

Perception Active pour Acteurs Virtuels

Active Perception for Virtual Actors

Marc Parenthoën*

Jacques Tisseau*

Thierry Morineau**

* Laboratoire d'Informatique Industrielle (Li², ENIB, CERV)

** Laboratoire du GRESICO (Sciences de l'Information et Cognition, UBS)

Li², ENIB, Parvis Blaise Pascal, BP 30815, F-29608 Brest Cedex, FRANCE
parenthoen@enib.fr

Résumé

Cette étude se situe dans le cadre de l'ergonomie cognitive et de la réalité virtuelle. Nous proposons de modéliser et d'implémenter le comportement d'agents virtuels autonomes grâce à des idées issues de psychologie (graphes cognitifs flous, affordances) et de neurophysiologie (perception active). Nous décrivons les bases d'un modèle comportemental imitant la perception humaine. La notion psychologique d'"affordance" va nous guider dans la construction de graphes cognitifs spécifiant le comportement d'acteurs virtuels. Selon Alain Berthoz, neurophysiologue, la perception n'est pas seulement une interprétation des messages sensoriels : c'est aussi une simulation interne de l'action et une anticipation de ses conséquences. En s'inspirant d'expériences neurophysiologiques sur l'hippocampe à propos d'oscillations permettant la prédiction de trajectoires, notre acteur virtuel anticipe son comportement dans un monde imaginaire. Cette simulation dans la simulation lui permet de prédire "biologiquement" les conséquences de ses actions. Nous appliquons ce modèle en implémentant dans l'environnement multi-agent oRis un barreur virtuel pour l'entraînement sportif sur voilier virtuel.

Mots Clef

Autonomie, Affordance, Graphe Cognitif Flou (GCF), Perception Active, Acteur Virtuel Crédible

Abstract

This study lies in the context of cognitive ergonomics and virtual reality. We propose to model and implement the behaviour of autonomous virtual agents, using ideas from psychology (fuzzy cognitive maps,

affordances) and neurophysiology (active perception). We describe the basis for a behavioral model imitating human beings' perceptive operation. The psychological notion of "affordance" will help us in the construction of cognitive maps for virtual actor's behaviour specification. Sensus Alain Berthoz, neurophysiologist, perception is not only an interpretation of sensorial messages : it is also an internal simulation of the action and an anticipation of the consequences of this simulated action. Following neurophysiological experiments on hippocampus in which were observed oscillations permitting prediction of trajectories, our virtual actor simulates its own behaviour in a imaginary space. This simulation in the simulation allows him to predict the consequences of actions. The expected benefit from our model consists in elaborating a believable virtual helmsman within the framework of a virtual sailing ship. We have implemented such a virtual actor in the multi-agent environment oRis.

Keywords

Autonomy, Affordance, Fuzzy Cognitive Map (FCM), Active Perception, Believable Virtual Actor

1 Introduction

Cette étude se situe dans le cadre de l'ergonomie cognitive et de la réalité virtuelle. Nous proposons de modéliser et d'implémenter le comportement d'agents virtuels crédibles [Magnenat 91, Bates 92, Perlin 95], grâce à des idées issues de psychologie (graphes cognitifs [Tolman 48], affordances [Gibson 77]) et de neurophysiologie (perception active [Buzsaki 92, Berthoz 97]). Les mondes virtuels sont peuplés d'entités autonomes ou animats [Wilson 85] improvisant

en interaction libre [Hayes-Roth 96]. L'autonomie des entités virtuelles est l'une des clés pour la création d'humains virtuels crédibles [Thalman 00]. Nous distinguons et intégrons trois types d'autonomie, une autonomie sensorimotrice : chaque entité est équipée de capteurs et d'effecteurs lui permettant d'être informée et d'agir sur son environnement ; une autonomie d'exécution : le contrôleur de l'exécution de chaque entité est indépendant des contrôleurs des autres entités ; une autonomie de décision : chaque entité décide selon sa propre personnalité (son histoire, ses intentions, son état et ses perceptions). Contrairement à un avatar dont le contrôle est assuré par un opérateur humain, un animat doit calculer lui-même le contrôle de la coordination entre ses perceptions et ses actions [Meyer 91]. On peut distinguer 3 modèles calculatoires principaux : descriptif, causal ou comportemental [Arnaldi 94]. Pour obtenir une autonomie de décision, on ne peut se baser que sur un modèle comportemental. Nous proposons dans ce papier les bases d'un modèle comportemental imitant la perception humaine.

Les Graphes Cognitifs Flous (GCFs) [Kosko 86] sont utilisés pour spécifier le comportement d'agents (structure du graphe) et contrôler leurs mouvements (dynamique du GCF). Un GCF possède des concepts perceptifs activés par floutage des valeurs de capteurs. Il possède des concepts moteurs dont les activations sont défuzzifiées pour être envoyées aux effecteurs de l'agent connecté à ce GCF. Les concepts intermédiaires traduisent l'état interne de l'agent et sont utilisés lors de la dynamique du GCF, convergeant vers son attracteur au sens des systèmes dynamiques. Nous distinguons la sensation de la perception : la sensation résulte des capteurs seuls, alors que la perception est la sensation influencée par l'état interne. Un GCF permet la modélisation de la perception grâce aux liens entre les concepts internes et les concepts perceptifs. Un agent peut aussi utiliser un GCF dans un espace imaginaire et simuler un comportement : il a ainsi accès à "une perception de soi" [Maffre 01]. Dans [Parentoën 01], nous avons montré que les GCFs sont un outil pertinent pour la spécification, le contrôle et la prédiction du comportement d'agents autonomes.

La notion psychologique d'"affordance" va nous aider dans la construction des GCFs pour la spécification du comportement d'agents virtuels crédibles. Des recherches en psychologie écologique montrent que les individus basent leurs comportements sur certaines informations critiques fournies par leur environnement immédiat et reliant la perception avec l'action. Ces informations appelées "affordances" ou "propriétés environnementales" sont perçues direc-

tement sans effort cognitif et dirigent les modalités de l'action [Gibson 77]. En ergonomie cognitive, la notion d'affordance sert de phare pour le développement d'interface-utilisateur [Vicente 90], appelée "interface écologique" [Flach 96], pour la conception des systèmes d'information [Jordan 98] ou l'analyse du travail [Lahlou 00]. Concernant l'interaction homme-RV, les recherches ont souligné la nécessité d'explicitement graphiquement les affordances de manière à aider l'immersion du sujet [Cronin 97]. Dans le domaine de la psychologie expérimentale, des travaux récents proposent de modéliser les affordances par des équations [Stoffregen 99] : la hauteur d'une marche est reliée à la longueur de la jambe de l'acteur pour décider si cette marche est un obstacle ou non. Cependant, ces modèles élaborés en laboratoire décrivent les relations entre un individu et une unique affordance. L'approche des affordances dans un monde réel ou virtuel demande un modèle montrant comment un individu sélectionne une affordance parmi plusieurs. Nous allons proposer la construction de GCF dont une partie des concepts seront des affordances. Ces affordances et leurs relations sont extraites d'une expertise d'une activité sensorimotrice conduite par des intentions (comme naviguer à la voile). Nous soutiendrons que de tels GCFs peuvent servir à une bonne modélisation de la sélection des affordances, grâce à leurs attracteurs. A partir de l'expertise des affordances, nous pouvons construire un GCF pilotant un agent virtuel. Un tel agent agira en accord avec la description d'un expert et n'en sera que plus crédible [Mateas 97].

Puisqu'un GCF basé sur les affordances contrôle les modalités de l'action, il nous reste à préciser un modèle d'action favorisant l'autonomie et la crédibilité. Les neurophysiologues attribuent la perception du mouvement à la fusion permanente et coordonnée des différents récepteurs : proprioceptifs, vestibulaires et cutanés [Lestienne 95]. Ces informations multisensorielles sont combinées à des signaux en provenance du cerveau qui contrôlent la commande motrice des muscles. La perception n'est pas seulement une interprétation de signaux sensoriels, elle est également simulation interne de l'action et une anticipation des conséquences de cette action simulée [Berthoz 97]. Pour comprendre le rôle du cerveau dans cette perception active, il faut commencer par le but poursuivi par l'organisme et étudier comment le cerveau interroge ses capteurs, en spécifiant des valeurs estimées en fonction de la simulation interne et des conséquences attendues de cette action. Chaque affordance d'un GCF contrôlant un agent est associée à une séquence de configurations sensorimotrices attendues. D'après les résultats d'expériences neurophysiologiques sur l'hip-

pocampe, partie du cerveau jouant un rôle important dans les processus de memorisation, dans lesquelles ont été observées des oscillations permettant la prédiction de trajectoires [Buzsaki 92] [Lisman 95], notre acteur virtuel va utiliser son GCF dans un espace imaginaire et simuler son comportement. Cette simulation dans la simulation lui permet de prédire les conséquences d'une action. D'une part, il n'a plus qu'à contrôler de façon intermittente l'état de certains capteurs pendant le déroulement de l'action. D'autre part il peut utiliser cette capacité imaginative pour apprendre à choisir une action parmi plusieurs possibles, non par un raisonnement logique sur une représentation abstraite du monde, mais par une simulation de son propre modèle "biologique". Nous appelons ces capacités pour un agent virtuel la perception active virtuelle.

En application de ce modèle de perception active basée sur les affordances, nous élaborons un skippeur virtuel ayant un comportement crédible pour des marins, facilitant la coopération homme-machine dans le cadre d'un entraînement sportif sur un voilier virtuel. Ce genre d'activité très intuitive et "temps réel", difficilement descriptible procéduralement, illustrera l'efficacité de la démarche.

Dans la prochaine section nous décrivons le modèle psychologique d'action basé sur les affordances ainsi que notre modélisation par les GCFs de la sélection des affordances. La section suivante présente la notion neurophysiologique de la perception active et son application aux acteurs virtuels. La section 4 consiste en la spécification d'un skippeur virtuel par des GCFs avec perception active, puis son implémentation sous *oRis*¹ [Harrouet 02] est comparée à un barreur réel.

2 GCFs et affordances

Un travail précédent montre que les GCFs peuvent spécifier, contrôler et prédire le comportement d'acteurs perceptifs [Parenthoën 01]. Cette section sert de guide pour la construction des GCFs d'acteurs crédibles selon la notion psychologique d'affordances. De plus, un tel travail pourrait proposer les bases d'un modèle montrant comment les individus choisissent une affordance parmi plusieurs.

2.1 Modèle Psychologique

Dans le domaine de la psychologie écologique [Gibson 77], les affordances sont des informations critiques fournies par l'environnement immédiat reliant perception et action, perçues sans effort cognitif et qui contrôlent les modalités de l'action. Les points de repère, les portes, les chemins, les obstacles sont les plus communes mais il semblerait qu'il n'existe aucune liste exhaustive. Pour étudier les affordances lors

d'une activité, nous devons considérer 3 éléments qui définissent l'interaction homme-environnement : l'environnement, l'agent et l'outil.

1. L'environnement est un ensemble d'objets (ou d'autres agents) et de lois physiques ayant des propriétés qui constituent des affordances potentielles pour l'agent et son outil.
2. L'agent, immergé dans l'environnement peut agir et percevoir celui-ci. Il possède des caractéristiques sensorimotrices permettant l'extraction des affordances (champ de vision, distance d'accès maximale, *etc.*).
3. Les outils ont une fonction déterminant leurs champs d'action. Ils servent aussi d'intermédiaires entre l'environnement et l'agent pour collecter les affordances. L'interaction environnement-outil-agent génère des affordances utilisées par l'agent.

Une propriété environnementale notée \mathcal{P} fournira un effet répulsif ou attractif sur l'agent ou l'outil en rapport avec l'activité de l'agent. Lors d'une activité locomotrice, les obstacles seront répulseurs ; \mathcal{P} est alors répulsive. Alors que les points de repère, les chemins ou les portes sont des objets à caractère attractif ; \mathcal{P} est alors attractive.

Lors de l'utilisation d'un outil, nous appelons la **sensation** (valeur absolue) d'une affordance \mathcal{P} la somme des relations de dépendance entre les caractéristiques de l'outil et \mathcal{P} . Une relation de dépendance est observée lorsque \mathcal{P} est concernée par une caractéristique de l'outil en contact avec l'agent. Par exemple, la largeur d'une porte \mathcal{P} est en relation de dépendance avec le volume de l'outil transporté la traversant.

Une propriété \mathcal{P} est plus ou moins accessible à un agent et son outil. Le **niveau d'accessibilité** de \mathcal{P} peut être décomposé en deux composantes. La première est l'accessibilité perceptive, qui dépend du champ perceptif de l'agent et des caractéristiques de l'outil en tant qu'intermédiaire pour transmettre les affordances. Une affordance sera plus ou moins accessible dans le champ perceptif et aura donc un effet plus ou moins important sur l'agent. La seconde composante est l'accessibilité motrice qui dépend du champ d'action de l'agent et son outil. C'est la position de l'affordance dans le champ d'action qui déterminera son importance. Si, par exemple, nous considérons la vitesse d'un agent et son outil comme constante, alors l'accessibilité motrice de \mathcal{P} sera la distance entre \mathcal{P} et l'agent.

A l'instant t , la **perception** (valeur relative) d'une propriété \mathcal{P} est sa sensation pondérée par ses niveaux d'accessibilité perceptive et motrice. La sélection d'une affordance parmi plusieurs ne se limite pas au choix de l'affordance ayant la plus grande valeur relative. Toute la connaissance inconsciente de l'agent participe à cette opération. Nous proposons dans la prochaine

¹<http://www.enib.fr/~harrouet/oris.html>

sous-section d'utiliser un GCF pour modéliser cette sélection dans le cas d'une activité spécialisée.

2.2 Sélection des Affordances et GCFs

Le but de cette sous-section est de décrire comment construire un agent virtuel crédible et autonome pour la réalisation d'une activité donnée. L'utilisation du modèle psychologique de l'activité basé sur les affordances (cf. 2.1) devrait assurer l'efficacité de la démarche et la crédibilité du résultat. Cette étude est possible à condition qu'un expert en interaction avec un psychologue puisse donner l'ensemble des affordances requises pour cette activité. Nous définissons donc les différents éléments permettant la spécification du GCF correspondant (concepts, matrice des liens) ainsi que de sa connexion avec l'agent.

Concepts : les affordances proposées par l'expert sont les concepts du GCF \mathcal{G} .

Matrice des Liens : une partie des connaissances de l'expert peut se traduire en des relations d'excitation/inhibition entre affordances et générer ainsi une matrice prototypique de liens avec leurs bornes [min, max]. Par exemple, les obstacles inhibent les chemins, les portes et les points de repère alors que les chemins ou les portes s'inhibent deux à deux.

Fuzzyfication de Capteurs en Activations Externes : cela correspond à la sensation des affordances ou encore leurs valeurs absolues. L'expert donne une formule de valeur absolue pour chaque affordance. Cette formule dépend des capteurs de l'agent et de règles floues déterminant l'activation externe de cette affordance.

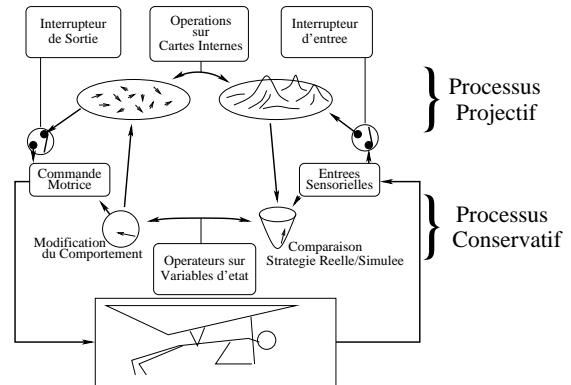
Dynamique du GCF : elle participe à la sélection d'une affordance. L'évolution des activations selon la dynamique du GCF va converger vers l'attracteur du GCF. L'affordance sélectionnée sera alors celle correspondant à l'activation interne la plus grande lors du parcours de l'attracteur (qui est le plus souvent un point fixe ou un cycle limite).

Un tel GCF peut être connecté à un agent virtuel [Parenthoën 01]. Ce GCF déterminera les contextes de l'action en accord avec l'expertise. Une fois qu'une affordance est sélectionnée, cela déclenche la stratégie de trajectoire qui lui est associée. Ces affordances sont données avec l'assistance d'un expert, mais cette activité exploratrice étant fortement non-consciente [Spence 99], il faut valider expérimentalement la pertinence du graphe d'affordances ainsi obtenu.

3 Perception Active Virtuelle

Le cerveau peut être considéré comme un simulateur biologique qui prédit en utilisant sa mémoire et en faisant des hypothèses sur la modélisation interne

du phénomène. Prenons l'exemple d'un sportif : il va mentalement et prédictivement dérouler l'épreuve en même temps qu'il va la réaliser en vérifiant de manière intermittente l'état de ses capteurs. Cette simulation interne du mouvement est facilitée par un mécanisme neuronal d'inhibition. Le cerveau possède un modèle biologique de l'action à entreprendre. Il ne compare pas seulement des informations sensorielles avec des informations mémorisées, il utilise également des mécanismes prédictifs (figure 1 [Droulez 88]).



Lors d'une action, le cerveau utilise deux modalités en parallèle. Une prédictive ou projective pour sélectionner par intermittence l'état de certains capteurs sensorimoteurs. Et une réactive ou conservative pour maintenir quelques variables dans des bornes définies par les intentions d'action. Le cerveau perdrait trop de temps à contrôler tous les capteurs en permanence.

FIG. 1 – Les deux modalités de fonctionnement du cerveau

Prenons un agent possédant un espace imaginaire et dont le comportement est spécifié par un GCF basé sur les affordances. Chaque affordance appartenant à ce GCF est associée à une stratégie spécifique de trajectoire, décrite par une séquence de configurations sensorimotrices. C'est un expert qui donne ces configurations sensorimotrices caractéristiques d'une affordance. Si l'affordance est correctement sélectionnée, la séquence prototypique des configurations sensorimotrices devrait être observée. Ces configurations sensorimotrices sont synchronisées avec le comportement réel, ce qui assure la cohérence des actions et permet l'adaptation du comportement si une incohérence est détectée. Cette synchronisation s'inspire d'expériences neurophysiologiques sur l'hippocampe lors desquelles furent observées des oscillations permettant la prédiction de trajectoires [Buzsaki 92, Lisman 95]. Une oscillation lente demande le contexte de l'action au GCF (sélection d'affordance). Pendant l'un de ces cycles lents, une oscillation rapide synchronise les configurations sensorimotrices prototypiques avec les observations réelles par "pattern matching". Cette reconnaissance entre les configurations imaginées et la réalité n'est faite que sur les prototypes de la séquence associée à l'affordance sélectionnée

par le GCF. Le rapport des fréquences entre les deux oscillations doit être au moins supérieure ou égale à la longueur de la séquence des configurations. L’agent virtuel parcourt la séquence de configurations décrivant la stratégie contextuelle, en anticipant toujours vers la configuration suivante. Si la reconnaissance échoue sur chaque configuration de la séquence, alors un nouveau contexte est demandé au GCF, en inhibant éventuellement l’affordance courante et en mémorisant les caractéristiques sensorimotrices du cycle en cours. L’agent va alors adapter son comportement en modifiant son GCF. Pour cela, il va rejouer en arrière-plan pour diverses affordances les caractéristiques sensorimotrices du cycle mémorisé ayant conduit à une erreur d’anticipation. L’agent détermine alors imaginairement l’affordance dont la séquence prototypique aurait collée au mieux avec ce qui s’est passé. Cette détermination permet de modifier la matrice des poids du GCF selon un principe de Hebb [Kosko 88, Parenthoën 02], afin d’exciter l’affordance choisie et d’inhiber les autres.

4 Barreur Virtuel Crédible

Dans le cadre de la réalisation d’un voilier virtuel destiné à l’entraînement sportif, il convient de donner un comportement crédible aux marins virtuels. Ils doivent agir, au sein d’un univers virtuel, comme un barreur pilote, un régleur écoute les voiles et un tacticien choisit une stratégie de navigation. Le comportement du voilier virtuel doit être qualitativement comparable avec les anticipations d’un vrai marin. Pour cela, il est nécessaire de bien comprendre les affordances qu’utilise un skippeur pour se positionner sur les vagues et choisir une trajectoire. D’autant plus pertinente sera l’extraction des affordances et d’autant plus crédible sera le voilier ainsi prototypé. Cette section décrit la construction d’un barreur virtuel crédible selon les idées des sections précédentes.

4.1 Construction des GCFs

L’environnement marin est extrêmement complexe. Il faut tenir compte de l’état de mer (les vagues), de l’évolution du temps (le vent), de l’allure, la puissance et la fatigue du voilier, et bien sûr du skippeur. Cependant, il existe des comportements prototypiques à adopter dans certaines circonstances. Une expertise de ces comportements nous permet de construire un GCF basé sur les affordances (figure 2). Ce GCF sélectionne une affordance et contrôle le comportement d’un barreur virtuel au portant. Après une expertise élémentaire sur la navigation en pleine mer au portant (l’un de nous étant un marin), nous avons mis en évidence quelques affordances guidant le choix des

trajectoires dans ces conditions. Il y a les **points de repère** (*Gyroscope* : gite, compas constants; *Allure* : girouette constante), les **portes** (*Relance* : lofer momentanément pour redonner de la vitesse au voilier; *Gain sous le vent* : profiter d’une bonne vitesse pour abattre et compenser les relances), les **obstacles** (*Aulofée* : le voilier se vaûtre en lofant et s’arrête; *Départ à l’abatté* : le voilier se vaûtre en empannant, endommage le mât et risque de chavirer), les **spécifiques et physiques** (*Surfer ou Non* : le surf est un état de survitesse permettant à un monocoque de dépasser sa vitesse limite; *Equilibre des couples et Contrôle* : la formule (Eq.1) résulte d’une étude physique élémentaire considérant le pilotage comme une compensation par l’angle de barre des différents couples influençant un voilier autour de l’axe vertical).

$$v_{\text{voilier}}^2 \theta_{\text{barre}} = \frac{\mu_c \Delta_{\text{compas}} + \mu_a \Delta_{\text{allure}} + \mu_r \theta_{\text{roulis}} + \mu_{\delta r} \delta \theta_{\text{roulis}} + \mu_{\delta c} \delta \theta_{\text{compas}}}{\mu_r \theta_{\text{roulis}} + \mu_{\delta r} \delta \theta_{\text{roulis}} + \mu_{\delta c} \delta \theta_{\text{compas}}} \quad (\text{Eq.1})$$

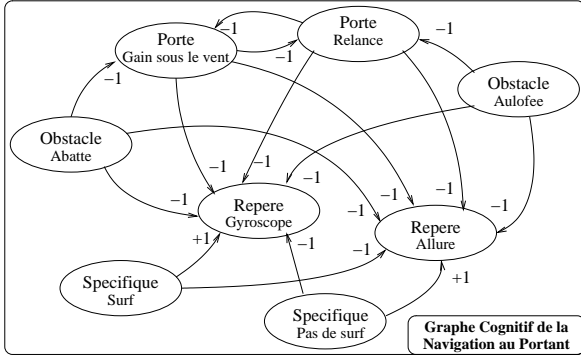
Cette expertise aide également au choix des capteurs : il faut savoir qu’un marin peut diriger son voilier de nuit et dans le brouillard. L’aspect visuel de la mer est alors remplaçable par des sensations vestibulaires avec une attention intermittente sur le compas afin d’avoir une notion sur la direction suivie. La direction et la force du vent sont ressenties par l’audition et le toucher. Il doit donc être possible d’activer les affordances à partir des capteurs : roulis, tangage, direction et vitesse du voilier, anémomètre et girouette.

Pour donner une idée sur la détermination des formules pour obtenir les valeurs absolues des affordances, détaillons l’affordance “aulofée” :

Propriétés Sensorimotrice de l’Aulofée				
Position sur la Vague			Vent et Allure	
Avant la crête ou après le creux			De travers à grand-largue	
Vitesse	Tangage	Roulis	Compas	Girouette
stable, faible ou moyenne	avant ou vers l’avant	très instable sous le vent	stable ou instable lofant	stable ou instable au lof

Cet exemple peut être traduit en terme de règles floues sur les capteurs d’un barreur virtuel. Nous avons donc la possibilité de spécifier le rôle d’un barreur virtuel de voilier au portant. Il peut parler de ce qu’il ressent comme un vrai barreur (en exprimant les affordances) pour coopérer avec le régleur et le tacticien.

Dans un premier temps, nous allons simplement étudier un comportement réactif dont la modalité est contrôlée par les affordances du GCF de la figure 2. Chaque affordance non spécifique est associée à un 5^{uplet}, $(\mu_c, \mu_a, \mu_r, \mu_{\delta r}, \mu_{\delta c}) \in \mathbb{R}^5$. Le choix d’une affordance détermine un quintuplet *i.e.* une modalité d’utilisation de (Eq.1). La validation expérimentale de ce modèle d’affordances utilise des enregistrements d’un

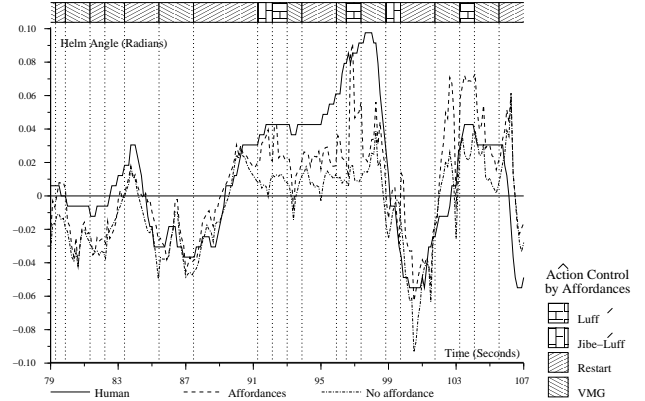


Les affordances non spécifiques sont organisées de sorte que les portes et les obstacles inhibent les points de repère, les obstacles inhibent les portes, et les portes s'inhibent entre elles. Le surf excite le gyroscope et inhibe l'allure, alors que son absence fait le contraire. Les activations externes proviennent de fuzzyfications sensorimotrices. La dynamique du GCF permet de sélectionner une affordance en accord avec les connaissances maritimes.

FIG. 2 – GCF d'après expertise du portant

voilier réel, nommé "ARéVi" lors de la Mini-Transat de 1997. Le tangage, roulis, compas, vitesse du voilier, angle de barre, et anémomètre furent enregistrés à 8 Hz pendant toute la traversée de l'Atlantique. Puisque la Mini-Transat est une course en solitaire, le barreur était soit le skippeur soit un pilote automatique. On choisit un domaine \mathcal{D} de 5 minutes. \mathcal{D} est alors partitionné en 6 sous-ensembles $\mathcal{D} = \cup \mathcal{D}_i$ selon deux méthodes différentes : une partition aléatoire et une partition d'après les affordances sélectionnées par la dynamique du GCF du barreur virtuel. Les 6 sous-ensembles ainsi obtenus correspondent aux différents contextes de pilotage. Sur chaque sous-ensemble \mathcal{D}_i on calcule l'identification des coefficients de (Eq.1) par la méthode des moindres carrés. Ces identifications donnent six 5^{uplet} , $(\mu_c, \mu_w, \mu_r, \mu_{\delta_r}, \mu_{\delta_c})_i \in \mathbb{R}^5$ optima pour les moindres carrés sur \mathcal{D}_i . Les résultats sont les suivants : le partitionnement aléatoire donne un comportement sensiblement égal à l'utilisation d'une unique formule (Eq.1) optimisée sur tout le domaine \mathcal{D} . Dans l'espace des coefficients \mathbb{R}^5 , la distance entre les optima est deux fois plus grande avec les affordances que sans. Cela signifie une meilleure différenciation de comportement avec les affordances. Mais l'erreur quadratique sur tout le domaine \mathcal{D} reste similaire avec ou sans les affordances. Cependant, la généralisation à un autre domaine de 5 minutes donne de meilleurs résultats lorsque le barreur virtuel est contrôlé par ce GCF prototypique.

La figure 3 illustre le mime d'un barreur réel par notre formule et quelques différences de comportement entre le modèle d'identification basé sur les affordances ou non. Les différences apparaissent rarement et ne durent pas mais il faut savoir que lors du Boc-Challenge'98, la navigatrice Isabelle Autissier a été victime d'une



Le GCF contrôle un pilotage contextuel. Le comportement d'un barreur humain est comparé avec les comportements réactifs de barreurs virtuels déterminés par l'équation (Eq.1) identifiée par moindres carrés sur un domaine de 5 minutes ou pour le même domaine sur une partition associée aux affordances déterminées par le GCF. 6 vagues sont passées sous le voilier pendant ces 28 secondes et le contexte a changé 20 fois pour presque 40 changements possibles avec une oscillation lente d'une fréquence de $\frac{4}{3}$ Hz.

FIG. 3 – Barreur humain et barreurs virtuels

telle erreur due à son système de pilotage automatique non contextuel. Les petites différences s'observent toujours lors de moments critiques et le modèle basé sur les affordances va toujours du bon côté. Pour ces raisons, nous pensons que ce GCF basé sur les affordances réalise un barreur plus crédible. La formule de pilotage contextuelle (Eq.1) + GCF donne un comportement purement réactif. A cause du manque de prédiction, les mouvements du barreur virtuel présentent des oscillations non observables dans le comportement du barreur humain.

4.2 Perception Active Implémentée

L'activation du GCF par fuzzyfication de capteurs détermine le choix d'une affordance *via* la dynamique du GCF selon une oscillation basse fréquence ($\frac{4}{3}$ Hz pour la figure 3). Le barreur virtuel utilise cette affordance pour adopter une stratégie convenable. Une telle stratégie est choisie au début de l'oscillation. Si la fréquence est trop basse, le contexte pourrait changer avant la fin de l'oscillation. Si cela n'est pas détecté, le comportement peut devenir dramatique. Si la fréquence est trop élevée, la quantité de calcul s'accroît et les adaptations incessantes à chaque nouveau contexte provoqueront un manque de crédibilité. Même si la fréquence est basse, le barreur virtuel doit être capable de synchroniser cette oscillation lente avec une perception pertinente de l'environnement. Chaque affordance est ainsi associée à une stratégie spécifique de trajectoire, décrite par une séquence de configurations sensorimotrices. Un expert doit donner ces configurations sensorimotrices caractéristiques. A titre d'exemple, nous détaillons une telle séquence de confi-

gurations (ici 3 postures) associée à l’affordance de la relance :

1. Posture ($\theta_{1\text{barre}}, \Delta 1_{\text{compas}}, \Delta 1_{\text{allure}}$). On calcule une unique fois $\theta_{1\text{barre}}$ par le processus réactif (Eq.1) avec ($\Delta 1_{\text{compas}} = \Delta_{\text{compas}} - 5^\circ, \Delta 1_{\text{allure}} = \Delta_{\text{allure}} + 10^\circ$) et les coefficients ($\mu_c, \mu_a, \mu_r, \mu_{\delta r}, \mu_{\delta c}$) de la relance. On inhibe le processus réactif et l’on observe les variations du compas, de l’anémomètre et du roulis : lorsque $\theta_{\text{barre}} = \theta_{1\text{barre}}$, on doit observer une variation de cap négative et une variation de girouette positive (sinon c’est l’affordance d’abatté qui aurait du être sélectionnée) et la variation de gîte ne doit pas dépasser son écart-type (sinon, c’est l’aulofée qui aurait du être sélectionnée).
2. Posture ($\Delta 2_{\text{compas,allure}} = \Delta 1_{\text{compas,allure}}, v_{2\text{voilier}}$). On lève l’inhibition du processus réactif (Eq.1) avec $\Delta 2_{\text{compas,allure}}$ pour calculer θ_{barre} dynamiquement. On observe uniquement la vitesse v_{voilier} . Elle doit augmenter jusqu’à être supérieure ou égale à $v_{2\text{voilier}}$. Si ça n’augmente pas, synchroniser une nouvelle oscillation basse fréquence pour sélectionner une nouvelle affordance en conservant cette configuration.
3. Posture Finale ($v_{\text{voilier}} \geq v_{2\text{voilier}}$) : utiliser alors le processus réactif (Eq.1) avec les coefficients de la relance en mode non modifié et demander à l’oscillation basse fréquence une nouvelle sélection d’affordance.

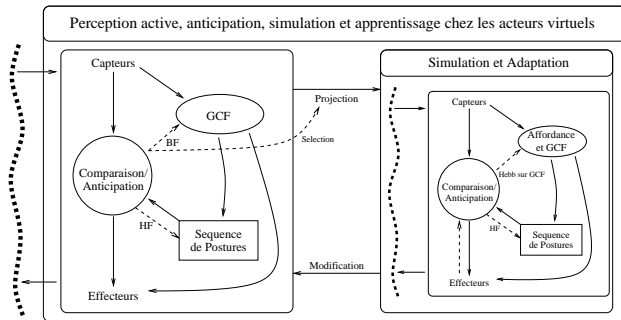


Illustration de la structure du modèle de perception active pour des acteurs virtuels. Le GCF sélectionne une affordance qui déclenche une stratégie consistant en une séquence de postures caractérisées par des configurations sensorimotrices. Les configurations attendues sont comparées aux capteurs, ce qui synchronise la séquence (HF) en cas de reconnaissance, sinon met en phase l’oscillation (BF) du GCF et projette le dernier cycle (BF) ayant conduit à une erreur d’anticipation dans le mode de simulation. Ce dernier mode jouera ce cycle mémorisé dans un monde imaginaire en forçant les affordances afin de choisir la mieux adaptée puis de modifier par apprentissage hebbien les liens du GCF.

FIG. 4 – Simulation dans la simulation

Si la première configuration n’est pas reconnue, c’est qu’une erreur du GCF est fortement probable. Le cycle en cours des caractéristiques sensorimotrices est alors mémorisé et l’agent virtuel exécute dans son espace imaginaire ce cycle lent pour les différentes affordances. Il choisit, à l’issue du test imaginaire sur toutes les affordances, celle qui présente l’erreur la plus faible. Ce choix permet alors de modifier les poids

entre les concepts du GCF selon le principe de Hebb [Parenthoën 02], et en respectant les bornes fournies par l’expert lors de la création du GCF prototypique (figure 4).

5 Conclusions et Perspectives

L’outil des GCFs permet de spécifier, de contrôler, de prédire et d’apprendre des comportements chez des agents autonomes, émotionnels et perceptifs. C’est un modèle très utile pour la spécification et l’implémentation d’acteurs autonomes dans les mondes virtuels.

La notion d’“affordance” provient de recherche en psychologie écologique. Cette notion permet de jeter un pont conceptuel entre les propriétés environnementale et le savoir-faire des hommes en matière d’adaptation. Au delà de la simple métaphore, nous essayons d’expliquer les principes des processus liés aux affordances. Cette tentative nous a conduit à définir un cadre aidant à la formalisation d’acteurs virtuels autonomes et crédibles. De plus, les GCFs basés sur les affordances peuvent enrichir la psychologie expérimentale d’un modèle pour la sélection des affordances parmi plusieurs.

Selon des neurophysiologues, la perception n’est pas seulement réactive, elle est aussi simulation interne et anticipation. Implémenté chez des acteurs virtuels par une simulation dans la simulation synchronisée selon des oscillations observées dans l’hippocampe, la perception active accroît leur autonomie et leur crédibilité. Nous sommes convaincus que la perception active est l’une des clés pour des humains virtuels autonomes ; tout spécialement pour l’apprentissage en ligne d’un comportement spécifique à partir d’une description prototypique.

La détermination des affordances marines pour réaliser un environnement marin virtuel crédible dont les agents seraient contrôlés par des GCFs basés sur ces affordances, semble pertinente d’après nos premières expériences. Cependant, la difficulté principale des GCF réside dans leur construction : il est nécessaire d’extraire les concepts pertinents, mais aussi de déterminer les liens entre ces concepts. Le cadre théorique des affordances apporté par les psychologues facilite leurs créations avec l’aide d’un expert. L’ajustement des poids entre les concepts demeure difficile, même si la perception active peut ouvrir le chemin d’une adaptation en ligne de type Hebb.

Références

- [Arnaldi 94] Arnaldi B., *Modèles physiques pour l’animation*, Habilitation à Diriger les

- Recherches (HDR), Université Rennes-1, France, 1994.
- [Bates 92] Bates J., Virtual Reality, Art, and Entertainment, *Presence*, 1(1) :133-138, MIT Press, 1992.
- [Berthoz 97] Berthoz A., *Le sens du mouvement*, Odile Jacob Ed., 1997.
- [Buzsaki 92] Buzsaki G., Horvath Z., Urioste R. Hetke J. and Wise K., High frequency network oscillations in the hippocampus, *science*, 256 :1025-1027, 1992.
- [Cronin 97] Cronin P., *Report on the application of virtual reality to education*, Report, HCRC, University of Edinburgh, 1997.
- [Droulez 88] Droulez J., Berthoz A., *Servo-controlled (concernative) versus topological (projective) modes of sensory motor control*, Disorders of Posture and Gait, Bles and Brandt T. eds, Elsevier, 83-97, Amsterdam, 1988.
- [Flach 96] Flach J.M., Bennet K.B., A theoretical framework for representational design, *Automation and Human Performance : Theory and Application*, 65-87, 1996.
- [Gibson 77] Gibson J.J., The theory of affordances, *Perceiving, Acting and Knowing*, R.E. Shaw and J. Bransford (eds), 1977.
- [Harrouet 02] Harrouet F., Tisseau J., Reignier P., Chevaillier P., oRis : un environnement de simulation interactive multi-agents, *RSTI-TSI*, 21(4) :499-524, 2002.
- [Hayes-Roth 96] Hayes-Roth B., Van Gent R., Story-making with improvisational puppets and actors *Technical Report KSL-96-05*, Stanford University, 1996.
- [Jordan 98] Jordan T., Raubal M., Gartrell B., Egenhofer M.J., An affordance-based model of place in GIS, 8th *International Symposium on Spatial Data Handling*, 98-109, Canada, 1998.
- [Kosko 86] Kosko B., Fuzzy Cognitive Maps, *International Journal Man-Machine Studies*, 24 :65-75, 1986.
- [Kosko 88] Kosko B., Hidden patterns in combined and adaptative knowledge networks, *International Journal of Approximate Reasoning*, 2 :337-393, 1988.
- [Lahlou 00] Lahlou S., Attracteurs cognitifs et travail de bureau, *Intellectica*, 30 :75-113, 2000.
- [Lestienne 95] Lestienne F., Equilibration, *Encyclopædia Universalis*, 8 :597-601, Paris, 1995.
- [Lisman 95] Lisman J.E., Idiart M.A.P., Storage of short term memories in oscillatory sub-cycles, *Science*, 267 :1512-1515, 1995.
- [Maffre 01] Maffre E., Tisseau J., Parenthoën M., Virtual Agents Self-Perception in Virtual Story Telling, *ICVS 2001 proceedings*, 155-158, Springer LNCS 2197, 2001.
- [Magenat 91] Magneat N., Thalmann D., Complex Models for Animating Synthetic Actors, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 11(5) :32-44, 1991.
- [Mateas 97] Mateas M., An Oz-Centric Review of Interactive Drama and Believable Agents, *Technical Report CMU-CS-97-156*, Carnegie Mellon University, 1997.
- [Meyer 91] Meyer J.A., Guillot A., Simulation of adaptative behavior in animats : review and prospect, *SAB'91 proceedings*, 1 :2-14, 1991.
- [Parenthoën 01] Parenthoën M., Reignier P., Tisseau J., Put Fuzzy Cognitive Maps to Work in Virtual Worlds, *FUZZ-IEEE 2001 proceedings*, 1 :252-255, 2001.
- [Parenthoën 02] Parenthoën M., Buche C., Tisseau J., Action Learning for Autonomous Virtual Actors, *ISRA 2002 proceedings*, 549-554, 2002.
- [Perlin 95] Perlin K., Goldberg A., Improv : a system for scripting interactive actors in virtual worlds, *Computer Graphics*, 29(3) :1-11, 1995.
- [Spence 99] Spence R., A framework for navigation, *International Journal of Human-Computer Studies*, 51 :919-945, 1999.
- [Stoffregen 99] Stoffregen T.A., Gorday K.M., Sheng Y.-Y., Flynn S.B., Perceiving affordances for another person's actions, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 25 :120-136, 1999.
- [Thalmann 00] Thalmann D., Challenges for the Research in Virtual Humans, *Workshop Achieving Human-like behavior in interactive animated agent*, Barcelona, Spain, 2000.
- [Tolman 48] Tolman E.C., "Cognitive Maps in Rats and Men", *Psychological Review*, 42, 55, 189-208, 1948.
- [Vicente 90] Vicente K.J., Rasmussen J., The ecology of human-machine systems II : mediating "direct perception" in complex work domains, *Ecological Psychology*, 2 :207-249, 1990.
- [Wilson 85] Wilson S.W., Knowledge growth in an artificial animal, *Proceedings Genetic Algorithms and their Applications'85*, 16-23, 1985.