

e-Cathédrale : méthodologie de numérisation de la cathédrale d'Amiens et défis

Guillaume Caron, Nathan Crombez et El Mustapha Mouaddib

Université de Picardie Jules Verne
Laboratoire MIS
33 rue Saint-Leu 80039 Amiens Cedex

Résumé

Le programme de recherche E-Cathédrale a vu le jour dans un cadre de préservation du patrimoine culturel. Il se focalise sur la numérisation de la cathédrale d'Amiens, dans le but d'en obtenir un modèle complet et très précis. L'utilisation de ce modèle est un autre objectif important de ce programme de recherche multidisciplinaire combinant l'étude géographique, les technologies de l'information, la robotique et l'histoire de l'art et de l'architecture, sans s'y limiter.

E-Cathédrale a été lancé fin 2010 pour quinze ans et ce papier vise à donner un aperçu des résultats de numérisation obtenus durant ses quatre premières années d'existence. Les outils de numérisation et les travaux en vision par ordinateur pour obtenir une géométrie 3D précise et des couleurs de haute définition de l'édifice sont présentés.

The E-Cathedral research program was born in the context of cultural heritage preservation. It is dedicated to the digitization of the cathedral of Amiens, in France, to get a model as complete and as precise as never been obtained. The use of this model is another important target of this multidisciplinary program merging geographical surveying, information technologies, robotics, history of art and architecture, at least.

E-Cathedral was launched at fall 2010 for fifteen years and this paper aims to give an overview of digitization results obtained during its first four years of existence. Digitization tools and computer vision works to get a precise 3D geometry and high definition colors of the heritage building are presented.

Mots clé : Patrimoine, numérisation, vision par ordinateur

1. Introduction

La préservation du patrimoine est un défi clé de l'humanité et c'est la mission principale de la branche culturelle de l'Unesco (<http://www.unesco.org>), "pour protéger, sauvegarder et gérer le patrimoine tangible et immatériel". Une manière de préserver les édifices patrimoniaux, dans le but de les rendre accessibles à tous, aujourd'hui et dans le futur, est de les numériser. Cette numérisation mène à des instantanés de bâtiments. Bien entendu, considérer des édifices patrimoniaux de taille importante, tel qu'une cathédrale gothique, présente de grands défis de numérisation.

E-Cathédrale (<http://mis.u-picardie.fr/E-Cathedrale>), programme de recherche lancé fin 2010, pour une période de quinze ans, est né dans ce contexte. L'objectif est de numériser complètement l'intérieur et l'extérieur de la cathédrale d'Amiens (Fig. 1(a) et 1(b)), dans le but d'en obtenir un modèle 3D de la plus haute fidélité, en terme de

structure, de couleur, de propriétés de matière et physiques. Cela ne peut se faire que grâce à une inspection exhaustive de l'édifice pour réaliser les mesures les plus précises.

Pour traiter à la fois la numérisation de la structure et des couleurs de la cathédrale d'Amiens, nous avons démarré un projet commun avec l'Institut Géographique National (IGN), en mettant en oeuvre la lasergrammétrie et la photogrammétrie (<http://www.micmac.ign.fr>) au sein de l'édifice et alentours (Fig. 1).

Combiner la photogrammétrie à la lasergrammétrie peut permettre d'obtenir un nuage de points 3D d'une scène dont la structure et la couleur sont très fidèles. Cependant, à cause de la taille et de la complexité de la cathédrale d'Amiens, dont le volume est le double de celui de la cathédrale de Paris, il est clair que la photogrammétrie ne peut être appliquée partout dans un temps raisonnable. En effet, là où la lasergrammétrie est un processus de mesure relativement rapide, fiable et demandant peu de post-traitement, la photogrammétrie, quant à elle, demande de multiples prises d'images d'une même scène, de points de vue différents, engendrant

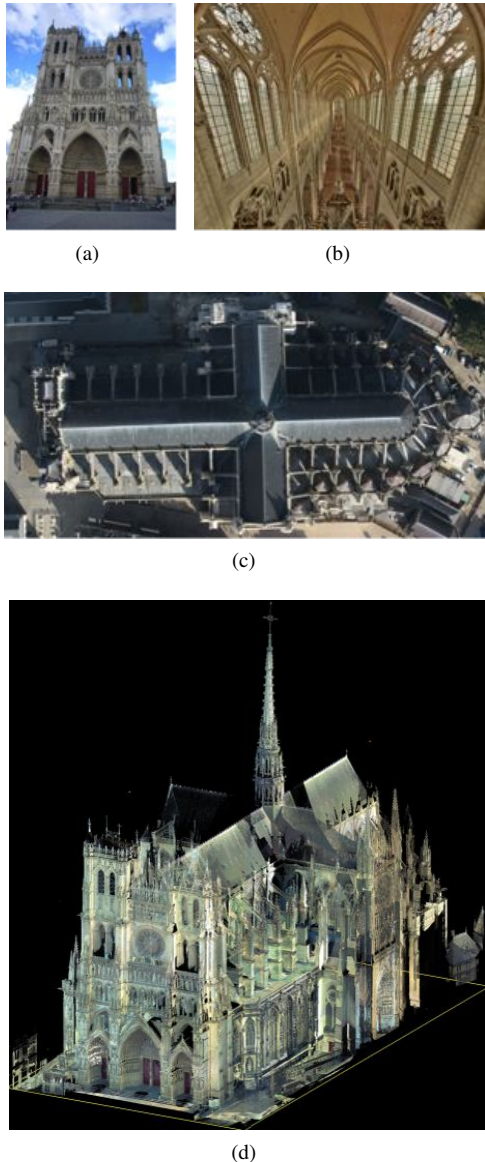


Figure 1: La cathédrale d'Amiens. (a) sa façade principale (occidentale). (b) intérieur de la cathédrale. (c) une vue aérienne orthographique dont l'axe vertical correspond à la direction du nord : la façade principale (a) est sur le côté ouest. (d) vue du nuage de points extérieur à partir du sud-ouest.

une durée d'acquisition beaucoup plus longue qu'en lasergrammétrie pour un même volume considéré, à résolution identique. Le temps de post-traitement dans ce contexte est aussi beaucoup plus long. Pour toutes ces raisons, nous proposons de combiner différemment la prise de photos avec la lasergrammétrie, afin de ne faire que l'acquisition du nombre nécessaire de photos pour colorer en haute définition le nuage de points 3D acquis par télémètre laser.

2. Numérisation d'édifice patrimonial avec un aspect visuel de qualité

Pour mesurer précisément un édifice patrimonial, la combinaison de télémètres laser à balayage avec des photographies de haute définition permet d'assurer l'acquisition d'une information de structure 3D et de couleur très proches de la réalité. Les dispositifs existants, comme les télémètres laser à balayage Leica C-10 et Faro Focus 3D, utilisés pour la numérisation de la cathédrale d'Amiens, combinent les deux technologies en deux étapes. Tout d'abord, le télémètre laser à balayage mesure les dimensions 3D de l'édifice. Via cette technologie, un ensemble de points 3D, mesuré dans presque toutes les directions autour du dispositif, est obtenu. Ensuite, la caméra robotisée embarquée est orientée pour prendre des images couvrant le champ de vue sphérique autour du dispositif. Enfin, une étape de post-traitement affecte une couleur à chaque point 3D à partir des images.

Cette approche existante mène à des mesures 3D très précises mais, à cause de la qualité des caméras utilisées sur les dispositifs précédemment mentionnés, cela mène aussi à un mauvais aspect visuel dû à plusieurs problèmes identifiés. Premièrement, la définition de la caméra est bien moindre que celle du télémètre laser à balayage et, par conséquent, plusieurs points 3D seront colorés à partir du même pixel. Deuxièmement, la dynamique photométrique de la caméra est plutôt basse, menant à des problèmes d'exposition classiques. Pour terminer, puisqu'en pratique plusieurs acquisitions à partir de plusieurs positions doivent être réalisées pour couvrir un édifice de grande taille, la combinaison de ces acquisitions mène presque toujours à des couleurs incohérentes.

Ce processus de mesure mène à plusieurs ensembles de points 3D colorés qui peuvent être géométriquement recalés avec pertinence pour obtenir un unique nuage de points 3D. Mais dans ce nuage de points, à cause du processus d'acquisition en plusieurs étapes, des points 3D voisins, ayant une couleur très proche dans la réalité, peuvent avoir des couleurs très différentes, menant à un nouveau problème important des techniques existantes pour obtenir des nuages de points colorés (Fig. 2). Des méthodes de post-traitement proposées par le logiciel Cyclone de Leica, par exemple, permettent d'harmoniser les couleurs, améliorant un peu l'aspect visuel (Fig. 3(b)), mais toujours à une résolution de couleur si faible qu'elle donne une illusion visuelle de mauvaise résolution géométrique du modèle 3D du bâtiment alors qu'elle est très fine : environ 1 mm de résolution géométrique de surface pour le nuage de points final (Fig. 3(c)).

Utiliser une caméra numérique de qualité professionnelle à la place des caméras existantes sur les télémètres laser à balayage améliorerait l'aspect visuel mais seulement pour une profondeur limitée de perception, et au prix d'un dispositif bien plus gros et un temps d'acquisition plus long.

Nous proposons ainsi une nouvelle méthodologie de combinaison de nuage de points 3D et de photos de haute définition. L'approche globale suit trois étapes. Tout d'abord, les images sont acquises à des points de vue bien choisis. Ensuite, les photos sont recalées automatiquement sur le bâtiment virtuel. Enfin, une fois recalées, les photos sont pro-

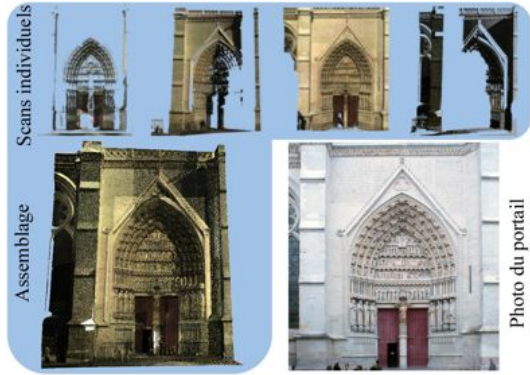


Figure 2: Problèmes de couleur après assemblage de nuage de points. La première ligne rassemble des images virtuelles des quatre scans individuels nécessaires pour couvrir entièrement le portail sud de la cathédrale d'Amiens. Les scans sont obtenus avec le même dispositif, donc acquis à différents moments de la journée, et quand les quatre scans sont assemblés (deuxième ligne à gauche), même si la précision 3D est très bonne, les problèmes de couleur mènent à un mauvais aspect visuel, même comparé à une photo classique du portail (deuxième ligne, droite).

jetées sur la cathédrale 3D pour affecter une nouvelle couleur à chaque point 3D du nuage. Avec cette méthodologie, nous pouvons placer la caméra où l'on veut pour maximiser la similitude entre les résolutions du nuage de points et de l'image. De plus, de cette manière, il est plus simple d'avoir des couleurs similaires entre différentes prises de vues, réduisant ainsi la quantité de traitement pour rendre les couleurs plus uniformes dans le voisinage de chaque point 3D.

L'étape clé de cette méthodologie est le recalage de photos sur le bâtiment virtuel. Pour traiter ce problème, nous avons

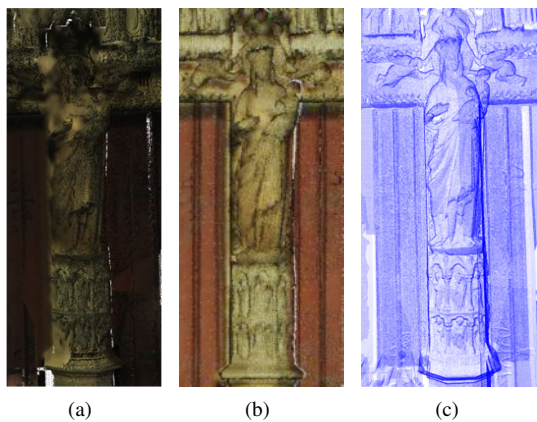


Figure 3: Zoom sur la Vierge dorée du modèle 3D du portail sud (Fig. 2). (a) couleurs brutes après assemblage. (b) couleurs harmonisées par le logiciel Cyclone de Leica. Malgré un meilleur aspect visuel, la résolution de couleur est toujours très faible par rapport à la qualité très fine de la structure 3D, comme illustré en fausses couleurs en (c).

formalisé le problème comme une estimation de pose, pour calculer la pose de la caméra par rapport au bâtiment virtuel, en étendant une méthodologie de suivi visuel basé modèle 3D [CMPC06]. Dans cette méthodologie, des modèles 3D filaires d'objets ou de scènes sont recalés sur des contours détectés dans une photo. Cette méthodologie a été instanciée pour plusieurs primitives visuelles et nous l'avons étendue à l'utilisation directe et dense des intensités d'une photo, c'est-à-dire, la minimisation des différences pixel à pixel entre une photo et une image virtuelle du nuage de points 3D de l'édifice patrimonial, en optimisant la pose de la caméra virtuelle (qui génère les images virtuelles) [CCM14]. Notre formulation du problème permet l'utilisation directe des données (nuage de points colorés et photos), sans nécessiter de détection ni d'appariement de primitives visuelle, pour une haute précision de recalage.

En appliquant cette méthode sur le portail de la Vierge dorée de la cathédrale d'Amiens, nous avons obtenu un modèle 3D très réaliste du porche et de ses sculptures environnantes (Fig. 4). Ce modèle a, depuis, été utilisé dans la conception de jeux sérieux éducatifs [LGCMA13] et pour illustrer une nouvelle méthode d'assistance à la navigation dans les environnements 3D complexes [HCM14].

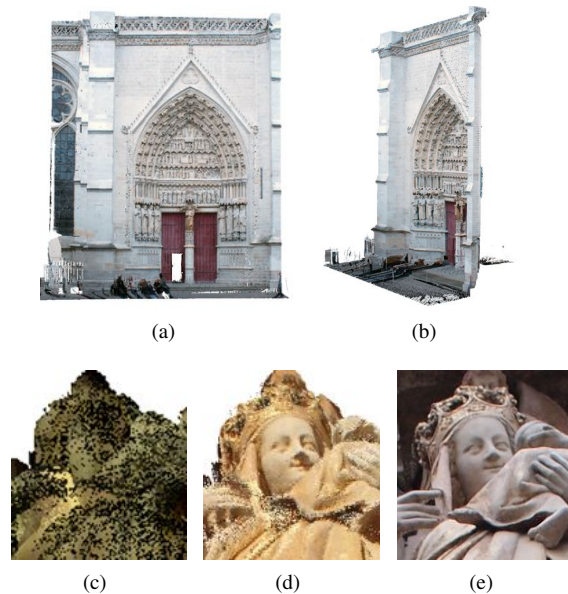


Figure 4: Résultats de colorisation par la méthode [CCM14] basé recalage photométrique dense de photos sur le nuage de points 3D. La première ligne montre une vue globale du portail avec ses nouvelles couleurs (à comparer avec la figure 2). La seconde ligne montre un zoom sur le visage de la Vierge dorée, avec, de gauche à droite, les scans bruts, le résultat de colorisation et une photo prise d'un point de vue différent que ceux utilisés pour coloriser, pour comparer.

3. Conclusion

Cet article donne un aperçu de la méthodologie de numérisation proposée et mise en oeuvre dans le programme de

recherche E-Cathédrale après quatre ans de travaux en développement. Les mesures brutes de numérisation sont elles-mêmes un résultat que la nouvelle méthode de colorisation améliore afin de rendre utilisable ces données dans plusieurs applications.

D'autres projets de recherche en Europe et dans le monde ont été consacrés à la mesure et au rendu d'objets et de bâtiments du patrimoine. Les listes tous n'est pas l'objet, ici, mais, parmi eux, l'Université de Columbia (<http://www.learn.columbia.edu/Mcahweb/index-frame.html>) aux Etats-Unis s'est intéressée à la cathédrale d'Amiens autour des années 2000, même s'il fut plus question d'architecture. Ses chercheurs ont numérisé, avec les moyens de l'époque, certaines parties de la cathédrale, avec une précision grossière, comparé à ce que l'on peut obtenir aujourd'hui. Traitant d'aspects plus généraux, le projet 3D COFORM (<http://www.3d-coform.eu/>) financé par l'Union Européenne entre 2008 et 2012 s'est plus focalisé sur les objets que sur les édifices mais partage les mêmes buts de conservation que les nôtres.

La suite du programme e-Cathédrale, en plus de compléter la numérisation de la cathédrale d'Amiens et d'en exploiter le modèle 3D dans diverses applications, vise à intégrer la robotique autonome dans la méthodologie de numérisation afin de la rendre plus efficace. C'est un défi en soi mais l'efficacité recherchée, tant en terme de temps d'acquisition qu'en terme de pertinence d'acquisition pour limiter la quantité de mesures à traiter sont autant de défis et de perspective à ce travail.

Références

- [CCM14] CROMBEZ N., CARON G., MOUADDIB E. : Colorisation de nuages de points 3D par recalage dense d'images numériques. *Revue Traitement du Signal, TS*. Vol. 31, Num. 1 – 2 (2014), 81 – 106.
- [CMPC06] COMPORT A., MARCHAND E., PRESSIGOUT M., CHAUMETTE F. : Real-time markerless tracking for augmented reality : the virtual visual servoing framework. *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, TVCG*. Vol. 12, Num. 4 (juillet 2006), 615 – 628.
- [HCM14] HABIBI Z., CARON G., MOUADDIB E. : 3D-model automatic exploration : smooth and intelligent virtual camera control. In *Asian Conference on Computer Vision, ACCV, workshop on e-Heritage* (Singapour, novembre 2014).
- [LGCMA13] LECLET-GROUX D., CARON G., MOUADDIB E., ANGHOUR A. : A serious game for 3D cultural heritage. In *Digital Heritage International Congress, DH* (Marseille, France, octobre 2013), pp. 409 – 412.