

Construction incrémentale d'un comportement collectif autour d'une proto-émotion de peur

Clément Raïevsky^a
clement.raïevsky@univ-grenoble-alpes.fr

François Suro^a
francois.suro@univ-grenoble-alpes.fr

^aUniv. Grenoble Alpes, Grenoble INP, LCIS, 26000 Valence, France

Résumé

Partant de l'hypothèse que les émotions et la cognition sont indissociables, nous souhaitons doter des agents situés de prémisses des fonctions que les émotions jouent dans notre cognition. Pour ce faire, nous modélisons à l'aide de l'architecture MIND, un comportement réactif dans un contexte proie-prédateur combinant fuite, agrégation, alerte et inactivité. En s'appuyant sur les mécanismes de construction progressive de comportements offerts par MIND, nous étendons ce comportement par l'ajout d'un processus de régulation de l'intensité d'une proto-émotion de peur. Ce comportement individuel est ensuite étendu à un niveau collectif par l'ajout d'une nouvelle compétence s'apparentant à la contagion émotionnelle, à travers l'expression et la perception de l'état émotionnel des autres proies.

1 Introduction

Selon Piaget [11], la construction des structures cognitives qui sous-tendent notre intelligence est incrémentale. Cette théorie du développement cognitif a inspiré de nombreux travaux sur l'apprentissage développemental, cumulatif (ou *lifelong learning*[10]) et l'apprentissage par curriculum[1], pour les agents situés et pour les robots en particulier.

C'est dans ce cadre que l'architecture Modular Influence Network Development (MIND) [15] a été proposée. Dans la lignée de ces travaux, nous proposons ici d'explorer une autre hypothèse de Piaget, selon laquelle l'affect ou les émotions sont indissociables de la cognition. Cette hypothèse a été reprise par de nombreux chercheurs en IA [8], [14] et il est désormais établi que l'affectif et le cognitif sont intriqués, aussi bien durant le développement que dans leur fonctionnement usuel.

Le travail présenté ici vise à étendre MIND par une démarche constructiviste en intégrant les prémisses de deux fonctions primaires des émotions dans la cognition humaine : la fonc-

tion de régulation de l'aspect énergétique du comportement [11] et la fonction de signal social des émotions [6], [9]. La première prend la forme d'une variable représentant l'intensité d'une proto-émotion de peur et son mécanisme de régulation associé, la seconde se traduit par l'échange de signaux dédiés. Nous parlons de proto-émotion car nous ne prétendons pas reproduire le processus cognitif correspondant à une émotion au complet.

Le contexte expérimental proie-prédateur a été choisi car il représente un bon compromis entre une relative simplicité des comportements et un environnement et des missions suffisamment riches pour valoriser des comportements collectifs par rapport à des comportements purement individuels et réactifs. À l'inverse de travaux existants sur le problème proie-prédateur, nous nous intéressons aux comportements des individus et non aux dynamiques de population. Nous sommes donc restés dans le contexte initial de MIND : la robotique.

2 État de l'art

Notre proposition porte sur l'utilisation des émotions artificielles dans la prise de décision des agents situés [7]. Nous ne visons pas à reproduire fidèlement les processus cognitifs humains, mais plutôt à reproduire les fonctions que ces processus remplissent dans la prise de décision d'êtres vivants simples.

Guzzi et al. [5] proposent une architecture de contrôle multi-robots intégrant des états émotionnels partagés qui influencent le comportement individuel. Ces travaux ne sont cependant pas positionnés par rapport au domaine des SMA et les états émotionnels conditionnent directement les comportements actifs du robot. Les biais introduits dans la génération des émotions et dans leurs influences rendent difficile la généralisation de ces résultats.

Le modèle Satisfaction-Altruisme [13], proposé spécifiquement pour la coordination dans les SMA, intègre des signaux d'intentions simples

provenant d'autres agents à la sélection d'actions basée sur des objectifs individuels. L'aspect réactif de cette architecture correspond plus à l'approche visée par MIND qu'aux approches BDI utilisés dans un contexte similaire [2]. Ce modèle réactif ne vise cependant pas à représenter un état émotionnel dans les agents.

3 Architecture de contrôle

MIND [15] est une architecture de contrôle conçue pour répondre aux besoins spécifiques de la robotique développementale et de l'apprentissage ouvert et continu.

Dans MIND les compétences sont encapsulées dans des modules ou *Skills*, représentés par des cercles noirs dans la Figure 1. Ces modules potentiellement hétérogènes et qui peuvent être appris ou programmés sont combinés hiérarchiquement pour former le mécanisme de prise de décision des agents.

L'une des caractéristiques distinctives de MIND est son mécanisme d'influence¹, une approche basée signal permettant le neurocontrôle et la composition vectorielle multi-niveaux de comportements. Par cette approche, l'intégration des informations capteurs et actionneurs s'effectue sous forme de signaux continus. Ce mécanisme de représentation est aussi employé dans la gestion interne d'information, pour la persistance et la formation de concepts, d'une manière proche des travaux sur les *cognitons* [3] ou des *espaces conceptuels* [4].

4 Expériences

Environnement de simulation Afin de placer les agents dans un environnement "physique", que ce soit pour leur perceptions que pour leur contrôle, les expériences ont été réalisées dans un environnement circulaire 2D doté d'un moteur physique.

Prédateur Le comportement du prédateur consiste à se diriger vers la proie la plus proche qui sera tuée s'il parvient à entrer en contact avec elle. Elle sera alors recréée instantanément à une position aléatoire de l'environnement. Sa portée de perception est illimitée.

Proies La Figure 1 présente l'instance de MIND qui contrôle les proies. Elles sont dotées de capteurs permettant : la détection passive du prédateur, simulant l'audition à courte distance ; la détection d'obstacles ; et la collecte des informations nécessaires au comportement d'agrégation.

Elles peuvent également activer un capteur (simulant la vision) qui permet de détecter la position précise du prédateur, mais qui est considéré comme interrompant l'activité de pâture des proies. Ce capteur est occulté par les obstacles et les autres proies.

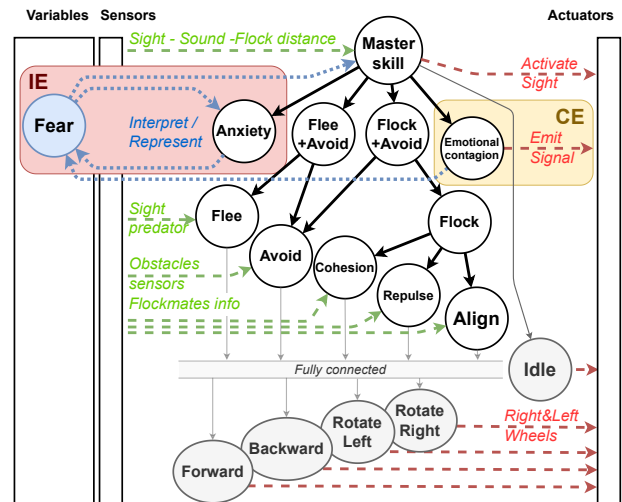


FIGURE 1 – Instance de MIND pour le comportement des proies. Les modules (*skills*) relatifs aux comportements Individuel Émotionnel (IE) et Collectif Émotionnel (CE) sont mis en valeur.

4.1 Comportements des proies

Notre étude porte sur trois étapes de développement successives : dans la première, les proies ont un comportement réactif, sans communication et uniquement basé sur la perception des positions du prédateur et des autres proies. Dans la seconde configuration, les proies sont dotées d'une variable associée à l'intensité d'une proto-émotion de peur qui influence leur comportement. Dans la troisième, l'intensité de cette variable est perçue par les proies voisines. La Figure 1 présente la hiérarchie de compétences correspondant aux trois configurations.

Individuel Réactif Le comportement de base des proies résulte de la combinaison de quatre compétences :

- Une compétence d'**agrégation** (*flocking*) classique [12] qui comporte trois composantes : cohésion, répulsion et alignement.
- Une compétence d'**évitement** d'obstacles
- Une compétence de **fuite** du prédateur qui utilise le capteur visuel lorsqu'il est actif pour s'en éloigner.
- Une compétence d'**inactivité** qui permet de représenter le temps passé à se nourrir.

Le comportement d'agrégation a été mis en place afin de valoriser le comportement collectif

1. Fig.1 : flèches pleines connectant les skills

en introduisant une confusion chez le prédateur qui poursuit la proie la plus proche.

La compétence maîtresse (*Master skill*) est en charge de l'activation de ces différentes compétences via deux compétences intermédiaires ainsi que de l'activation du capteur visuel. Le fonctionnement prédéterminé de cette compétence est le suivant : si le prédateur n'est pas perçu, l'inactivité et l'agrégation sont activées en fonction de la distance à la proie la plus proche et le capteur visuel est activé aléatoirement. Une fois le prédateur perçu, la fuite et l'agrégation sont combinées, la fuite étant d'autant plus prioritaire que le prédateur est proche. Dans ce cas, le capteur visuel reste activé.

Individuel Émotionnel Ce comportement inclue deux nouveaux éléments, encadrés en rouge dans la Fig. 1 : la variable *Fear* représentant l'intensité d'une proto-émotion de peur et une compétence chargée de la régulation de cette intensité nommée, par abus de langage, "*Anxiety*". Cette compétence augmente l'intensité de la peur lorsque le prédateur est perçu ou lorsqu'aucune proie n'est à proximité. Elle diminue la peur lorsque le prédateur n'est plus perçu ou que d'autres proies sont à proximité.

La compétence maîtresse prend en compte la variable *Fear* en augmentant à la fois la probabilité d'activation du capteur visuel et l'influence de la compétence d'agrégation, proportionnellement à son intensité.

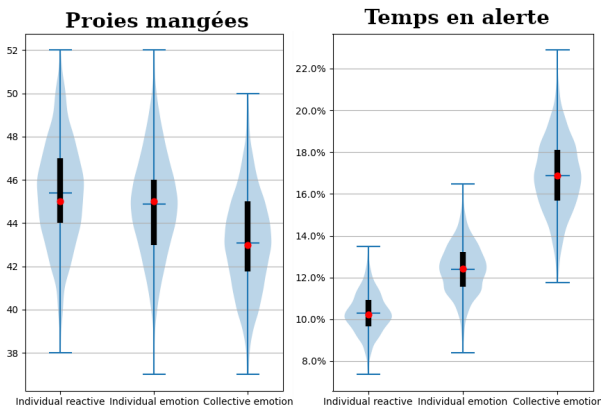


FIGURE 2 – Comparaison des 3 configurations du comportement des proies en termes de nombre de proies mangées et du temps passé en état d'alerte.

Collectif Émotionnel Enfin, la dernière configuration met en œuvre la propagation de l'émotion de peur via l'ajout d'une nouvelle compétence de contagion émotionnelle chargée de percevoir et d'exprimer l'état émotionnel des proies. Cette compétence active l'émission d'un signal sur un front montant de l'intensité de la peur au-

dessus d'un seuil haut. Ce signal reste actif tant que l'intensité de la peur ne diminue pas sous un seuil bas.

L'intensité de la peur est affectée par la contagion émotionnelle de deux manières :

- Fortement par l'apparition de nouveaux signaux.
- Faiblement en présence d'agents n'émettant pas le signal.

La combinaison de l'effet des compétences *Anxiety* et *Emotional contagion* sur la variable *Fear* est comparable au modèle Satisfaction-Altruisme [13] dans son intégration des aspects individuels et collectifs.

5 Résultats

L'introduction de la variable émotionnelle se traduit par une persistance dans le comportement de fuite individuelle. Cependant, la Figure 2 montre que cette persistance, observable dans le temps passé en alerte, n'apporte qu'une faible amélioration du taux de survie, non significative dans les résultats obtenus. L'ajout du mécanisme de contagion émotionnelle provoque des comportements de fuite collectifs, comme illustrés par la Figure 3, qui permettent d'améliorer le taux de survie du groupe, au prix d'un temps plus grand passé en alerte.

L'exploration de l'espace des paramètres ainsi que des variations des comportements décrits mènent à des résultats similaires. Cela suggère que notre implémentation des différents mécanismes émotionnels n'entraîne pas une répartition significativement plus pertinente du temps d'alerte et l'augmentation de la survie semble due à l'augmentation globale du temps d'alerte.

Cependant, l'observation qualitative des comportements montre bien une différence, comme le montre la Figure 3. Une vidéo des différents comportements est disponible à l'adresse suivante : <https://hal.science/hal-04060987>

6 Conclusion et Perspective

Ce travail préliminaire sur l'intégration de mécanismes émotionnels au sein de l'architecture de prise de décision MIND montre qu'elle permet d'intégrer la représentation d'une émotion simple, de clairement définir un processus de régulation de cette représentation et de construire de manière incrémentale un comportement collectif autour de celle-ci. Cela illustre les possibilités d'applications de MIND pour la modélisation de comportements dans les systèmes multi-agents.

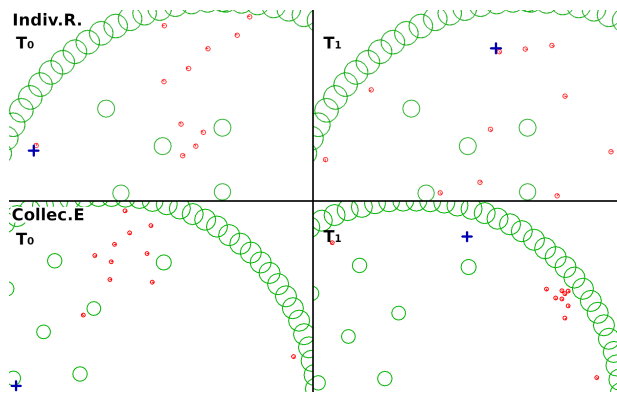


FIGURE 3 – Comparaison des comportements de référence et Collectif Émotionnel (CE) des proies (petits cercles rouges) face à une attaque du prédateur (croix bleue). Au temps T1 le comportement de fuite coordonné apparaît pour le comportement CE.

Malgré une modification subjective des comportements par l'ajout de ces mécanismes et un aspect plus naturel des comportements obtenus, cette première investigation n'a pas permis de mettre en évidence une amélioration quantitative du comportement des proies en terme de survie. Cette constatation peut avoir, selon nous, deux origines : soit les biais introduit par la conception ad hoc de compétences, combinés à un espace de paramètres trop grands, compensent négativement les gains potentiels de l'ajout des mécanismes émotionnels ; soit le fait de ne pas avoir reproduit le mécanisme de régulation de la préparation à l'action associée à ces mécanismes émotionnels a empêché les agents de profiter des fonctions bénéfiques qui leur sont associées.

Les deux suites immédiates au travail présenté ici sont donc l'apprentissage des différentes compétences constituant le comportement des agents d'une part et l'introduction d'un mécanisme de régulation de la préparation à l'action d'autre part.

Références

[1] Y. BENGIO, J. LOURADOUR, R. COLLOBERT et J. WESTON, "Curriculum learning," in *Int. Conf. on Machine Learning*, ACM, 2009, p. 41-48.

[2] M. BOURGAIS, P. TAILLANDIER et L. VERCOUTER, "Ben : An agent architecture for explainable and expressive behavior in social simulation," in *EXTRAAMAS, Montreal, QC, Canada, May, 2019*, Springer, 2019, p. 147-163.

[3] J. FERBER, *Les Systèmes Multi-agents, Vers une intelligence collective*. InterEditions, Paris, 1995.

[4] P. GÄRDENFORS, "Induction, conceptual spaces and AI," *Philosophy of Science*, t. 57, n° 1, p. 78-95, 1990.

[5] J. GUZZI, A. GIUSTI, L. M. GAMBARDELLA et G. A. DI CARO, "A Model of Artificial Emotions for Behavior-Modulation and Implicit Coordination in Multi-Robot Systems," in *GECCO*, New York, NY, USA, 2018, p. 21-28.

[6] S. HARELI et U. HESS, "The social signal value of emotions," *Cognition and Emotion*, t. 26, n° 3, p. 385-389, 2012.

[7] Z. KOWALCZUK et M. CZUBENKO, "Computational Approaches to Modeling Artificial Emotion – An Overview of the Proposed Solutions," *Frontiers in Robotics and AI*, t. 3, 2016.

[8] M. MINSKY, *The Society of Mind*. Simon et Schuster éditeurs, 1985.

[9] K. OATLEY et P. JOHNSON-LAIRD, "Towards a Cognitive Theory of Emotions," *Cognition and Emotion*, t. 1, n° 1, p. 29-50, 1987.

[10] E. OZTOP et E. UGUR, "Lifelong Robot Learning," in *Encyclopedia of Robotics*, Springer Berlin Heidelberg, 2020, p. 1-12.

[11] J. PIAGET, "Les relations entre l'intelligence et l'alloctivité dans le développement de l'enfant (I, II, III)," *Bulletin de psychologie*, t. 7, n° 3, p. 143-150, 1954.

[12] C. W. REYNOLDS, "Flocks, herds and schools : A distributed behavioral model," in *ACM SIGGRAPH computer graphics*, ACM, t. 21, 1987, p. 25-34.

[13] O. SIMONIN et J. FERBER, "Modeling self satisfaction and altruism to handle action selection and reactive cooperation," in *SAB*, 2000, p. 314-323.

[14] A. SLOMAN et M. CROUCHER, "Why robots will have emotions," in *Proceedings of the 7th IJCAI*, t. 1, 1981, p. 197-202.

[15] F. SURO, J. FERBER, T. STRATULAT et F. MICHEL, "A hierarchical representation of behaviour supporting open ended development and progressive learning for artificial agents," *Autonomous Robots*, t. 45, n° 2, p. 245-264, 2021.