

# Nouvelle génération de capteur d'image CMOS et ses applications dans la sécurité et la surveillance

Yang Ni

New Imaging Technologies SAS  
9, rue Charles Fourier, 91011 Evry France  
yang.ni@new-imaging-technologies.com

**Résumé** - Cette communication présente une nouvelle génération de capteur d'image CMOS, dite MAGIC (Matrice Active à Génération d'Image indexée sur Contraste). Cette technologie MAGIC offre une réponse logarithmique précise et avec très peu de bruit spatial fixe sur une dynamique intrascène supérieure à 120dB. L'excellente qualité d'image intrinsèque (sans correction hors capteur) et la plage dynamique très étendue permettent de nombreuses applications dans le domaine de la sécurité et de la surveillance.

**Abstract** - This communication presents a new generation of CMOS image sensor called MAGIC (Matrice Active à Génération d'Image indexée sur Contraste). This imaging device gives a precise logarithmic response with very low fixed pattern noise over more than 120dB dynamic range. Excellent image quality and ultra wide dynamic range permit many applications in security and surveillance field.

## 1. Introduction

Un capteur d'image a pour vocation de transformer une image optique 2D en un signal électrique à 2 dimensions. Ce signal vidéo permet l'observation et l'analyse à distance d'une scène. Cette capacité à déporter la vision est primordiale pour beaucoup d'applications dans la sécurité et la surveillance. La performance d'un capteur d'image peut être mesurée par 3 facteurs :

- Résolution spatiale – la finesse d'échantillonnage de la scène
- Qualité du signal – la fidélité par rapport à la scène réelle
- Plage dynamique – la tolérance à la variation spatio-temporelle de l'éclairage de la scène.

Pour une immense majorité de capteurs d'image à l'état solide, le signal vidéo est formé par l'accumulation des photo-électrons pendant la période d'exposition comme le montre la figure 1. Le principe est utilisé à la fois dans un capteur CCD et dans un capteur CMOS. Le cycle de capture d'image est composé de 1) remise à zéro des pixels, 2) accumulation des photo-électrons et 3) lecture de la charge électrique accumulée.

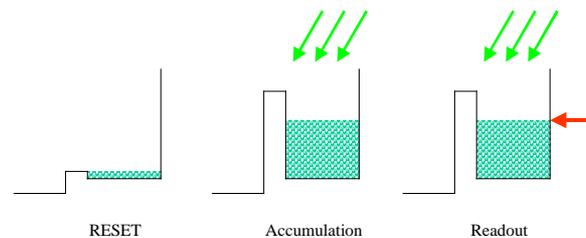


FIG 1. Le cycle de fonctionnement d'un pixel.

La technologie CCD diffère de la technologie CMOS par le mode de lecture des pixels dans une matrice : CCD utilise une lecture séquentielle des pixels à l'aide de registres à décalage de charge et CMOS utilise plutôt une lecture aléatoire à l'aide de transistors de commutation. La figure 2 montre ces deux modes de lecture au sein d'un capteur CCD et d'un CMOS.

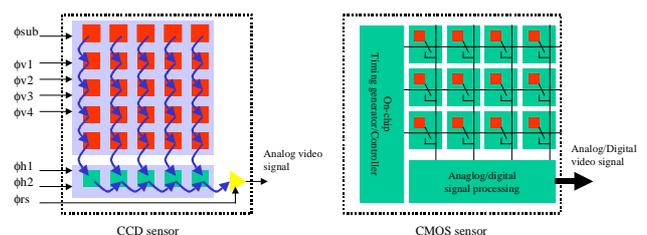


FIG 2. Différents modes de lecture dans un capteur CCD et dans un capteur CMOS.

L'un des avantages potentiels du capteur CMOS par rapport au CCD est la possibilité d'intégrer des fonctions de traitement d'image sur un même support monolithique[1]. Un exemple typique est la souris optique. Bien entendu cette possibilité est conditionnée par la qualité d'image que la matrice CMOS peut fournir.

Durant cette dernière décennie, la technologie CMOS a fait des progrès considérables, surtout en résolution spatiale. Il est courant de voir des capteurs de plusieurs millions de pixels dans des appareils au prix modéré. La qualité d'image a aussi connu une amélioration importante grâce à des conceptions mieux maîtrisées et à des techniques de traitement et de réduction du bruit.

Mais la dynamique de fonctionnement reste inchangée voire dégradée à cause de la réduction de la taille du pixel. Même l'appareil photo le plus sophistiqué n'affiche pas beaucoup plus de 8-bit de dynamique[2]. Cette faible dynamique de fonctionnement limite sérieusement la performance de capture d'image dans deux situations :

- Forte différence des éclairages dans une scène causant des saturations locales dans l'image.
- Changement rapide et violent des éclairages causant des saturations locales et globales.

Ces deux situations sont omniprésentes dans les applications de surveillance vidéo dans un environnement ouvert. La technologie MAGIC a été développée en réponse à ces problèmes.

## 2. Plage dynamique, contraste et principe MAGIC

Il faut d'abord rappeler que la définition technique de la plage dynamique est le rapport entre l'amplitude maximale du signal vidéo et le plancher de bruit à la sortie d'un capteur. La valeur typique se trouve entre 50 et 65dB pour des capteurs CCD/CMOS. Mais en réalité la tolérance à l'écart d'éclairage est bien inférieure à cette plage dynamique. Pour produire une image en niveau de gris convenable, 100 nuances sont nécessaires. Supposons que l'écart d'une nuance soit fixé à la valeur du plancher de

bruit, l'image à 100 nuances de gris consomme 40dB de la plage dynamique disponible et ne laisse que 10dB de marge pour tolérer d'éventuelles variations d'éclairage. Ceci est évidemment insuffisant (voir la figure 3) !

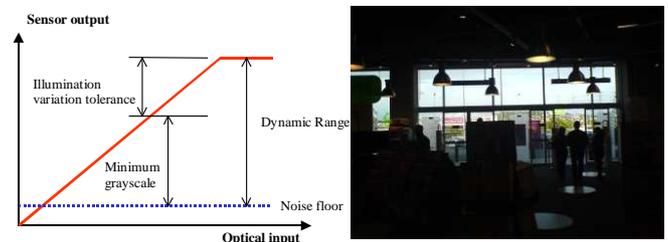


FIG 3. La tolérance à l'écart des éclairages de scène est bien inférieure à la plage dynamique d'un capteur.

Dans la bande visible qui nous intéresse, l'image optique d'une scène est formée par la réflexion de la lumière ambiante par des objets de cette scène, dont les coefficients de réflexion varient typiquement dans une plage de 1% à 100%. Comme le montre la Fig. 4, la réflectance du carré le plus blanc n'est que 28 fois supérieure à celle du carré noir. Mais l'écart spatial des éclairages peut facilement atteindre 84dB dans un bureau normalement éclairé (Fig. 4).

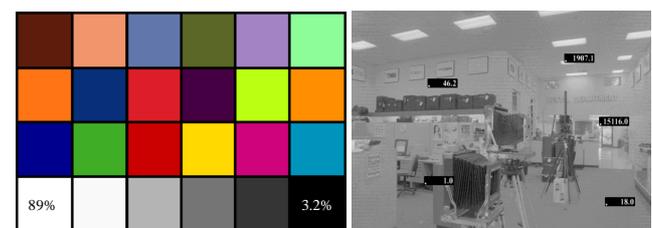


FIG 4. Le carré le plus blanc ne réfléchit que 28 fois plus que le carré noir sur cette mire. Ceci représente l'écart maximum entre des objets courants. Mais l'écart des niveaux d'éclairage peut être considérable même dans un bureau normalement éclairé (indications en luminance relative).

Pour la surveillance vidéo en plein air, cet écart peut facilement dépasser les 120dB. La figure 5 montre une image prise par une caméra de surveillance routière. Le soleil couchant crée un large dégradé du niveau

d'illumination sur l'autoroute, difficilement accommodé par un capteur d'image traditionnel.



FIG 5. Une image typique d'une caméra de surveillance routière. Le coucher de soleil crée un large écart de lumière.

Mais la lumière ambiante n'est qu'un véhicule d'information de la scène. Une approche intelligente serait de trouver une technique de capture permettant de séparer la composante d'illumination de la composante de réflectance d'une scène. La fonction logarithmique est la seule capable de faire cette séparation :

$$\log \vec{S} = \log \vec{L} + \log \vec{R} \quad (1)$$

où  $\vec{L}$  et  $\vec{R}$  représentent la distribution spatiale de l'illumination et de la réflectance de la scène.

Dans la plupart des cas, la distribution spatiale de l'illumination de la scène varie assez lentement sur l'image et se manifeste comme un offset global. En appliquant les pré-traitements d'image adéquats, nous pouvons normaliser cet offset à un niveau préalablement choisi :

$$I_{magic} = \log S_{normalized} = \log L_o + \log \vec{R} \quad (2)$$

Cette opération équivaut à normaliser le niveau d'illumination de la scène à un niveau  $L_o$ . De cette façon, la scène sera vue avec une illumination constante, comme le ferait un œil humain. La technologie MAGIC est basée sur ce principe. C'est pourquoi un capteur MAGIC peut

donner une image très naturelle, même dans des situations difficiles, comme sur la figure 6.



FIG 6. Une image prise avec un capteur MAGIC de 384x288-pixel dans des conditions de lumière très difficiles.

### 3. Traitement du signal vidéo dans MAGIC

Jusqu'à aujourd'hui, la plupart des capteurs d'image ont été utilisés comme un moyen d'observation à distance. Le signal vidéo à la sortie d'un capteur doit alors donner un aspect visuel plaisant et facile pour l'interprétation par un opérateur humain. Il est bien connu que la reproduction fidèle d'une scène pour un observateur humain doit respecter la relation suivante :

$$\frac{dI_{display}}{I_{display}} = \gamma \frac{dI_{scene}}{I_{scene}}, \quad (5)$$

où  $\gamma$  est un facteur de modulation en contraste.

Il est clair qu'une réponse logarithmique ne respecte pas cette loi. Quand une image logarithmique est affichée sur un moniteur vidéo, elle apparaît pâle et sans contraste. Mais heureusement si la réponse logarithmique est transposée dans un certain intervalle, elle ressemble beaucoup à une fonction racine carrée qui respecte la formule (5). La figure 7 donne la courbe de la réponse logarithmique au carré dans l'intervalle de 1 à 10.

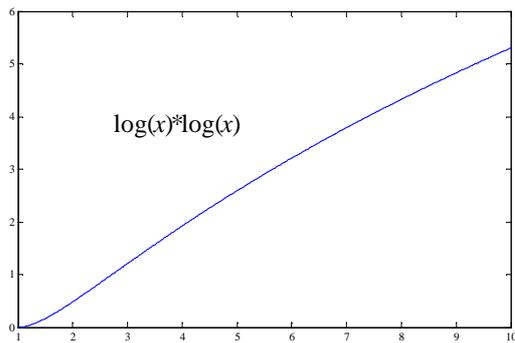


FIG 7. Dans un certain intervalle, une réponse logarithmique est très proche d'une réponse en racine carrée.

La technologie MAGIC utilise des circuits de traitements propriétaires qui maintient constamment la sortie des pixels logarithmiques dans un intervalle adéquat. Dans ce cas, nous retrouvons un signal vidéo équivalent gamma=0.5 parfait pour un affichage sur moniteur TV classique. La figure 8 donne un exemple de scènes captées par un capteur MAGIC. Ces images sont parfaitement plaisantes à l'observation humaine. De ce point de vue, un capteur MAGIC a une certaine ressemblance avec un tube super-orthicon dont la réponse est logarithmique mais dans une plage dynamique assez limitée[11]. Il produit des images particulièrement plaisantes à l'œil comme le témoignent des clips des Beatles.



FIG 8. Des images à la sortie d'un capteur MAGIC 384x288-pixel fabriqué en AMS 0.35um. Il faut noter que ces images sont codées sur 7 bits seulement malgré de forts contrastes créés par les reflets.

Le signal de sortie d'un capteur MAGIC est proportionnel au contraste. Le signal de luminance absolu peut être obtenu par la relation suivante :

$$I_{luma} = L_o C_o^{I_{magic}} \quad (6)$$

où  $L_o$  représente le niveau d'illumination choisi et  $C_o$  la sensibilité en contraste d'un capteur MAGIC.

Cela signifie que par un traitement post capture une image MAGIC peut être retraduite en image de luminance classique. Cette transformation donne la possibilité de simuler tous les effets d'exposition dans un capteur classique. La figure 9 en donne un exemple. Ceci est très utile en vidéo surveillance où les images sont souvent enregistrées et dont l'analyse se fait après événement.

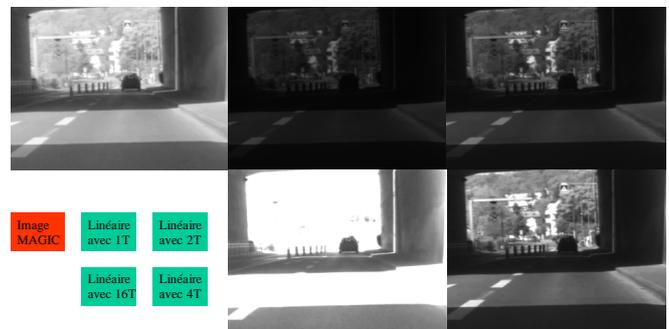


FIG 9. Une image de luminance absolue peut être obtenue à partir d'une image MAGIC. Une scène peut être re-photographiée par une caméra virtuelle donnant tous les effets d'exposition voulus. L'image MAGIC ici est extraite d'un enregistrement par Archos.

## 4. Applications de MAGIC dans la sécurité et surveillance

### 4.1 Amélioration des vision sensors

Un vision sensor est une caméra intelligente permettant d'apporter une analyse de la scène et d'en produire un indicateur souvent logique. La technologie MAGIC permet de considérablement simplifier la chaîne de traitement d'image et d'avoir un fonctionnement plus stable dans des conditions difficiles. Avec des possibilités de traitements sur puce analogiques, nous pouvons développer des visions sensors pour différents types de

surveillance tels que la détection d'intrusion, le comptage de personnes, l'analyse de mouvements, etc.

## 4.2 Reconnaissance, contrôle d'accès biométrique et surveillance périmétrique

L'un des problèmes majeurs de la reconnaissance de visage dans un environnement extérieur est la prise de vue du visage dans des conditions d'éclairage difficiles et variables. Une caméra MAGIC permet d'acquérir des images de visage avec une stabilité exceptionnelle. Cette propriété est très intéressante pour la surveillance périmétrique où l'opération de base est la détection de changement de scène. L'image MAGIC étant indexée sur le contraste, elle permet une meilleure détection de changement avec moins de traitements.

## 4.3 Caméra intensifiée

La caméra intensifiée est un moyen de surveillance passive efficace à très bas niveau de lumière. La possibilité d'identifier une personne et la très faible consommation électrique de l'intensificateur d'image font qu'elle reste un outil de surveillance mobile/portable unique aujourd'hui. La plage dynamique d'une caméra intensifiée est fortement limitée par le capteur vidéo utilisé. Un capteur MAGIC apporterait une grande amélioration de la performance de prise de vue. La figure 10 montre une image prise par une caméra MAGIC intensifiée prototype.



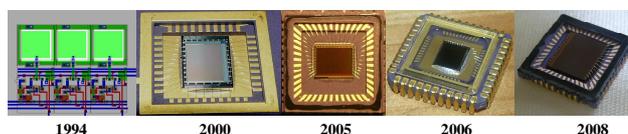
FIG 10. exemple d'images d'une caméra MAGIC intensifiée. La très grande dynamique de MAGIC permet d'observer simultanément les zones très contrastées (l'intérieure des fenêtres éclairées, le fond de jardin avec la présence de forte lumière d'éclairage).

## 4.4 Amélioration de l'exploitabilité de l'enregistrement vidéo

Comme nous l'avons déjà évoqué, une image MAGIC permet de coder une plus grande quantité d'informations de luminance utiles, avec les mêmes ressources. Ceci est particulièrement intéressant dans le cadre d'une infrastructure CCTV/DVR existante. Des caméras MAGIC peuvent être connectées sur ces réseaux existants et par un traitement d'image simple, le même enregistrement vidéo peut donner beaucoup plus de détails lors d'une analyse post événement.

## 5. Conclusion

Cette communication donne une courte présentation de la technologie MAGIC, inventée et développée au sein du laboratoire VLSI pour vision de l'Institut Télécom Sud-Paris dirigé par le professeur Yang Ni. Cette technologie, dont le concept été proposé en 1994, a nécessité 14 ans de travail afin de l'amener à un stade industrialisable. La création de la société New Imaging Technologies SAS a pour but de valoriser l'ensemble des travaux de recherche de notre laboratoire, avec une attention particulière pour les produits basés sur la technologie MAGIC. Un capteur MAGIC de 768x576 pixels doté d'un encodeur CCIR/EIA est désormais disponible. Une caméra OEM avec monture C standard sera disponible janvier 2009. Un projet fédérateur Xvision au sein du pôle de compétitivité [System@tic](#) est en cours de réalisation. Un contrat REI/DGA sur une caméra intensifiée, en collaboration avec Photonis, devrait conduire à une caméra intensifiée de très haute performance. Nous sommes ouverts à une collaboration avec des laboratoires, des sociétés dans le domaine de la sécurité et de la surveillance, autour de la technologie MAGIC.



## Références

- [1] Y. Ni, "Smart Image Sensing in CMOS technology", Circuits, Devices and Systems, IEE Proceedings. Vol. 152, Issue 5, 7 Oct. 2005, pp. 547-555.
- [2] [www.dpreview.com](http://www.dpreview.com)
- [3] S.G. Chamberlain, J. Lee, 'A Novel Wide Dynamic Range Silicon Photoreceptor and Linear Imaging Array', IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. SC-19, No. 1, pp. 41-48, Feb. 1984.
- [4] U. Seger, & al., 'Vision Assistance in Scenes with Extreme Contrast', IEEE MICRO, pp. 50-56, 1993.
- [5] T. Delbrück, and C.A. Mead, 'Analog VLSI Phototransduction by continuous - time, adaptive, logarithmic photoreceptor circuits', California Institute of Technology, Computation and Neural Systems program, CNS Memorandum 30, CA 91125, 1994.
- [6] C. Hong, and R.I Hornsey (2001) , 'Inverted Logarithmic Active Pixel with current readout' 2001 IEEE Workshop on CCDs and Advanced Image Sensors, Crystal Bay, Nevada, 2001.
- [7] M. Loose, K. Meier, and J. Schemmel, 'A Self - Calibrating Single - Chip CMOS Camera with Logarithmic Response', IEEE Journal Solid - State Circuits, Vol.36, No.4, pp. 586 - 596, 2001.
- [8] S. Kavadias, B. Dierickx, D. Scheffer, A. Alaerts, D. Uwaerts, and J. Bogaerts, 'A logarithmic Response CMOS Image Sensor with On-Chip Calibration', IEEE Journal of Solid - State Circuits, Vol.35, No.8, 2000.
- [9] Y. Ni, F. Lavainne, F. Devos, "CMOS compatible photoreceptor for high-contrast car vision", Intelligent Vehicle Highway Systems, SPIE's International Symposium on Photonics for Industrial Applications, Oct.- Nov. 1994, Boston, pp. 246-252.
- [10] Y. Ni, K. Matou, "A CMOS Log Image Sensor with on-chip FPN Compensation", ESSCIRC'01, 18-20 Sept. 2001 Villach, Austria, pp. 128-132.
- [11] Datasheet of RCA IMAGE ORTHICON 8520