

Analyse comparative de trajectoires d'exploration perceptive

Yusr Amamou
COSTECH, UTC
Centre Pierre Guillaumat
BP 60649 - 60206 Compiègne Cedex France
+33(0) 3 44 23 44 23(poste 5061)
yusr.amamou@utc.fr

John STEWART
COSTECH, UTC
Centre Pierre Guillaumat
BP 60649 - 60206 Compiègne Cedex France
+ 33(0) 3 44 23 43 64
John.stewart@utc.fr

ABSTRACT

In order to formalize the conditions for use and appropriation of a sensory-motor coupling device and to implement a training protocol, in a previous study we established a set of descriptors for the trajectories of perceptive exploration recorded by means of a substitution tactile interface with blindfolded subjects. These descriptors employ the Fourier transform known for its relevance in the characterization of the rhythmic performance. The experimental device includes a stylus and a graphics tablet connected to a computer equipped with "Tactos" software, and tactile stimulators made up of two Braille cells. The stylus, controlled by the subject, is responsible for the activation of tactile stimulators when it crosses the graphic form. The trajectories of exploration implement a strategy of action constitutive of the perception of two-dimensional geometrical graphic form. The aim of the present analysis is to study the robustness of the trajectory descriptors, by applying them both to the exploration trajectories produced by the human subjects, and to the trajectories produced by a simulated model of the strategies employed.

Categories and Subject Descriptors

I.3. [Computer Graphics]: Methodology and Techniques.

General Terms

Experimentation, Human Factors and Performance.

Keywords

Perception, descriptor, exploratory strategies, simulator-modeler, Fourier transform.

RESUME

En vue de formaliser les conditions d'usage et d'appropriation d'un dispositif de couplage sensori-moteur et de mettre en œuvre un protocole d'apprentissage, dans une étude précédente [2] nous avons élaboré une liste de descripteurs des trajectoires d'exploration perceptive enregistrées au moyen d'une interface de suppléance tactile des sujets aux yeux bandés. Ces descripteurs emploient la transformée de Fourier connue pour sa pertinence

dans la caractérisation du comportement rythmique. Le dispositif expérimental comprend un stylet et une tablette graphique reliés à un ordinateur équipé du logiciel "Tactos", et un boîtier de stimulateurs tactiles. Le stylet, piloté par le sujet, est responsable de l'activation des stimulateurs lorsqu'il croise la forme graphique. Les trajectoires d'exploration mettent en œuvre une stratégie d'action constitutive de la perception de formes graphiques géométriques bidimensionnelles. Nous avons souhaité dans la présente analyse étudier la robustesse des descripteurs de stratégies de perception de formes, précédemment identifiés, en les appliquant respectivement, aux trajectoires d'explorations produites par les sujets humains et, aux trajectoires produites par des simulations basées sur des modèles explicites des stratégies mises en œuvre.

Mots clés

Perception, descripteur, stratégies d'explorations, simulateur-modélisateur et transformation de Fourier.

1. INTRODUCTION

Dans les dernières études il y a de plus en plus une investigation des phénomènes psychologiques dans le contexte de l'interaction située avec un environnement.

Cette investigation permet d'étudier certains aspects du comportement, en particulier l'interaction dite "homme-machine" où un sujet s'engage dans une boucle sensori-motrice, son interaction avec un environnement virtuel est médiatisée par un dispositif de couplage [3]. Ces interactions peuvent donner lieu à des phénomènes dynamiques qui résultent des différentes capacités ou comportements du sujet vis à vis du dispositif.

Le dispositif que nous utilisons dans cette étude est décrit ci-dessous (cf. Figure1) ; il transforme des stimuli habituellement associés à une modalité sensorielle tel que la vision en des stimuli d'une autre modalité sensorielle tel que le toucher. Il tend à montrer que la construction d'un espace de perception se réalise à partir de l'extraction d'invariants sensori-moteurs, ce qui est porteur de profonds changements conceptuels sur la cognition en général.

Ce dispositif technologique de substitution sensorielle [5], appelé également dispositif de suppléance perceptive [4], a montré que des personnes présentant un handicap sensoriel, particulièrement les aveugles[1], peuvent percevoir des formes graphiques jusqu'alors inaccessibles sans contact direct.

2. LA PLATEFORME TACTOS

La plate-forme "Tactos" est un dispositif dont la vocation est de permettre la lecture de formes graphiques numériques bi-

dimensionnelles par des personnes privées de la vision. Ce dispositif est composé de trois éléments principaux : un boîtier comportant des cellules Braille électroniques, un ordinateur portable (équipé du logiciel "Tactos") et une tablette graphique accompagnée d'un stylet.

Les sujets voyants manipulent le dispositif expérimental les yeux bandés. Le sujet explore la forme graphique en déplaçant le stylet sur la tablette graphique ; sa main non dominante, placée sur le boîtier braille, reçoit la stimulation tactile.

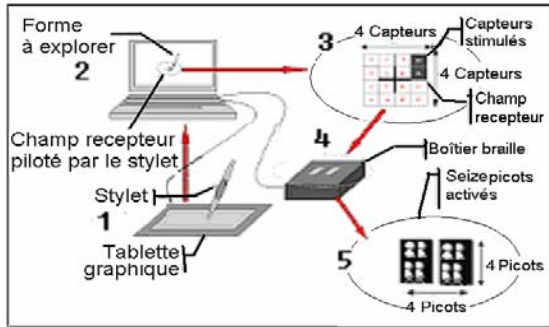


Figure 1 : Le stylet tactile.

Le déplacement du stylet sur la surface de la tablette graphique entraîne le déplacement du curseur sur l'écran de l'ordinateur (non visible par le sujet). La forme graphique à percevoir est inscrite sur l'écran de l'ordinateur ; chaque fois que le curseur croise la forme, les picots des cellules Braille sont activés. En d'autres termes, le logiciel "Tactos" détecte les coïncidences entre le curseur (affiché sur l'écran du portable) piloté par le stylet sur la tablette graphique, et la forme graphique en mémoire.

3. EXPERIENCE EMPIRIQUE ET SIMULATIONS

3.1 Analyse de données

Dans une précédente étude [2] nous avons décrit et automatisé l'identification des stratégies d'exploration mises en œuvre par les sujets afin de percevoir les formes. En effet, en explorant les formes graphiques les sujets produisent des *trajectoires* qui peuvent être enregistrées et analysées. Nous avons pu élaborer une liste de descripteurs de ces trajectoires graphiques (cf. 3.3) qui permettent de différencier plusieurs stratégies d'exploration. Qualitativement, nous avons ainsi identifié trois stratégies : « suivi continu », « micro-balayage » et « nano-balayage ».

3.2 Stratégies d'explorations de forme

Dans cet article, nous introduisons des simulations qui génèrent des trajectoires en se basant sur la logique sous-jacente à chacune des trois stratégies précédemment identifiées. Le but est double : d'une part, de vérifier que ces stratégies permettent effectivement aux agents simulés de maintenir un contact tout en avançant dans l'exploration de la forme, et ce de façon robuste ; d'autre part, de comparer les trajectoires produites par les agents simulés avec les trajectoires réelles produites par des sujets humains, au moyen des mêmes descripteurs de trajectoire (cf. 3.3).

3.2.1 Suivi continu.

La logique de cette stratégie, spontanément employée par la majorité des sujets humains, consiste à avancer régulièrement sur la forme aussi longtemps que le contact est maintenu ; dès que le

contact est perdu, l'agent s'arrête et effectue des oscillations orthogonales à la forme d'une amplitude croissante jusqu'à ce que le contact soit rétabli. Des trajectoires typiques sont montrées dans la Figure 2 : on constate que dans les deux cas le nombre de ruptures de contact est limité.

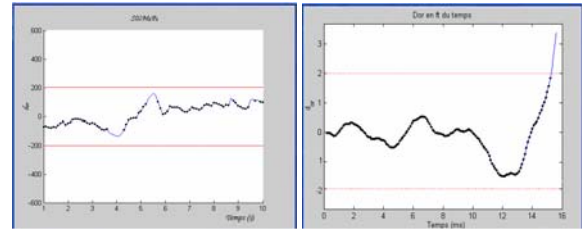


Figure 2. Des trajectoires correspondant à la stratégie « suivi continu » : à gauche un sujet humain ; à droite un agent simulé. Le zone de contact, pour une trajectoire simulée, est entre [-2,2] ; pour un sujet humain, entre [-100,100].

3.2.2 Micro balayage.

Les sujets mettent délibérément en œuvre des mouvements oscillatoires en effectuant un balayage autour de la forme graphique. Dans les simulations, dès que l'agent perd contact avec la forme, il impulse une accélération inverse à sa vitesse orthogonale jusqu'à retrouver un contact avec la forme. Ainsi, les sujets obtiennent une stimulation variée plus au moins régulière (Figure 3).

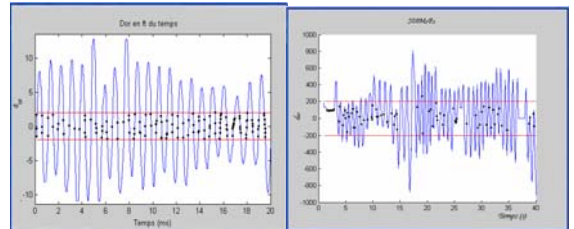


Figure 3. Des trajectoires correspondant à la stratégie « micro-balayage » : à gauche un sujet humain ; à droite un agent simulé.

3.2.3 Nano balayage.

Nous pouvons dire que cette stratégie est intermédiaire entre les deux précédemment citées. Pour les simulations, les agents effectuent inconditionnellement une oscillation orthogonale de petite amplitude, en avançant régulièrement sur la forme aussi longtemps que le contact est maintenu. Lors d'une perte de contact, le fait d'être dans un régime oscillatoire permet à l'agent de se situer par rapport à la forme et de savoir immédiatement dans quelle direction orthogonale il doit se déplacer pour retrouver la forme.

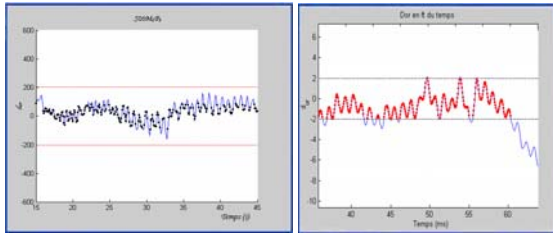


Figure 4. Des trajectoires correspondant à la stratégie « nano-balayage » : à gauche un sujet humain ; à droite un agent simulé.

3.3 Liste de descripteurs

L'outil de base pour analyser les portions d'explorations retenues est la transformée de Fourier appliquée à d_o , la série temporelle des distances orthogonales entre chaque point de la trajectoire et la forme graphique explorée. Cela permet de discriminer les composants dus à des oscillations de haute fréquence (>0.5 cycle/second), et celles de basse fréquence (<0.5 cycle/second). La liste des descripteurs, qui permettent d'identifier les stratégies, est la suivante :

- ET : écart type de chaque point par rapport à la forme graphique.
- D_1 : la proportion de la puissance dans la transformée de Fourier supérieure à la valeur seuil de 0,5 (cps).
- $D_{1,1}$: comme D_1 , mais la transformée de Fourier est appliquée à la distance $d_{o,h} = d_o - d_{o,l}$ où $d_{o,l}$ est la moyenne locale de d_o lissée sur une fenêtre de dix pas de temps (1 seconde).

- $\overline{L_0} = \frac{\sum L_0}{n}$, la valeur moyenne de points successifs sans contact avec la forme.

- $\overline{L_1} = \frac{\sum L_1}{n}$: la valeur moyenne de points successifs en contact avec la forme.

Nous avons ajouté un autre descripteur, qui mesure l'amplitude des oscillations :

$$D_{jy} = \frac{\sum_{1..n} \frac{\text{abs}(\text{extremum}(i) - \text{extremum}(i+1))}{\text{épaisseur_contact}}}{\text{nombre des oscillations}}$$

Si la valeur est inférieure à 1 cela veut dire que le sujet est resté dans la zone de contact.

3.4 Etude comparative

Dans une précédente étude, ces descripteurs des trajectoires permettent de distinguer les trois stratégies précitées :

- Les sujets qui emploient la stratégie "suivi continu" ont une composante de basse fréquence important ; cela se résume par des valeurs de $D_1 < 0,3$; $D_{1,1} < 0,6$ et $D_{jy} < 1$.

- Les sujets qui emploient la stratégie de "micro-balayage" ont une composante à haute fréquence important ($D_1 > 0,6$ et $D_{jy} > 1$).
- Les sujets qui emploient la stratégie de "nano-balayage" obtiennent une composante importante à basse fréquence et une valeur faible de D_1 . En appliquant la transformée de Fourier à la distance " $d_{o,h}$ ", la valeur du descripteur $D_{1,1}$ est importante et nous récupérons ainsi le pic à haute fréquence. Ce descripteur $D_{1,1}$ n'est pertinent que s'il existe une grande différence avec D_1 ($D_1 < 0,3$; $D_{1,1} > 0,6$ et $D_{jy} < 1$).

Les tables ci-dessous montrent les valeurs de ces mêmes descripteurs appliquées aux trajectoires simulées.

Table 1. Table récapitulatif des descripteurs appliqués aux trajectoires simulées d'un suivi continu

	ET	D_1	D_{jy}	$\overline{L_0}$	$\overline{L_1}$	$D_{1,1}$
S01	1,099	0,104	0,091	0,0	59,0	0,363
S02	1,975	0,047	0,154	27,0	77,0	0,168
S03	1,753	0,110	0,175	3,0	12,3	0,165
S04	1,704	0,043	0,185	14,0	29,0	0,289
S05	2,205	0,059	0,196	26,5	15,0	0,360
S06	1,269	0,110	0,094	19,0	95,0	0,446
S07	0,896	0,168	0,113	6,0	151,0	0,255
S08	1,549	0,134	0,164	11,0	45,0	0,066
S09	1,778	0,020	0,235	22,0	34,5	0,359
S10	1,402	0,050	0,112	2,0	25,5	0,374
S11	2,032	0,100	0,256	12,5	15,5	0,340
S12	1,063	0,073	0,120	0,0	94,0	0,351

Nous constatons d'après la table 1, l'application des descripteurs sur les trajectoires simulées est fidèle à la description faite sur les sujets humains. Pour un "suivi continu" la valeur de D_1 est très faible inférieure à 0,3 ; la valeur de $D_{jy} \ll 1$ et $\overline{D_{1,1}} < 0,6$. Les valeurs de $\overline{L_1}$ sont nettement supérieures à $\overline{L_0}$, les sujets simulés perdent parfois le contact mais le nombre de ruptures est limité sauf pour l'agent simulé S05. D'après la valeur de $ET > 2$ nous constatons que ce sujet fait un suivi sur la limite de la zone de contact.

Table 2. Table récapitulatif des descripteurs appliqués aux trajectoires simulées d'un nano-balayage

	ET	D_1	D_{jy}	$\overline{L_0}$	$\overline{L_1}$	$D_{1,1}$
S01	1,560	0,141	0,425	7,0	25,0	0,718
S02	1,305	0,178	0,397	5,1	32,0	0,763
S03	1,448	0,168	0,398	6,5	28,7	0,822
S04	1,356	0,166	0,410	5,3	26,5	0,737
S05	1,274	0,207	0,410	4,3	26,0	0,777
S06	1,273	0,187	0,393	5,0	30,1	0,810
S07	1,507	0,144	0,410	6,7	21,1	0,768

S08	1,491	0,177	0,403	6,5	29,4	0,779
S09	1,469	0,140	0,379	6,4	24,9	0,755
S10	1,423	0,166	0,394	5,7	23,5	0,803
S11	1,321	0,193	0,396	5,1	30,0	0,806
S12	1,377	0,203	0,428	5,1	23,7	0,700

D'après la table 2 nous avons, pour un "nano-balayage", une valeur faible de $D_1 < 0,3$; grâce à la valeur du descripteur $D_{1,1}$ nous récupérons la valeur de la composante de haute fréquence $D_{1,1} > 0,6$ non repérable via le D_1 . Nous avons des valeurs de $D_{jy} < 1$; même si ces valeurs sont supérieures à celles d'un suivi continu, la valeur de D_{jy} inférieure à 1 indique que les agents simulés maintiennent généralement un contact avec la forme. Les agents simulés perdent parfois le contact mais le nombre de ruptures est limité.

Table 3. Table récapitulatif des descripteurs appliqués aux trajectoires simulées d'un micro-balayage

	ET	D_1	D_{jy}	$\overline{L_0}$	$\overline{L_1}$	$D_{1,1}$
S01	6,457	0,987	4,115	20,3	3,3	0,999
S02	6,425	0,983	4,116	19,6	3,3	0,993
S03	5,614	0,983	3,655	19,8	4,4	0,994
S04	2,539	0,972	1,740	19,5	13,3	0,994
S05	5,877	0,977	3,675	20,4	4,2	0,996
S06	7,516	0,980	4,848	19,9	3,0	0,994
S07	6,913	0,974	4,578	19,5	2,9	0,997
S08	6,069	0,983	3,890	20,0	3,5	0,999
S09	3,643	0,987	2,482	19,3	6,5	0,995
S10	7,433	0,988	4,801	20,5	2,8	0,997
S11	5,638	0,985	3,631	19,9	3,9	0,998
S12	5,777	0,984	3,690	20,4	3,3	0,995

D'après la table 3 nous avons pour un "Micro-balayage" une valeur importante de $D_1 > 0,6$ et une valeur de $D_{jy} > 1$ qui implique que les agents quittent délibérément la zone de contact. Par conséquent la valeur de $\overline{L_0}$ est nettement supérieure à $\overline{L_1}$.

4. Conclusion

Cette étude est encourageante et nous invite à poursuivre notre travail de description et de modélisation. Effectivement nous avons pu montrer que les valeurs de descripteurs appliqués aux trajectoires perceptives générées automatiquement par un simulateur répondent aux critères établis pour décrire et différencier les stratégies des sujets humains. En outre cette recherche de stratégies d'exploration de formes graphiques a pour but d'établir des propriétés d'usage du dispositif de couplage minimal. La tâche d'identifier les formes graphiques à pour objectif de réaliser des mouvements précis et d'apprendre comment interagir avec ce dispositif, les stratégies sont des mouvements qui répondent à des règles établies par les sujets.

Nous comptons réaliser une expérience pour mesurer l'efficacité relative des trois différentes stratégies que nous avons pu distinguer, en proposant aux sujets de suivre explicitement l'une ou l'autre stratégie. A fin d'optimiser et d'améliorer la phase d'apprentissage du dispositif nous l'avons précédé par cette analyse comparative de trajectoires d'exploration perceptive.

REFERENCES

- [1] Ali Ammar, A., Gapenne, O., Blomme, E. & Rovira, K. (2005), Analyse de l'exploration tactile sur support traditionnel chez la personne aveugle et conception de l'interface de lecture Tactos. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 19, 339-354.
- [2] Amamou, Y. & Stewart, J. *Analyse descriptive de trajectoires perceptives*, In Actes (ACM Press) 18th French-speaking conference on Human Computer Interaction (IHM'06), Montréal, Canada, 2006, April 18-21
- [3] Lenay, C. Mouvement et perception : médiation technique et constitution de la spatialisation in *Le mouvement des boucles sensori-motrices aux représentations cognitives et langagières*, actes de la Sixième école d'été de l'Association pour la Recherche Cognitive, 1997, pp 69-80.
- [4] Lenay, C., Gapenne, O., Hanneton, S., Marque, C., and Genouel, C. La substitution sensorielle limites et perspectives, in *toucher pour connaître*, Hatwell, Y., Streri, A., Gentaz, E. (Eds), puf, Paris, 2000, pp.287-306.
- [5] Kaczmarek K. A. and Bach-y-Rita P. Tactile Displays, in *Virtual environments and advanced interface design*, Barfield W., Furness T. A