

Mode RAW sur une webcam N&B astronomique

Introduction

Les webcams sont très utilisées par les astronomes amateurs, en particulier pour faire des images en haute résolution sur les planètes, mais aussi des images du ciel profond.

Ces derniers jours une grande effervescence a gagnée le microcosme des utilisateurs. C'est le mode RAW (colonnes en Anglais) qui veut dire que la caméra sort une image sans aucun traitement (enfin presque).

ToUcam pro

Ma ToUcam pro (PCVC740K) est une webcam de marque Philips qui communique avec l'ordinateur via le port USB. Elle utilise un capteur CCD couleurs 1/4" de marque Sony, le ICX098BQ. Le signal est numérisé sur 10 bits (1024 niveaux) puis un microprocesseur embarqué traite le signal pour sortir des images RVB sur trois fois 8 bits (16 millions de couleurs).

Le microprocesseur (SAA8116HL et son eeprom 24C04) réalise un certain nombre de traitements sur le flux vidéo :

- Soustraction du courant d'obscurité
- Calcul des trois plans couleurs RVB
- Rehaussement des contrastes
- Compression du flux vidéo
- ...

Ce processeur travaille grâce à des « instructions » qui sont stockées dans une eeprom (24C04) dont les paramètres sont maintenant connus.

Cette caméra est « modifiable » par des bricoleurs de génie (on peut penser aux différentes modifications longues poses pour le ciel profond) mais je parlerais plutôt ici de celle trouvée par Etienne Bonduelle qui consiste à mettre un CCD N&B à la place du capteur d'origine.

Il faut savoir que quand Sony ou les autres fabriquent une matrice CCD elle est N&B, et que seulement en fin de fabrication ils placent sur les pixels les filtres colorés. Donc, tous les fabricants de matrices CCD ont dans leurs catalogues 2 matrices identiques : une couleur et une N&B.

La matrice couleur est montée dans des caméra couleur « grand public », alors que la matrice N&B est utilisée dans les caméra couleur tri-CCD « professionnelles » par exemple.

L'équivalent N&B de la matrice de la ToUcam est la ICX098BL.

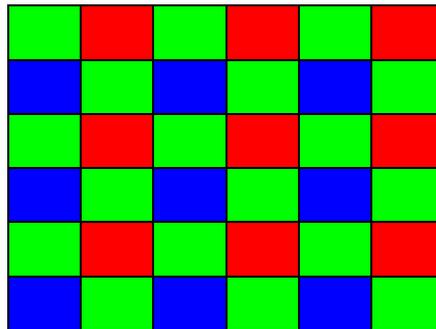
L'intérêt de ce changement de capteur est que le N&B est trois fois plus sensible à la lumière que le couleur. C'est normal, les filtres colorés de la matrice couleur absorbent environ un tiers du flux lumineux incident.

Il existe donc deux types de ToUcam pro utilisable pour l'imagerie planétaire :

- Celle d'origine avec le capteur couleur,
- Celle modifiée avec le capteur N&B (notée TUC N&B ¼").

RVB versus N&B

Une caméra couleur comme la ToUcam utilise une matrice CCD à filtres de Bayer, chaque pixel est recouvert d'une pastille colorée rouge, verte ou bleue selon l'arrangement suivant :



Pour obtenir une image couleur (RVB en 640x480) avec cette matrice, le logiciel interne à la caméra fait un certain nombre de calculs.

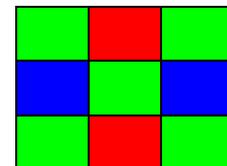
Les valeurs RVB de l'image couleur sont données par une moyenne des valeurs des signaux des pixels voisins :

Pour un point de l'image qui correspond à un pixel vert du CCD :

R = moyenne des signaux des 2 pixels rouges voisins

V = signal du pixel vert

B = moyenne des signaux des 2 pixels bleus voisins

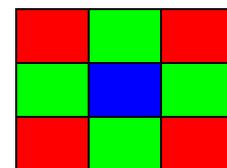


Pour un point de l'image qui correspond à un pixel bleu du CCD :

R = moyenne des signaux des 4 pixels rouges voisins

V = moyenne des signaux des 4 pixels verts voisins

B = signal du pixel bleu

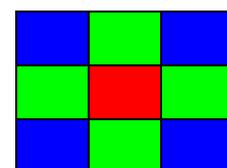


Pour un point de l'image qui correspond à un pixel rouge du CCD :

R = signal du pixel rouge

V = moyenne des signaux des 4 pixels verts voisins

B = moyenne des signaux des 4 pixels bleus voisins



Cet arrangement des filtres colorés sur la matrice CCD marche très bien, c'est même celui qui donne le moins d'artefact dans la restitution des couleurs. Certains fabricants de capteurs pour les appareils photo numérique font maintenant des mosaïques de

quatre couleurs, rouge, vert, bleu et vert-bleu genre turquoise, cet arrangement permet un meilleur rendu des tons verts et chairs.

Dans le mode d'acquisition N&B de la caméra couleur, la valeur de chaque point de l'image N&B est la moyenne des trois valeurs RVB, donc la moyenne des 5 ou 9 pixels voisins.

Tous ces calculs de moyenne sur les pixels voisins réduit la capacité de la matrice à résoudre les fins détails, cela revient à une « perte » de résolution.

La résolution de la caméra en 640 x 480 ne sera donc pas deux fois plus grande que celle dans le mode d'acquisition en 320 x 240.

Quand on change le capteur couleur de la caméra par son équivalent N&B sans le lui dire (sans modifier dans l'EEPROM les registres du SSA8116) ces calculs sont toujours actifs.

Nous avons vu que l'intérêt de la modification de cette caméra avec un capteur N&B est une augmentation significative de la sensibilité (environ 3X) mais ne change rien à sa capacité à résoudre de fins détails si l'on ne modifie pas les calculs internes.

Aujourd'hui avec un bus I2C et demain avec un logiciel via le bus USB on peut (ou on pourra) modifier les données de l'EEPROM qui paramètre le processeur de traitement de la caméra. Et ceci dans un seul but supprimer les calculs internes qui « dégradent » la qualité de nos images !

Fonction de Transfert

La Fonction de Transfert de Modulation ou FTM (MTF en anglais) est bien connue des opticiens. Cette courbe montre comment une optique transmet les contrastes de l'image en fonction de la fréquence spatiale. Cette fonction met en évidence les effets de la diffraction, des aberrations, de l'obstruction centrale, du chromatisme...

Ici je veux mesurer la Fonction de Transfert ou FT de la caméra et pas la FTM de l'objectif, pour cela il faut que l'optique soit meilleure que la caméra, c'est à dire que la tâche de diffraction soit plus petite que les pixels de la matrice CCD.

Dans ce cas l'image est vraiment très sous échantillonnée et je teste bien l'effet de l'échantillonnage sur la résolution des fins détails.

Méthode expérimentale

La méthode utilisée est « classique »¹ pour tester une caméra. Elle consiste à faire l'image avec un très bon objectif d'un créneau noir-blanc, la FT de la caméra est donnée par le module de la transformée de Fourier de la dérivée du créneau.

Avec cette méthode on obtient la FT de toute la chaîne d'acquisition :

- Objectif
- Capteur
- Traitement...

¹ B. Tatian (1965) « Method for Obtaining the Transfert Function from the Edge Response Function », JOSA, Vol. 55, pp. 1014-1019.

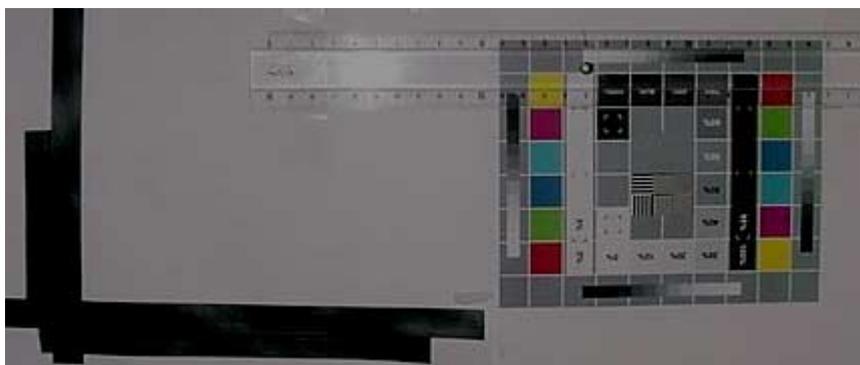
Pour cette mesure, il faut que l'objectif soit très bon, en d'autres termes, la diffraction et les différentes aberrations de l'optique ne doivent pas limiter la résolution de l'image finale. C'est la caméra qui doit limiter la résolution.

Dispositif expérimental

Un objectif de reflex 24 x 36 est monté sur la caméra, c'est un Canon FD de 50 mm de focale ouvert à F/1,8. Je l'utilise à F/2,0 ce qui me donne une tache de diffraction théorique de 2,2 μm (diamètre du premier anneau noir) dans le bleu (460 nm), de 2,6 μm dans le vert (540 nm) et enfin de 3,0 μm dans le rouge (620 nm), ces valeurs sont plus petites que la taille des pixels de la matrice (5,6 μm). Un tel objectif est fait pour couvrir un champ image de 43 mm de diamètre, le capteur de la ToUcam ne fait que 4,5 mm de diagonale, je n'utilise donc que le centre de l'image, où je suppose que toutes les aberrations sont négligeables, sauf l'aberration chromatique dans le proche infrarouge, mais nous en reparlerons.

Avec cet objectif je teste bien la caméra. En plus, les mesures seront faites au laboratoire ce qui élimine le problème de la turbulence atmosphérique.

Une mire comportant deux barres noires sur fond blanc est placée bien à plat sur un mur à environ deux mètres de l'objectif. L'orientation de la caméra est réglée pour que la barre noire soit bien verticale.



Les acquisitions sont réalisées avec PRISM 5.0 à la cadence de 5 images par secondes, une image unique est enregistrée en BMP. Les réglages caméra sont : contraste 100%, gamma 0%, saturation 100%, luminosité environ 40% pour ne pas saturer les blancs, et balance des blancs sur automatique. Et aussi le rehaussement des contrastes verticaux et le « noise » à zéro grâce au soft Setwc.

Les traitements qui vont suivre sont réalisés avec le logiciel IDL 5.2 (logiciel de traitement d'image que j'utilise au bureau) et la visualisation des résultats est faite avec Excel.

Il ne reste plus qu'à comparer les différentes FT pour voir quelle est la meilleure. C'est à dire, quel est le mode de fonctionnement de la caméra (320x240, 640x480 et bientôt RAW) qui résout le mieux les hautes fréquences spatiales.

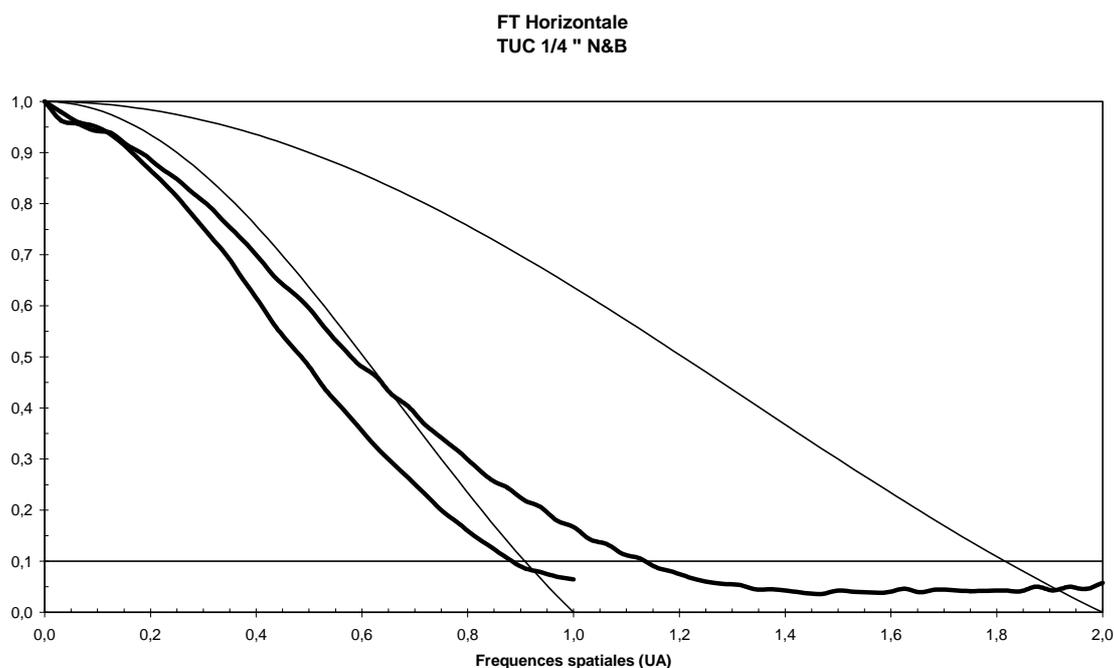
Résultats des mesures

ToUcam avec le capteur N&B (TUC N&B ¼") Normale

Hélas avec le capteur N&B, une aberration de mon objectif n'est pas négligeable, c'est le chromatisme. Le proche infrarouge est mal focalisé par cette optique et l'image finale n'est pas suffisamment fine. Les acquisitions avec la TUC N&B ¼" sont donc réalisées dans le noir avec un éclairage « monochromatique » grâce à trois LED rouges de 6,5 Candelas à 655 nm. A cette longueur d'onde la tache de diffraction est de 3,2 µm.

Sur la figure suivante, les 4 courbes représentent la FT de la caméra en résolution 320 x 240 (à gauche) et en 640 x 480 (à droite) ainsi que les deux courbes (fines) théoriques d'un capteur parfait.

TUC N&B ¼", Fonction de Transfert horizontale :



Dans ce mode de fonctionnement la résolution de la caméra n'atteint pas la valeur théorique, malgré le capteur N&B. La résolution en 640x480 n'est que 1,3 fois meilleure que celle du mode 320x240. Le seul intérêt, et il n'est pas négligeable, c'est le gain (3X) en sensibilité.

ToUcam avec le capteur N&B (TUC N&B ¼") RAW

La caméra sera modifiée pour fonctionner en mode RAW, le calcul des trois plans couleur est supprimé, le rehaussement des contrastes aussi. Le mode de compression est au minimum.

Dans ce cas la résolution de la matrice sera restaurée.

Conclusions

Les mesures de la FT de la caméra mettent en évidence que la « résolution » d'une ToUcam pro d'origine dans le mode 640 x 480 n'est pas 2 fois meilleure, seulement 1,3 fois, celle du mode 320 x 240. C'est logique, c'est l'effet de l'interpolation (moyenne) des couleurs à partir des pixels voisins.

Le mode de compression (I420 ou YUV) n'a pas d'influence sur la FT, et donc sur la résolution de la caméra.

En revanche, en mode RAW, elle sera bien 2 fois meilleure, que celle du mode 320 x 240. C'est logique, avec la suppression du calcul des trois couches RVB on retrouve la taille réelle des pixels de la matrice CCD. L'effet de l'interpolation des couleurs à partir des pixels voisins est supprimé.

Comme le rapport F/D de l'instrument pour la haute résolution doit être au minimum égal à 2 x taille du pixel / par la longueur d'onde (Shannon) et avec les résultats de cette expérience, on peut faire les commentaires suivants :

- La taille du pixel « équivalent » de la TUC normale en 640 x 480 n'est que 1,3 fois plus petit que dans le mode 320 x 240.
- En mode 320 x 240 le F/D minimum pour la haute résolution est : $2 \times (2 \times 5,6 \mu\text{m}) / 0,51 \mu\text{m}$ (longueur d'onde au maximum de sensibilité) soit environ **44**.
- En mode 640 x 480 le rapport F/D minimum pour la haute résolution est divisé par 1,3 soit environ **34**.
- Avec la ToUcam pro modifiée avec le capteur N&B 1/4" en mode RAW, le rapport F/D minimum pour la haute résolution est alors de **22**.
- Tout ceci doit être vrai aussi pour la Vesta pro.

Pour l'imagerie à haute résolution, la TUC N&B 1/4" en mode RAW présentera donc deux avantages qui s'additionnent :

- **un capteur 3 fois plus sensible,**
- **un rapport F/D minimum plus petit.**

Donc toutes choses égales par ailleurs, nous pourrons utiliser des temps de pose (3×2^2) 10 à 12 fois plus courts ce qui permet de mieux combattre notre éternelle « ennemie » : la turbulence atmosphérique.

Philippe Bernascolle
Décembre 2003
objectif.lune@9online.fr

Je remercie Etienne Bonduelle pour la mise en ligne de ce document.