

Correction de la partie 2 sur les capteurs CCD

Enseignants : O.Godet, F.Lerasle

Durée: 1h30

1 QCM sur les capteurs CCD et CMOS

1. Les technologies CCD et CMOS sont apparues dans les années 90.
 - b) **Faux – la technologie CMOS est apparue dans les années 70 et la technologie CCD a été créée en 1969.**
2. Dans quels gammes de longueurs d'onde les capteurs CCD peuvent-ils fonctionner ?
 - c) **du proche infra-rouge au visible**
 - d) **de l'ultra-violet au domaine des rayons X**

Réponse : les capteurs CCD peuvent être utilisés du proche infra-rouge ($\lambda < 1.1 \mu\text{m}$) à 10-12 kilo-électron-volt ($1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$). La limite du proche infra-rouge est due à la condition que seuls les photons avec des énergies supérieures à la largeur de la bande interdite pour le silicium ($E_{\text{gap}} \sim 1,12 \text{ eV}$) peuvent produire des paires électrons-trous.

3. Quel type de particules sont collectées dans les photo-sites d'un capteur CCD non polarisé ?
 - d) **rien**

Réponse : Aucun électron ne sera collecté si le capteur CCD n'est pas polarisé. En effet, la polarisation du capteur CCD (i.e. la polarisation des électrodes à la surface des photo-sites) est essentielle pour : a) créer le puits de potentiel nécessaire au stockage des électrons; b) générer le champ électrique (dans la profondeur du photo-site) qui permet de collecter les électrons et les amener vers le canal enterré où se trouve le puits de potentiel.

4. A quoi sert le binning ?
 - a) **diminution de l'effet de smearing**
 - d) **augmentation du contraste**

Réponse : Le binning est un mode de lecture du CCD. Il permet de regrouper les paquets de charges de plusieurs photo-sites pour former un seul pixel à l'écran. L'utilisation du binning permet de réduire le temps de lecture, la définition de l'image (i.e. les dimensions de l'image en X-Y), la taille de l'image stockée. Il permet également d'augmenter le contraste.

5. Quels sont les fonctions des électrodes implantées sur chaque photo-site ?
 - c) **collecter les charges, les stocker et les transférer**

Réponse : Voir réponse 3. En modifiant la polarisation des électrodes, on modifie la structure du puits de potentiel et cela permet de transférer les charges de proche en proche.

6. Sur un capteur CCD avec un registre vertical, l'absence d'obturateur sur la caméra induit :
 - d) **un effet de trainée horizontale dans la direction opposée au sens de lecture**

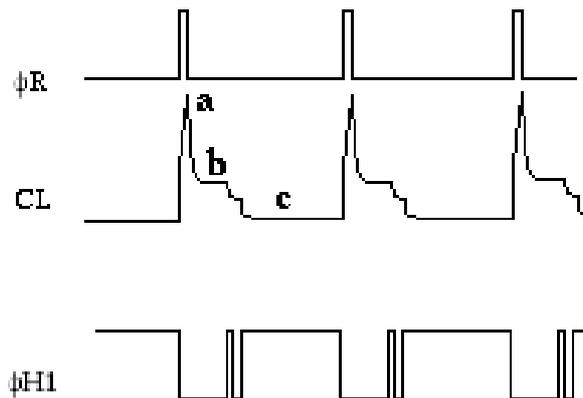
Réponse : Dans le cas d'un CCD pleine trame, la matrice active est couplée à un registre de photo-sites (insensibles à la lumière). Le registre permet de transférer les charges stockées sur la matrice active vers le noeud de sortie (i.e. l'étage de pré-amplification – premier étage de la chaîne analogique qui sert à la conversion des paquets de charges en signal analogique c.à.d. tension). Le transfert des charges consiste à décaler une ligne vers le registre, puis à vider le registre et ainsi de suite jusqu'à ce que la dernière ligne soit transférée. En l'absence d'obturateur, le capteur continue à recevoir de la lumière pendant la phase de lecture (transferts des lignes de la matrice active). Cela génère une traînée dans le sens opposé de la lecture. Ici, le registre étant vertical, donc la traînée sera horizontale.

7. Est-ce qu'un CCD couleur utilisant une méthode séquentielle est recommandé pour faire de la prise d'images rapides ?

b) **Non**

Réponse : Un capteur CCD utilisant une méthode séquentielle est composé d'un CCD couplé avec une roue à filtres (Rouge, Vert et Bleu) motorisée. Pour obtenir une image en couleur, on doit donc prendre une image dans chaque filtre. Donc, si on veut prendre un objet se déplaçant rapidement, ce type de CCDs n'est pas recommandé.

8. En considérant les signaux d'horloges ci-dessous, sélectionner les affirmations exactes :



- b) le signal utile est une différence de tension.
d) Φ_R est une horloge qui sert à ré-initialiser la diode flottante.
h) le palier de référence correspond au niveau zéro.

Réponse : Une fois que le temps de pose est fini (l'image s'est imprimée sur la matrice active), l'étape de lecture ou de transfert des charges commence. Ici, on considère un CCD pleine trame à 2 phases i.e. 2 électrodes par photo-site et un binning 2×2 . Pour décaler les charges vers l'étage de pré-amplification qui sert à mesurer la quantité de charges (électrons) produites dans un groupe de photo-sites, on doit transférer 2 lignes dans le registre horizontal et ensuite vider les charges contenues dans le registre vers l'étage de pré-amplification en transférant les paquets de charges 2 par 2 vers le noeud de sortie.

Pour faire ces décalages horizontaux, on utilise 2 horloges $\Phi H1$ et $\Phi H2$ qui permettent de changer les potentiels des deux électrodes par photo-site. L'étage de pré-amplification est composé d'une diode flottante (appareil de mesures) couplée à un transistor à effet de champ (FET) fonctionnant en régime saturé. Dans ce régime, le transistor a deux états (bloquant et passant) qui sont déterminés par le signal de grille (une horloge avec deux états : haut

et bas). Cette horloge appelée horloge de reset (ΦR) permet de “ré-initialiser” la diode flottante. La diode flottante permet de convertir le paquet de charges qui lui est transféré depuis le registre en tension (signal analogique). Lorsque le transistor est passant (ΦR à l'état haut), la diode se charge jusqu'à ce que la tension à ses bornes atteignent V_{dr} qui est la tension d'alimentation du transistor. On parle alors du palier de drain de reset. Dans ce cas, l'horloge $\Phi H1$ est à l'état bas i.e. il n'y a aucun décalage dans le registre. Lorsque ΦR passe à l'état bas, le transistor redevient bloquant. Cependant, il existe entre la grille et la source du transistor un effet de capacité parasite C_p qui induit un chemin de fuite de telle sorte que la diode flottante se décharge partiellement. Ce qui en retour provoque une diminution de la tension aux bornes de la diode jusqu'à atteindre un nouveau palier, le palier de référence. Ce palier correspond au niveau zéro. Une fois qu'il est atteint, l'horloge $\Phi H1$ passe à l'état haut; ce qui produit un décalage horizontal et le transfert d'un paquet de charges vers la diode flottante. Lorsque les charges arrivent dans la diode, cela provoque une décharge partielle de la diode et donc une diminution de la tension à ses bornes. Cette diminution est proportionnelle à la quantité de charges transférée. Comme on est en binning 2×2 , on transfère un autre paquet de charges vers la diode; ce qui correspond au second front montant sur $\Phi H1$. La tension aux bornes de la diode diminue de manière proportionnelle à la quantité de charges déversée. On atteint un nouveau palier. Ce nouveau palier est le palier vidéo. Le signal utile est maintenant contenu entre le palier de référence (b) et le palier vidéo (c). On maintient le palier vidéo le temps que le codeur numérise le signal analogique. Une fois la numérisation effectuée, on redonne une impulsion sur l'horloge de reset ΦR pour ré-initialiser la diode et recommencer un cycle.

9. Comment peut-on minimiser ou supprimer l'effet de smearing ?

- b) **Augmenter le binning**
- d) **Utiliser un capteur CMOS**
- e) **Modifier le programme commandant la caméra pour la lecture**
- f) **Utiliser un capteur CCD frame transfer**

Réponse : L'augmentation du binning permet de réduire le temps de lecture, donc réduire la quantité de lumière arrivant sur le CCD pendant la phase de lecture. Le binning permet aussi d'augmenter le contraste; ce qui tend à réduire l'effet de smearing.

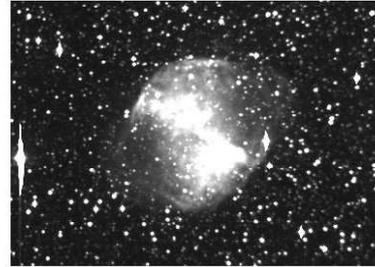
En TP programmation, on a vu que l'on peut modifier le programme permettant d'opérer la caméra CCD de manière à réduire l'effet de smearing. L'idée est de, par exemple, numériser qu'une partie de l'image.

L'utilisation d'un CCD frame transfer permettrait également de minimiser l'effet de smearing. En effet, ce type de CCD est composé d'une zone active où va se former l'image, une zone de stockage insensible à la lumière et un registre également insensible à la lumière. Dans ce type de CCD, lors de la lecture, on transfère l'image directement dans la zone de stockage et ensuite on procède comme pour un CCD pleine trame.

Les capteurs CMOS sont composés d'une matrice de pixels qui sont constitués d'une cellule photo-sensible couplée à un circuit de mesures (étage de pré-amplification). De ce fait, il n'y a pas besoin de transférer les charges de proche en proche.

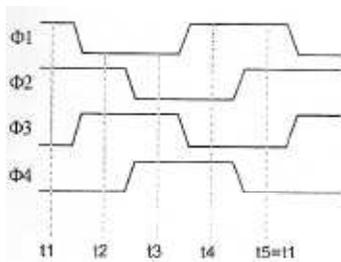
La meilleure solution pour un capteur CCD est l'utilisation d'un obturateur qui se ferme pendant la phase de lecture.

10. Sur les deux images ci-dessous, quel(s) type(s) d'aberration est(ont) présente(s) ?

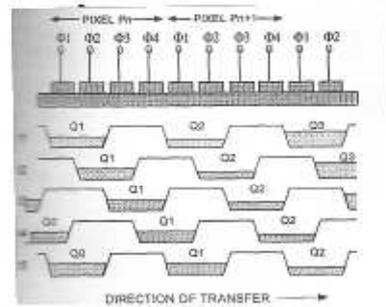


e) **aliasing et blooming**

11. A quoi correspond le schéma ci-dessous ?



etat haut = +V
etat bas = -V



- a) un chronogramme
- d) le CCD est un 4 phases.

Réponse : Il s'agit d'un chronogramme d'un CCD 4 phases (i.e. 4 électrodes par photo-site).
Les charges sont originellement stockées sous les électrodes 1 et 2.