

IMN638 – CHAPITRE 1 MODULE 4
SYSTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

Automne 2013 – Université de Sherbrooke

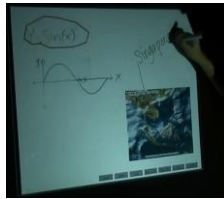
9/15/2013

1

9/15/2013

Sommaire

- Systèmes caméra-projecteur
 - Modélisation du système
 - Mise en correspondance par homographie
 - Mise en correspondance par lumière structurée



Utilisation d'un système caméra-projecteur pour la création d'un tableau virtuel interactif. (Nanyang Technological University)

2

SYSTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

9/15/2013

Systèmes caméra-projecteur

Un système caméra-projecteur est un système visuel impliquant l'usage d'un projecteur dont l'image projetée est filmée par une caméra.

Ces systèmes sont relativement populaires dans les applications de réalité augmentée, de vision par ordinateur et de réalité virtuelle. En effet, puisque la caméra filme une scène sur laquelle le projecteur projette une image, ce dernier peut affecter l'image filmée par la caméra. Ceci ouvre la porte à une multitude d'applications qui ne seraient pas possibles avec un seul projecteur ou une seule caméra.

Dans le cadre de cette section, nous étudierons les outils géométriques habituellement utilisés dans de tels systèmes et nous discuterons brièvement d'exemples de leur utilisation.

3

SYSTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

MODÉLISATION DU SYSTÈME CAMÉRA-PROJECTEUR

9/15/2013

4

Modélisation du système caméra-projecteur

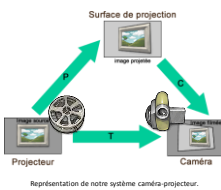
Avant de commencer, observons notre système comme étant défini par trois images différentes soit :

- **L'image source** : Image envoyée dans l'environnement par le projecteur.
- **L'image projetée** : Image projetée sur la surface de projection.
- **L'image filmée** : Image de l'environnement filmée par la caméra.

Pour établir la relation entre chaque image, nous pouvons aussi poser trois matrices de transformation différentes qui définissent notre système :

- **P** : Matrice permettant de **passer de l'image source vers l'image projetée**.
- **C** : Matrice permettant de **passer de l'image projetée vers l'image filmée**.
- **T** : Matrice permettant de **passer de l'image source vers l'image filmée**. Cette matrice est en fait la composition de transformation CP ($T = CP$).

Finalement, les coordonnées de l'image source sont notées (X,Y) et les coordonnées de l'image filmée (x,y) .



9/15/2013

SYSTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

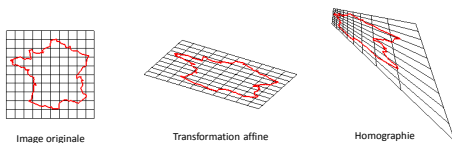
5

Modélisation d'un système caméra-projecteur

Dans un système caméra-projecteur, les trois transformations géométriques consistent à prendre des plans et les projeter sur d'autres plans. (Par exemple, les pixels du plan image du projecteur sont projetés sur un autre plan, le mur.) Notons qu'on parle ici de projection au sens géométrique du terme, l'image projetée sur le mur et filmée par la caméra se voit donc projetée sur le plan image de la caméra.

Cette transformation géométrique de projection plan à plan est appelée une **homographie** et définie à toute fin pratique la transformation subite par les droites de projection de notre système.

Une homographie n'est pas une transformation affine car elle ne conserve pas les relations de **colinéarité** et de **distance**.



9/15/2013

SYSTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

6

9/15/2013

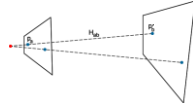
Modélisation d'un système caméra-projecteur

Une homographie entre deux points situés sur des plans p_a et p'_b se décrit telle que:

$$p_a = \begin{pmatrix} x_a \\ y_a \\ 1 \end{pmatrix}, p'_b = \begin{pmatrix} w' x_b \\ w' y_b \\ w' \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$H_{ab} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$p'_b = H_{ab} p_a \quad (3)$$



7

SYSTEMES CAMERA-PROJECTEUR

9/15/2013

Modélisation d'un système caméra-projecteur

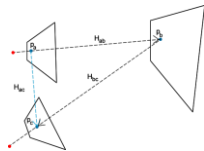
L'homographie étant une transformation projective, elle demeure précise à une constante d'échelle près (la géométrie projective étant elle-même précise à un facteur d'échelle près).

D'un point de vue de transformation pure, une homographie est donc équivalente pour un point en coordonnées homogène à une constante d'échelle (k) près.

$$kp' = Hp$$

Finalement, notons qu'une composition de deux homographies est aussi une homographie :

$$H_{ac} = H_{ab} H_{bc}$$



8

SYSTEMES CAMERA-PROJECTEUR

MISE EN CORRESPONDANCE PAR HOMOGRAPHIE

9/15/2013

9

Mise en correspondance par Homographie

Dans un système caméra-projecteur, une opération utile pour plusieurs applications est de déterminer la correspondance entre les points de l'image source et les points de l'image filmée par la caméra. (Par exemple, l'utilisateur pourrait utiliser un pointeur laser sur l'image projetée au mur, qui serait filmé et détecté par le système et servirait de contrôleur pour le pointeur de la souris.)

Dans la mesure où la surface de projection est plane, ce lien entre les points peut être perçu comme l'homographie résultante de la combinaison des homographies « projecteur-plan » (P) et « plan-caméra » (C), soit la transformation T de notre système caméra-projecteur.

$$(x, y) = T(X, Y)$$

Il est donc intéressant de déterminer comment trouver cette homographie. Dans notre cas, nous utiliserons une méthode dite « à 4 points » pour la trouver.

10

SISTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

Mise en correspondance par Homographie

Si nous souhaitons passer d'un point homogène en coordonnée image source (X,Y) vers un point homogène en coordonnée image filmée (x,y), en suivant l'homographie T, on a :

$$\begin{pmatrix} kx \\ ky \\ k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{pmatrix}$$

Lorsque développé, le tout correspond à :

$$kx = h_{11}X + h_{12}Y + h_{13} \quad (4)$$

$$ky = h_{21}X + h_{22}Y + h_{23} \quad (5)$$

$$k = h_{31}X + h_{32}Y + h_{33} \quad (6)$$

11

SISTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

Mise en correspondance par Homographie

En remplaçant k dans (4) et (5) par (6), on obtient les relations :

$$\begin{aligned} x(h_{31}X + h_{32}Y + h_{33}) &= h_{11}X + h_{12}Y + h_{13} \\ y(h_{31}X + h_{32}Y + h_{33}) &= h_{21}X + h_{22}Y + h_{23} \end{aligned} \quad (7)$$

Nous avons donc 9 inconnus différents. Ceci étant dit, puisque nous sommes dans une transformation projective, une redondance s'installe sur une des variables puisque tous les points situés sur le même axe de projection sont considérés identiques. On peut donc poser :

$$h'_{ij} = \frac{h_{ij}}{h_{33}} \quad (8)$$

Notre homographie devient donc :

$$H' = \frac{1}{h_{33}} \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{h_{11}}{h_{33}} & \frac{h_{12}}{h_{33}} & \frac{h_{13}}{h_{33}} \\ \frac{h_{21}}{h_{33}} & \frac{h_{22}}{h_{33}} & \frac{h_{23}}{h_{33}} \\ \frac{h_{31}}{h_{33}} & \frac{h_{32}}{h_{33}} & \frac{h_{33}}{h_{33}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h'_{11} & h'_{12} & h'_{13} \\ h'_{21} & h'_{22} & h'_{23} \\ h'_{31} & h'_{32} & 1 \end{pmatrix}$$

12

SISTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

9/15/2013

Mise en correspondance par Homographie

En appliquant (8) à (7), on se retrouve avec les relations suivantes :

$$\begin{aligned} x(h'_{31} X + h'_{32} Y + 1) &= h'_{11} X + h'_{12} Y + h'_{13} \\ y(h'_{31} X + h'_{32} Y + 1) &= h'_{21} X + h'_{22} Y + h'_{23} \end{aligned}$$

Nous cherchons les composantes de H, on peut donc isoler x et y et exprimer notre système sous la forme $Ax = b$ où x contient les composantes de H. Ceci donne donc :

$$\begin{pmatrix} X & Y & 1 & 0 & 0 & 0 & -xX & -xY \\ 0 & 0 & 0 & X & Y & 1 & -yX & -yY \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h'_{11} \\ h'_{12} \\ h'_{13} \\ h'_{21} \\ h'_{22} \\ h'_{23} \\ h'_{31} \\ h'_{32} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (9)$$

Nous avons alors 8 inconnus pour 2 équations. En utilisant une connaissance *a priori* des coordonnées réelles de 4 points, nous pourrions avoir 8 équations pour les 8 inconnus.

13

SISTÈMES CAMÉRA-PROJCTEUR

9/15/2013

Mise en correspondance par Homographie

Ayant 8 valeurs inconnues et nos coordonnées possédant chacune 2 dimensions, nous avons besoin d'au moins 4 points de correspondance pour résoudre notre système (afin d'avoir 8 équations différentes).

Puisque notre caméra et notre projecteur sont fixes, nous pouvons générer 4 points dans l'image source, filmer cette image et détecter les 4 points dans l'image filmée. En autant que ces points soient caractéristiques, diverses méthodes pour la détection de ces points s'offrent à nous :

1. Projeter 4 ronds blancs ou 4 marqueurs topologiques dont la position dans l'image source est connue. Segmenter l'image filmée et isoler les points ou les marqueurs puis calculer leur barycentre.
2. Projeter un gros rectangle blanc et isoler les contours afin de trouver les coins du rectangle. (Avec la méthode vue dans le module 1.2 par exemple, ou les coins peuvent être directement détectés avec un détecteur de Harris)
3. Demander à l'utilisateur de manuellement sélectionner dans l'image filmée les 4 points caractéristiques de l'image projetée. (C'est technique la plus courante et la plus fiable. Elle demande peu de temps au final.)
4. Etc.

Dans tous les cas, il faut faire attention à ne jamais avoir 3 points colinéaires car ceci créerait une matrice singulière.

14

SISTÈMES CAMÉRA-PROJCTEUR

9/15/2013

Mise en correspondance par Homographie

Une fois les 4 points trouvés, on connaît donc les coordonnées (x,y) et (X,Y) pour chaque point, il ne reste alors plus qu'à trouver la matrice de transformation T permettant de passer d'un groupe de point à l'autre. Si on utilise (9) mais cette fois en empilant les 4 points, on obtient le système suivant :

$$\begin{pmatrix} X_1 & Y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1X_1 & -x_1Y_1 \\ 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & 1 & -y_1X_1 & -y_1Y_1 \\ X_2 & Y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2X_2 & -x_2Y_2 \\ 0 & 0 & 0 & X_2 & Y_2 & 1 & -y_2X_2 & -y_2Y_2 \\ X_3 & Y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_3X_3 & -x_3Y_3 \\ 0 & 0 & 0 & X_3 & Y_3 & 1 & -y_3X_3 & -y_3Y_3 \\ X_4 & Y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_4X_4 & -x_4Y_4 \\ 0 & 0 & 0 & X_4 & Y_4 & 1 & -y_4X_4 & -y_4Y_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h'_{11} \\ h'_{12} \\ h'_{13} \\ h'_{21} \\ h'_{22} \\ h'_{23} \\ h'_{31} \\ h'_{32} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ x_3 \\ y_3 \\ x_4 \\ y_4 \end{pmatrix}$$

On peut alors inverser la matrice 8x8, résoudre le système et ainsi obtenir nos valeurs de la matrice T. À ce moment, il suffit simplement de multiplier un point (X,Y) (projecteur) par T pour obtenir son équivalent (x,y) (caméra). Le chemin inverse s'effectue en inversant T. La mise en correspondance entre l'image projetée et l'image filmée est alors possible.

15

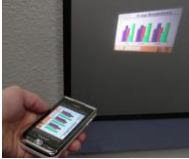
SISTÈMES CAMÉRA-PROJCTEUR

9/15/2013

Obtention des matrices C et P

La matrice de transformation trouvée précédemment permet d'établir la transformation du projecteur vers la caméra. Ceci étant dit, elle ne tient pas compte des transformations intermédiaires. **Il n'est donc pas possible d'obtenir directement les transformations écran vers caméra (C) et projecteur vers écran (P).**

En effet, nous cherchons, avec C ou P, la transformation d'homographie entre la surface de projection et la caméra ou le projecteur respectivement.



L'image projetée, lorsqu'elle n'est pas perpendiculaire à l'écran, est déformée. Il n'est donc pas possible de projeter 4 points de position connue à un facteur d'échelle près directement avec le projecteur. (Samsung, 2010)

Pour trouver cette homographie, nous devons trouver quatre points sur la surface de projection ayant des positions connues à un facteur d'échelle près. Il n'est malheureusement pas possible de projeter une image sur le plan écran afin d'afficher ces points puisque l'image projetée sera déformée selon l'homographie inconnue que nous cherchons justement. (À moins d'avoir le cas particulier où le projecteur est parfaitement perpendiculaire à l'écran.)

16

SISTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

9/15/2013

Obtention des matrices C et P

Pour trouver les transformations C et P, nous avons donc besoin de trouver quatre points situés sur l'écran de projection et ayant des positions connues. La stratégie ici sera de placer 4 points ayant des positions connues (à un facteur d'échelle près) et de filmer ces 4 points afin d'obtenir la matrice d'homographie P (écran vers caméra).

Il existe différentes façons simples de « créer » nos 4 points sur la surface de projection. Deux méthodes populaires sont :

1. Utiliser les coins de l'écran de projection lui-même (les détecter en demandant à l'utilisateur de cliquer sur ces derniers à la caméra). Sachant le ratio de dimension de l'écran (4:3, 16:10 ou 16:9), il est possible de trouver les points.
2. Coller une image de calibration directement sur la surface de projection et détecter 4 coins sur l'image en question. (Par exemple une feuille avec 4 points blancs).

Les 4 points affichés, il est possible de les filmer avec la caméra et de les détecter dans cette dernière. On a alors 4 points en espace « surface de projection » et en espace « caméra ».

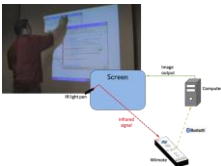
17

SISTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

9/15/2013

Exemples de mise en correspondance par Homographie

Exemples de systèmes caméra-projecteur utilisant une mise en correspondance par homographie obtenue via une calibration 4 points :



Correction automatique de la déformation de l'image projetée suite à un mauvais alignement du projecteur. Le système utilise une caméra placée à un endroit quelconque dans la pièce. La caméra filme l'écran de projection. En construisant les matrices d'homographies du système, il est possible de dynamiquement et automatiquement annuler les déformations de l'image projetée afin de calibrer automatiquement le projecteur. Le système permet alors de placer un projecteur n'importe où dans une pièce en garantissant la rectitude de l'image projetée. (Guikharie et al., 2009)

Tableau interactif créé à partir d'un contrôleur de Wii. Une calibration 4-points est effectuée au lancement de l'application en demandant à l'utilisateur de cliquer manuellement sur les 4 coins de la projection à l'aide d'un crayon infrarouge collant lorsqu'il touche la surface. Par la suite, lorsque l'utilisateur touche à la surface, la position du crayon infrarouge est détectée avec la caméra du contrôleur. On effectue la transformation T1 pour passer des coordonnées caméra aux coordonnées projecteur. On trouve alors où l'utilisateur « clique » dans le logiciel, simulant ainsi la souris. (Johnny Chung Lee, 2007)

18

SISTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

9/15/2013

Obtention des matrices C et P

Une fois les 4 points obtenus, on trouve l'homographie en effectuant la méthode des 4 points. Cette homographie est la transformation « C ».

Nous connaissons alors les transformations T et C de notre système. La transformation P peut très facilement être trouvée tel que:

$$T = CP$$

$$C^{-1}T = P$$

Ces opérations effectuées, notre système caméra-projecteur est pleinement défini et toutes ses transformations sont connues. Ces matrices de transformation peuvent ensuite être utilisées dans le cadre de différentes applications, avec différentes combinaisons caméra-projecteur.

19

SISTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

9/15/2013

20

MISE EN CORRESPONDANCE PAR LUMIÈRE STRUCTURÉE

SISTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

9/15/2013

Limites de la mise en correspondance par Homographie

La méthode de mise en correspondance par homographie exploite une transformation géométrique de projection plan à plan. Cette méthode prend donc pour acquis que la surface de projection constitue un plan. Bien que ceci soit très souvent le cas, certains contextes de projections peuvent impliquer une surface de projection irrégulière ou ayant une géométrie non-planaire.

Projeter sur une telle surface en utilisant la méthode de mise en correspondance par homographie résulterait plus souvent qu'autrement en une projection déformée et de piètre qualité.

21

SISTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

9/15/2013

Limites de la mise en correspondance par Homographie

Dans un tel cas, diverses options s'offrent à nous :

1. **Trouver une représentation mathématique précise de la surface.** (Difficilement applicable puisqu'on ne connaît pas toutes les caractéristiques des surfaces où on projette, ces dernières étant potentiellement complexes et difficilement modélisables.)
2. **Transformer une surface en plusieurs plans.** (Complexité décuplée.)
3. **Effectuer une mise en correspondance pixel par pixel entre l'image source projetée et l'image filmée.** (Revient à estimer indépendamment la correspondance d'un pixel à l'autre, c'est la méthode que nous verrons, soit une méthode de codage par lumière structurée.)

22

SYSTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

9/15/2013

Mise en correspondance pixel par pixel

La stratégie générale de la mise en correspondance pixel par pixel avec lumière structurée est d'**encoder les coordonnées du pixel source dans un identifiant unique** et de projeter cet identifiant unique sur la surface de projection. **L'identifiant est ensuite filmé par la caméra qui le garde en mémoire** pour chaque pixel de l'image filmée. Ainsi, chaque pixel de l'image filmée peut être associé au pixel correspondant dans l'image source.

Lorsqu'une mise en correspondance entre l'image caméra et l'image source est nécessaire, le système peut alors **consulter quel pixel de l'image source correspond à un pixel de la caméra** et ainsi établir la correspondance.

Notons que cette technique **fonctionne uniquement pour la mise en correspondance caméra vers source** puisqu'un pixel source pourrait se projeter sur plusieurs pixels de la caméra.

23

SYSTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

9/15/2013

Encodage de l'identifiant dans l'image source

Pour encoder l'identifiant unique de chaque pixel, nous tirons profit de la capacité du projecteur à influencer la projection.

En effet, en projetant séquentiellement de la couleur blanche/noir pour un pixel donné, il est possible de générer un code binaire propre à chaque pixel de l'image.

Par exemple, en prenant un pixel particulier du projecteur, nous pourrions émettre une séquence de 4 images ayant respectivement les couleurs [noir, blanc, blanc, noir]. La caméra filmant ce pixel, après une segmentation 2 classes, filmerait donc exactement la même séquence. Si on associe une valeur binaire à ces couleurs, on obtiendrait alors la séquence [0110]. Nous pourrions alors reconstruire un identifiant décimal à partir de cette séquence, qui aurait la valeur « 6 ». Ce pixel aurait donc l'identifiant unique « 6 » de par la séquence de couleur projetée.

No. de l'image	0	1	2	3
Couleur	Noir	Blanc	Blanc	Noir
Binaire	0	1	1	0
Décimal	6			

24

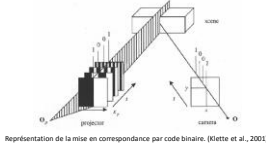
SYSTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

9/15/2013

Encodage de l'identifiant dans l'image source

Suivant cette méthode, on peut encoder chaque colonne puis chaque ligne de notre image en projetant des séquences d'images binaires sur notre surface de projection de manière à encoder le numéro de la ligne/colonne, bit par bit, pour chaque pixel. On donne ainsi la coordonnée exacte du pixel dans l'image source, ce qui constitue, en soit, un identifiant unique.

Lorsque les couleurs filmées sont analysées, on construit, image par image, chaque bit des nombres binaires qui composent la coordonnées à partir des images filmées, afin de reconstruire la coordonnée. **Ce processus est un encodage binaire de l'image par lumière structurée.**



25

SISTÈMES CAMERA-PROJECTEUR

9/15/2013

Encodage de l'identifiant dans l'image source

Dans la mesure où chaque image projetée dans la scène correspond à 1 bit d'information pour chaque pixel, le nombre d'images requises pour encoder complètement une scène est de :

$$\lceil \log_2(\text{largeur}) \rceil + \lceil \log_2(\text{hauteur}) \rceil$$

Avec cette formule, on possède suffisamment d'images pour encoder tous les bits requis pour donner un identifiant d'images pour encoder tous les bits requis pour donner un identifiant unique à chaque colonne et tous les bits requis pour donner un identifiant unique à chaque ligne.

Par exemple, si on souhaite encoder une image de dimensions 1024x480 pixels, le nombre d'images requises sera de 19 images.

$$\lceil \log_2(1024) \rceil = 10$$

$$\lceil \log_2(480) \rceil = 9$$

$$9 + 10 = 19$$

26

SISTÈMES CAMERA-PROJECTEUR

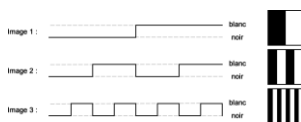
9/15/2013

Exemple de génération de séquence binaire pour 8 colonnes

Si nous souhaitons encoder les colonnes d'une image ayant 8 colonnes de large, nous construirions la séquence binaire comme suit :

$$\lceil \log_2(8) \rceil = 3 \text{ (donc nous avons besoin de 3 images)}$$

Coordonnée décimale	0	1	2	3	4	5	6	7
Binaire (Image 1)	0	0	0	0	1	1	1	1
Binaire (Image 2)	0	0	1	1	0	0	1	1
Binaire (Image 3)	0	1	0	1	0	1	0	1



On encoderait ensuite les lignes de manière analogue pour avoir les coordonnées complètes.

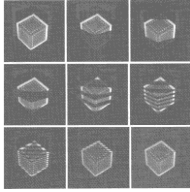
27

SISTÈMES CAMERA-PROJECTEUR

9/15/2013

Lumière structurée dans un contexte réel

En projetant les patrons de lumières précédemment décrits avec le projecteur, on obtient des schémas de lumière similaires à ceux-ci :



Exemple de projection du code binaire pour l'identification des lignes sur une surface non planaire (dans ce cas-ci un cube). (Klette et al., 2001)

La structure particulière des patrons lumineux projetés donne son nom à la méthode dite par « **lumière structurée** ».

28

Systèmes Caméra-Projecteur

9/15/2013

Résumé de la technique jusqu'à présent

Si on résume l'algorithme décrit jusqu'à présent, la mise en correspondance à l'aide de lumière structurée requiert les étapes suivantes :

1. Projection d'une séquence de $\lceil \log_2(\text{largeur}) \rceil$ images. Pour la i^{e} image projetée, la couleur d'un pixel de coordonnée (x,y) dans cette image est égale au i^{e} bit de la valeur x écrite en binaire.
2. Acquisition de la séquence d'images avec la caméra. On segmente chaque image en 2 classes. Pour le pixel (x,y) caméra, on met le i^{e} bit de la coordonnée en x du pixel auquel il est associé à la valeur détectée au pixel (x,y) , de manière à reconstruire l'identifiant binaire en x .
3. Refaire les étapes 1 et 2 mais cette fois pour les lignes (composante y de la coordonnée).
4. On possède les coordonnées encodées en binaire. Stocker ces coordonnées dans une table afin de pouvoir mettre en correspondance l'image caméra vers l'image source.

29

Systèmes Caméra-Projecteur

9/15/2013

Mise en correspondance par lumière structurée

Les étapes précédentes effectuées, on connaît, pour chaque pixel filmé, la coordonnée exacte du pixel correspondant dans l'image source projetée. À ce moment on peut utiliser la correspondance pixel par pixel.

Notons cependant que cette correspondance, puisqu'elle s'effectue point à point, ne peut pas donner de transformation géométrique au sens propre. Il n'est pas non plus avisé d'utiliser 4 points parmi les coordonnées reconstruites pour calculer une homographie puisqu'il n'y a aucune garantie que les points en question sont coplanaires, ou englobent une région coplanaires.

30

Systèmes Caméra-Projecteur

9/15/2013

Limites et faiblesses de l'encodage binaire

En théorie, l'encodage binaire demeure fonctionnel. Malheureusement, en pratique, les frontières entre le blanc et le noir dans l'image projetée ne sont pas toujours parfaitement bien définies lorsque filmées par la caméra. En résulte que, **lors de la segmentation, certains pixels situés au niveau des transitions du noir vers le blanc, ou inversement, peuvent être incorrectement classés.** Dans un tel cas, la valeur du nombre binaire construit à partir de ces couleurs peuvent être complètement différentes de la valeur réelle. En effet, **le mauvais encodage du premier bit d'une image peut aller jusqu'à modifier la coordonnée de la moitié de la taille de l'image.**

De plus, on remarque que lors d'un encodage binaire, **certaines lignes et certaines colonnes subiront plusieurs transitions dans leur séquence binaire, ce qui augmente encore plus les chances d'erreur à ces endroits dans la séquence.**

En pratique, pour éviter un tel problème, on utilise un encodage alternatif et beaucoup plus robuste, soit **l'encodage par Code Gray.**

31

SISTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

9/15/2013

Code Gray

Le code gray est une méthode spécialement développée pour limiter le nombre de transition entre des nombres consécutifs dans une séquence binaire. Cette méthode d'encodage garantie que :

1. La mauvaise classification d'une couleur dans la séquence modifie, dans le pire cas, de 1 la valeur décimale obtenue.
2. Le nombre de transition par pixel d'image est réduit à 1 quelle que soit la taille du code gray binaire encodant cette image.

Pour générer un code Gray à partir d'un nombre x décimal quelconque, on utilise la formule suivante :

$$Gray_x = \frac{Bin_x \oplus 2Bin_x}{2}$$

Exemple : $x = 6$

$$\begin{aligned} Bin_6 &= 0110 \\ 2Bin_6 &= 1100 \\ Bin_6 \oplus 2Bin_6 &= 1010 \\ \frac{Bin_6 \oplus 2Bin_6}{2} &= 0101 \end{aligned}$$

32

SISTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

9/15/2013

Code Gray

Exemple de code gray, pour les nombres 0 à 7 :

Décimal	Binaire
0	000
1	001
2	011
3	010
4	110
5	111
6	101
7	100

On observe que d'un nombre consécutif à l'autre, un seul bit change. (La distance de Hamming entre deux nombres consécutifs est toujours de 1.)

33

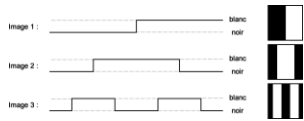
SISTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

9/15/2013

Séquence d'images encodée par code Gray

En reprenant l'exemple à 8 colonnes de l'acétate 27, mais en utilisant cette fois un code Gray, on obtiendrait les résultats suivants :

Coordonnée décimale	0	1	2	3	4	5	6	7
Gray(Image 1)	0	0	0	0	1	1	1	1
Gray (Image 2)	0	0	1	1	1	1	0	0
Gray (Image 3)	0	1	1	0	0	1	1	0



- On remarque que pour une colonne donnée, il n'y aura qu'une seule transition.
- Si un erreur due à la segmentation survient, le pire pouvant arriver est que le nombre obtenu soit décalé d'une seule ligne/colonne.

34

SYSTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

9/15/2013

Autres améliorations possibles

Pour terminer, notons que sur certaines surfaces, les couleurs blanches/noires n'apparaîtront pas avec un contraste suffisant pour être correctement détectées.

Pour remédier à ce problème, une technique souvent utilisée est de projeter l'image binaire normale en premier, suivie de son négatif. L'image et son négatif obtenus, plutôt que de vérifier si un pixel donné est noir ou blanc suite à la segmentation deux classes, on peut vérifier si la couleur dans la première image est plus grande ou plus petite que la couleur dans le négatif.

1. Si l'intensité de couleur de la première image est plus petite que la couleur de l'image inversée, notre pixel est classé « noir ».
2. Dans le cas contraire, le pixel est classé blanc.

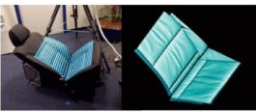
Notons qu'un effet collatéral de cette manipulation est que le nombre d'images requises pour la calibration est multiplié par 2. La calibration prend donc 2 fois plus de temps d'acquisition pour acquérir la séquence complète encodant la coordonnée du pixel.

35

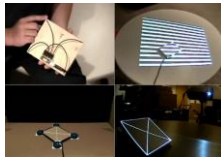
SYSTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

9/15/2013

Exemples d'utilisation de la lumière structurée



Reconstruction 3D d'un objet réel. L'objet soumis à la projection de lumière structurée est filmé par deux caméras placées à des angles différents. Une mise en correspondance est effectuée séparément pour chaque caméra et la disparité entre les points est calculée. Ceci fournit l'information de profondeur de l'objet filmé qui peut ensuite être très précisément reconstruite en 3 dimensions. (Wilke, 2000)



Calibration automatique de surface de projection. La caméra est ici remplacée par des fibres optiques qui effectuent la lecture du code gray envoyé à chaque coin de la surface de projection. Sachant que la surface est plane, la méthode des 4 points est utilisée, ce qui permet de calculer l'homographie, rectifier l'image projetée puis la projeter directement sur la surface. (Johnny C. Lee, 2007)

36

SYSTÈMES CAMÉRA-PROJECTEUR

Références recommandées :

- [Article] R. Sukthankar, R.G. Stockton, M.D. Mullin, « **Smarter Presentations : Exploiting Homography in Camera-Projector Systems** », *Proceedings of International Conference on Computer Vision, 2001*, Just Research and The Robotics Institute (Carnegie Mellon), Pittsburgh, PA,(2001),ACM.
- [Livre] Dana H. Ballard, Christopher M. Brown, « **Computer Vision** », *Prentice Hall* (Mai 1982)
- [Livre] R. Hartley, A. Zisserman, « **Multiple view geometry in computer vision** », *Cambridge University Press*, 2003.
- [Livre] E. Trucco, A. Verri, « **Introductory Techniques for 3D Computer Vision** », *Prentice Hall*, 1998.
