

Modélisation de la diffraction dans les pixels de capteurs d'images CMOS

Résumé:

Le marché des capteurs d'images CMOS a connu une croissance considérable ces dernières années, due à la demande de plus en plus importante d'appareils photos, de caméras de surveillance, de webcams, et principalement de téléphones portables. Cette évolution entraîne les principaux acteurs de ce secteur dans une course à la miniaturisation : la taille des pixels diminue car la résolution (le nombre de pixels) augmente à taille de matrice constante. Cependant, il y a un coût à cette augmentation de résolution : lorsque la taille de la photodiode diminue, le nombre de photons collectés et la sensibilité du capteur diminuent. De plus, la réduction de la taille des pixels fait apparaître des effets de diffraction, et le signal collecté par les pixels adjacents (ou diaphotie) augmente.

Dans le but d'optimiser les performances des capteurs et d'anticiper d'éventuelles limitations optiques, des simulations optiques sont essentielles. Pour des pixels de pas inférieur à $2\mu\text{m}$, une modélisation par tracé de rayons n'est plus adaptée. Une description plus fondamentale, basée sur la résolution des équations de Maxwell-Boltzmann, est alors nécessaire. Un outil électromagnétique, fondé sur la méthode par différences finies dans le domaine temporel (ou FDTD), a été choisi afin de décrire la propagation de la lumière et la collection des photons à l'intérieur du pixel, en tenant compte des effets de diffraction. En ce sens, une méthode a été développée afin de reproduire l'éclairement réel créé par la lentille du capteur. Ensuite, plusieurs solutions ont été étudiées pour améliorer les performances du capteur. Enfin, un couplage électro-optique a été effectué afin de modéliser la chaîne complète de simulation d'un capteur d'images CMOS.

Mots clés: Capteurs d'images CMOS, simulation optique, FDTD, diffraction

Modelization of the diffraction in CMOS image sensor pixels

Abstract:

CMOS Image sensors market has experienced an important growth over recent years due to the increasing demands of digital still cameras, security cameras, webcams, and mainly mobile imaging. This evolution leads to a race to miniaturization by the main market's protagonists: the size of pixel shrinks because the resolution increases while sensors stay small. Nevertheless, this increase of resolution has a drawback: as photodiode area shrinks, less photons are collected and the sensibility of the detector is reduced. Besides, as pixel size decreases, diffraction effects caused by metallic interconnection are emphasized, and the amount of signal collected by adjacent photodiodes (known as cross-talk) increases.

In order to optimize sensors performances and anticipate potential optical limitations, rigorous optical simulations are essential. For pixels smaller than $2\mu\text{m}$, ray-tracing models become inaccurate and a more fundamental description based on Maxwell-Boltzmann modeling is an alternative to simulate optical propagation in CMOS image sensors. An electromagnetic simulation tool, based on Finite Difference Time Domain (FDTD) method, has been selected to describe light propagation and photon collection inside the pixels while correctly simulating diffraction effects. In that way, a method has been developed to simulate a diffuse-like source that reproduces real illumination conditions. Then, several applications have been studied in order to improve performances of CMOS Image sensors. Finally, a coupling model, between optical and electrical modelization, has been done to simulate the whole working flow of the CMOS sensor.

Key words: CMOS image sensor, optical simulation, FDTD, diffraction