

Travail Personnel Encadré

Objet d'étude :

Les Capteurs CCD

Quels sont leurs fonctionnements et leurs utilisations ?



Sommaire :

I. Les Bases Physiques de la Lumière

a. Notions essentielles

- i. Les longueurs d'onde : le spectre visible
- ii. La vitesse
- iii. Explication simplifiée de la lumière
- iv. Conséquences et interactions avec notre univers

b. Notre environnement est donc fait de lumière

- i. Sources primaires (émission directe)
- ii. Sources secondaires (émission indirecte)

II. Analyse Fonctionnelle du capteur CCD

a. Place dans la chaîne d'informations

b. Analyse Fonctionnelle

- i. Diagramme pieuvre
- ii. Diagramme SADT
- iii. Diagramme FAST

III. Les différents capteurs CCD

a. Définition du capteur CCD

b. Types de capteurs CCD

- i. Capteur CCD « full-frame »
- ii. Capteur CCD à transfert de trames
- iii. Capteur CCD « interligne »

c. Le bruit du capteur : source de défauts

d. L'acquisition des images et leur traitement

- i. Acquisition
- ii. Traitement

e. Quelques données géométriques et électroniques

- i. Caractéristiques géométriques
- ii. Caractéristiques électroniques

IV. Les Photosites

a. Description

b. Fonctionnement

- i. Filtre de Bayer
- ii. Conversion
- iii. Pixels détériorés

c. Evolution du capteur et conséquences sur l'image

V. Avantages et inconvénients du capteur CCD Webcam

a. Petite étude du marché

b. Avantages

- i. Fluidité du mouvement
- ii. Résolution de l'image
- iii. Qualité de restitution de l'image

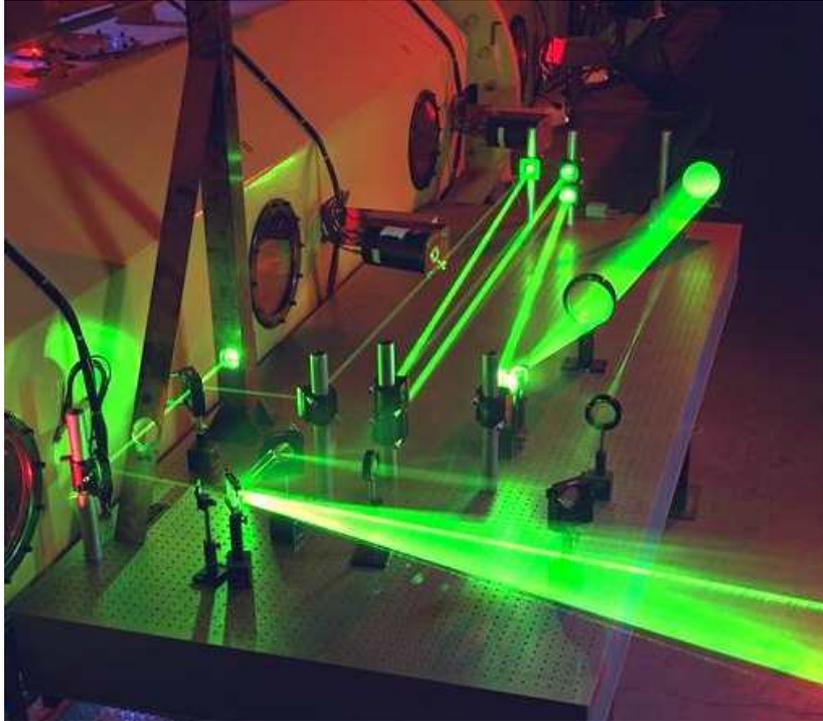
c. Inconvénients

- i. Adaptabilité à la lumière
- ii. Déteinte des couleurs

VI. Synthèse

Les Bases Physiques de la Lumière

Notre sujet d'étude : le capteur CCD, fonctionne en interaction avec la lumière (matière d'œuvre), nous allons donc commencer par un court rappel ou explication simple sur ce qu'est la lumière afin de mieux comprendre son utilisation.



La lumière est caractérisée en physique comme de l'énergie, elle est définie par 2 principales caractéristiques :

- Les photons
- Une onde électromagnétique ondulatoire

I. Notions essentielles

a) Les longueurs d'onde : le spectre visible

Toutes les radiations colorées que peut prendre la lumière sont caractérisées par une grandeur unique appelée longueur d'onde λ se mesurant en mètre (et ses sous-multiples). Grâce à ça on peut délimiter scientifiquement les couleurs qui nous entourent.

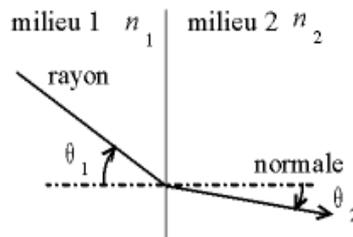
Le spectre visible est l'intervalle de longueurs d'onde visibles par l'œil humain, il s'étend d'environ 400 nm à 800 nm plus simplement du violet au rouge. Les longueurs d'onde inférieures à 400 nm sont appelées les *ultraviolets*, et celles supérieures à 800 nm les *infrarouges*. L'être humain ne voit donc en conclusion qu'une infime partie des radiations que son œil reçoit, cela peut même être très dangereux comme dans certaines usines où les lasers de soudage sont généralement exclus de ce spectre engendrant un risque invisible s'ils ne sont pas sécurisés



b) La vitesse

La vitesse de la lumière est extrêmement rapide, on connaît depuis ce siècle sa valeur exacte qui est de $299.792.458 \text{ m.s}^{-1}$. Sa vitesse est une des bases de la physique quantique, chacun connaît la célèbre formule d'Albert Einstein $E = m \cdot c^2$ où c est la vitesse de la lumière. On utilise aussi une unité de distance en astrophysique l'*année lumière* ($\approx 9,46.10^{15} \text{ m}$) permettant d'avoir une meilleure vision entre la distance et le temps. Une étoile située à 2 millions d'année lumière signifie déjà une distance énorme mais aussi que sa lumière émise met 2 millions d'années à nous parvenir !

Cette vitesse n'est valable que dans le vide absolu de l'espace, elle varie en fonction du *milieu de propagation*. Ainsi elle se déplace plus rapidement dans l'air que dans l'eau, ce phénomène a été appelé *phénomène de réfraction* énoncé par René Descartes. Le changement direct de vitesse de la lumière passant d'un milieu à un autre entraîne généralement une déviation de l'angle du *faisceau incident*. On peut faire l'expérience en remplissant un verre d'eau et en y plongeant la moitié de son doigt, on s'apercevra qu'il y a une différence visible. Il y a une loi simple qui définit ce phénomène : $n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$ où n_1 et n_2 sont les *indices de réfraction* du milieu respectif, $\sin i_1$ est le sinus de l'angle incident et $\sin i_2$ est le sinus de l'*angle réfracté*. Ce phénomène est utilisé pour la décomposition de la lumière blanche dans un prisme.

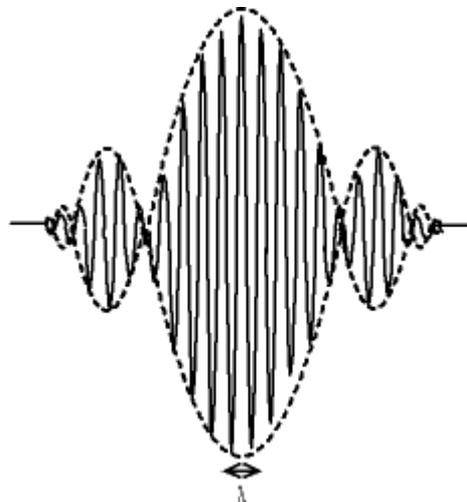


c) Explication simplifiée de la lumière

La lumière a quelques similitudes avec l'électricité. Tout comme elle, c'est un déplacement rapide de particules, ces particules nous les appelons *photons*.

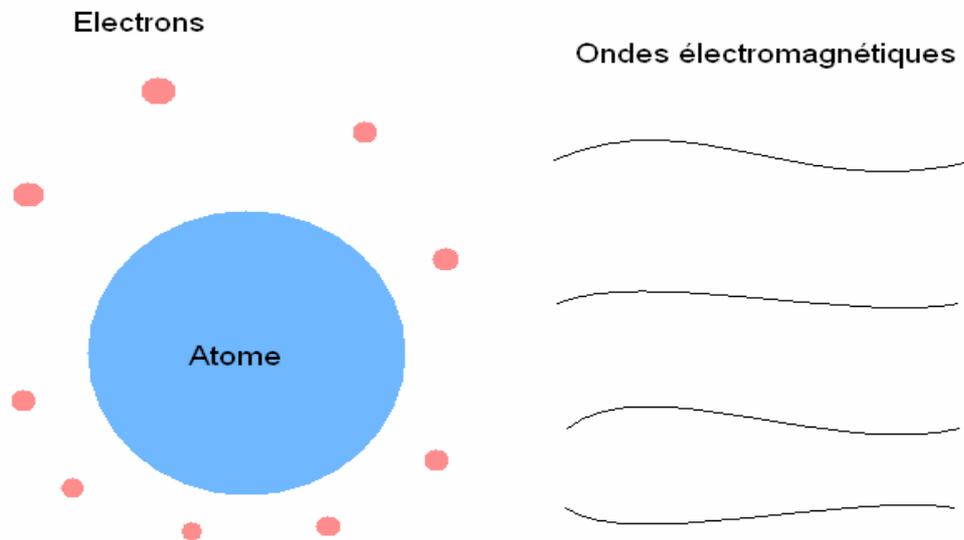
Le photon est un concept physique créé par Albert Einstein, on peut faire l'analogie avec une microscopique sphère remplie d'*énergie électromagnétique* qui dépend de sa longueur d'onde. Si la longueur d'onde est petite, le flux sera composé de peu de photons avec beaucoup d'énergie ; si la longueur d'onde est grande, il sera composé de beaucoup de photons avec peu d'énergie. Dans le cas d'une lumière à rayonnement polychromatique, le flux sera composé de photons avec une quantité d'énergie respective pour chaque longueur d'onde.

Le modèle physique courant du photon est celui d'un ensemble bien défini d'une série d'onde. L'onde électromagnétique qu'il contient est caractérisée par une amplitude sinusoïdale qui augmente dans une certaine zone et décroît lorsqu'on s'en éloigne, régit par sa longueur d'onde.



d) Conséquences et interactions avec notre univers

Les atomes qui construisent notre monde sont donc constamment confrontés à la lumière. Quand celle-ci est reçue par les atomes les photons le bombardent d'ondes électromagnétiques, ces perturbations vont avoir des conséquences sur les électrons qui vont peu à peu osciller sous l'effet du champ magnétique. Ces mouvements vont finalement provoquer un rayonnement multidirectionnel des électrons, et c'est ainsi que la lumière visible apparaît aux yeux de l'homme.



II. Notre environnement est donc fait de lumière

Les objets et êtres sont *visibles pour l'œil humain* que parce qu'ils *émettent (directement ou indirectement)* de la lumière.

a) Sources primaires (émission directe)

Pour qu'un corps produise de lui-même de la lumière il faut qu'il soit amené à une très forte température, on peut ainsi obtenir son spectre d'émission par des procédés optiques. Ceci s'applique quelque soit l'état physique du matériau : gaz, solide, liquide. C'est un spectre de rayonnement polychromatique.

Dans le cas particulier d'un gaz à haute pression, celui-ci aura tendance à émettre un rayonnement offrant de plus en plus de longueurs d'onde en fonction de sa température moyenne. Des étoiles comme le Soleil sont des gigantesques bulles de gaz qui diffusent un panel quasi infini de longueurs d'ondes. Ce phénomène est utilisé en physique pour savoir la température et la composition de ces astres gazeux.

Pour un gaz à basse pression, cette fois-ci son spectre sera composé en une raie de longueur d'onde qui lui est bien spécifique. C'est grâce à cette méthode que l'on peut reconnaître en fonction d'une longueur d'onde la matière gazeuse correspondant à ce spectre.

Il faut cependant préciser que des sources primaires comme le laser possèdent la caractéristique de n'émettre qu'une seule longueur d'onde (lumière rouge moyenne = 632.8 nm) elles ont donc un spectre de rayonnement monochromatique.

Quelques exemples simples : Lampe à incandescence, étoile, luciole, néon, ...

b) Sources secondaires (émission indirecte)

Malgré tout, la plupart de notre environnement réfléchit la lumière plutôt que de l'émettre. Un corps quelconque éclairé par une lumière blanche (regroupant toutes les longueurs d'ondes du spectre visible) va absorber une à plusieurs longueurs d'onde. La couleur qu'il nous renverra correspond à tout ce qu'il n'a pas absorbé, c'est ainsi que l'homme délimite les éléments de par leurs couleurs naturelles. Un objet noir pour l'œil humain est donc un objet qui absorbe toutes les longueurs d'onde contenues dans le spectre du domaine visible. Les sources secondaires n'existent plus s'il n'y a pas de sources primaires les éclairants.

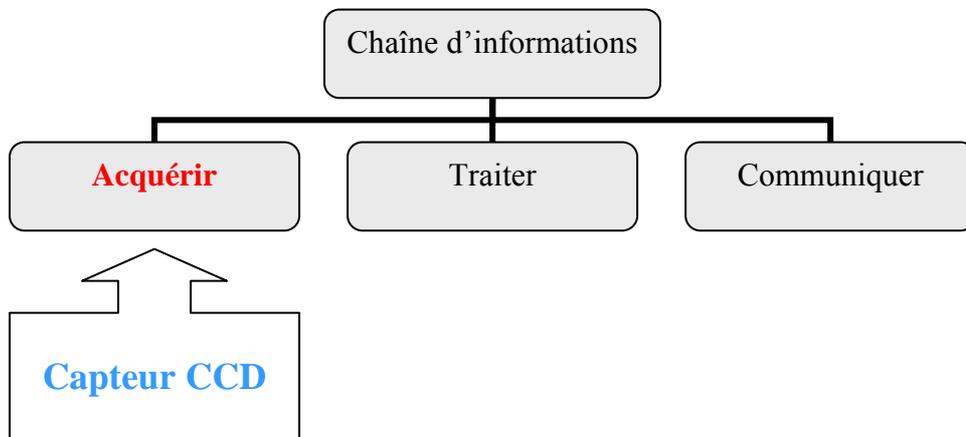
Quelques exemples simples : Miroir, peinture, encre, ...

Conclusion : Le capteur CCD devra dans une utilisation artistique comme une webcam ou un appareil photo numérique, simplement être sensible aux longueurs d'ondes incluses dans le spectre visible. Pour une utilisation plus scientifique il peut servir de capteurs photosensibles à certaines longueurs ondes du domaine invisible.

Analyse Fonctionnelle du capteur CCD

Pour commencer nous allons faire l'analyse du rôle qu'occupe le capteur CCD au sein du système de la webcam. Ceci afin de mieux cibler le plan et l'objet de notre TPE.

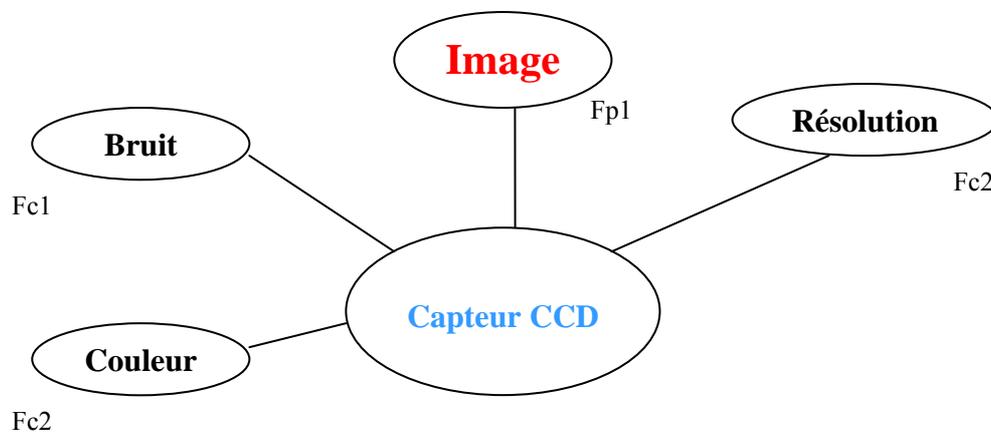
I. Place dans la chaîne d'informations



Le capteur CCD est en tout *début* de la chaîne, son rôle est d'*acquérir une information spécifique*.

II. Analyse Fonctionnelle

a) Diagramme pieuvre



Fonction Principale Fp1 : Acquérir un signal électrique à partir d'une scène

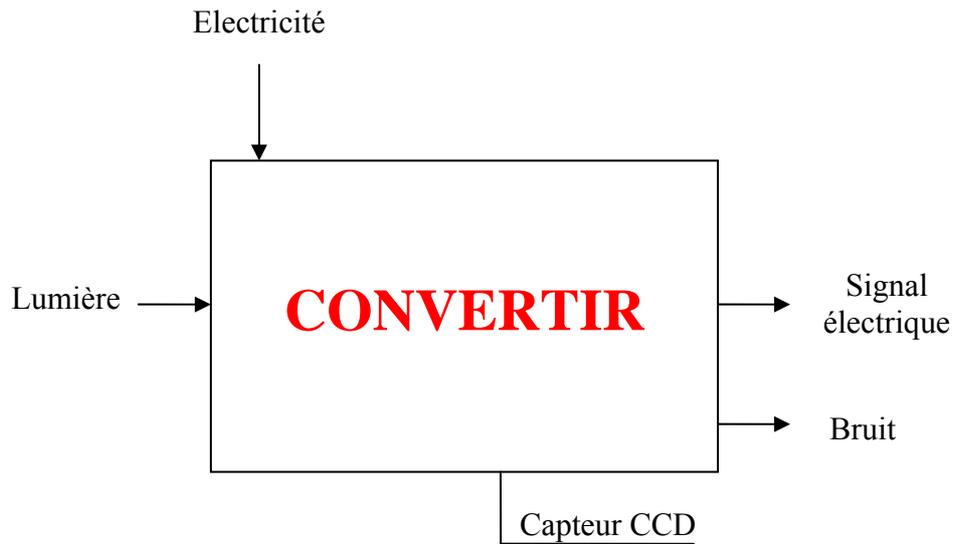
Fonctions contraintes :

Fc1 : Limiter au mieux le bruit (parasite)

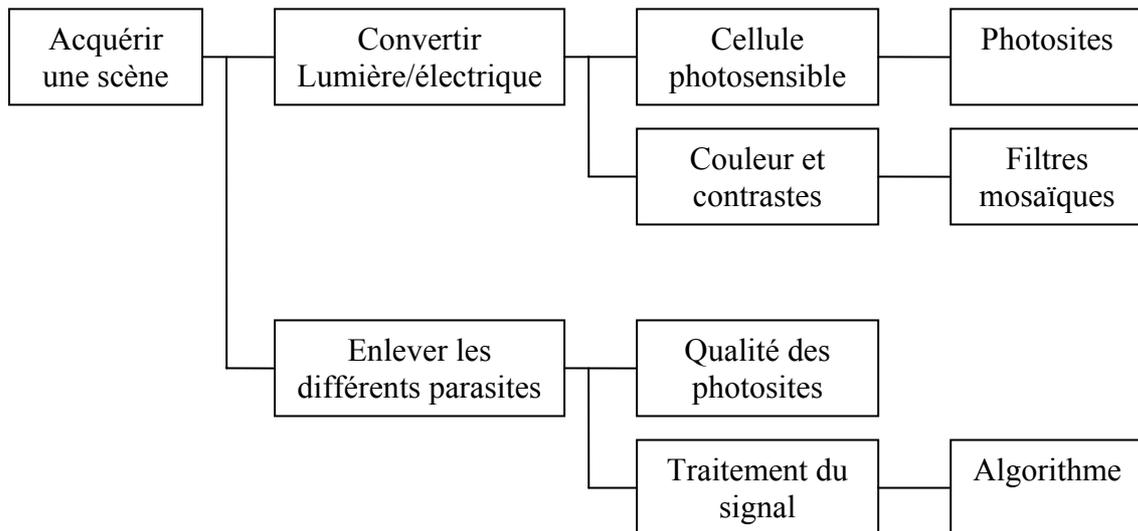
Fc2 : Capter les couleurs et contrastes

FC3 : Délivrer une image de bonne résolution (qualité)

b) Diagramme SADT



c) Diagramme FAST



Les différents capteurs CCD

I. Définition du capteur CCD

« Comparés aux capteurs dits normaux, les capteurs CCD (Charge Couple Devices : Dispositif à Transferts de Charge) permettent de capter 5 à 8 photons sur une base de 10, contre 1 à 2 pour les « normaux ». Le meilleur exemple de l'utilisation de ces capteurs est en astronomie : le télescope de l'OHP (Observatoire de Haute-Provence) de 1.93 mètre de diamètre permet d'obtenir l'image d'un astre 100 millions de fois plus faible que la limite de la détection à l'oeil nu. Un capteur CCD est donc un récepteur dit mosaïques (cela vient de son architecture) à base de photosites de plus en plus denses construites initialement pour les caméras de télévision. Il dispose d'une sensibilité et d'une linéarité très grandes. Ils permettent des compositions colorées qui augmentent les contrastes. »

Source: Quid 2001

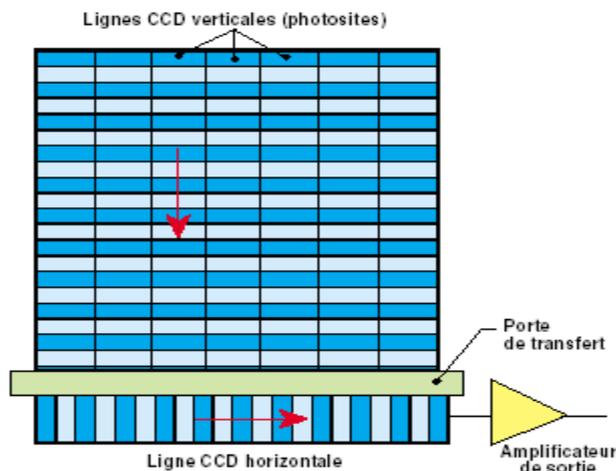
Les CCD (Charge coupled devices) sont avant tout des composants intégrés qui permettent le transfert individuel de paquets de charges électriques sur une certaine distance physique, tout en conservant l'intégrité de chaque paquet. Dans les capteurs d'images, ils n'interviennent pas toujours directement dans le processus de captation. Mais, dans le processus de construction du signal vidéo, ils collectent les charges photoélectriques et organisent leur succession dans un ordre simulant un balayage de la surface photosensible. Ce phénomène n'étant pas parfait.

II. Types de capteurs CCD

Il existe trois familles de dispositifs à transfert de charges :

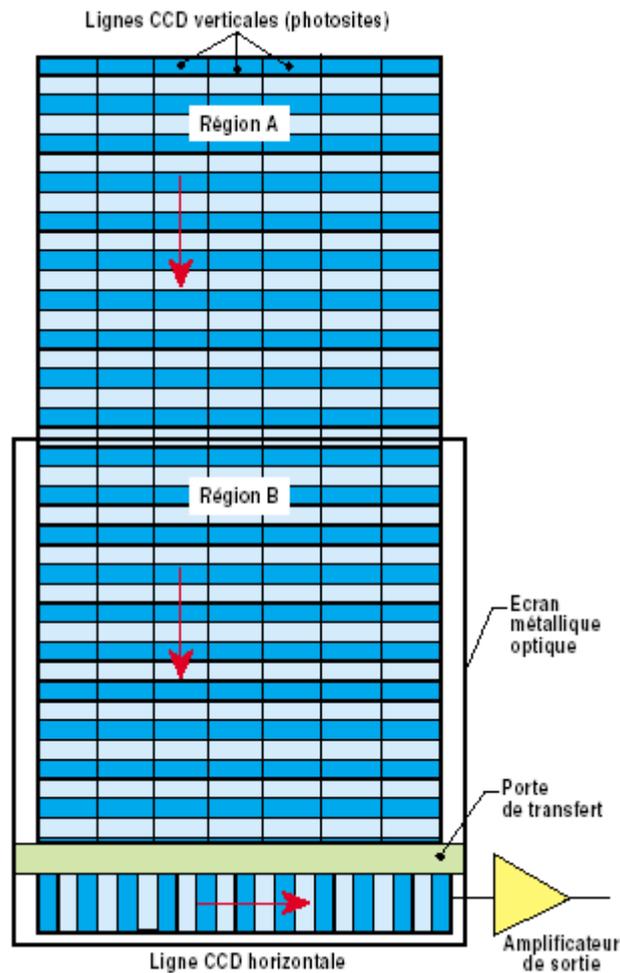
- Rétine CCD « full-frame ».
- Capteur CCD à transfert de trames.
- Rétine CCD « interligne ».

a) Capteur CCD « full-frame »



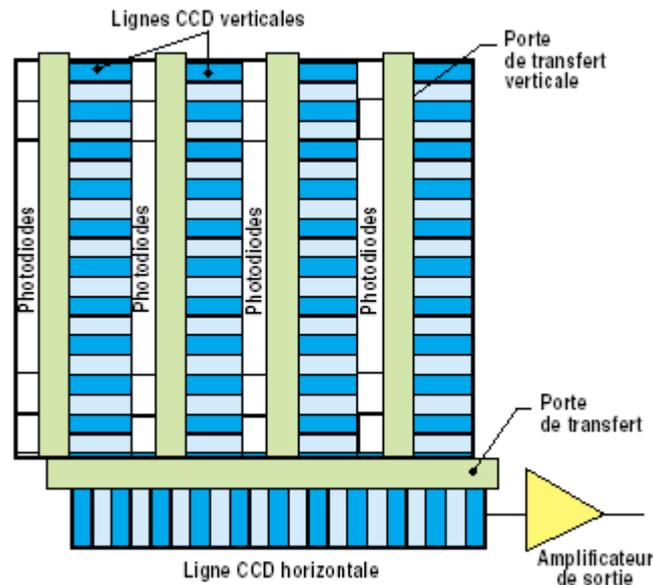
Sur ce type de capteur CCD, les lignes verticales jouent le rôle de capteurs de lumière. Les condensateurs des cellules CCD sont photosensibles mais ont une efficacité moindre aux faibles longueurs d'onde et de moyen de transmission des charges : il est nécessaire d'avoir un obturateur optique externe pour fixer précisément le temps d'intégration et éliminer toute lumière incidente pendant le transfert des charges. L'avantage de ce capteur est un rendement global intéressant car presque toute sa surface est sensible : le fill factor ou facteur de remplissage, rapport de la surface sensible à la surface totale du circuit intégré, est proche de 100 %. Malgré son défaut, ce type de capteur offre une qualité d'image et de transfert non-négligeable.

b) Capteur CCD à transferts de trames



La rétine CCD à transfert de trames (full-frame transfer CCD) est similaire à la rétine CCD « full-frame » mais elle utilise en plus un second jeu de lignes CCD « verticales », masquées par une couche métallique opaque, appelée matrice aveugle (région B ci-dessus). Celle-ci permet de transmettre l'image pendant que la matrice photosensible (région A) acquiert une nouvelle image. Le facteur de remplissage est également voisin de 100%, mais dans matrice photosensible uniquement.

c) Capteur CCD « interligne »



Dans le capteur interligne, les CCD verticaux « aveugles » ne sont pas disposés sous la forme d'une matrice compacte comme dans la technique précédente, mais sont intercalés entre les sites photosensibles disposés en rangées verticales. La qualité diminue puisque le facteur de remplissage baisse sensiblement dans cet arrangement. L'avantage est de pouvoir utiliser différentes résolutions d'images.

III. Le bruit du capteur : source de défauts

Les différents composants du capteur (comme l'amplificateur de sortie) mais aussi les imperfections de ces composants engendrent un bruit faible à notre échelle, néanmoins ce bruit à l'échelle du capteur montre des défauts dans le traitement de l'information. Ce bruit peut provenir des composants mais aussi des effets thermiques : d'où l'utilité de refroidir le capteur, car la chaleur provoque des sauts de tensions ce qui crée une confusion. L'effet direct de ces « bruits » est la qualité de l'image : on pourra ainsi constater une pixellisation plus importante (cf. les photosites).

IV. L'acquisition des images et leur traitement

a) Acquisition

Les charges s'accumulent dans les photosites proportionnellement à la quantité de lumière reçue ; des charges supplémentaires (charges thermiques) s'accumulent spontanément même en l'absence de lumière. Les sites sont vidés au cours d'une lecture.

Avant de lancer une nouvelle acquisition, on lit la matrice une ou plusieurs fois pour vider les charges thermiques. La pose correspond à l'arrêt des cycles d'horloge : les charges s'accumulent pendant un temps donné. En fin de pose, on reprend les cycles d'horloge pour transférer et mesurer les charges.

Cette lecture peut être assez longue (quelques secondes), et durant la lecture les charges continuent à s'accumuler sur l'image en cours de décalage. Ce signal parasite est plus important pour les lignes lues en dernier, c'est à dire les lignes situées en haut de l'image. On résout ce problème de deux façons différentes :

- soit en disposant un obturateur électronique devant la caméra. Il est ouvert au début de la pose, et refermé avant début de la lecture pour protéger la matrice (comme pour le capteur CCD «full-frame»).
- soit en transférant la partie utile de la matrice dans une zone protégée de la lumière. Ce transfert est extrêmement rapide et ne provoque donc pas de smearing (traînées situées vers le haut de l'image provoquées par un temps de pose très court)

Le transfert lui-même peut être effectué de plusieurs façons :

-Avec une matrice à transfert de trame (Capteur CCD à transferts de trames). La zone image est décalée vers une zone mémoire de même dimension à la fin de la pose. Le temps de décalage est tout de même de l'ordre de quelques ms, et n'est pas forcément négligeable devant le temps de pose pour les objets brillants (planètes en particulier) ;

-En n'utilisant que la moitié supérieure d'une matrice pleine trame (Capteur CCD «full-frame»). On décale très rapidement la matrice de la moitié de sa taille, puis on la lit. Ce fonctionnement n'est possible que si la partie inférieure du champ ne contient pas de source brillante ; il n'est pas utilisable pour les planètes ou les objets étendus. Il a également l'inconvénient de sacrifier la moitié de la taille de la matrice ;

-Avec une matrice à transfert d'interligne (Capteur CCD « interligne »). Ces matrices possèdent une ligne mémoire à côté de chaque ligne sensible, et produisent donc des zones mortes importantes dans les images finales.

b) Traitement

A partir des informations contenues dans la matrice, deux modes de lecture peuvent être utilisés à l'aide de signaux d'horloges particuliers :

-Le mode fenêtrage qui permet de ne lire qu'une zone réduite de la matrice. L'intérêt est d'augmenter la cadence d'acquisition des images pour certaines situations : phase de mise au point du télescope (sur un détail de l'image), suivi d'événements rapides (occultations).

-Le binning consiste à additionner les charges de plusieurs photosites avant conversion numérique. L'intérêt par rapport à une opération de fenêtrage numérique sur l'image complète est de réduire le bruit de lecture, et d'augmenter la vitesse d'acquisition. Le binning s'accompagne évidemment d'une perte de résolution, acceptable pour les objets faibles, les phases de mise au point ou la spectroscopie.

V. Quelques données géométriques et électroniques

a) Caractéristiques géométriques

Les CCD actuels sont des matrices à deux dimensions. Les tailles sont données en nombres de pixels, qui définissent la résolution des images pour une optique donnée. Les matrices les plus courantes ont des tailles typiques de 340 x 280 pixels ; les plus grandes matrices actuelles vont jusqu'à 4000 x 4000 pixels.

Les pixels eux-mêmes ont des tailles variables selon les modèles, de 6 à 40 μm (distances entre centres des pixels). Les pixels ne sont pas toujours carrés, ce qui peut causer une déformation lors de l'affichage des images sur écran (dont les pixels sont équidistants).

La surface photosensible est légèrement plus petite que la surface des pixels. Si la différence est importante, elle causera des zones mortes dans l'image. Deux types de CCD ont des pixels disjoints: ceux qui sont munis d'un dispositif anti-éblouissement, et ceux qui fonctionnent en transfert interligne.

b) Caractéristiques électroniques

La sensibilité du CCD (rendement global) s'exprime couramment en électron produit par photon incident. Cette quantité s'appelle rendement quantique équivalent (RQE, « quantum efficiency »). Elle atteint des valeurs de 50% pour les CCD.

Cette sensibilité varie avec la longueur d'onde. Le maximum de sensibilité est situé vers 0,6-0,7 μm (dans le rouge) ; le domaine sensible va de 0,45 à 1,0 μm .

La capacité des pixels varie de 50 000 à 1 000 000 électrons selon les modèles (elle est liée à la taille des pixels). C'est le rapport de la capacité au nombre d'électrons générés de façon aléatoire (le bruit) qui détermine la qualité du signal ; on obtient couramment des dynamiques de l'ordre de 10 000 avec les CCD. Une grande capacité favorise l'observation d'objets brillants (notamment les planètes) : elle permet des temps de pose plus longs, et donc de réduire le bruit de photon.

La saturation de certains photosites se traduit par des traînées brillantes le long des colonnes (les électrons excédentaires contaminent les pixels voisins ; l'effet est renforcé par une traînée de smearing vers le haut de la colonne pendant le transfert des lignes). Un dispositif anti-éblouissement (« anti-blooming ») peut limiter ce phénomène en évacuant les électrons excédentaires durant l'intégration.

La linéarité des CCD est très bonne : le nombre de charges produites est presque toujours proportionnel au flux reçu, même pour les flux faibles et les temps de pose courts. Ceci permet l'addition d'images pour les objets faibles, et la mesure photométrique directe sur les images.

L'efficacité de transfert est de l'ordre de 0,99999, ce qui signifie que 1 électron sur 100 000 sera perdu au cours du transfert et pourra contaminer les pixels suivants durant la lecture. Le bruit ainsi généré est plus important pour les pixels lus en derniers, c'est à dire pour les lignes situées en haut de l'image. (smearing). L'efficacité de transfert augmente avec la durée du cycle de lecture, et conditionne la durée de lecture des pixels individuels (20 à 50 μs).

Le courant d'obscurité est dû aux charges générées spontanément lorsque la matrice n'est pas éclairée (charges thermiques). Pour un pixel donné, il est proportionnel au temps de pose et le coefficient de proportionnalité ne dépend que de la température. Ce signal additif est donc reproductible, à la dispersion statistique près (bruit thermique). Ce courant doit être limité au maximum d'une part pour éviter la saturation intempestive des photosites, d'autre part pour réduire le bruit associé. On le limite très efficacement en refroidissant le CCD à des températures de l'ordre de -100°C.

Un autre phénomène contribue au courant d'obscurité, l'électroluminescence de l'amplificateur de sortie. Elle se traduit par une augmentation du courant d'obscurité dans un coin en bas de l'image (à côté de la broche de sortie), et génère donc également un bruit.

Les matrices contiennent des proportions variables de défauts : pixels morts (sans détectivité), pixels chauds (qui saturent très vite), pixels froids (non linéaires aux faibles flux). Ces défauts peuvent être isolés, ou apparaître en groupes, en lignes ou en colonnes.

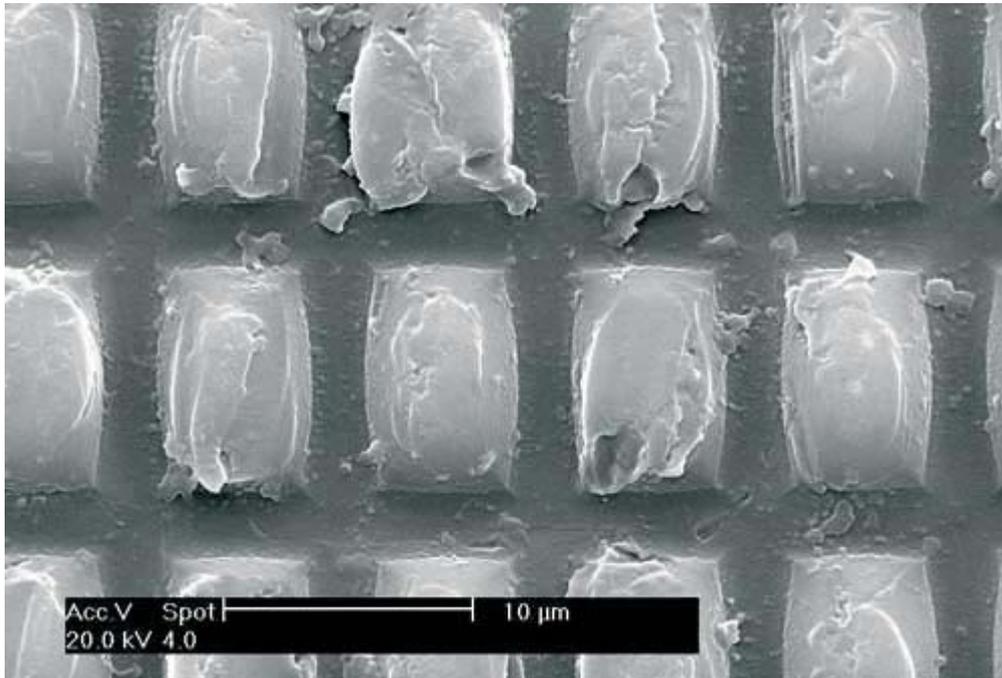
Les Photosites

I. Description

La surface du CCD est une plaque de silicone composée de microscopiques carrés ou rectangles photosensibles : les photosites ou encore microcircuits électroniques. Il semble évident que du nombre de photosites dépendra la finesse de l'image.

Ces photosites ont reçu un traitement pour les rendre sensibles à la lumière et vont réagir proportionnellement à cette dernière.

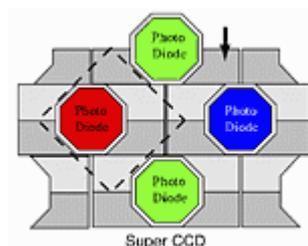
En principe il faut 4 photosites pour mesurer une couleur et créer ainsi un pixel.



II. Fonctionnement

Selon l'intensité de la lumière transmise par l'objectif les photosites vont créer un courant servant à reconstituer l'image. Mais ces cellules ne sont pas sensibles à la couleur et donc les images sont uniquement en noir et blanc.

Un capteur donnant des informations monochromes (noir et blanc vu que le pixel de base est 0 ou 1), on a donc placé un filtre devant lui pour rendre les photosites sensibles à une nuance : rouge, vert ou bleue (RVB) qui sont les trois couleurs primaires.



Chaque pixel issu des photosites délivre une intensité de courant, qui est différente suivant la couleur et un pixel correspondant à la couleur blanche ne délivre pas la même énergie qu'un pixel de couleur rouge par exemple.

À la sortie du capteur, le signal qui jusqu'à maintenant est analogique est ensuite envoyé à un convertisseur qui le transforme en valeur numérique. Chaque pixel est ensuite stocké dans une mémoire (carte ou disquette située dans l'appareil).

a) Filtre de Bayer

Le filtre de Bayer (ou filtre RVB) est le système le plus classique pour filtrer la lumière admise et restituer "au mieux" les couleurs de l'image photographiée. Il se trouve placé entre l'objectif et le capteur et devant les photosites du capteur.

b) Conversion

Le capteur après filtrage en rouge, vert ou bleu, convertit ce signal électrique analogique en signal numérique (c'est ici qu'intervient le convertisseur A/N (Analogique/numérique) qui mesure l'amplitude du courant arrivé pour le transformer en courant binaire. On dit que l'image est alors numérisée).

c) Pixels détériorés

Il arrive malheureusement que, à la suite d'un choc ou par une exposition prolongée au soleil (sur la plage arrière d'une voiture par exemple), un ou plusieurs pixels se détériorent. Il en résulte sur l'image un trou dans ce cas, l'acquisition est mauvaise et l'image ou le film est de mauvaise qualité. Il existe des logiciels pour retoucher l'image bien évidemment mais il est fastidieux pour un film de faire une retouche.

III. Evolution du capteur et conséquences sur l'image

Plus le nombre de photosites est important et plus l'utilisateur pourra réaliser des tirages de taille importante sans risquer de voir son cliché pixellisé.

Une image réalisée avec un appareil de type APS, tirée à un format 20 x 30 cm sera forcément moins détaillée qu'un cliché au format 6 x 6, avec une qualité optique équivalente.

La taille du capteur est restée la même (une diagonale de 2/3 de pouce. Pourtant le nombre de photosites sur cette surface est passé de 5,24 millions à 8 millions.

Cette inflation du nombre de photosites permet à l'utilisateur de réaliser des plus grands tirages de ses images. Mais les photosites sont forcément de plus en plus petits et donc de moins en moins sensibles à la lumière. Or, le signal en provenance de ces éléments photosensibles est amplifié. Cette amplification est d'autant plus importante que les photosites sont peu sensibles. Et plus l'amplification est importante plus le « bruit » dans les zones sombres est important (ce qui donne un aspect désagréable à l'image dû à des pixels parasites qu'on trouve le plus souvent dans les zones sombres de l'image, parfois aussi sur l'ensemble du cliché). On comprend donc qu'un capteur pourvu d'un grand nombre de photosites n'engendre pas forcément des clichés d'une meilleure qualité qu'un capteur de la même taille mais moins fourni en photosites.

On peut en conclure alors que plus la surface de la plaque sera grande, plus la lumière admise et traitée sera importante et plus l'exposition sera bonne et donnera au final de meilleurs résultats. Ce qui ne veut pas dire que placer 2 millions de pixels sur un capteur de 2/3 serait mieux car alors la surface n'étant pas complètement couverte de photosites, les pixels parasites pour combler les vides seraient plus nombreux et donc l'image moins bonne.

On constate donc que miniaturiser les appareils et obtenir de meilleurs résultats est assez complexe ce qui conduit chaque fabricant à faire porter ses efforts sur une partie spécifique de l'appareil photo ou de la webcam et au final on peut dire qu'aucun n'est mauvais mais aucun n'est parfait.

Conclusion : Le filtre de Bayer utilise un ensemble de quatre filtres (quadruplet): un Rouge, un Bleu et deux Verts, ce dernier est en double pour tenir compte de la sensibilité de l'oeil humain et permettre ainsi de restituer "au mieux" les couleurs de l'image d'origine. Le capteur réagit en envoyant du courant analogique d'intensité variable suivant chaque photosite (la couleur, son intensité et sa position dans l'image) qu'il représente. Ce courant est analysé et converti en numérique seul langage compris par l'ordinateur auquel il faudra bien le relier pour visualiser et éventuellement traiter les résultats. L'image se présente alors sous la forme binaire d'une suite de 0 et de 1 et à partir de là ce sont des millions d'octets qui vont représenter les données.

Avantages et inconvénients du capteur CCD Webcam

I. Petite étude du marché

Le capteur CCD est la référence du marché de la photographie numérique, ceci n'est pas un hasard et il est sans cesse amélioré en fonction des besoins de plus en plus aiguisés du consommateur. Notre Webcam est un produit demandant une vidéo en temps réelle donc un taux de rafraîchissement des photosites faibles.

Cependant dans la grande majorité les webcams utilisent un capteur CMOS (Complementary Metal Oxide Semi-conductor), concurrent direct du CCD mais qui lui est bien inférieur. En effet, le domaine de la webcam ne privilégie pas le CCD car son coût est bien plus élevé et vu le manque d'importance qu'accordent les internautes (moyenne d'âge : 13-21) à la qualité du rendu graphique, les développeurs (principalement Logitech©) préfère une solution beaucoup moins onéreuse.

La Webcam Philips fait donc exception à la règle, mais l'utilisation rare de ce capteur empêche une réelle exploitation des capacités qu'il pourrait offrir. Comparer ce capteur à celui d'un appareil photo numérique serait donc un match perdu d'avance.

Nous allons essayer d'examiner ou de comparer avec le CMOS, le capteur CCD intégré dans la webcam à travers des expériences.

II. Avantages

a) Fluidité du mouvement

Le capteur CCD propose un taux de rafraîchissement supérieur à celui du CMOS, ils sont respectivement de 60fps (frame per second = images par seconde) contre 30fps. La principale conséquence est une fluidité dans la vidéo qui permet ainsi de saisir un mouvement avec 2 fois plus d'images donc de meilleure qualité.

Capteur CMOS 30fps



Capteur CCD 60fps



On voit bien ici que la main dans le premier cas est très floue et que dans le second cas elle est bien plus nette.

b) Résolution de l'image

Le capteur CCD offre une meilleure résolution numérique que le CMOS, elles sont respectivement de 640*480 pour 320*240.

c) Qualité de restitution de l'image

Le problème des capteurs est les interférences (bruits) occasionnées par différents facteurs complexes (électromagnétiques) qui endommagent la restitution numérique. Le capteur CCD n'y échappe pas dans notre cas (mais pour des capteurs professionnels le bruit est maintenant technologiquement contrôlé) mais on observe qu'il est meilleur que les CMOS testés.

Capteur CCD



Capteur CMOS



On voit que l'image de droite à un grain d'image plus prononcé que l'image de gauche.

II. Inconvénients

a) Adaptabilité à la lumière

La sensibilité du capteur à la luminosité fait que certains problèmes de persistance de la lumière peuvent apparaître.

Si on place la webcam dans un milieu illuminé à un milieu sombre, pendant quelques secondes l'image sera plus sombre qu'elle ne devrait être.

Inversement si elle passe d'un milieu sombre à une source de lumière il va se créer temporairement un halo de lumière qui prendra une place importante sur l'image.

Puis si on place la caméra devant une source de lumière forte, l'image obtenue sera essentiellement composée de la lumière émise le reste étant très sombre.

Les 3 facteurs qui entre en jeu sont donc, la vitesse d'obturation, le changement de luminosité et la part de l'image qu'occupe la source de lumière.

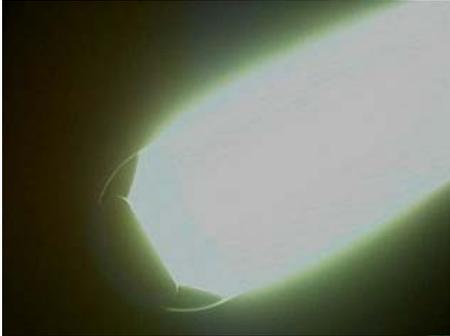
Dans l'exemple qui va suivre nous allons visualiser une partie de ces phénomènes, l'expérience consiste à placer la webcam, dans une pièce illuminée essentiellement par le soleil, face à un néon (source de lumière) afin qu'il occupe une place importante sur l'image global. Nous allons ensuite faire varier la luminosité très rapidement.



1^{ère} phase

Luminosité normale de la pièce
Le néon est éteint

Visualisation : Image parfaitement concordante à la réalité



2^{ème} phase

Luminosité moyenne de la pièce presque inchangée
Néon allumé

Visualisation : Halo de luminosité importante à la place du néon, le reste de l'image est sombre. Image ne concordant plus avec la réalité.



3^{ème} phase

Luminosité normale de la pièce
Néon éteint

Visualisation : Halo de lumière verte, ici on voit bien la persistance de la lumière sur le capteur. L'image ne concorde plus du tout avec la réalité.



4^{ème} phase

Luminosité normale de la pièce
Néon éteint

Visualisation : Période sombre où le capteur est en phase d'accommodation avec la lumière avoisinante. L'image ne reflète pas la réalité.



5^{ème} phase

Luminosité normale de la pièce
Néon éteint

Visualisation : L'image est redevenue similaire à la réalité.

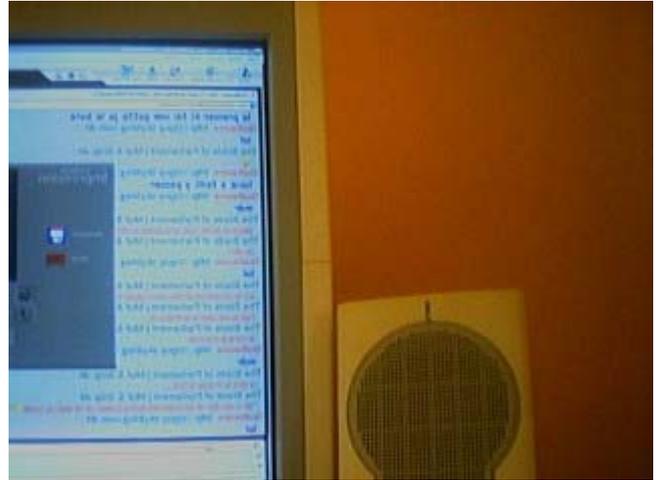
b) Déteinte des couleurs

Le programme gérant l'affichage de l'image et la lumière d'une pièce peuvent provoquer une déteinte des véritables couleurs, entraînant ainsi un changement total de l'atmosphère d'une scène. La démonstration suivante procède ainsi : Nous allons éteindre puis allumé l'écran de l'ordinateur et voir les conséquences sur les couleurs de l'image. L'écran est de couleurs blanc cassé et gris.

Ecran éteint



Ecran allumé



Ici la différence est flagrante, au départ l'écran est a une teinte légèrement bleue mais similaire à la réalité, une fois l'écran allumé le programme et la lumière font que le jaune ocre du mur déteint sur les blancs de l'image, l'écran devient jaune ainsi que le haut parleur.

Synthèse

Après avoir vu les différents points prédominants des capteurs CCD, nous allons essayer d'en tirer l'essentiel à savoir les deux thèmes figurant dans notre problématique. Premièrement, nous simplifierons le fonctionnement global d'un capteur CCD, puis en second lieu nous verrons quelles sont véritablement les utilisations en tous plans de ce produit.

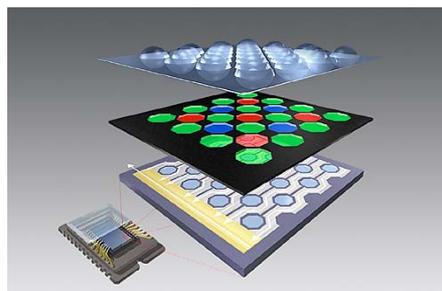
Le principe d'un capteur CCD est donc de transmettre une image en signaux électriques pour ainsi la numériser. De cette manière elle pourra être traitée avec un ordinateur ou tout autre plateforme numérique.

Les photosites du capteur, qui sont composés de plaques de silicones recouvertes d'un filtre RVB (Rouge, Vert, Bleu, les trois couleurs primaires.) captent la lumière et vont la transmettre à la (ou aux) matrice(s) du capteur. Etant donné qu'il existe trois types de capteurs (Capteur CCD « full-frame » ; Capteur CCD à transfert de trames ; Capteur CCD « interligne »), la lecture des données contenues dans la matrice dépend du capteur : la lecture par fenêtre et le binning. Ensuite l'image va être traitée par un autre module indépendant du CCD, afin de restaurer à l'image ses propriétés, les plus proches possibles de l'image réelle. A partir de là l'image peut-être lue avec une qualité correcte par un ordinateur ou autre.

Attardons nous finalement sur les diverses exploitations qu'on en tire. Dans le domaine grands publics les capteurs ont principalement 2 utilités. D'un côté les webcams qui ne sont pas un très bon exemple de leurs réelles capacités car les développeurs préfèrent utiliser un autre capteur bien moins coûteux, le CMOS. Mais on le retrouve bien plus fréquemment dans la photographie et la vidéo numérique quelle soit commune ou professionnelle. C'est ici le principal marché des CCD à notre époque, le numérique étant dans une bonne vague économique les appareils photo numérique ne cesse de se réinventer entraînant ainsi une recherche accrue de la part des fabricants.

Mais avant ce phénomène de l'e-mode (mode japonaise du tout numérique qui commence à se répandre mondialement), les capteurs CCD étaient essentiellement créés pour la science en tant que détecteurs de longueur d'onde dans les satellites par exemple. Grâce à eux il n'y a plus la limite du spectre visible et des bonds gigantesques ont été surpassés permettant par exemple de comprendre des atmosphères d'étoiles extraterrestres.

On a donc ici le parfait exemple d'un produit technologique qui au fil du temps est passé des mains de la science au appareils technologique numérique. Ceci permet de conclure qu'un produit aussi spécifique et complexe qu'il parait peut avoir plusieurs « vies ». A noter que Fujifilm a fait une tentative ratée avec le super CCD qui intégrait pas mal d'erreurs techniques, reste à savoir quand est-ce qu'un nouveau modèle de capteur viendra radicalement détrôner le CCD ?



Modèle éclaté du Super CCD

Ressources

Wikipédia
Physique – Chimie 2^{nde}
Physique 1^{ère} S
Quid 2001
Les capteurs industriels
Electronique

http://www.electronique.biz/article/228500_a.html
<http://www.ias.u-psud.fr/erard/taf/docs/CCD/CCD1.html>

Comment ça marche ?

<http://www.commentcamarche.net/video/lumiere.php3>

Clubic

<http://www.clubic.com/article-14325-1-la-photographie-numerique-comment-ca-marche-.html>

Logiciels

Autodesk Inventor 6
Ms Paint
Paint Shop Pro 8
Corel Photo House
Word 2002
PowerPoint 2003
Ms MSN 6.2

