ED SMAER

Sujet de thèses 2013

Laboratoire : Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR)

Etablissement de rattachement : UPMC

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS : Stéphane Régnier, CNU 60

Codirection et section CNU et CNRS : Nicolas Andreff, professeur à FEMTO-ST, CNU 61

Titre de la thèse : **Pince optique 3D parallèle pour la manipulation et la caractérisation physique de neurones**

Collaborations dans le cadre de la thèse : FEMTO-ST

Rattachement à un programme : demande de programme ANR

Résumé du sujet :

Les propriétés des forces optiques sur des objets microscopiques sont surprenantes. Des particules sphériques transparentes peuvent être piégées de manière stable par un faisceau laser très dense. En utilisant des objectifs de microscope à grandes ouvertures numériques, un piège est créé sur le point focal du laser. Ce piège a également la propriété de se comporter comme un ressort linéaire tri-dimensionnel sur un petit domaine au centre du piège. Il est alors extrêmement aisé de réaliser des mesures de forces en calibrant cette raideur et en détectant la position de la sonde piégée. Il est alors possible de construire des outils d'une grande flexibilité puisqu'un grand nombre de faisceaux laser peuvent être utilisés en parallèle. L'intérêt de cette thèse est de mettre au service d'applications bio-médicales un outil robotisé avec des capacités d'intervention inégalées pour une interaction complexe parallèle assistée par retour visuel et tactile tridimensionnel.

Pince optique 3D parallèle pour la manipulation et la caractérisation physique de neurones

Encadrement : Stéphane Régnier, professeur à l'ISIR

Depuis sa découverte, il y a plus de 30 ans, la manipulation par laser connait une croissance exponentielle. Son champ d'investigation est extrêmement large des objets microscopiques aux atomes pour des applications reliées à la physique (refroidissement et accélération d'atomes) ou à la biologie (interaction mécanique avec des cellules et des protéines.) Pour cette dernière, elles présente des avantages notoires comparées aux autres techniques de micromanipulation : elle est peu intrusive, elle permet des transports et interventions en parallèles, elle est compatible avec les techniques d'imageries avancées indispensables à la microbiologie et à la dissection. Elle est aujourd'hui un outil indispensable et voit ses applications se multiplier pour la biologie du micromonde.

Les propriétés des forces optiques sur des objets microscopiques sont surprenantes. Des particules sphériques transparentes peuvent être piégées de manière stable par un faisceau laser très dense. En utilisant des objectifs de microscope à grandes ouvertures numériques, un piège est créé sur le point focal du laser. Ce piège a également la propriété de se comporter comme un ressort linéaire tri-dimensionnel sur un petit domaine au centre du piège. Il est alors extrêmement aisé de réaliser des mesures de forces en calibrant cette raideur et en détectant la position de la sonde piégée. Il est alors possible de construire des outils d'une grande flexibilité puisqu'un grand nombre de faisceaux laser peuvent être utilisés en parallèle. L'intérêt de cette thèse est de mettre au service d'applications bio-médicales un outil robotisé avec des capacités d'intervention inégalées pour une interaction complexe parallèle assistée par retour visuel et tactile tridimensionnel.

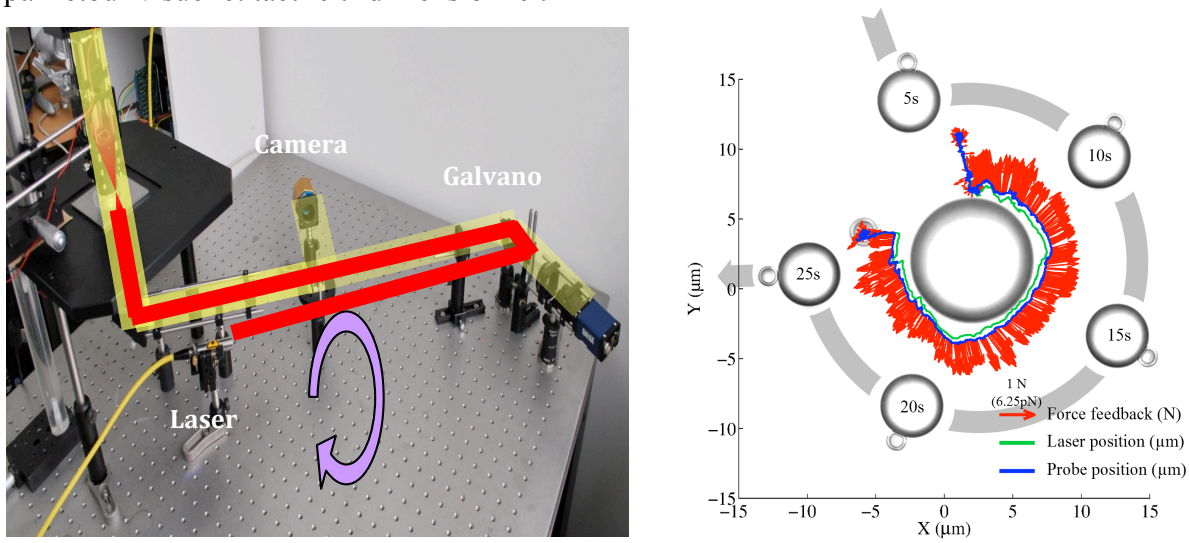

Figure 1: plateforme de piège optique développée à l'ISIR et force ressentie durant l'exploration d'un objet sphérique [Ni12]

L'ISIR a développé une pince optique 3D avec un piège et des performances inégalées (voir figure). La plateforme est basée sur une conception technologique originale du piège et la mesure de la force 3D exploite le développement d'algorithmes de suivi à haute fréquence sur une caméra asynchrone. Aujourd'hui, cette pince est couplée à un retour haptique et peut être exploitée pour toucher de façon ressentie, par exemple des objets biologiques.

Le défi aujourd'hui est de réussir la parallélisation des pièges pour obtenir un outil fiable, répétable et facile à utiliser. Les objectifs sont d'atteindre une flexibilité encore jamais égalée

dans le domaine de la micromanipulation. Les verrous technologiques sont la taille des espaces de travail de chaque composant, leur compatibilité, la réactivité des actionneurs, des capteurs, des commandes et des interfaces utilisateurs. Toutes ces nouvelles capacités d'actionnement parallèle et de mesure intelligente amènent directement à utiliser des micro-outils plus évolués. Notamment, la multiplication des sites de piégeages permet des degrés de liberté encore peu exploités comme les rotations. Ce type de micro-outil équipé d'une mesure de force peut élargir l'exploration à des environnements tridimensionnels. L'imagerie par force photonique se retrouve alors étendue à des structures complexes de grands volumes. Par contre, ce type d'outil demande une gestion avancée et coordonnée des sites de piégeages.

De même, la mesure de force et la calibration de ce nouveau type d'outil sont un défi qui relève de la robotique et de l'actionnement de systèmes poly-articulés. L'addition en parallèles des pinces optiques de lasers de longueur d'onde différentes autorise par exemple la fabrication par photopolymérisation de micro-outils à la demande directement dans l'échantillon ou dans un réseau micro-fluidique.

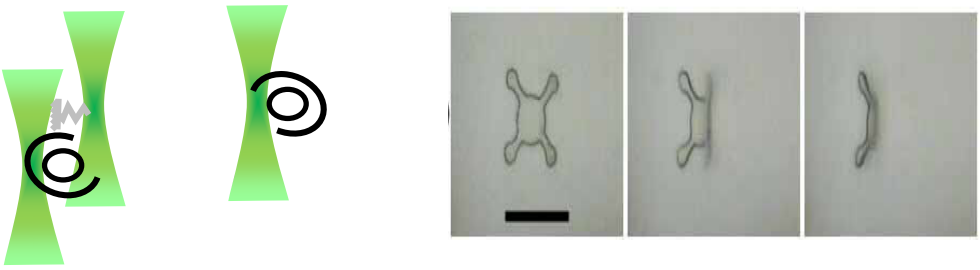

Figure 2 : illustration du phénomène de conception d'un outil par plusieurs pièges - Photopolymérisation et actionnement 3D d'outils à 4 sites de piégeages [Rodrigo05]

L'objectif de cette thèse est développer ce système de multipièges optiques pour la création d'outils dans le micromonde avec des raideurs calibrées dans toutes les directions. Le champ applicatif est l'étude in situ des neurones. Il s'agit d'être capable de manipuler et de mesurer les propriétés physiques des neurones dans un environnement de développement neuronal.

Références

[Ni11] Ni, Z. and Pacoret, C. and Benosman, R. and Ieng, S.H. and Régnier, S. Asynchronous Event Based High Speed Vision for Micro-particles Tracking. Journal of microscopy. Vol 245 No 3 Pages 236-244, 2011.

[Ni12] Ni, Z. and Pacoret, C. and Benosman, R. aand Régnier, S. *2D High Speed Force Feedback Teleoperation of Optical Tweezers.* IEEE International Conference on Robotics and Automation ICRA'13, 2013.

[Pacoret10] Pacoret, C. and Bergander, A. and Régnier, S. (2010). Haptic feedback of piconewton interactions with optical tweezers. Eurohaptics 2010, Lecture Notes in Computer Science, publisher. Pages 333-338.

[Pacoret11] Pacoret, C. « Des pinces optiques pour la sensation tactile de la micromanipulation ». 4 place Jussieu, 75005 Paris. Thèse de doctorat. Université Pierre et Marie Curie, 2011.

[Rodrigo05] P. J. Rodrigo, V. R. Daria, and J. Glückstad, "Four-dimensional optical manipulation of colloidal particles," Appl. Phys. Lett. 86, 074103 (2005).