

Evolution du contrôleur d'un humanoïde pour des mouvements de locomotion

Nesrine OUANNES¹ NourEddine DJEDI¹ Yves DUTHEN² Nicolas LASSABE²

¹ Laboratoire LESIA – Département d'informatique – Université de Biskra

² Equipe Vortex (IRIT) – Université Paul Sabatier (Toulouse – France)

info_nisou@yahoo.fr djedi_nour@yahoo.fr Yves.Duthen@univ-tlse1.fr

Abstract

Dans ce papier nous allons présenter notre tentative pour simuler un modèle de créatures artificielles. Ce modèle inclus une simulation physique d'une créature et son interaction avec l'environnement via un contrôleur, le but de ce travail étant d'animer une créature (humanoïde) dans un environnement tridimensionnel. Nous utilisons pour cela les algorithmes évolutionnistes comme moyen pour synthétiser le contrôleur d'un humanoïde dans un environnement physique réaliste, et plus précisément les algorithmes génétiques. Le contrôleur étant un réseau de neurones auquel nous ferons subir un processus d'apprentissage, le type du réseau de neurones choisi est : RNN (Recurrent Artificial Network). L'algorithme génétique se charge de l'évolution et cela par l'élément de base qui est le chromosome, ce dernier étant contenu pour chaque gène une valeur réelle d'un poids du réseau de neurones, donc le but de l'algorithme génétique est d'optimiser le réseau de neurones.

1. Introduction

Les recherches dans le domaine de la vie artificielle ont abouti à des études sur la vie réelle et les organismes biologique et cela en créant et en analysant des créatures virtuelles. Les expérimentations existantes sur la vie artificielle peuvent être classées selon trois catégories:

- **Evolution de la morphologie d'une créature.** Peu de travaux se sont intéressés à faire uniquement évoluer la morphologie d'une créature sans lui donner un comportement. Certains travaux en embryogenèse se sont consacrés uniquement au processus de développement des formes comme ceux de A. Chavoya[1], S. Cussat-Blanc[17], Doursat[3] et

Fleischer[5]. D'autres travaux se sont consacrés à l'évolution des plantes virtuelles, L'investigation de cet axe a été relativement négligée car confrontée à l'idée selon laquelle les plantes artificielles ne sont pas des créatures artificielles puisque dépourvues de la capacité du mouvement.

- **Evolution de la morphologie et du contrôleur d'une créature.** Dans ce cadre, plusieurs travaux ont été réalisés, parmi lesquels nous pouvons citer ceux de Karl Sims [16]. Les créatures, générées par Karl Sims sont considérées comme étant les plus évoluées. En effet, Karl Sims s'est proposé de réaliser des créatures par évolutions avec très peu de contraintes et a pu obtenir une grande diversité de créatures donnant naissance à des comportements de rampe et de nage.

Un peu plus tard, plusieurs chercheurs ont repris le travail de Sims en adoptant des approches différentes. Nous pouvons en citer quelques uns.

Thomas Miconi [13] a réalisé des créatures dont les structures articulées sont composées de blocs rigides et contrôlées par des réseaux de neurones. Les différences principales avec les travaux de Sims concernent deux points, le premier étant l'utilisation de neurones standards de McCulloch-Pitts (au lieu d'un ensemble de règles Ad hoc, des neurones fonctionnels complexes). La deuxième différence consiste en un codage génétique amélioré et un système développemental.

Nicolas Lassabe [11] a approfondi les travaux de Karl Sims en utilisant des environnements plus complexes. Les créatures de Lassabe sont capables de monter un escalier ou de faire de la planche à roulette. Nicolas Chaumont [2] a également repris les créatures de Karl Sims en utilisant la même morphologie et le même type de contrôleur. Il a proposé, en plus, d'évaluer les créatures sur leur capacité à se déplacer, d'une part, ou à catapulte un bloc, d'autre part. Lipson

a pu, de son côté, réaliser des créatures physiquement grâce à une imprimante tridimensionnelle [10]. Il a pu, par ailleurs, faire évoluer la morphologie physiquement, sur un robot [14]. De son côté, Hornby a utilisé les L-système pour créer de nouvelles formes de créatures, possédant, cependant un grand nombre de segments [14].

- Evolution du contrôleur d'une créature.

S'agissant de cet axe, des chercheurs ont fait émerger des créatures avec des morphologies figées mais générant des comportements plus délicats tels que les créatures Framsicks réalisées par Komosinski [9]. Ces créatures sont construites grâce à des tubes et des joints qui les relient, le contrôle des mouvements étant assigné, pour le contrôle, à un réseau de neurones. D'autres travaux, entrepris par Bongard et Lipson, se sont intéressés au contrôle de créatures à pattes [10]. Ses créatures possèdent, chacune, quatre pattes munies de capteurs de contact pour détecter le sol, de capteurs d'angle au niveau des articulations et de deux capteurs de phéromones. Le comportement de la créature étant généré par un réseau de neurones. Lary Gritz [8] a permis à sa lampe de bureau de se déplacer en sautant tout en évitant des obstacles et ce grâce à la programmation génétique. Enfin, Hervé Luga [12] a réalisé des comportements très intéressants pour un bras articulé se déplaçant, deux créatures de même type pouvant coopérer pour réaliser le déplacement d'un objet.

Dans notre travail, nous nous intéressons à modéliser un humanoïde en le munissant de capacités de déplacement dans un espace plat, gérées par un réseau de neurones tout en faisant évoluer ses comportements grâce à un algorithme génétique.

2. Modèle proposé

Dans notre modèle, nous avons proposés un assemblage entre différentes parties qui composent notre système et qui seront utiles pour l'accomplissement du but de ce travail.

Le modèle proposé est construit autour d'un simulateur physique ODE représentant le cœur du modèle (Figure 1). Son rôle sera de supporter la simulation de notre humanoïde ainsi que celle de son environnement. Ceci nous garantit, également, une simulation de toutes les lois de la physique et de la dynamique (force, vitesse, centre d'inertie...etc.)

Une fois l'humanoïde créé, nous devons lui affecter tous les paramètres physiques nécessaires. Il est, en effet, question de savoir comment le réseau de neurones interagit avec cet environnement et de quelle

manière va-t-il assurer le transfert depuis et vers l'algorithme génétique.

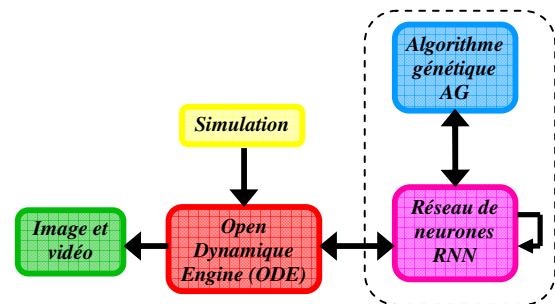


Figure 1. Architecture du modèle proposé.

2.1. Moteur physique utilisé: ODE.

Nous avons choisi comme simulateur physique ODE (Open Dynamic Engine) qui est une plateforme libre pour la simulation physique et dynamique des corps rigides articulés. Développé par Russell Smith [15], ce dernier est compatible avec la bibliothèque OpenGL et peut être exécuté sous Linux, Mac OS ou Windows.

La structure articulée, que nous nous sommes proposé de reproduire, est un corps rigide avec plusieurs parties qui sont connectées ensemble avec des joints de différents types.

Une simulation avec ODE nécessite un regroupement des concepts suivants:

Monde: Représentation de la gravité et intégration du temps ;

Espace: Représentant l'espace de détection des collisions ;

Corps: Objet physique avec une taille, une masse et une position ;

Geom: Représente le rendu et la détection de collisions, il sera représenté soit par une sphère, un cube ou un cylindre...etc. (primitives géométriques).

Les différents types de joints pouvant relier les parties (primitives géométriques) d'un corps rigide sont :

- *Fixed joint,*
- *Ball and socket joint ,*
- *Universal joint ,*
- *Hinge joint.*

2.2. La créature.

2.2.1. La morphologie. La morphologie de notre créature est prédéfinie et elle est conçue pour reproduire un humain virtuel. La simulation de notre créature est faite par ODE et possède toutes les

caractéristiques physiques nécessaires pour avoir un comportement réaliste. Son génotype est unique et fixé car il ne se change pas durant la simulation. La figure 2 représente le phénotype de la créature associé à son génotype (le génotype est une structure).

Notre humanoïde est, en fait, un ensemble de parties composant un corps rigide tridimensionnel. Ce sont des primitives géométriques décrites par des grandeurs (masse, vitesse..) et qui sont connectées par des joints de type «Hing joint» où les forces sont appliquées pour générer un mouvement et interagir avec l'environnement. Grâce au moteur physique ODE, les collisions entre les différentes parties du corps ainsi qu'entre le corps et le sol peuvent être détectées et traitées. Les deux parties qui sont en contact avec le sol sont les pieds, deux senseurs de contact droit et gauche sont ainsi utilisés.

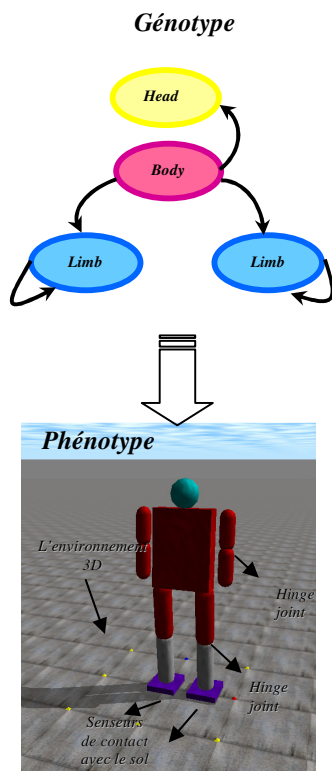


Figure 2. Le génotype de la créature et son phénotype.

2.2.2. Le contrôleur (RNN). Pour contrôler les mouvements de notre humanoïde dans son environnement nous avons utilisé un réseau de neurones RNN (Recurrent artificial Neural Network). C'est un réseau de neurones multi-niveaux complètement connectés (Elman Network) [4], la topologie de ce réseau est faite par 4 couches () :

- La couche d'entrée ;
- La couche cachée ;
- La couche de sortie ;
- La couche contexte.

La fonction d'activation du RNN est la « fonction sigmoïde bipolaire » qui est utilisée dans les couches d'entrées et la couche cachée sur notre réseau de neurones.

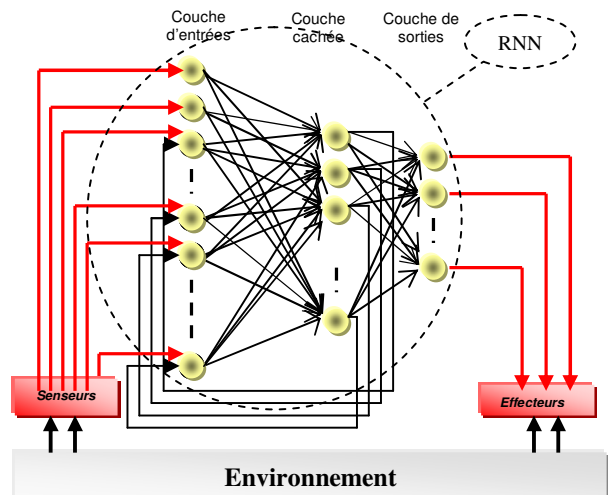


Figure 3. RNN (Recurrent Neural Network).

2.2. Evolution.

Il y a une relation, ou encore un rapport symbiotique, entre l'algorithme génétique et le réseau de neurones car ce dernier commence par produire des comportements à partir de la population initiale de l'Algorithme Génétique (chromosome initial) avant qu'il y'ait un retour vers l'Algorithme Génétique en formant une boucle. Initialement le chromosome de départ est aléatoire, la taille du chromosome est fixée et est dépendante de la morphologie. Le chromosome représente la structure des poids (inter-neurones) qui est optimisée par l'Algorithme Génétique pour produire un comportement intelligent via la sélection.

2.2.1. L'algorithme génétique. L'algorithme évolutionniste que nous avons choisi est un algorithme génétique :

Les algorithmes génétiques sont des méthodes adaptatives qui peuvent être utilisés pour résoudre des problèmes d'optimisation ou de recherche de solutions, John Holland dès 1975 [6] a défini les principes de base dans le cadre de l'optimisation mathématique, mais avec des problèmes réels de grande taille David Goldberg les a développés à partir de 1989 [7]. Pour les paramètres de fonctionnement choisis nous avons :

- 100 individus comme taille de population initiale.
- 70% de probabilité de taux de croisement.
- 1% de taux de mutation.

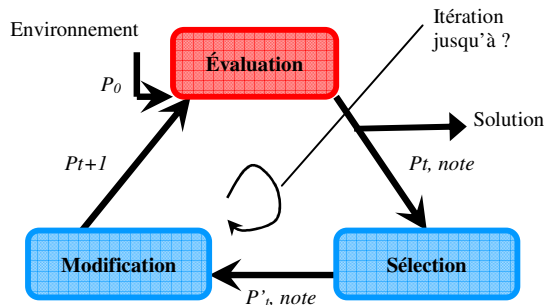


Figure 4. La boucle de l'algorithme génétique.

Le but de l'algorithme génétique est d'optimiser les poids dans le réseau de neurones pour faire évoluer des mouvements locomotifs à une créature tridimensionnelle.

Une fonction de *fitness* de graduation prédéterminée qui est la distance parcourue au bout d'un temps fixe (10 secondes). Le schéma ci-dessous représente la boucle sur laquelle fonctionne l'algorithme génétique de génération en génération.

Selon la figure 3 et l'algorithme ci-dessus nous voyons que l'algorithme génétique est composé de trois parties qui forment une boucle. Son arrêt est dépendant de la fonction de *fitness* : c'est-à-dire si elle est satisfaite et les mouvements désirés obtenus alors on peut arrêter la boucle.

L'algorithme génétique fonctionne pour notre cas selon les étapes suivantes :

- 1. création de la population initiale avec 100 individus;**
- 2. Evaluation des 100 individus de la population chacun comme suit :**
 - a. Initialisation de la position de départ (centre de l'environnement (0, 0, h), où h est la hauteur de lancement de la créature);**
 - b. Activation du contact avec le sol, activation des senseurs et des effecteurs;**
 - c. Initialisation du chromosome avec des poids aléatoires du réseau de neurones;**
 - d. Dessin de la créature (Rendu + paramètres physiques);**
 - e. Calcul de la fitness après le temps de la simulation 10 sec.**
- 3. Calcul du maximum et de la moyenne ainsi que le total des notes des individus évalués;**
- 4. Sélection des meilleurs individus par la méthode de la Roulette pipée;**

5. Modification des individus sélectionnés (croisement et mutation) et obtention des fils;

6. remplacement des parents par leurs fils;

7. Retour à l'étape 1.

Les trois parties de l'algorithme génétique sont :

- **Evaluation :** pour évaluer un individu, on le plonge dans le simulateur au bout d'un temps fixe en tenant compte des valeurs prises par les senseurs (telles que celles de direction ou du contact avec le sol) et à la fin du temps de simulation on donne une note à l'individu (score de *fitness*).

- **Sélection :** la sélection consiste à choisir des individus pour être modifiés et utilisés par la suite dans la génération suivante. La méthode de sélection choisie est la méthode de *la roulette de la fortune* (appelée aussi roulette pipée). Celle-ci permet d'introduire un peu de hasard en permettant la sélection d'individus totalement différents. Le principe est simple et consiste à associer à chaque individu de la population un poids en termes de *fitness*. La roue de la fortune consiste à tirer au hasard un nombre compris entre 0 et la somme de toute les *fitness*. Ce nombre va permettre de déterminer quel individu va être sélectionné pour le croisement en parcourant la liste des individus dans l'ordre et en accumulant la *fitness* jusqu'à ce qu'elle soit supérieure ou égale au nombre tiré au hasard. Les individus qui ont les meilleurs *fitness* auront le plus de chance d'être choisis. On peut, ainsi, choisir deux fois le même individu.

- **Modification :** L'algorithme génétique utilise le standard « single-point » comme opérateur de croisement tel que décrit par Goldberg [7]. Après l'opération de croisement, le gène possèdera une probabilité d'être muté, l'opération de mutation utilise la perturbation gaussienne plutôt qu'une mutation aléatoire. En perturbant les poids plutôt qu'en choisissant aléatoirement des valeurs pour les poids mutés, on converge vers un changement progressif.

3. Résultats.

Notre application est réalisée sous un environnement Windows avec un processeur Intel. Le moteur physique utilisé est le moteur ODE 0.11 (Open dynamique Engine) avec le compilateur MSVC (vs2008) C++ 9.0.

Après une centaine de génération, nous avons pu arriver à un contrôleur qui permet à notre humanoïde de marcher sur un espace plat selon, cependant, une direction aléatoire.

Ci-dessous quelques captures d'écrans des résultats obtenus (figure 5).

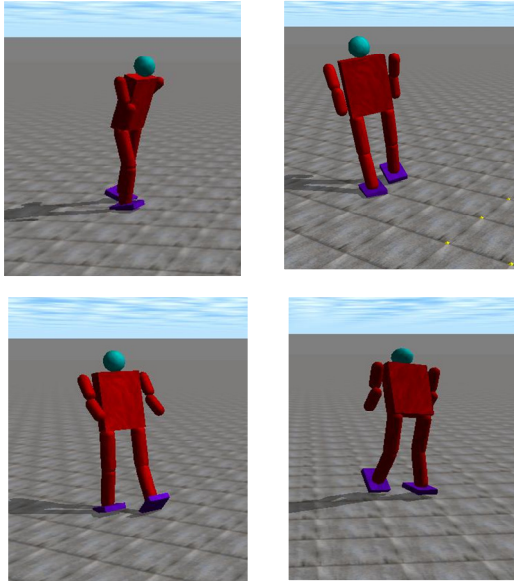


Figure 5. Une créature marchant sur un terrain plat au bout des premières générations.

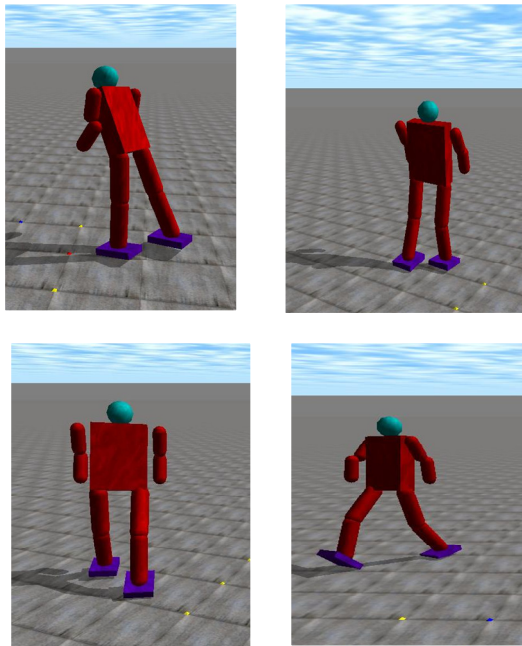


Figure 6. Une créature marchant sur un terrain plat après des centaines de générations.

4. Conclusion

Ce travail est réalisé dans un but d'une évolution artificielle, la créature choisie est un humanoïde et les

mouvements désirés sont effectivement réalisable par un humain virtuel, le plus simple de ces mouvements étant la locomotion dans un terrain plat. L'évolution est complètement indépendante de l'intervention de l'utilisateur, tous ce qu'il faut pour simuler et obtenir ces mouvements a été communiqué au début sous la forme de paramètres d'évolution (paramètres physiques, paramètres de senseurs et des effecteurs et paramètres de l'algorithme génétique).

Le travail futur à réaliser concerne des comportements plus complexes d'un humanoïde tels que l'évitement d'obstacles fixes dans l'environnement et l'adaptation à celui-ci en matière d'apprentissage pour être conforme au comportement d'humains réels.

5. Perspectives

La première perspective envisagée consiste à trouver un chemin optimal par évolution pour atteindre un but fixe et cela en évitant des obstacles fixes ou des objets mobiles.

Une autre perspective très intéressante consiste à générer, par évolution, des comportements de coopération avec d'autres créatures pour réaliser un but.

5. Référence

- [1] CHAVOYA A., DUTHEN Y.: Evolving an artificial regulatory network for 2d cell patterning. Proceedings of the 2007 IEEE Symposium on Artificial Life (2007), 47–53.
- [2] Nicolas Chaumont, Richard Egli, and Christoph Adami. Evolving virtual creatures and catapults. *Artificial Life*, 13(2):159–187, 2007
- [3] René Doursat. The growing canvas of biological development: multiscale pattern generation on an expanding lattice of gene regulatory networks. *InterJournal Complex Systems*, 2006.
- [4] Elman, Jeffrey L. "Finding Structure in Time" *Cognitive Science* 14 (1990) 179-211.
- [5] Kurt Fleischer. Investigations with a multicellular developmental model. In *Artificial LifeV*, pages229–236, 1996.
- [6] John Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Harbor, 1975.
- [7] David E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1989.

- [8] Larry Gritz James K. Hahn Genetic Programming Evolution of Controllers for 3-D Character Animation Appeared in: Koza, J.R., et al. (editors), Genetic Programming 1997: Proceedings of the 2nd Annual Conference, pp. 139-146, July 13-16 1997, Stanford University. San Francisco: Morgan Kaufmann. (1997)
- [9] Maciej Komosinski, Grzegorz Koczyk, and Marek Kubiak. On estimating similarity of artificial and real organisms. *Theory in Biosciences*, 120(34):271–286, 2001.
- [10] Hod Lipson. Evolutionary robotics and open-ended design automation, 2005.
- [11] LASSABE N., LUGA H., DUTHEN Y.: A New Step for Evolving Creatures. In *IEEE-ALife'07* (April 2007), IEEE, pp.243–251.
- [12] Luga Hervé. “Vie artificielle et synthèse d’images : Etude des mécanismes évolutionnistes pour la synthèse de formes et de comportements”. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse (France). 1997
- [13] T. Miconi and A. Channon. An improved system for artificial creatures evolution, 2006.
- [14] Malone E., Lipson H., (2004) “Functional Freeform Fabrication for Physical Artificial Life”, *Proceedings of the Ninth Int. Conference on Artificial Life (ALIFE IX)*, pp.100-105
- [15] OPEN DYNAMICS ENGINE V0.5 USER GUIDE par RussellSmith THURSDAY 23 FEBRUARY, 2006
- [16] Karl Sims. Evolving 3d morphology and behavior by competition. *Artificial Life*, 1(4):353–372, 1994.
- [17] Sylvain Cussat-Blanc, Hervé Luga et Yves Duthen Développement de créatures artificielles primitives possédant un métabolisme et une morphologie AFIG 2008 / Toulouse IRIT Presse