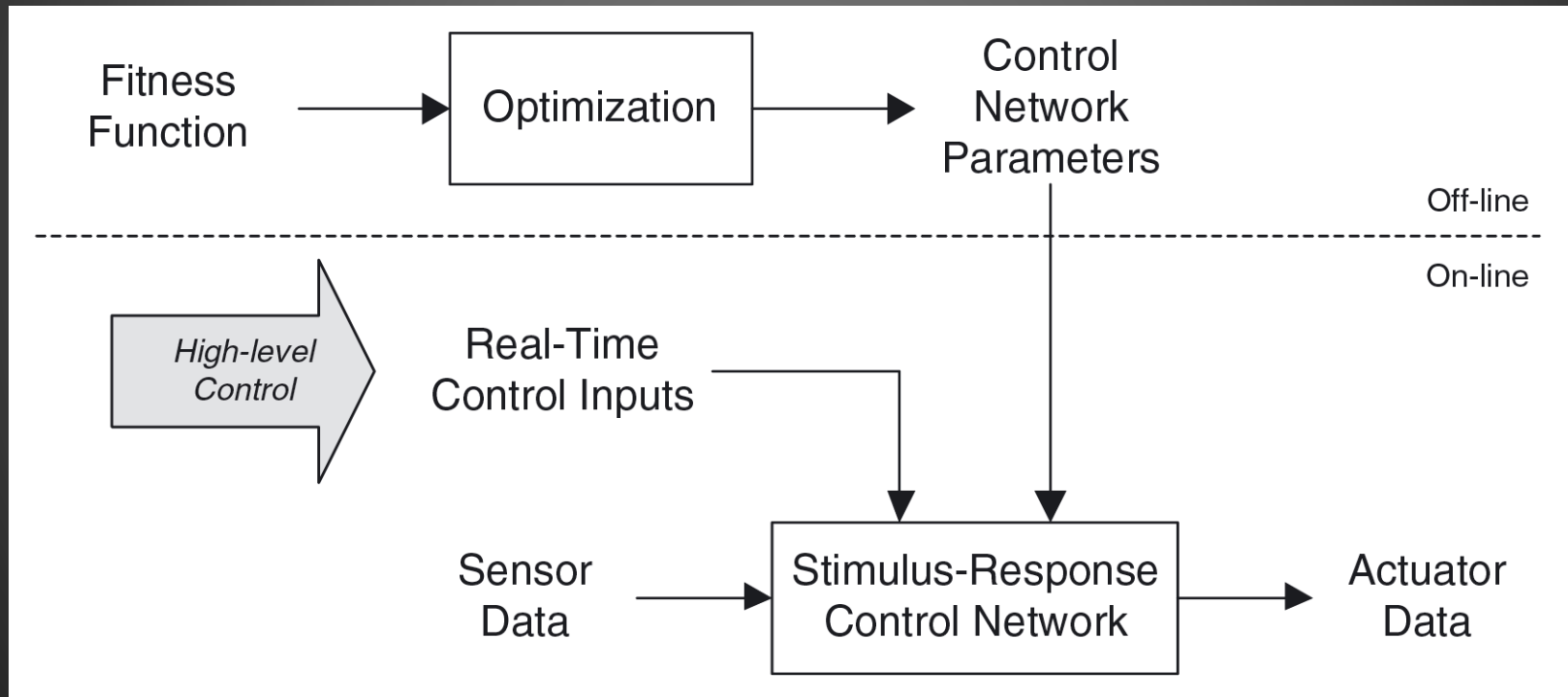
- Résumé
 - Intuitif et facile à implémenter et utiliser
 - Agit en relation directe avec la cinématique
 - Bonne robustesse aux perturbations
- Feedback uniquement local aux articulations, pas de gestion propre de la coordination
- Beaucoup d'ajustements manuels pour des résultats pas toujours très naturels (mouvement « robotique »)

Conception d'un contrôleur

- Contrôle dans l'espace des articulations
 - Suivi de poses par feedback local
- Contrôle par réseau de réponse à stimulus
 - Evolution génétique du contrôle connectant capteurs et actionneurs
- Contrôle par optimisation de dynamique contrainte
 - Recherche des valeurs optimales des actionneurs

Contrôle par réseau

- Evolution génétique du contrôle connectant capteurs (le stimulus) et actionneurs (la réponse)

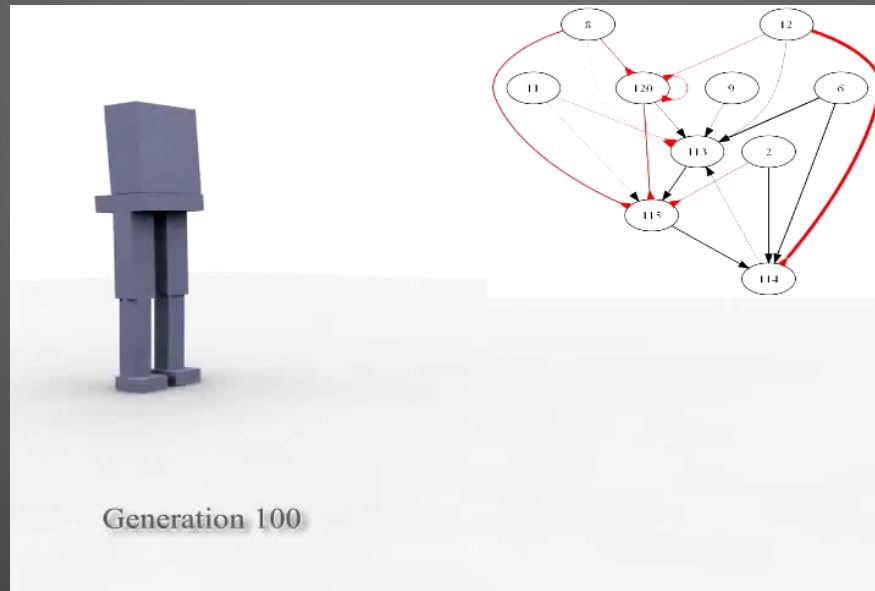


Types de réseaux

- Programmes génétiques
 - Les nœuds du réseau exécutent des opérations logiques (AND, OR, etc.), décisionnelles (IF) et de stockage (MEM)
 - Combiné avec du mouvement procédural et de l'évolution de la morphologie [Sims 1994]
- Générateur de patterns cycliques (CPG)
 - Combiné avec de l'optimisation hors ligne
 - Produit des valeurs d'actionneurs pour feed-forward

Types de réseaux

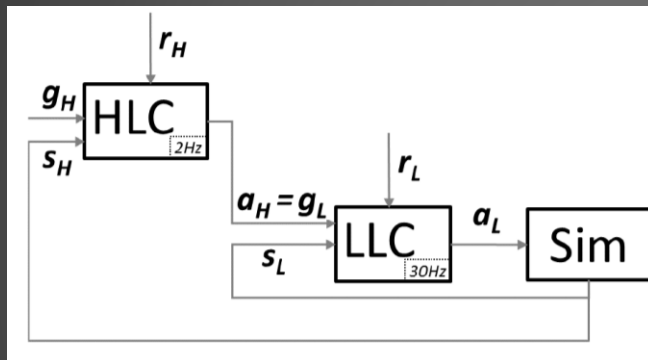
- Réseaux de neurones artificiels (ANN)
 - Le plus commun, calcule les valeurs des actionneurs à partir d'une somme pondérée des valeurs des capteurs et d'une fonction de seuil



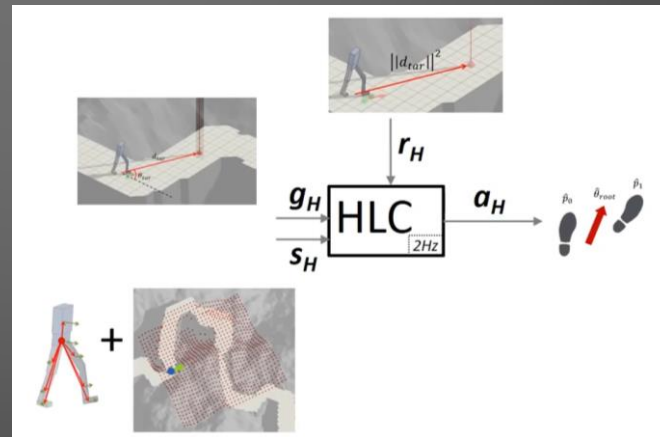
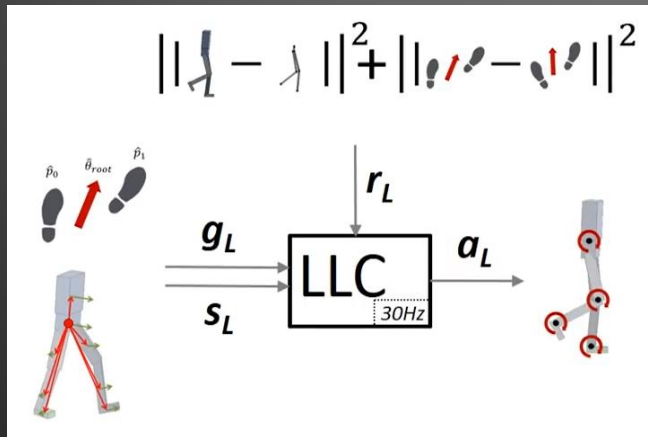
Allen and Faloutsos 2009

Types de réseaux

- Deep Learning
 - Apprentissage à 2 niveaux hiérarchiques [Peng et al. 2017]



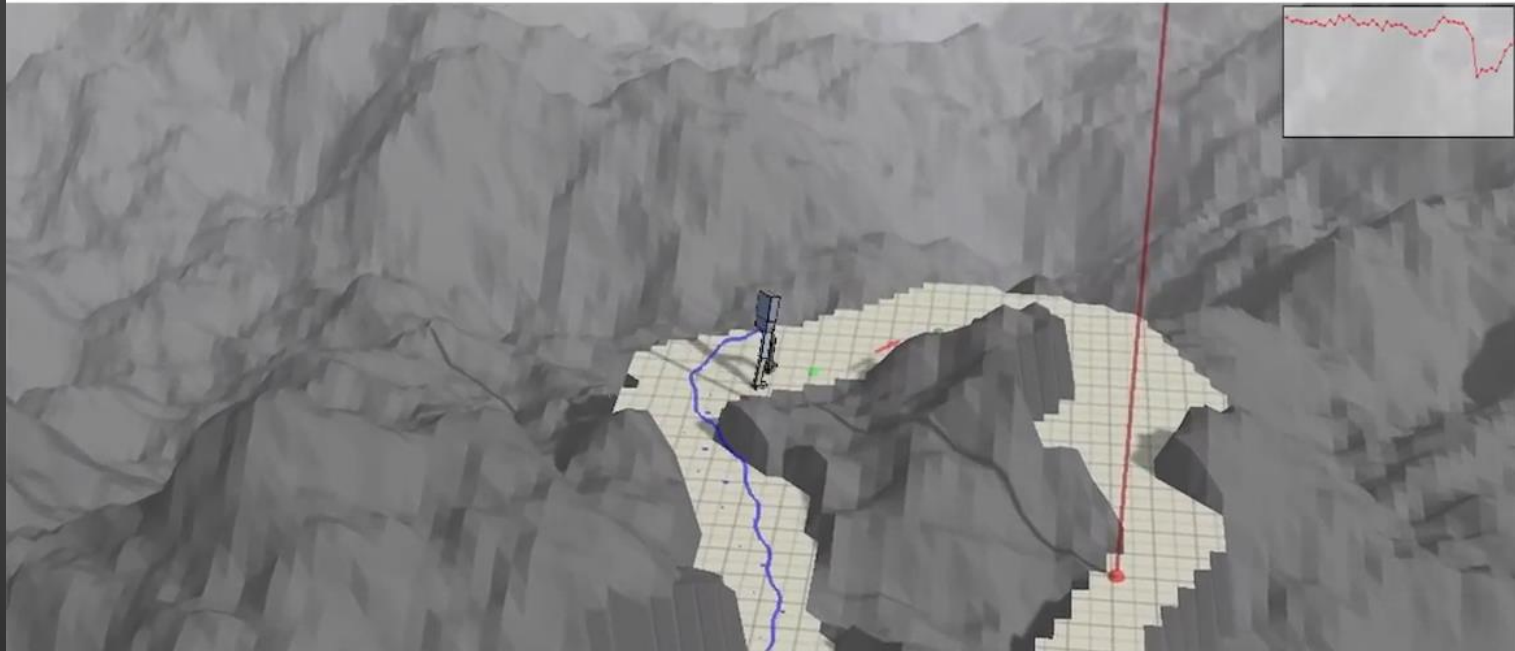
g_H : but de haut niveau
 r_H : évaluation du but haut niveau
 s_H : état du personnage + environnement
 $a_H = g_L$: but de bas niveaux (positions des pieds)
 r_L : évaluation du but bas niveau
 s_L : état du personnage
 a_L : angles cibles pour les régulateurs PD



Types de réseaux

- Deep Learning

Path Following



Contrôle par réseau

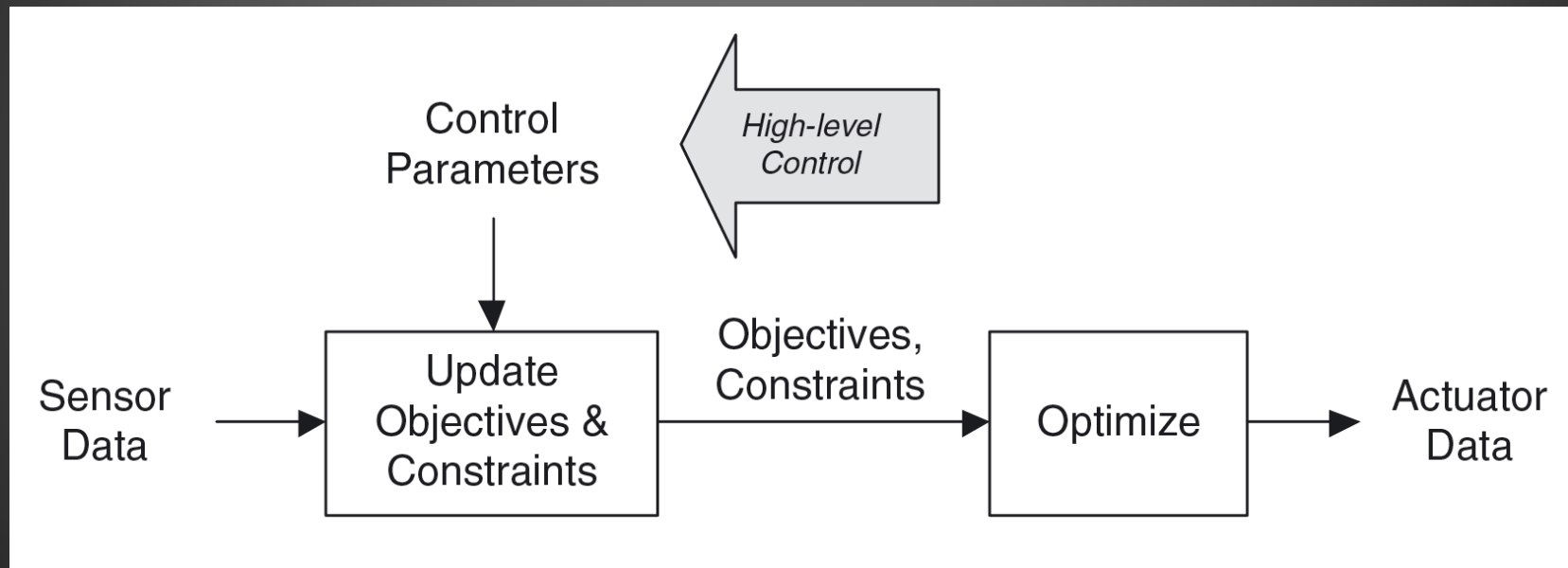
- Résumé
 - Permet de générer automatiquement un contrôleur et donc du mouvement
 - Les résultats laissent à penser que les approches par optimisation de dynamique contrainte sont plus efficaces
 - Restrictif pour des tâches complexes, trop flexible pour permettre des optimisations efficaces

Conception d'un contrôleur

- Contrôle dans l'espace des articulations
 - Suivi de poses par feedback local
- Contrôle par réseau de réponse à stimulus
 - Evolution génétique du contrôle connectant capteurs et actionneurs
- Contrôle par optimisation de dynamique contrainte
 - Recherche des valeurs optimales des actionneurs

Contrôle par optimisation

- Recherche des valeurs optimales des actionneurs



Contraintes et objectifs

- Le problème de base à résoudre est

$$\operatorname{argmin}_{\tau_t} \{O_1, O_2, \dots, O_n\} \text{ sujet à } \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$$

- τ_t est l'ensemble des valeurs des actionneurs (ex. moments) à un instant t donné (pas forcément à tous les pas de la simulation physique)
- Les contraintes C_i représentent le comportement de la simulation
 - équations du mouvement, forces d'interactions, limites cinématiques et dynamiques
- Les objectifs O_j représentent les propriétés du mouvement à produire
 - fonctions de coût (pondérées) à minimiser

Quelques objectifs usuels

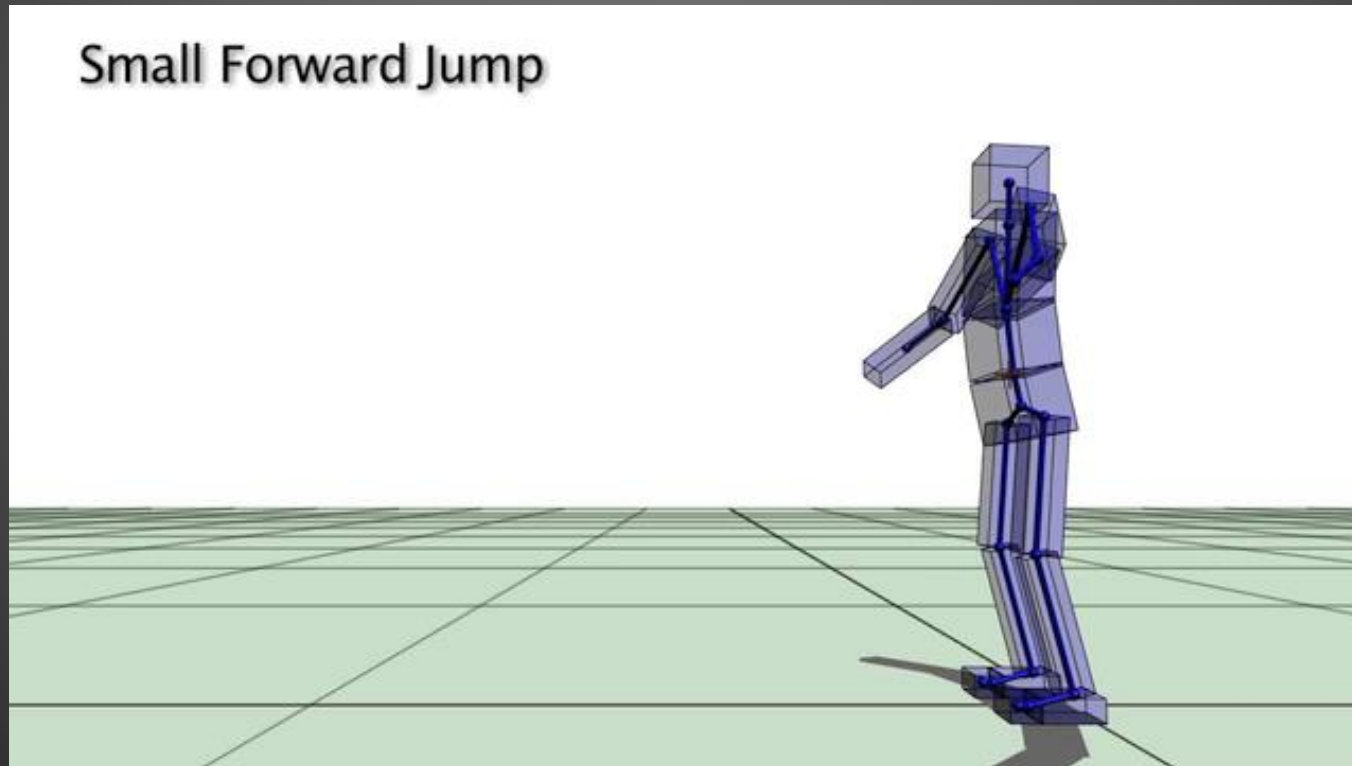
- Respect de l'équilibre
 - Hauteur du COM au dessus d'un seuil, distance entre projeté du COM et centre de support, etc.
- Distance parcourue ou vitesse moyenne du COM
- Suivi d'un mouvement entier
 - Cinématique, appuis, moments angulaires, etc.
- Suivi d'une direction de déplacement
- Minimisation de l'énergie et fluidité du mouvement
 - Moments, forces musculaires, accélérations angulaires
- Distance à une cible globale ou locale
- Symétrie et cyclicité du mouvement
- Stabilité de la tête et des appuis
- Evitement de collisions entre segments

Principes d'optimisation

- Le principal défi est d'être capable d'animer les objets virtuels en temps-réel
- Trois approches
 - Décrire les objectifs d'optimisation de telle façon qu'une optimisation pour 1 pas de temps suffise
 - Effectuer des optimisations hors ligne et les utiliser pour guider l'animation en temps-réel
 - Optimiser un modèle simplifié et sur une fenêtre de temps limitée

Stratégies de contrôle

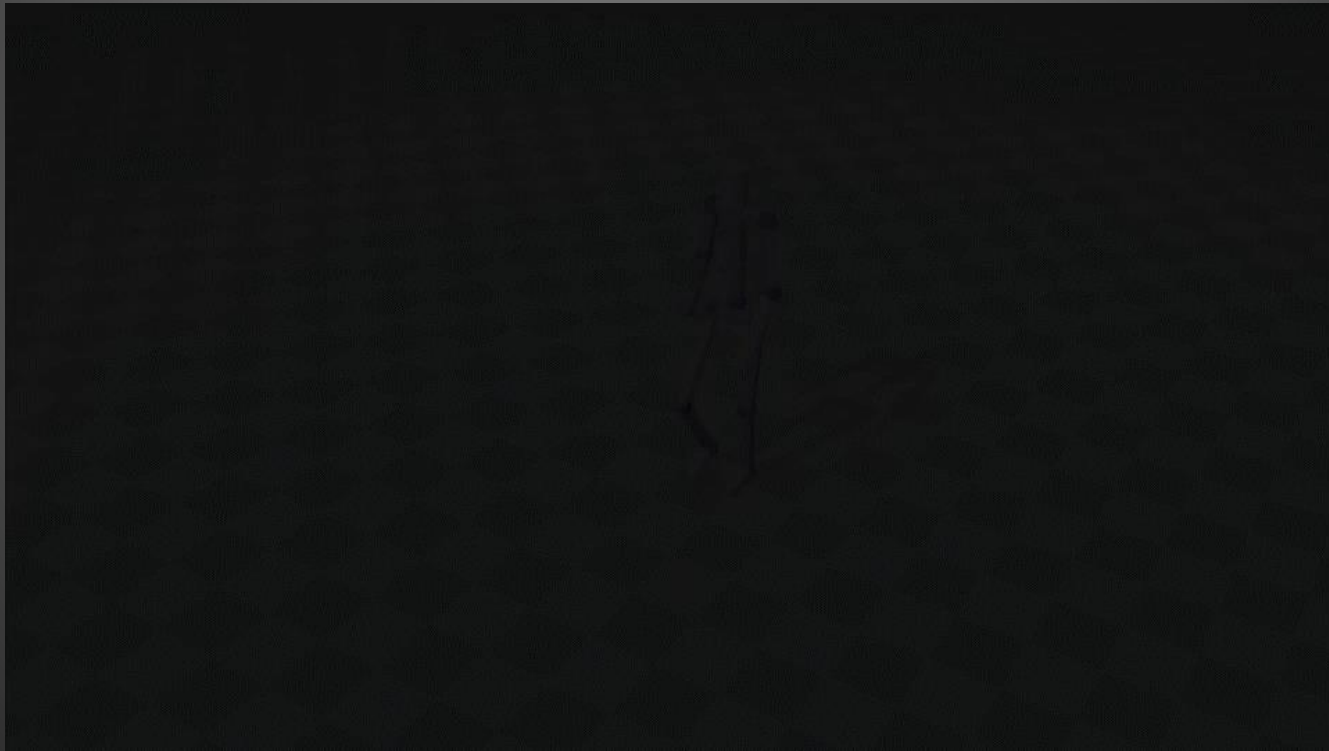
- Optimisation immédiate
 - Pas de planification (ex. équilibre statique, FSM)



De Lasa et al. 2010

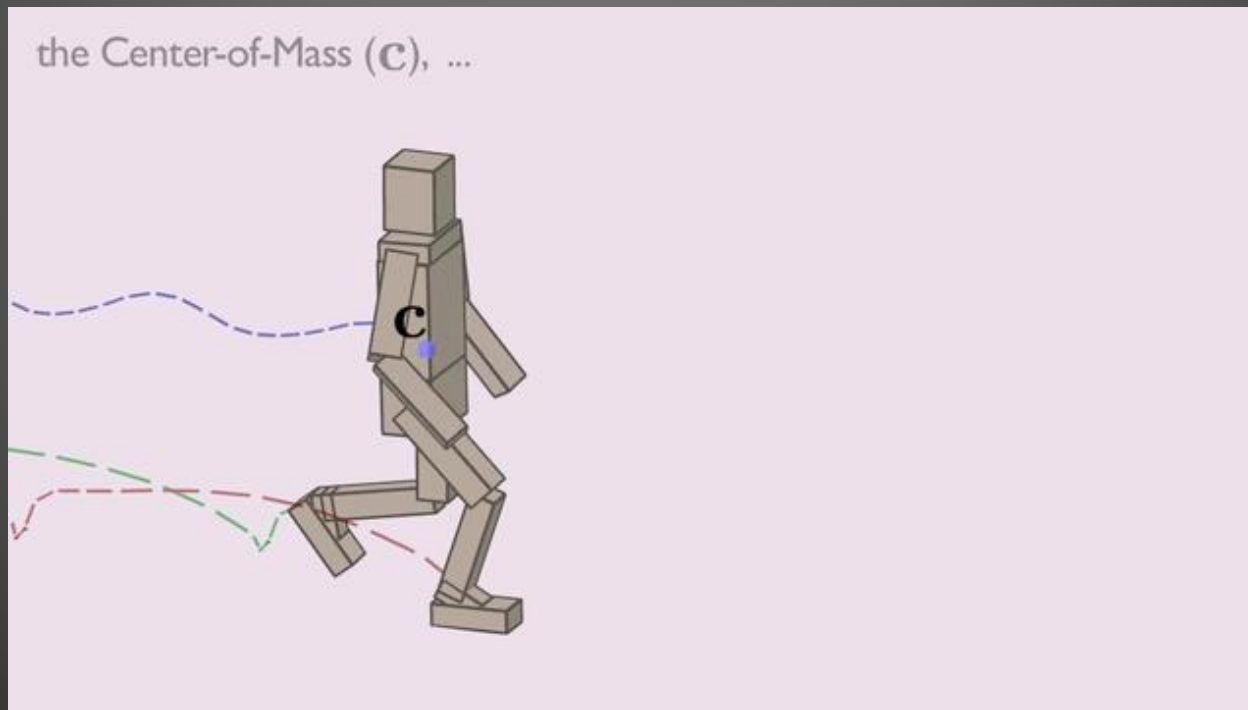
Stratégies de contrôle

- Modèles pré-optimisés de prédiction
 - Trajectoires pré-optimisées adaptées par une optimisation en ligne du mouvement entier



Stratégies de contrôle

- Modèles de prédiction en ligne
 - Optimise continuellement les trajectoires futures sur une courte durée pour un modèle simplifié



Contrôle par optimisation

- Résumé
 - Incorpore explicitement les équations du mouvement (lien fort entre contrôle et simulation)
- Assez difficile à implémenter
- Assez lente à exécuter
 - Nombre d'objectifs et leurs degrés de compétition, complexité du personnage, nombre de contacts externes
- Généralement peu flexible à différents mouvements et différents personnages