Résumé de thèse

Acquisition et reconstruction 3D de cultures pour l'estimation de surface foliaire

Doctorante : Mélinda BOUKHANA

Directeur de thèse : Franck HÉTROY-WHEELER (Icube)

Encadrant : Benoît DE SOLAN (Arvalis)

En agriculture et pour son innovation, il est important de pouvoir caractériser l'état et le fonctionnement des cultures. C'est ce que l'on appelle le phénotypage. Les données de phénotypage sont essentielles pour la sélection variétale, la connaissance des plantes et de leur fonctionnement mais aussi pour le pilotage des cultures. Ces analyses sont effectuées avec des méthodes destructrices, ayant un coût élevé et non répétables. Aujourd'hui, le développement de capteurs permet d'envisager des mesures non-destructrices et répétables. Il y a de nombreux projets de niveaux internationaux (IPPN), européens (EPPN,Emphasis) et nationaux (PHENOME) qui s'intéressent à cette problématique. L'entreprise Arvalis développe avec l'INRAE un outil appelé Phénomobile qui permet de mesurer les caractéristiques des cultures en extérieur avec de multiple capteurs (caméras,Lidar,...).

Le travail de cette thèse a d'abord consisté à générer des nuages de points 3D de maïs acquis dans des conditions proches de celles en champ. Ces nuages de points sont ensuite rassemblées dans une base de données, et sont associés à des mesures architecturales réelles des plants de maïs. On se pose alors comme objectif d'estimer la mesure de l'aire de la surface d'une feuille de façon automatique à partir d'un nuage de points. Pour obtenir cette mesure, on cherche à reconstruire la surface de la feuille grâce à un modèle géométrique continu dont on peut calculer l'aire. L'étape décisive qui détermine la précision de la mesure est l'obtention de cette surface. Il est donc impératif de choisir une méthode optimale. Une étude comparative de méthodes standards de reconstruction de surface à partir de nuages de points a été élaborée. La comparaison est effectuée sur deux plans : la correspondance entre la forme de la surface reconstruite et la surface attendue et la précision de la mesure de l'aire de la surface de la feuille. Les méthodes classiques de l'état de l'art, disponibles en libre accès et permettant d'obtenir une reconstruction automatique, robuste et précise sont choisies. De plus deux méthodes basées sur les surfaces de Bézier sont implémentées [1] et comparées aux autres méthodes de l'état de l'art. La base de données créée précédemment est augmentée de données synthétiques. Ces données sont créées à partir d'un modèle de feuille synthétique qui est développé pour prendre en compte et maîtriser entièrement les différentes caractéristiques des nuages de points acquis, que ce

soit les caractéristiques inhérentes à la forme de la feuille ou les caractéristiques découlant du processus d'acquisition.

Dans le premier chapitre, les acquisitions de nuages de points de plantes dans un champ de maïs sous serre sont présentés. Les capteurs utilisés sont triples. Le premier est un système de caméras, le deuxième est un LiDAR et le troisième est un LiDAR qui intègre également l'information de couleur. Des mesures de références de l'architecture des plants de maïs sont prises en parallèle. Les méthodes de reconstruction de nuages de points 3D à partir d'images RVB sont comparées et la meilleure méthode est choisie. Ensuite une base de données de nuages de points de ce champ de maïs avec des mesures de référence est créée et utilisée dans la suite de la thèse. Je discute aussi des caractéristiques des données obtenues et des limites des méthodes d'acquisition développées jusque-là.

Le nombre de données nécessaire pour étudier en profondeur les différentes méthodes de reconstruction de surface à partir d'un nuage de points ne sont pas suffisantes. En effet il n'existe aucune base de données en libre accès fournissant à la fois des nuages de points de plante associées aux mesure de référence de l'aire de la surface des feuilles de ces plantes. Une méthode de génération de nuages de points de feuilles a donc été développé pour augmenter la base de données d'étude. Elle est présentée dans le deuxième chapitre. Ces données supplémentaires ont l'avantage d'avoir une aire parfaitement définie et de représenter des nuages de points de caractéristiques parfaitement définies. D'autres modèles de feuilles synthétiques existent dans l'état de l'art et sont présentés. Le modèle de feuilles synthétique est développé à partir d'une modélisation des artefacts et caractéristiques des nuages de points acquis issue des travaux de Berger et al. [2]. Elle est étendue avec de nouveaux paramètres modélisant de nouveaux artefacts. La validité du modèle est ensuite vérifiée pour des applications agronomiques grâce à des descripteurs de forme appliqués à une base de données large de feuilles proposée par Li et al. [3].

Dans le troisième chapitre, je présente une étude comparative de huit méthodes de reconstruction de surface -dont une développée et implémentée par mes soins- à partir d'un nuage de points 3D pour la mesure de l'aire de la surface d'une feuille. Dans un premier temps, les objectifs de l'étude sont explicités : on cherche une méthode qui fonctionne automatiquement pour tous les types de feuilles et qui est accessible à l'ensemble des professionnels qui utilisent ces mesures (agronomes et biologistes principalement). Les méthodes de reconstruction de surface choisies sont présentées en détails. La méthodologie de l'étude est ensuite détaillée et les paramètres des différents algorithmes sont choisis grâce à une analyse de sensibilité. L'ensemble des données réelles utilisées pour la comparaison est décrite.

Dans le quatrième et dernier chapitre, les résultats de l'étude sont présentés. Les performances de chaque algorithme par rapport, en premier lieu, aux différents paramètres des nuages de points décrits dans notre modèle synthétique de feuilles sont examinées. Puis les observations sont validées avec les résultats obtenus sur les données issues d'acquisitions de feuilles réelles. On peut alors conclure sur les performances de chaque algorithme et

conseiller les utilisateurs dans leurs choix en fonctions des caractéristiques de leurs bases de données. Dans la plupart des cas, la méthode que je propose est la plus performante.

En conclusion, la mise en place d'un pipeline fonctionnel pour le phénotypage dans les cultures pose de nombreux points de difficultés. On a cependant pu montrer, en examinant le cas de l'aire des feuilles, qu'il existait différentes solutions et qu'il était possible de parvenir, à terme, à des mesures précises sur les plantes à partir d'acquisitions en presque champ. L'intégration de l'ensemble des étapes dans un même processus (de l'acquisition d'un nuage de points 3D aux méthodes de mesure) est alors un projet qui est de l'ordre du possible.

Bibliographie

1. Chaurasia, Gaurav, and Paul Beardsley. "Editable parametric dense foliage from 3d capture." *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*. 2017.
2. Berger, Matthew, et al. "A survey of surface reconstruction from point clouds." *Computer Graphics Forum*. Vol. 36. No. 1. 2017.
3. Li, Mao, et al. "Topological data analysis as a morphometric method: using persistent homology to demarcate a leaf morphospace." *Frontiers in plant science* 9 (2018): 553.

Communication orale

Présentation aux Journées Françaises d'Informatique Graphique JFIG 2020

« Geometric models for plant leaf area estimation from 3D point clouds: A comparative study »

Communication écrite

M. Boukhana, J. Ravaglia, F. Hétroy-Wheeler, F. Larue, B. de Solan, E. Casella. « Geometric models for plant leaf area estimation from 3D point clouds: a comparative study ». *In Silico Plants*, Oxford University Press, 2021. Accepté avec révisions mineures.