

C2i 2013 Lyon

Instrumentation et capteurs innovants appliqués au phénotypage automatisé des végétaux

Yann CHÉNÉ¹, Étienne BELIN¹, Franck COADOU¹,
François CHAPEAU-BLONDEAU¹, Laurent HARDOUIN¹, David ROUSSEAU²

¹ *Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Automatisés (LISA), Université d'Angers,
62 av. Notre Dame du Lac, 49000 Angers, France.*

² *Université de Lyon, CREATIS ; CNRS UMR 5220; INSERM U1044;
Université Lyon 1; INSA Lyon, 7 av. Jean Capelle, 69621 Villeurbanne, France.*

david.rousseau@univ-lyon1.fr

Abstract: We present a set of sensors dedicated to various architectural measurements on plants. These sensors have been developed in the framework of a partnership with INRA Angers to answer given practical constraints of cost, size and acquisition time. We demonstrate the interest of these automated tools in comparison with the current manual approach used by biologists.

Mots clés : Capteur sans fil, plateforme Androïd, tomographie X, plateau tournant, caméra de profondeur.

1. Introduction

Les sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC) appliquées aux plantes constituent un secteur actuellement en plein essor. Les capteurs sans fils, les drones ou encore les systèmes d'imagerie offrent des possibilités d'observation embarquées et non invasives des plantes au cours de leur développement, que ce soit pour des acquisitions en laboratoire, en chambres de culture ou encore au champ. Ceci permet d'envisager non seulement le remplacement des inspections visuelles des experts par des quantifications plus précises et plus rapides, mais aussi d'accéder à de nouvelles informations qui dépassent les capacités de la perception visuelle. Cet essor des STIC pour les plantes se matérialise par le développement récent de plateformes d'instrumentation et d'imagerie capables de phénotyper de larges populations de plantes, c'est-à-dire d'extraire des informations statistiquement pertinentes pour la compréhension du fonctionnement des végétaux étant donné leur génotype et leur environnement de croissance. En France, ces plateformes se répartissent pour l'essentiel à Montpellier, Clermont-Ferrand, Dijon et Angers. Dans ce rapport nous présentons notre contribution pour la mesure d'observables sur des d'arbustes sur la plateforme de phénotypage d'Angers [1].

C2i 2013 Lyon

2. Mesurer le branchage des plantes

L'analyse de l'architecture du branchage des plantes est importante pour la compréhension fondamentale du processus de croissance mais aussi sur un plan plus applicatif pour qualifier la valeur esthétique de plantes ornementales. Dans ce contexte, une mesure d'intérêt pour les biologistes est la distance entre deux nœuds du branchage. Actuellement ces mesures sont typiquement réalisées au moyen d'un bras numériseur (voir Fig. 1). L'opérateur vient localiser manuellement les nœuds, en écartant si besoin le feuillage de la plante. On peut voir des limitations à ce type de mesure. Tout d'abord, le bras numériseur n'est pas adapté pour être embarqué en serre ou au champ. Pour pallier cette limitation, nous avons développé un compas sans fil relié par liaison radio à une tablette fonctionnant sous plateforme Android (voir Fig. 2A). Le système utilise un simple potentiomètre qui délivre une tension électrique proportionnelle à l'écartement de deux tiges métalliques. Un soin particulier a été consacré au choix de ce potentiomètre afin de minimiser le frottement ainsi qu'au choix de l'alliage utilisé pour réduire le poids du système à 768g. L'autonomie du capteur est de 2 heures avec une portée de la liaison typiquement de 100 mètres.

Les acquisitions manuelles avec le bras numériseur ou notre compas sans fil présentent une autre limitation. Il faut parfois manipuler la plante pour accéder aux points des nœuds. Une approche sans contact consiste à utiliser des systèmes de vision. Pour des petites plantes avec peu de feuillage, l'association de plusieurs caméras permet de compléter un petit nombre d'occlusions et ainsi d'accéder à la reconstruction complète du branchage malgré le feuillage [2]. Pour des plantes plus structurées comme celles que nous avons considérées, une approche permettant de voir à travers le feuillage est nécessaire pour accéder au branchage. Nous avons utilisé un dispositif de tomographie à rayons X comme sur la Fig. 2B. Dans nos expérimentations le tomographe était un appareil biomédical. Nous avons pour comparaison réalisé des mesures d'entre-nœuds sur 4 rosiers au moyen du bras numériseur, du compas, et d'un logiciel libre de pointage utilisé par les médecins [3]. L'écart entre la mesure au compas et au bras numériseur est de 10% en moyenne comme celui entre la mesure au bras numériseur et le pointage sur les images issues de la tomographie. Cet écart est acceptable puisqu'il correspond à l'ordre de grandeur de l'écart entre notateurs sur des mesures avec le bras numériseur. L'utilisation d'un tomographe biomédical peut être très limitative dans ce contexte étant donné le coût très élevé d'un tel appareil. Des solutions adaptées existent toutefois désormais pour des appareils dédiés aux plantes avec des coûts beaucoup moins prohibitifs (de l'ordre de quelques 20 à 50 keuros pour des petites plantes) que les systèmes spécialement adaptés pour le biomédical. L'intérêt ici est le temps d'acquisition des données qui est très court. Ceci est important si de larges cohortes de plantes doivent être mesurées. Les images en tomographie de plantes permettent également d'accéder à de nombreuses autres mesures comme la connectivité de l'arbre, le réseau de racines, voire le feuillage. Des méthodes à plus bas coût sont également envisageables pour le feuillage, nous présentons des outils que nous avons développés en ce sens dans la section suivante.



Figure 1 : Mesure manuelle actuellement réalisée par les biologistes.

3. Mesurer le feuillage des plantes

La reconstruction complète du feuillage n'est pas toujours nécessaire pour certaines questions biologiques. L'enveloppe englobante constituée par le feuillage peut par exemple représenter une information intéressante pour quantifier la valeur ornementale d'une plante. La qualification de cette enveloppe se fait parfois encore par observation directe ou visualisation de photographies [4]. Nous avons conçu un outil automatique pour caractériser cette enveloppe au moyen d'un plateau tournant synchronisé avec une prise de vue (voir Fig. 2C).



Figure 2 : Capteurs innovants, (A) mesures au champ avec compas sans fil, (B) mesures sans contact avec tomographie X, (C) mesures du feuillage sur plateau tournant synchronisé avec caméra de profondeur.

C2i 2013 Lyon

Le système accueille des plantes pouvant peser jusqu'à 15kg et réalise en quelques minutes 72 images (une mesure tous les 5 degrés). Un soin particulier a été accordé à la réalisation du système rotatif pour passer d'un fonctionnement en continu à un fonctionnement «pas à pas» de 5° à un coût raisonnable. Pour ce faire, des tiges filetées sont fixées sur la partie en rotation à intervalle de 5°. Une fourche optique est placée sur le statif et peut compter le nombre de tige qu'elle voit passer. Une interface a été développée pour calculer une variété de descripteurs de l'enveloppe englobante. Une illustration des descripteurs que l'on peut extraire avec cette interface est donnée sur la Fig. 3.

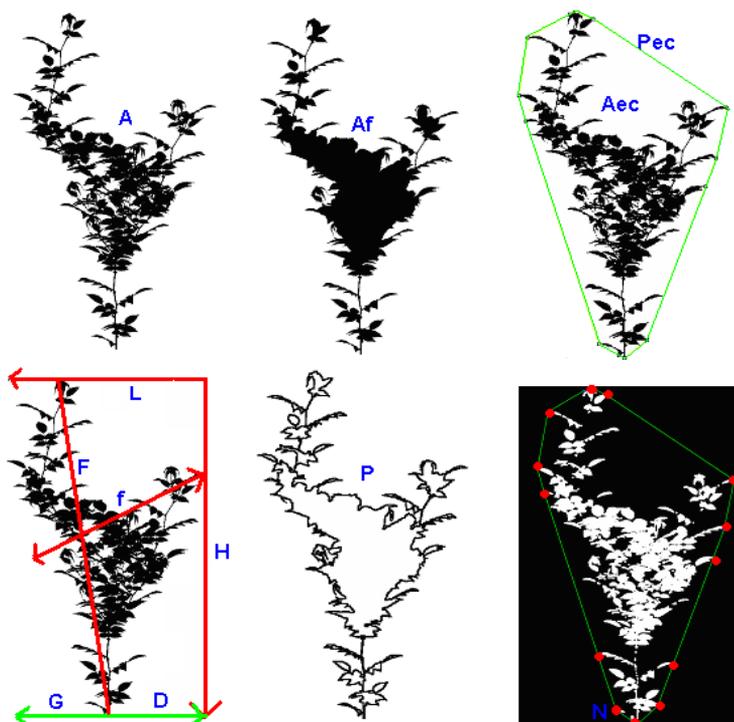


Figure 3 : Mesures automatiques réalisables sur les images issues du système d'acquisition de la Fig. 3C. - Aire de la plante (A), Aire, vides fermés remplis (Af), Aire et périmètre de l'enveloppe convexe (Aec et Pec), Hauteur (H), Largeur (L), Demi largeurs (G et D), Diamètres de Feret (F et f), Périmètre du contour (P), Nombre de sommets de l'enveloppe convexe minimale (N).

Ces descripteurs numériques pourront ensuite être croisés avec des termes exprimés par des panels d'experts dans le cadre d'analyses sensorielles (comme dans [4]). Le nombre de sommets de l'enveloppe convexe traduit par exemple le caractère plus ou moins compact de l'enveloppe extérieure, quand la comparaison de l'aire (A) et de l'aire fermée (Af) mesure la

C2i 2013 Lyon

compacité du feuillage à l'intérieur de l'enveloppe. Comme ces descripteurs sont acquis tous les 5°, il est également possible d'apprécier la symétrie des plantes par rapport à chacun de ces descripteurs. Les descripteurs montrés sur la Fig. 3 sont appliqués sur des versions binarisées d'images RGB. Nous observons également ces plantes avec une caméra de profondeur [5]. Ceci produit des images du type de celles visibles sur la Fig. 4 et ouvre la voie à une caractérisation en volume du feuillage. Le couplage entre l'image RGB et l'image de profondeur est riche pour quantifier la forme de la plante à la fois en couleur et en profondeur. Il est également possible de combiner les informations venant de ces deux caméras. Par exemple sur la Fig. 4, l'éclairage du fond est non homogène, avec des objets parasites situés à l'arrière sur le mur en haut à gauche ou bien en haut à droite. Un seuillage en profondeur permet de segmenter la plante sans être gêné par ces défauts usuels de l'imagerie RGB. La segmentation de la plante en profondeur pourrait ensuite être appliquée comme masque binaire pour segmenter la plante dans l'image en RGB.

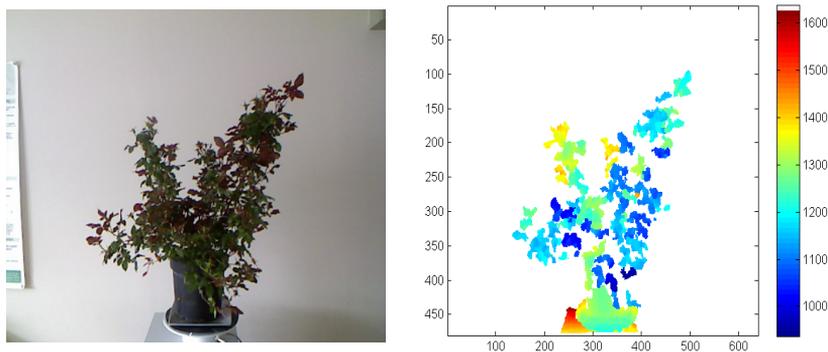


Figure 4: à gauche une image RGB d'un rosier et à droite la carte de profondeur de la même plante en millimètre.

Il existe des domaines où l'information biologique ne se situe pas à l'échelle globale du feuillage mais au niveau de chacune des feuilles. C'est par exemple le cas lorsque l'on cherche à détecter la présence de pathogènes à la surfaces de feuilles. L'inspection des feuilles se fait habituellement visuellement. Nous avons montré que cette tâche pouvait se faire automatiquement en associant une caméra de profondeur qui réalise avec une vue de dessus la segmentation des feuilles à des caméras donnant des informations physiologiques (thermographie, hyperspectral, fluorescence de chlorophylle) [5,6]. Nous avons notamment défini une procédure originale pour le recalage entre les deux imageurs en utilisant une mire de profondeur. Cette mire est constituée d'une tige verticale de la hauteur typique des plantes que l'on souhaite analyser. On fixe sur cette tige des plateaux rectangulaires placés horizontalement à intervalles réguliers du même ordre de grandeur que l'écartement entre deux feuilles et en quinconce de façon à ce qu'en vue de dessus chacun des plateaux soit visible. Dans une phase d'initialisation, un pointage est réalisé sur chaque plateau et dans chacune des deux modalités d'imagerie. Un recalage est réalisé entre les couples d'images

C2i 2013 Lyon

correspondant à chaque plateau. On remplace ensuite la mire de profondeur par la plante que l'on souhaite analyser. On segmente les feuilles sur la base de l'information de profondeur (par exemple comme proposé dans [5]). On calcule les coordonnées en 3 dimensions du barycentre de la feuille (supposée de densité homogène). On associe ensuite à chaque feuille le plateau le plus proche en profondeur du barycentre. On utilise enfin pour chaque feuille les paramètres de recalage associés à ce plateau. Cette procédure fonctionne pour des plantes aux feuilles peu inclinées.

Conclusion

Les capteurs présentés dans ce rapport sont importants pour les biologistes puisqu'ils permettent l'accès à des informations autrefois inaccessibles en raison de leur coût matériel ou en temps. Au delà du capteur, l'interaction avec les spécialistes des plantes peut se prolonger dans la chaîne de l'information en direction du traitement du signal ou des images issus de ces capteurs. On pense en particulier au suivi spatio-temporel des structures végétales (croissance de plantes, de fruits & légumes, le développement de pathogènes) en 2D ou en 3D qui est susceptible de constituer des applications originales ou bien des problèmes avec des topologies nouvelles pour des outils mathématiques de dynamiques de populations, d'équations aux dérivées partielles, de systèmes multiagents [7].

Bibliographie

- [1] <http://lisa.univ-angers.fr/PHENOTIC/> consulté en Janvier 2013
- [2] Biskup B, Scharr H, Schurr U, Rascher U: "A stereo imaging system for measuring structural parameters of plant canopies." *Plant Cell Environment* 2007; 10:1299-1308.
- [3] <http://www.osirix-viewer.com/> consulté en Janvier 2013
- [4] Boumaza R, Demotes-Mainard S, Huche-Thelie L, Guérin, V. "Visual characterization of the esthetic quality of the Rosebush" ; *Journal of Sensory Studies*. 2009; 24: 774–796.
- [5] Chéné Y, Rousseau D, Lucidarme P., Bertheloot J., Caffier V, Morel P, Belin E, Chapeau-Blondeau F; "On the use of depth camera for 3D phenotyping of entire plants"; *Computers and Electronics in Agriculture*. 2012; 82: 122-127.
- [6] Belin E, Rousseau D, Boureau T, Caffier V, Thermography versus chlorophyll fluorescence imaging for detection and quantification of apple scab, *Computers and Electronics in Agriculture*, 2013, vol. 90, p. 159-163.
- [7] Benoit L, Rousseau D, Belin E, Demilly D, Chapeau-Blondeau F, Dürr C, Locally oriented anisotropic image diffusion: application to phenotyping of seedlings, 8th International Conference on Computer Vision Theory and Application VISAPP, Barcelona, 21-24/02, 2013.