FONCTION DE TRANSFERT DE MODULATION

AUTEUR

Thomas Salmon : Northeastern State University, États-Unis

RÉVISION PAR LES PAIRS

Scott Steinman: Southern California College of Optometry, États-Unis

CE CHAPITRE COMPREND UNE RÉVISION DE :

- La fonction de transfert de modulation (FTM)

FONCTION DE TRANSFERT DE MODULATION (FTM)

Puisque toutes les images sont faites de réseaux sinusoïdaux, et que tous les systèmes optiques de même que notre système visuel neural traitent les images par transformations de Fourier, une bonne façon d'évaluer la performance optique et visuelle est d'utiliser des réseaux sinusoïdaux.

Tous les systèmes optiques formant des images, incluant l'œil humain, créent des images qui ne sont pas parfaites. On peut dire que le système optique transfère la distribution de luminance de l'objet à l'image, mais au cours de ce procédé, certaines composantes sont perdues. Même dans un œil qui est parfaitement corrigé pour ses erreurs sphériques et astigmates, les effets optiques tels que la **diffraction**, les **aberrations d'ordre supérieur** et la **dispersion** dégradent l'image d'un certain montant. Comparée à l'objet, même la meilleure image aura un peu moins de contraste. Le degré de perte de contraste varie selon la fréquence spatiale du réseau sinusoïdal de l'image, c'est-à-dire que les images à haute fréquence spatiale tendent à perdre plus de contraste que les images à basse fréquence spatiale. Une façon de caractériser la performance de la formation des images d'un système optique est de décrire la quantité de contraste qui est perdue à travers une gamme de réseaux sinusoïdaux avec des fréquences spatiales variées.

Ceci peut être fait de la façon suivante, qui est également illustrée dans Schwartz, 2004 fig. 7-6. Si un patron test sinusoïdal est présenté au système optique, l'image qui en résulte sera aussi un **patron sinusoïdal avec la même fréquence spatiale**, mais le **contraste** en sera légèrement réduit. Parfois, le contraste est appelé modulation. La réduction de contraste varie avec la fréquence spatiale, et habituellement il y a une plus grande perte dans les hautes fréquences. On veut mesurer à quel point le contraste (ou modulation) est transféré de l'objet à l'image pour chaque fréquence.

On peut reformuler le même concept d'une autre façon. Une manière d'évaluer la performance optique d'une caméra, par exemple, est de voir comment les images produites se comparent aux objets réels. Une très bonne caméra produirait des images très claires qui ressembleraient presque parfaitement à l'objet, mais une caméra de moindre qualité produirait une photographie moins ressemblante, plus embrouillée.

Les ingénieurs sont plus systématiques et utilisent des patrons test standards de haut contraste. En comparant le patron test (l'objet) et son image, ils peuvent déterminer la qualité du transfert de contraste du système optique. Les patrons tests couvrent une grande variété de fréquences spatiales et permettent d'évaluer la qualité du système optique. La figure 13-1 démontre un exemple d'un patron test utilisé par les Forces aériennes des États-Unis. Notez que ce patron n'utilise pas des réseaux sinusoïdaux mais bien des réseaux à ondes carrées.

FONCTION DE TRANSFERT DE MODULATION (FTM) (SUITE)

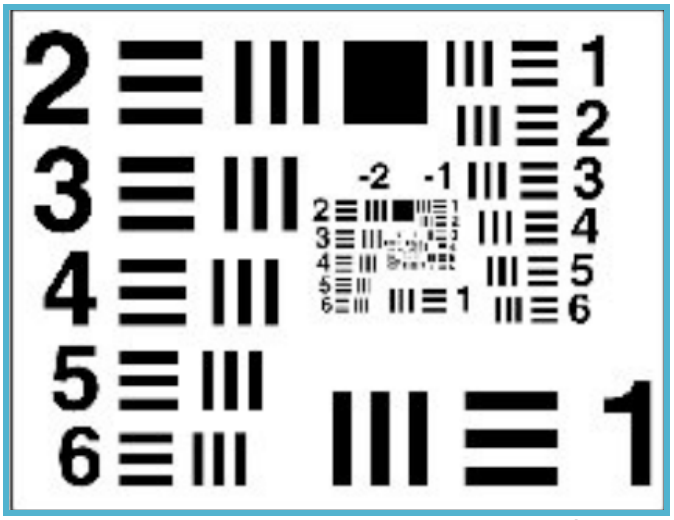

Figure 13-1 : *Test de 1951 de la force aérienne des États-Unis (USAF)*

Q. Comment les réseaux sinusoïdaux diffèrent-ils du patron montré dans la figure 13-1?

R. _____

Q. Nommez deux avantages d'utiliser des réseaux sinusoïdaux comme patron test.

R. _____

La **fonction de transfert de modulation (FTM)** est une façon standardisée de décrire la performance de la formation d'images d'un système optique et est basée sur le principe d'évaluation du système en utilisant des réseaux sinusoïdaux. Pour mesurer la FTM, des réseaux variés de patrons sinusoïdaux de haut contraste sont présentés au système optique et le contraste des images est comparé à celui du patron test. Pour chaque fréquence spatiale, la modulation (ou contraste) transférée (TM) de l'objet à l'image est calculée selon l'équation ci-bas :

$$TM = \frac{\text{(contraste de l'image)}}{\text{(contraste de l'objet)}}$$

Une valeur de 1,0 indique que le contraste de l'image est égal à celui de l'objet, c'est-à-dire qu'il n'y a aucun contraste perdu et que la fréquence de l'image est parfaite. Si, par exemple, on teste le TM en utilisant une grande série de réseaux sinusoïdaux verticaux de diverses fréquences spatiales, tel qu'il est typiquement fait, on peut tracer un graphique de la FTM, en ayant la fréquence spatiale sur l'abscisse et le transfert de modulation sur l'ordonnée (fig. 13-2).

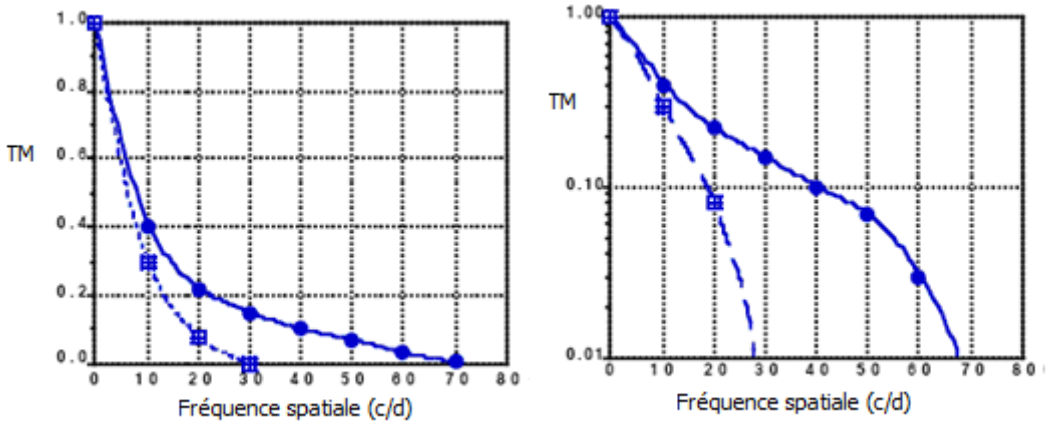

Figure 13-2 : *Exemples de FTM oculaires tracés avec une échelle linéaire (gauche) et logarithmique (droite) pour le TM*

FONCTION DE TRANSFERT DE MODULATION (FTM) (SUITE)

La figure 13-3 illustre aussi le concept de la performance optique en utilisant la FTM. Dans cette figure, la cible devant l'œil contient plusieurs fréquences spatiales (lignes avec diverses largeurs), donc on peut voir que le contraste perdu dans l'image est différent en fonction des parties de l'image. Notez les caractéristiques suivantes qui se retrouvent à la figure 13-2 et 13-3 :

- Il n'y a presque pas de perte de contraste pour la fréquence spatiale la plus faible. Cela veut donc dire que la TM est de 1,0 à la gauche de la courbe de la FTM.
- Lorsque la fréquence spatiale augmente, il y a une baisse régulière de la valeur de TM.
- La **fréquence limite** est la fréquence à laquelle la FTM tombe à zéro.

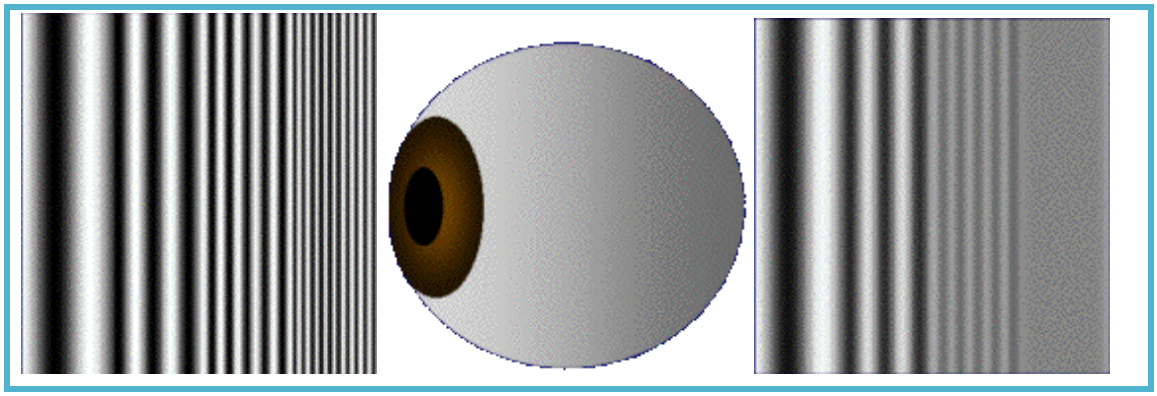

Figure 13-3 : *La fonction de transfert de modulation décrit la performance optique pour déterminer à quel point le contraste est transféré de l'objet (gauche) à l'image (droite). Notez la perte de contraste de l'image rétinienne comparé à l'objet. Quelles fréquences spatiales subissent une plus grande perte de contraste? (Avec la permission de Dre Susana Marcos, Instituto de Optica, Madrid, Espagne)*

La fig. 7-7 de Schwartz, 2004 démontre d'autres exemples de FTM oculaires et l'effet de divers défauts optiques sur la qualité de l'image.

- La **défocalisation** dégrade la performance optique, embrouille les images et réduit la FTM dans les fréquences spatiales plus hautes (mais non dans celles plus basses). Avec une plus grande défocalisation, la limite de haute fréquence est plus faible ; la courbe sera déplacée vers la gauche et vers le bas. Les erreurs réfractives provoquent de la défocalisation. La défocalisation retire les fréquences spatiales plus élevées de l'image, elle agit donc comme un **filtre passe-bas**.
- La **dispersion** dans les milieux optiques réduit la FTM autant pour les fréquences spatiales élevées et basses. Les cataractes causent de la dispersion.

RÉSUMÉ

La fonction de transfert de modulation (FTM) nous indique la qualité de la formation de l'image par le système optique. Puisque les réseaux sinusoïdaux sont les éléments fondamentaux de toutes les images, la FTM peut caractériser complètement la performance de la formation d'images en déterminant la qualité des images de réseaux sinusoïdaux.

En général, l'embrouillement optique, tel qu'une erreur réfractive non corrigée, réduit la FTM des hautes fréquences seulement et donnent une **fréquence limite** plus faible. D'autre part, des opacités des milieux qui dispersent la lumière dans l'œil tendent à réduire la FTM à travers une gamme plus grande de fréquences spatiales, incluant les fréquences moyennes et même basses.

LECTURES RECOMMANDÉES/OUVRAGES DE RÉFÉRENCE

- Schwartz SH. **Visual Perception - A Clinical Orientation, 3rd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, Connecticut, 2004