

## B1.7 Systèmes de détection hyperspectrale

### Introduction et concepts de base

La spectrométrie d'imagerie, ou imagerie hyperspectrale comme on l'appelle maintenant, a une longue histoire de développement. L'impulsion pour le développement de la spectrométrie d'imagerie est venue dans les années 1970 des mesures spectrales sur le terrain à l'appui de l'analyse des données Landsat-1. Les progrès ont nécessité des développements dans l'électronique, l'informatique et les logiciels au cours des années 1980 et dans les années 1990 avant que la technique ne soit adoptée par une plus grande partie de la communauté d'observation de la Terre [4].

Le spectre électromagnétique est composé d'ondes électromagnétiques à différentes fréquences ou longueurs d'onde. Le spectre peut être largement divisé en ondes radio, micro-ondes, ondes infrarouges, lumière visible, rayonnement ultraviolet, rayons X et rayons gamma. C'est la partie visible du spectre à l'œil humain qui est appelée lumière. Cette partie est définie par une longueur d'onde de 380 à 770 nm.

Pour la détection hyperspectrale, les bandes de lumière visible et infrarouge sont particulièrement importantes. L'œil humain n'est sensible dans le spectre électromagnétique qu'à la lumière visible, c'est-à-dire à la gamme de longueurs d'onde de 380 à 770 nm. En vision photopique, l'œil est le plus sensible à une longueur d'onde de 555 nm, c'est-à-dire jaune-vert. En vision scotopique, la sensibilité culmine à 507 nm (bleu vert). [1], [2]

La nature hyperspectrale de l'acquisition de données permet de générer des facteurs de correction atmosphérique à partir des données elles-mêmes, ce qui est important pour chaque pixel car la transmission atmosphérique varie sur l'image en raison des différences d'altitude et de vapeur d'eau.

### Capteurs de détection

Un élément important des caméras conçues pour l'imagerie est le capteur d'image, qui peut détecter le rayonnement électromagnétique entrant à une gamme de niveaux spectraux allant des rayons X à l'infrarouge. Cela dépend toujours de sa structure et du matériau qui est sensible à la longueur d'onde souhaitée. Le silicium est utilisé pour capturer la photographie conventionnelle (lumière visible), qui peut capturer la lumière aux mêmes longueurs d'onde que l'œil humain et le début du rayonnement infrarouge.

Pour la détection, deux types de capteurs sont couramment utilisés, à savoir Charge-Couple Device (CCD) et Complementary Metal-Oxid (CMOS).

Si les capteurs sont en silicium, ils sont sensibles aux longueurs d'onde de 400 nm à 1000 nm, ils peuvent donc capter une partie du rayonnement proche infrarouge en plus de la lumière visible. Le capteur CCD agit comme un registre à décalage, l'intensité lumineuse détectée sous la forme d'une charge électrique se déplace séquentiellement à travers tout le capteur jusqu'à l'amplificateur de sortie où la valeur est lue et enregistrée. Contrairement à un CCD, un capteur CMOS a son propre amplificateur sous chaque pixel et la valeur de la charge électrique ou de la tension est obtenue à partir de tous les pixels à l'aide d'un bus.

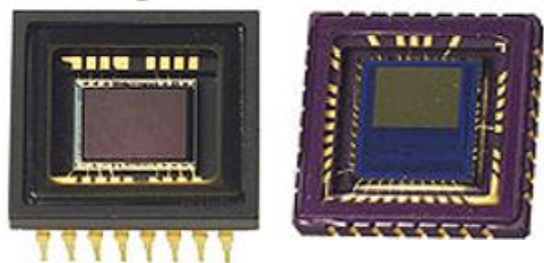


Figure 1 : Capteurs CCD et CMOS.  
Source: <https://netcam.cz/encyklopedie-ip-zahveznani/obrazov-prinima-ccd-cmos-oba>

## Application des caméras hyperspectrales en pratique

Les caméras hyperspectrales ont trouvé des applications dans de nombreuses industries et leur utilisation se développe. L'utilisation la plus courante, et l'une de leurs premières applications, était la télédétection (RS). Une fois imagé, il est possible d'identifier par réflectance les objets au sol, la qualité de l'eau, les conditions forestières et plus encore. Dans la production végétale en particulier, ils sont utilisés, par exemple, pour détecter des plantes stressées ou des arbres infestés qui ne sont pas encore visuellement apparents. Ils sont également utilisés dans la transformation des aliments, le tri des déchets, la médecine légale, la reconnaissance des minéraux ou dans l'armée, par exemple pour détecter les mines en territoire ennemi.

Les possibilités d'application sont loin de s'arrêter là, et d'autres applications voient constamment le jour, notamment en foresterie et en production végétale. Dans la production végétale, l'utilisation de caméras hyperspectrales est très répandue, la caméra étant souvent placée sur un drone de véhicule aérien sans pilote (UAV) spécifique. Ce drone prend alors des photos depuis une certaine hauteur de la surface du sol, où il peut y avoir, par exemple, un champ cultivé ou une forêt.

La détection hyperspectrale a déjà été utilisée pour détecter les fruits et légumes pourris ou endommagés mécaniquement, pour détecter la contamination fécale, pour vérifier les dommages causés par le froid sur les concombres, pour mesurer la fermeté des pêches, pour mesurer la teneur en sucre des pommes ou pour classer les graines de blé infectées par champignons, par exemple, parmi de nombreuses autres applications.

Pour le traitement des données, par exemple, le programme HyperCalib développé dans Matlab [5] permet d'analyser des images hyperspectrales et de reconnaître des échantillons en fonction de la réflectance spectrale choisie. Le programme peut effectuer l'étalonnage, qui est un élément clé après l'acquisition par le logiciel d'imagerie hypercube. De plus, on peut visualiser l'image calibrée à n'importe quelle longueur d'onde, visualiser le spectre d'un seul point d'image avec lissage ou visualiser le spectre d'une région sélectionnée directement sur un graphique dans l'interface utilisateur. Une partie tout aussi importante consiste à effectuer la segmentation, que HyperCalib avec l'outil de Matlab gère également. Bien sûr, exportez les variables pour un travail ultérieur dans l'espace de travail Matlab.

La deuxième partie d'HyperCalib vous permet de sélectionner ou de télécharger des endmembers (réflectance spectrale de référence) sur la base desquels l'analyse est effectuée selon trois algorithmes différents. Cela détermine où se trouve le matériau en fonction de la similarité spectrale. Dans la dernière partie du programme, par exemple, l'encre d'une photographie peut être analysée, et le type d'encre et l'imprimante utilisée peuvent être déterminés sur la base de la réflectance.

L'analyse et le travail avec des données hyperspectrales exigent également de la puissance informatique, nécessitant des dizaines de gigaoctets de RAM et un processeur puissant. Un ordinateur très puissant convient donc à un développement ultérieur et à un traitement rapide des données.

## Liens vers des sujets pertinents

1) FISCHER, Jan. Optoelectronic sensors and videometry [online]. CTU, 2002 [cit. 2020-11-21]. isbn 80-01-02525-X.

2) MUDR. JARMILA BOGUSZAKOVÁ, DrSc. prof. Základy světelné techniky (2) - Odborné časopisy Publisher of Professional Literature. Journal Světlo [online]. 2003, No. 04 [cit. 2020-11-23]. Available from: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/zaklady-svetelne-techniky-2--15893>.



**ITFARM**

3) NAKAMURA, Junichi (ed.). Image Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras. 1st edition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005. isbn 978-0-8493-3545-7.

4) [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/95287/F3-DP-2021-Ruzicka-Miroslav-Parametry\\_hyperspektralnich\\_snimacich\\_systemu.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/95287/F3-DP-2021-Ruzicka-Miroslav-Parametry_hyperspektralnich_snimacich_systemu.pdf?sequence=-1&isAllowed=y)

5) GOETZ, Alexander FH. Three decades of hyperspectral remote sensing of the Earth: A personal view. Remote sensing of environment, 2009, 113: S5-S16.

### **Mots clés**

*spectre électromagnétique*

*spectrométrie d'imagerie*

*imagerie hyperspectrale*

*spectre électromagnétique*

*détection hyperspectrale*

*Dispositif à couple de charge*

*Métal-oxyde complémentaire*



Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Project: Erasmus+ KA220-ADU, Duration: since 01-01-2022 till 30-01-07-2024



**Co-funded by  
the European Union**