

MCOT : Mise en Cohérence des Objectifs du TIPE

Thème : Cycle, Boucle

Sujet : Robot autonome de maintenance des façades vitrées.

Nom et Prénom : EL-KALAI ACHRAF

Motivation :

Face aux dangers et à l'inefficacité du nettoyage manuel en hauteur, nous avons conçu un robot autonome pour façades vitrées. Il élimine le risque humain et optimise le cycle de nettoyage par une adhésion sûre et une planification intelligente, assurant une maintenance durable et sécurisée.

Ancrage :

Ce système s'inscrit dans le thème Cycles et Boucles, car le robot fonctionne selon des cycles automatisés de déplacement et de nettoyage, pilotés par une planification intelligente. Cette approche permet d'optimiser la sécurité, l'efficacité et la durabilité de la maintenance des façades vitrées.

Encadrants :

M. Y. RAHOU – M. A. OUAANABI

Positionnement thématique :

- SCIENCES INDUSTRIELLES (Génie Electrique)
- SCIENCES INDUSTRIELLES (Génie Mécanique)
- INFORMATIQUE (Informatique pratique)

Liste des membres du groupe :

- ACHARIFI Wail

Mots-clés :

Mots en Français	Mots en Anglais
• Robot de nettoyage de façade vitrée	• Glass façade cleaning robot
• Adhésion par dépression	• Vacuum adhesion
• Ventouses	• suction cups
• Déplacement contrôlé	• Controlled locomotion
• Fonctionnement autonome	• Autonomous operation

Bibliographie commentée :

Les robots nettoyeurs de façades vitrées représentent une solution essentielle pour la maintenance des immeubles de grande hauteur, où la sécurité des opérateurs et l'efficacité du nettoyage constituent des enjeux majeurs. Ils assurent le nettoyage autonome des surfaces vitrées verticales, réduisent l'exposition humaine aux risques liés aux travaux en hauteur et optimisent les cycles de maintenance. Cette innovation ouvre la voie à une gestion plus sûre et plus efficace de l'entretien des bâtiments modernes.

Selon l'Organisation Internationale du Travail, les travaux en hauteur sont responsables de 30 à 40 % des accidents dans le BTP, et l'automatisation permettrait de réduire jusqu'à 90 % l'exposition humaine au danger. Ce constat justifie pleinement le développement de robots capables d'opérer de manière autonome sur des surfaces vitrées verticales [1].

Dans ce contexte, il est courant de constater que cette approche se traduit par des solutions d'adhésion par dépression. Une revue complète des robots grimpants pour le nettoyage de surfaces verticales compare les technologies d'adhésion existantes : magnétique, par griffes et par dépression. Sur le verre, seule l'adhésion par dépression est viable. Les ventouses fixes, maintenant une dépression continue, offrent une stabilité supérieure aux ventouses mobiles alternantes, tout en réduisant la complexité mécanique [2].

Sur ce point, notre robot utilise un système à double chambre de dépression pour garantir l'adhésion lors du franchissement des joints inter-panneaux. Les travaux sur la conception de robots à adhésion par pression négative fournissent les modèles de dimensionnement de la force d'adhésion et les critères de sécurité nécessaires au choix de la pompe à vide et au dimensionnement du circuit pneumatique [3]. Pour assurer un fonctionnement autonome complet, le robot doit planifier sa trajectoire de nettoyage de manière intelligente. Les recherches sur les stratégies de parcours pour robots nettoyeurs de surfaces identifient la trajectoire en balayage horizontal (HLS) comme un compromis efficace entre couverture complète et simplicité d'implémentation, permettant au robot de nettoyer systématiquement chaque panneau sans intervention humaine [4].

L'intégration de capteurs internes et externes est indispensable pour assurer la surveillance de l'adhésion, le suivi de trajectoire et la sécurité du robot. Le capteur de pression différentiel MPX5100DP surveille en temps réel la dépression dans les chambres d'adhésion [5]. Le capteur infrarouge Sharp GP2Y0A21YK0F détecte les joints et les bords des panneaux vitrés pour éviter les chutes et piloter le franchissement [6]. L'encodeur optique incrémental US Digital E3, fixé sur chaque moteur, permet le calcul de la vitesse de rotation et l'asservissement du déplacement via une boucle de contrôle PI [7].

Enfin, la validation expérimentale de l'ensemble du système repose sur un prototype piloté par un microcontrôleur Arduino Mega 2560, choisi pour ses 54 broches I/O, ses 6 interruptions externes nécessaires au décodage en quadrature des encodeurs et ses 15 sorties PWM pour le pilotage des moteurs et des pompes. Son écosystème logiciel et sa documentation permettent un prototypage rapide et l'intégration de tous les composants du système [8].

Problématique retenue :

Comment assurer le nettoyage efficace, sécurisé et durable des façades vitrées des immeubles de grande hauteur, tout en réduisant les risques humains, les coûts et les contraintes logistiques liés aux méthodes traditionnelles ?

Objectifs du TIPE du candidat :

1. Étudier et comparer les solutions d'adhésion adaptées aux surfaces vitrées verticales (ventouses fixes, ventouses mobiles), afin de garantir la stabilité et la sécurité du robot.
2. Dimensionner le système de dépression (pompe à vide, ventouses, circuit pneumatique) pour assurer une force d'adhésion suffisante dans toutes les phases de fonctionnement.
3. Mettre en œuvre un fonctionnement autonome complet, permettant au robot de se déplacer et de nettoyer la surface vitrée sans intervention humaine directe, grâce à l'intégration d'un système de commande intelligent.

4. Intégrer un ensemble de capteurs internes et externes (pression vacuum, encodeurs, etc..) afin d'assurer la surveillance de l'adhésion, le suivi de trajectoire et la sécurité du robot.
5. Valider expérimentalement l'ensemble du système, en évaluant la stabilité de l'adhésion, la précision du déplacement autonome et l'efficacité globale du robot lors du nettoyage de façades vitrées.

Références bibliographiques :

- [1] ORGANISATION INTERNATIONALE DU TRAVAIL (OIT) : Sécurité et santé dans le secteur de la construction : <https://www.ilo.org/safework/areasofwork/hazardous-work/lang--fr/index.htm>
- [2] ZHAO, Y., FU, Z., et al. : Revue des robots grimpants pour le nettoyage et l'inspection de surfaces verticales : <https://doi.org/10.1016/j.robot.2020.103688>
- [3] SEOKHWAN, K. et al. : Conception d'un robot grim pant à adhésion par pression négative pour la maintenance de façades vitrées : <https://doi.org/10.1007/s12206-018-0523-4>
- [4] HOUXIANG, Z. et al. : Stratégies de planification de trajectoire pour robots nettoyeurs de façades vitrées : <https://ieeexplore.ieee.org/document/4141927>
- [5] NXP SEMICONDUCTORS : Fiche technique du capteur de pression différentiel MPX5100DP : <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPX5100.pdf>
- [6] SHARP CORPORATION : Fiche technique du capteur de distance infrarouge GP2Y0A21YK0F : https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf
- [7] US DIGITAL : Fiche technique de l'encodeur incrémental E3 : <https://www.usdigital.com/products/encoders/incremental/kit/e3/e3-datasheet/>
- [8] ARDUINO : Documentation technique Arduino Mega 2560 : <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560/>