

Comment les caméras couleur fonctionnent

L'idée d'une puce CCD est simple: nous pouvons l'imaginer comme une puce mémoire sans "couvercle". Les photons, en rencontrant les cellules de mémoire créent des électrons (effet photoélectrique). La quantité de photons est proportionnelle à la quantité d'électrons. Par contre, la longueur d'onde des photons n'est pas "communiquée" aux électrons et par conséquent les puces CCD sont daltoniennes.

Ci-après, nous montrons comment les caméras couleur fonctionnent malgré le daltonisme des puces CCD.

Sommaire

Les principes

| | |
|--|---|
| Point de départ: caméra monochrome | 2 |
| Caméra couleur 3CCD | 3 |
| Caméra couleur mono CCD | 4 |

Caméras mono-CCD pour la visualisation et pour la technique de mesure

| | |
|---|---|
| Visualisation | 5 |
| Technique de mesure | 6 |

Interpolation de la couleur (pour la visualisation)

| | |
|--|---|
| Introduction | 7 |
| Copie des pixels voisins (nearest neighbor replication) | 8 |
| Valeurs moyennes des pixels voisins (bilinear interpolation) | 9 |

Analyse de la couleur (pour la technique de mesure)

| | |
|---|----|
| Introduction | 10 |
| Analyse basée sur une image interpolée | 11 |
| Analyse basée sur l'image numérique originale | 12 |



EUROPEAN HEADQUARTERS
The Imaging Source Europe GmbH
Sommerstrasse 36, D-28215 Bremen, Germany
support@eu.theimagingsource.com
Phone: +49 421 33591-0

US HEADQUARTERS
The Imaging Source, LLC
7257 Pineville-Matthews Road, Charlotte, NC 28226
support@us.theimagingsource.com
Phone: +1 704-370-0110 USA
Toll Free: +1 877-462-4772 USA

Tous les noms ou sociétés mentionnés dans ce document peuvent être des marques déposées ou des marques commerciales de propriété de leurs propriétaires respectifs et sont reconnues ici en tant que telles.

The Imaging Source Europe GmbH ne donne aucune garantie relative à l'utilisation de la présente publication. Le code source utilisé dans ce document a exclusivement un but didactique. The Imaging Source Europe GmbH n'assume aucune responsabilité relative à l'utilisation du contenu de ce document ou du code source.

The Imaging Source Europe GmbH se réserve le droit de modifier les spécifications techniques, les fonctions ou le design à n'importe quel moment et sans aucun préavis.

État : Février 2005
Copyright © 2005 The Imaging Source Europe GmbH
Tous droits réservés. Toute reproduction d'un extrait quelconque de ce catalogue est interdite sans l'autorisation de The Imaging Source Europe GmbH.

Poids et mesures sont des valeurs approchées.

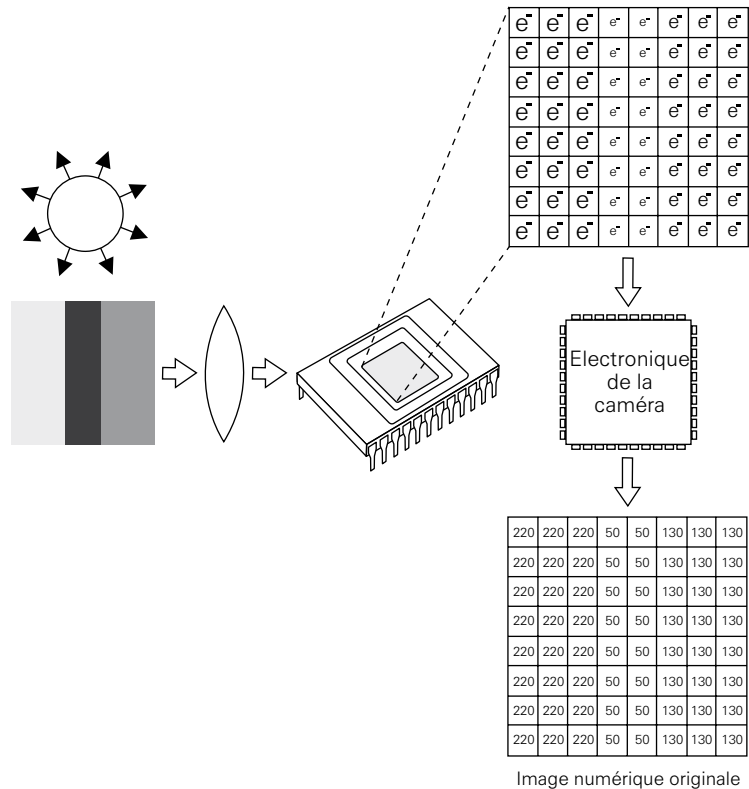
Les principes

Point de départ: caméra monochrome

L'idée d'une puce CCD est simple: nous pouvons l'imaginer comme une puce mémoire sans "couvercle". De cette manière, les cellules de mémoire peuvent être atteintes par les rayons lumineux. A cause de l'effet photoélectrique, ces rayons génèrent des charges négatives dans les cellules de mémoire (en haut à droite).

Après le temps d'exposition, les charges sont extraites et traitées par l'électronique de la caméra. Après ce traitement, on dispose d'une image numérique.

Si la caméra a besoin d'une sortie vidéo analogique, l'image numérique originale devrait être convertie au fur et à mesure. Mais dans ce contexte, c'est-à-dire "Comment les caméras couleur fonctionnent", ce point n'est pas important. Nous avons seulement besoin de l'image numérique originale pour nos observations.



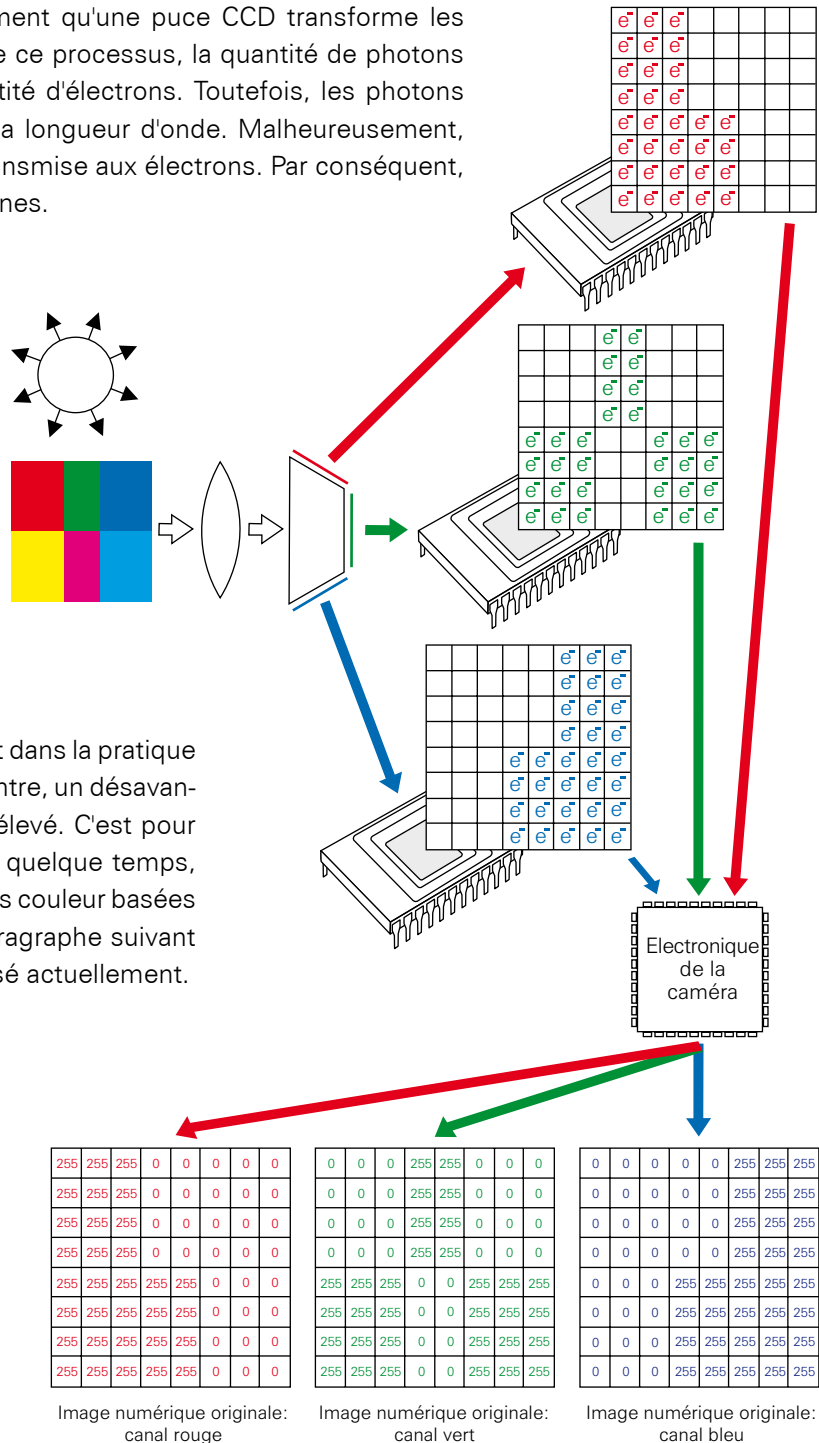
Les principes

Caméra couleur 3CCD

On pourrait dire très simplement qu'une puce CCD transforme les photons en électrons. Lors de ce processus, la quantité de photons est proportionnelle à la quantité d'électrons. Toutefois, les photons ont une propriété spéciale : la longueur d'onde. Malheureusement, cette information n'est pas transmise aux électrons. Par conséquent, les puces CCD sont daltoniennes.

Si à la sortie de l'électronique de la caméra nous avons besoin pour chaque pixel d'une valeur de rouge, une de vert et une de bleu, nous devons donc utiliser un CCD pour chaque couleur primaire. Chaque CCD reçoit seulement des "photons filtrés" : un CCD voit rouge, le second vert et le troisième bleu. Un prisme crée ces trois "canaux de photons".

Cette solution évidente aboutit dans la pratique à d'excellents résultats. Par contre, un désavantage considérable est le prix élevé. C'est pour cela qu'on a développé, il y a quelque temps, différents concepts de caméras couleur basées seulement sur un CCD. Le paragraphe suivant décrit le concept le plus diffusé actuellement.

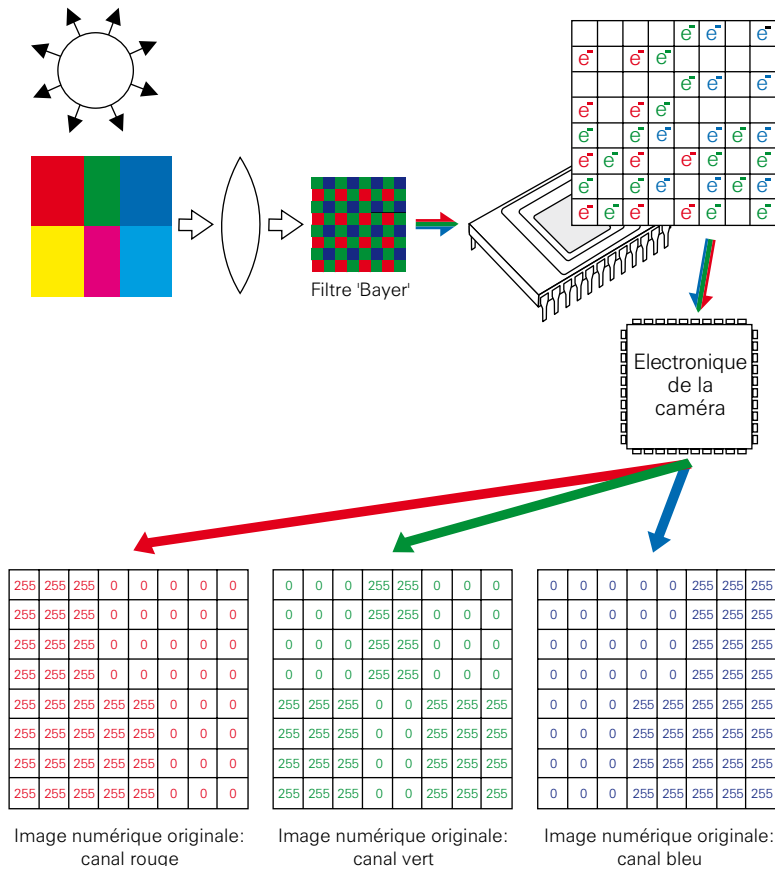


Les principes

Caméra couleur mono CCD

Pour des raisons financières, pour pouvoir utiliser seulement une puce CCD, nous devons diffuser les filtres de couleur en forme de mosaïque sur tous les pixels du CCD. Nous parlons donc d'un filtre mosaïque ou filtre. Monsieur Bayer fut l'inventeur de ce filtre.

Par ce moyen, un pixel livre soit la valeur de rouge ou celle de vert ou celle de bleu. Mais à la sortie de l'électronique de la caméra, un seul et unique pixel doit livrer une valeur de rouge, une de vert et une de bleu. Mais comment obtenir les valeurs manquantes ?



La solution s'appelle "interpolation spatiale de la couleur" effectuée par l'électronique de la caméra. Prenons par exemple le pixel rouge dans le coin en bas à gauche (voir figure à droite). Il nous manque donc la valeur de vert et celle de bleu. L'algorithme d'interpolation estime ces deux valeurs manquantes en analysant les pixels voisins du pixel rouge. Dans notre exemple, il trouve des pixels verts très chargés et des pixels bleus complètement non chargés. Par conséquent, notre pixel rouge est effectivement jaune. Dans la section Interpolation de la couleur vous trouverez des informations plus détaillées à ce sujet.

En comparant les trois images numériques originales de la caméras 3CCD et celles de la caméra mono-CCD, les images nous semblent identiques. Mais, effectivement, c'est seulement le cas de nos exemples très simplifiés. En pratique, même les meilleurs méthodes d'interpolation de la couleur causent un effet passe-bas. Par conséquent, les caméras mono-CCD livrent des images nettement plus flous que les caméras 3CCD ou monochromes. Cet effet influence défavorablement les structures fines et filiformes, en particulier.

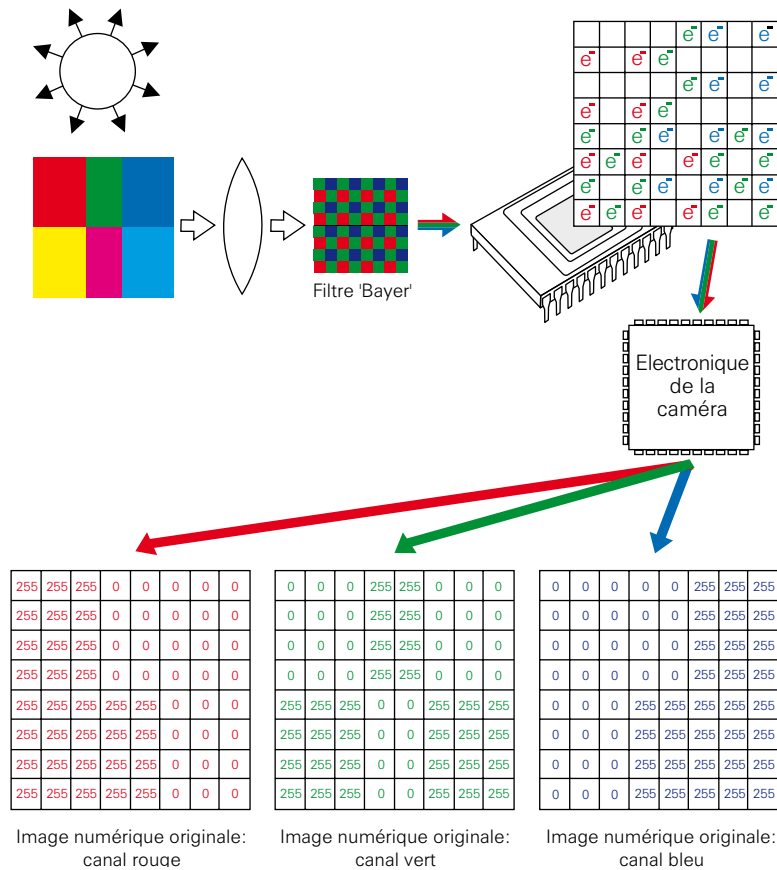
Caméras mono-CCD pour la visualisation et pour la technique de mesure

Visualisation

Dans la section [Les principes](#), nous avons déjà vu le mode de fonctionnement des caméras couleur mono-CCD pour la visualisation. Un filtre mosaïque (aussi nommé filtre "Bayer") veille à ce qu'un pixel voie soit rouge ou vert ou bleu.

Puisqu'à la sortie de la caméra nous attendons pour chaque pixel une valeur de rouge, une de vert et une de bleu, l'électronique de la caméra interpole les valeurs de couleur manquantes. Dans la section Interpolation de la couleur, vous trouverez des informations plus détaillées à ce sujet.

L'avantage principale de cette méthode est son bas prix. La qualité des caméras mono-CCD d'aujourd'hui est étonnamment haute. C'est pourquoi la plupart des caméras couleur sont basées sur cette technique.



Caméras mono-CCD pour la visualisation et pour la technique

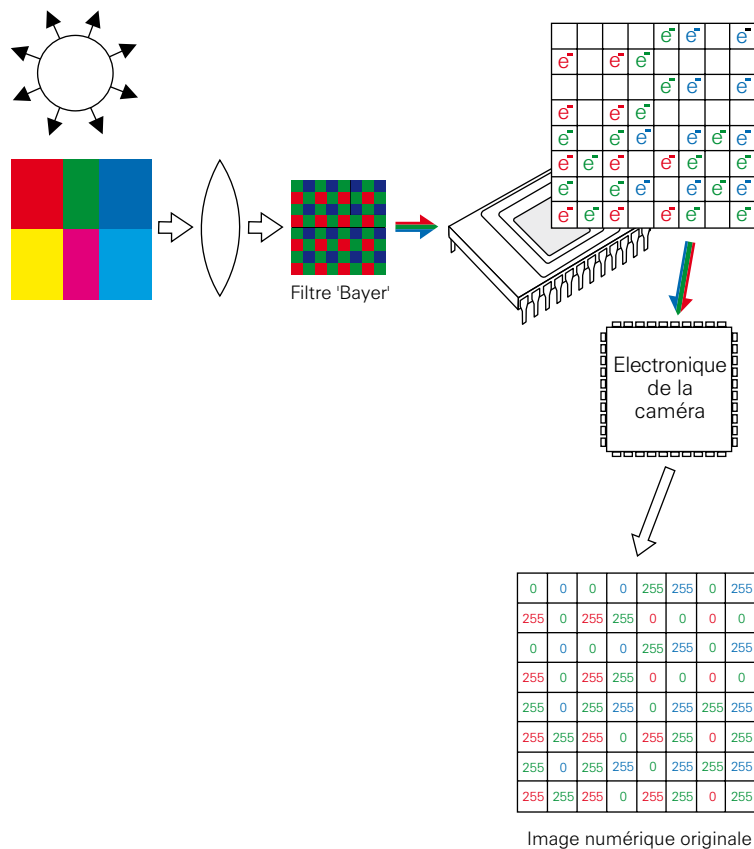
Technique de mesure

Pour les applications dans la vision artificielle, l'interpolation de la couleur a des inconvénients cruciaux :

- Nous avons bien une valeur de rouge, une de vert et une de bleu pour chaque pixel, mais seulement une de ces valeurs est effectivement créée par le CCD. Les autres valeurs sont interpolées, c'est-à-dire elles sont plus ou moins estimées.
- Les valeurs estimées ne sont pas seulement dérangeantes pour la technique de mesure en soi, mais elles sont une charge inutile pour le bus et le processeur de l'ordinateur qui traite les images.

Pour la technique de mesure, il est donc favorable de bloquer l'interpolation de la couleur et de transformer directement les charges accumulées par le CCD en image numérique originale.

Important: Aujourd'hui, la plupart des logiciels pour l'analyse des images couleur est supposée d'avoir à disposition pour chaque pixel une valeur de rouge, une de vert et une de bleu. Mais, beaucoup de gens n'ont aucune expérience avec l'analyse des images numériques originales. C'est pourquoi nous décrivons dans le paragraphe [Analyse de la couleur](#) l'idée de base pour l'analyse de l'image numérique originale.

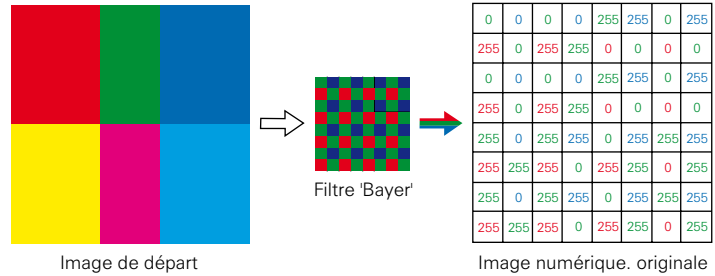


Interpolation de la couleur (pour la visualisation)

Introduction

Dans la section [Les principes](#) nous avons décrit l'idée d'interpolation de la couleur au moyen d'un exemple. Pour rendre compréhensible cet exemple, les trois images-résultats (donc les trois canaux de couleurs de l'image numérique originale) ont été représentées de manière idéalisée.

Ci-après, nous montrons en détail deux méthodes d'interpolation simples. Comme point de départ pour la "Technique de mesure", nous utilisons l'image numérique originale que nous avons déjà décrite dans le paragraphe [Caméras mono-CCD pour la visualisation et pour la technique de mesure](#). Pour une meilleure compréhension, à droite, vous retrouvez l'image numérique originale, son image de départ ainsi que le filtre



Interpolation de la couleur (pour la visualisation)

Copie des pixels voisins (nearest neighbor replication)

La possibilité la plus simple pour "remplir" les valeurs des couleur manquantes est la prise en charge des valeurs des pixels voisins. Prenons comme exemple le premier pixel vert (du filtre) dans la deuxième ligne. Dans l'image à droite, ce pixel est bordé de noir.

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 255 | 255 | 0 | 255 |
| 255 | 0 | 255 | 255 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 255 | 255 | 0 | 255 |
| 255 | 0 | 255 | 255 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 255 | 0 | 255 | 255 | 0 | 255 | 255 | 255 |
| 255 | 255 | 255 | 0 | 255 | 255 | 0 | 255 |
| 255 | 0 | 255 | 255 | 0 | 255 | 255 | 255 |
| 255 | 255 | 255 | 0 | 255 | 255 | 0 | 255 |

| | | |
|-----|---------------------|-----|
| 0 | 0 | 0 |
| 255 | R=255 G=0 B=0 | 255 |
| 0 | 0 | 0 |

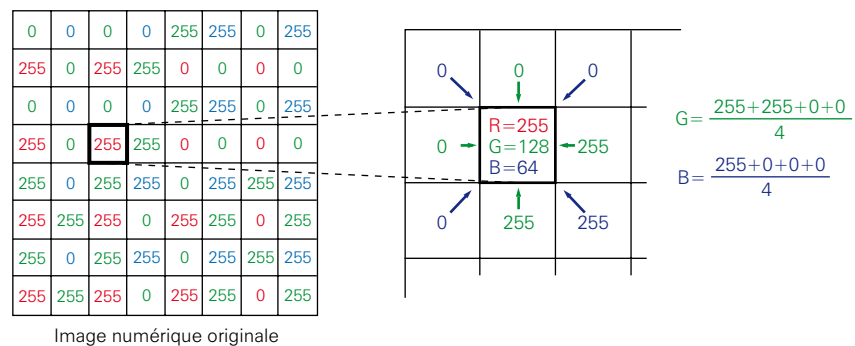
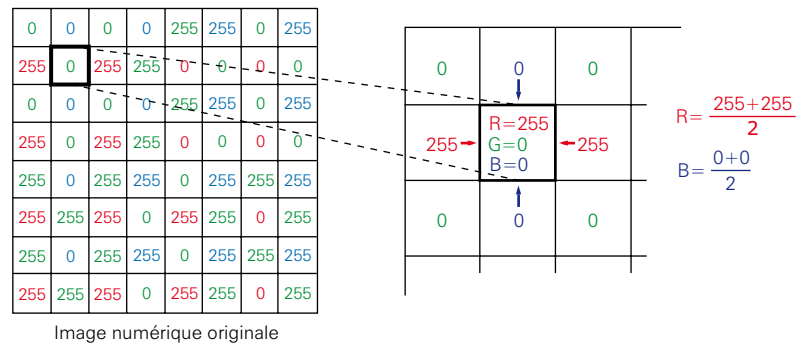
Image numérique. originale

Puisqu'à cet endroit l'image de départ est rouge (voir Introduction), le balayage du filtre avec le pixel vert donne 0. Nous prenons simplement les valeurs manquantes de rouge et de bleu (comme montré à droite) directement des pixels voisins rouges et bleus. Cela nous amène à une valeur rouge, verte, bleue (RVB) de (255,0,0).

Dans l'exemple, l'interpolation mène effectivement à la valeur-RVB correcte. Mais en pratique, cette méthode primitive d'interpolation mène à des fautes grossières qui ne sont guère acceptables pour les images statiques. Mais, puisque cette méthode ne demande pas beaucoup d'efforts de calcul, elle peut être utilisée pour les flux vidéo dont la qualité ne doit pas être très haute (par exemple pour un aperçu).

Interpolation de la couleur (pour la visualisation)

Valeurs moyennes des pixels voisins (bilinear interpolation)



Une première amélioration de l'interpolation à travers la copie est l'utilisation des valeurs moyennes des différents pixels voisins. Comme montre l'image la valeur RVB est aussi correcte : (255,0,0).

Mais, dans l'exemple ci-dessous, nous pouvons voir les inconvénients de la méthode des valeurs moyennes. Cette méthode est liée à un comportement passe-bas et donc les contours deviennent flous. En réalité, à cet endroit, la valeur RVB devrait être aussi de (255,0,0). Mais, elle est effectivement de (255,128,64), c'est-à-dire un orange brunâtre.

La qualité des procédures d'interpolation qui sont utilisées pour les caméras modernes est bien plus haute que celle des méthodes de base montrées ci-dessus. L'étude [A Study of Spatial Color Interpolation Algorithms for Single-Detector Digital Cameras](#) offre un excellent aperçu ainsi qu'une comparaison.

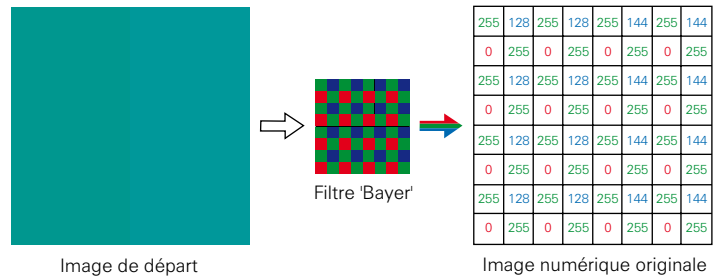
Normalement, on n'a aucune possibilité d'influencer la procédure d'interpolation d'une caméra couleur "normale". Avec la DBK 21F04, la DBK 21AF04, la DBK 21BF04, la DBK 31AF03, la DBK 31BF03, la DBK 41AF02 et la DBK 41BF02 The Imaging Source offre des caméras couleur sans interpolation, particulièrement appropriées à l'analyse de la couleur.

Analyse de la couleur (pour la technique de mesure)

Introduction

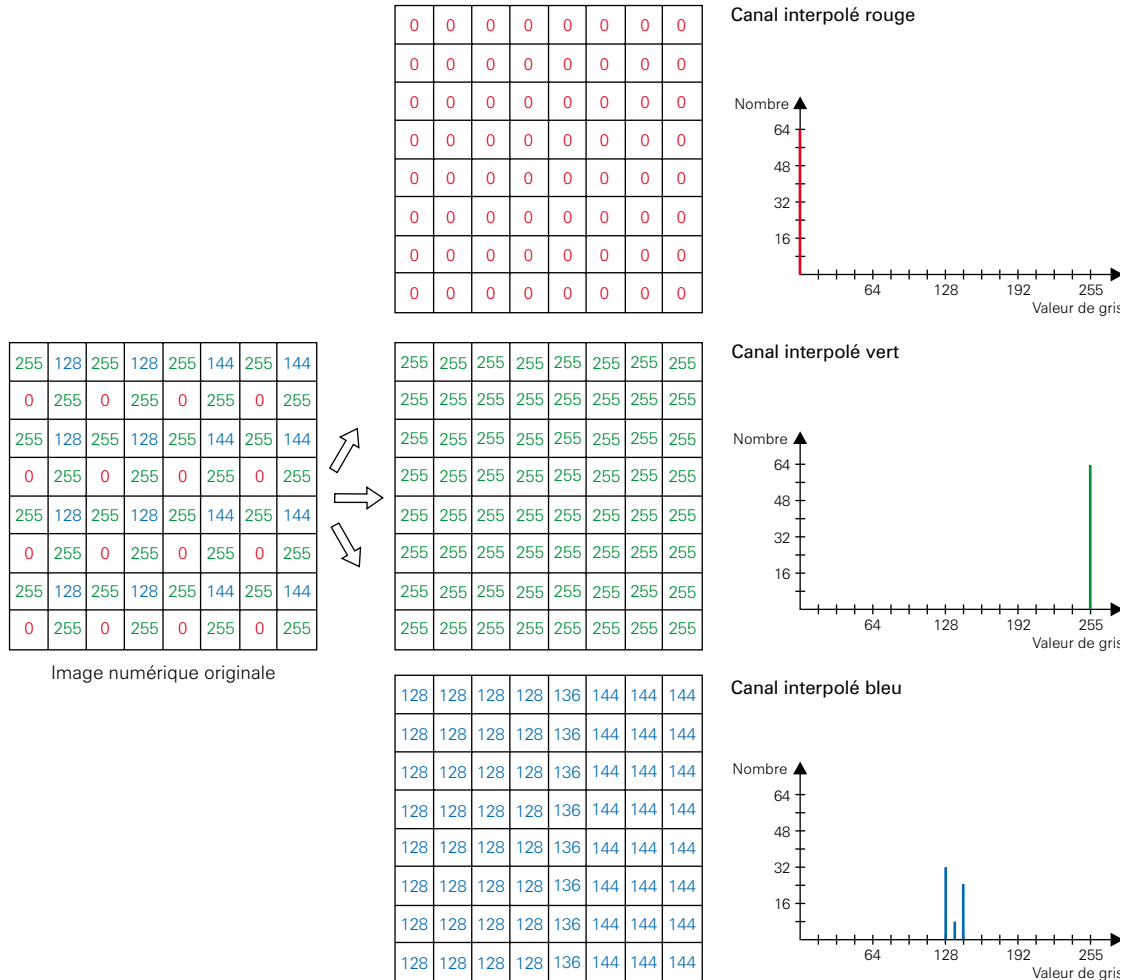
Dans le paragraphe [Caméras mono-CCD pour la visualisation et pour la technique de mesure](#) nous avons constaté que les images interpolées ne sont adaptées que sous certaines conditions à la technique de mesure.

Ci-après, à l'aide de l'exemple à droite, nous en démontrons la cause. L'image de départ se compose de deux surfaces homogènes dont les couleurs ne se distinguent que légèrement. Les pixels de la moitié gauche montrent une valeur RVB de (0,255,128), alors que ceux de droite une de (0,255,144)



Analyse de la couleur (pour la technique de mesure)

Analyse basée sur une image interpolée



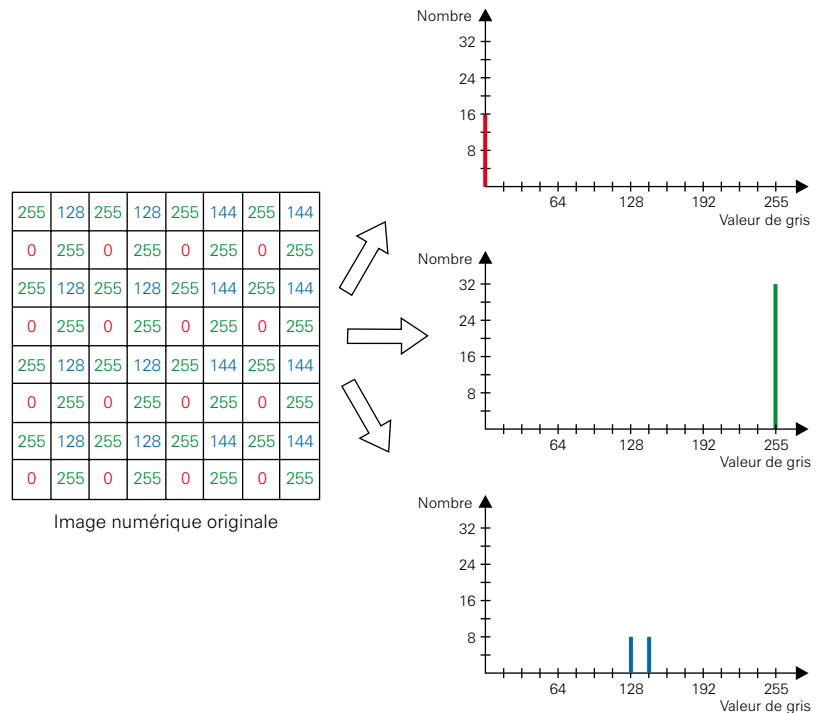
La figure montre le résultat de l'interpolation de la couleur de notre image de départ. Pour raison de simplicité, nous avons utilisé ici l'interpolation "valeurs moyennes de pixels voisins" décrite déjà dans le paragraphe [Interpolation de la couleur](#). Comme résultat de cette interpolation, nous obtenons une image pour chaque canal: le rouge, le vert et le bleu.

Une méthode typique pour la séparation des régions de l'image est basée sur l'analyse de l'histogramme. Comme le montre le diagramme de l'image de droite, dans le canal rouge se trouvent seulement 64 valeurs "0". Le canal vert offre par contre 64 valeurs "255". Donc, pour la séparation des deux régions, les deux canaux sont inutilisables.

Le "vide" dans l'histogramme (entre 32 valeurs "128" et 24 valeurs "144") est seulement évident pour le canal bleu. De plus, il y a 8 valeurs "136" résultant de l'effet passe-bas de l'interpolation de la couleur. Cet effet aboutit à un flou des contours entre les deux régions de l'image qui à l'origine se présente comme un contour net.

Analyse de la couleur (pour la technique de mesure)

Analyse basée sur l'image numérique originale



Si on applique cette analyse de l'histogramme directement à l'image numérique originale, on obtient deux avantages :

- Nous ne nous encombrons pas avec des données qui sont à 2/3 redondantes.
- Puisqu'aucune interpolation n'est appliquée, il ne peut y avoir aucun inconvénient, comme par exemple des flous de contours.

Les trois histogrammes montrent à nouveau, que le canal rouge et le canal vert sont inutilisables pour notre interprétation. Mais l'histogramme du canal bleu restitue exactement les relations de l'image originale.

On pourrait objecter que dans la pratique aujourd'hui, plus personne n'utilise l'interpolation par la valeur moyenne. On utilise plutôt des procédures bien plus efficaces. Si cette efficacité se réfère à une meilleure visualisation possible, alors elle utilise comme référence le système visuel humain. Mais du point de vue de la technique de mesure, ces interpolations "efficaces" causent aussi des inconvénients de genres différents qui peuvent empêcher toute interprétation de l'image.