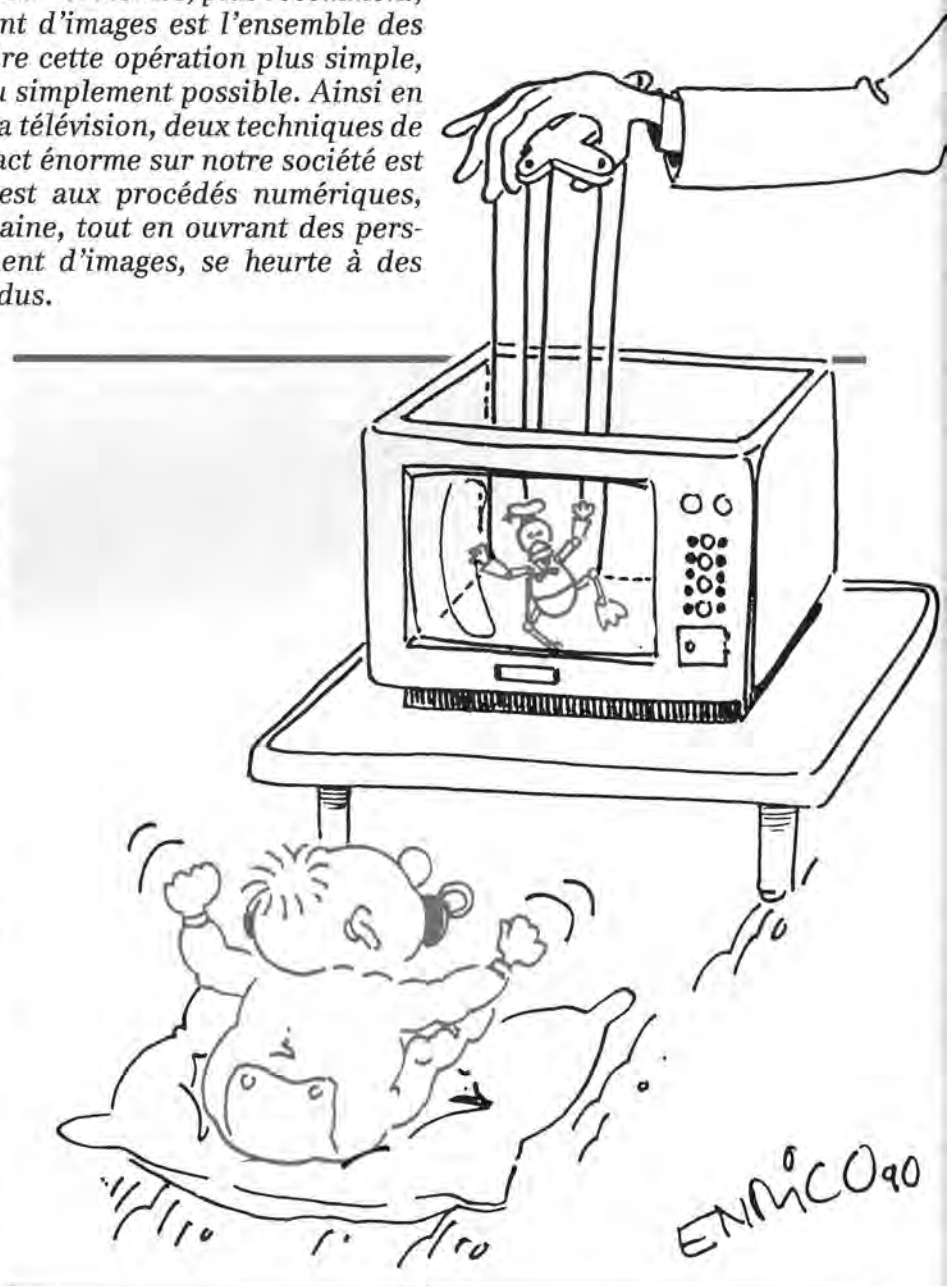
Traitement d'image: passé, présent, avenir

Professeur Murat Kunt
Laboratoire de traitement de signaux
Département d'électricité EPFL

Avec les sons, les images sont nos principaux moyens de communiquer avec nos semblables – et mêmes, plus récemment, avec les machines. Le traitement d'images est l'ensemble des méthodes qui cherchent à rendre cette opération plus simple, plus efficace, plus agréable... ou simplement possible. Ainsi en va-t-il de la photographie et de la télévision, deux techniques de traitement d'images dont l'impact énorme sur notre société est évident. Aujourd'hui, l'heure est aux procédés numériques, mais la recherche dans ce domaine, tout en ouvrant des perspectives fabuleuses au traitement d'images, se heurte à des problèmes méthodologiques ardus.



Les premiers traitements d'images par moyens techniques remontent au XVIII[e] siècle, à l'époque des pionniers de la photographie. La comparaison entre les premiers résultats de noircissement de nitrate d'argent par la lumière et ceux que l'on obtient aujourd'hui avec les films et les appareils disponibles sur le marché montre le progrès accompli dans ce domaine. L'électronique a fait son apparition dans le traitement d'images vers la fin du siècle passé quand le disque de Nipkow a permis en 1984 la transcription d'une image en signal électrique. D'amélioration en perfectionnement, on est arrivé à la télévision vers 1941. Les techniques photographiques, optiques et électroniques analogiques constituent ce qu'on a appelé **traitement analogique d'images.**

En décomposant une image en petites surfaces élémentaires de quelques dixièmes de mm^2 et en associant chacune d'elles à un nombre représentant son intensité lumineuse, il a été possible de transformer cette image en un ensemble de nombres. Même si cet ensemble

* Résumé de la conférence prononcée le 21 novembre 1990 à l'EPFL

peut être très grand (centaines de milliers), il reste acceptable pour certains traitements par ordinateur. Ainsi est né le **traitement numérique d'images,** dont le développement est parallèle à celui de l'informatique.

Reculer les limites du possible

Comparées aux possibilités de traitement qu'offrent les systèmes numériques, celles des traitements analogiques paraissent restreintes. En photographie conventionnelle, par exemple, en variant le temps d'exposition ou les proportions de certains produits chimiques, ou encore en utilisant des masques, on peut modifier l'apparence d'un cliché: contraste, granularité, etc. Toutefois, il est impossible, à l'aide de ces mêmes techniques, de détecter automatiquement la présence d'une voiture dans une image ou d'une cellule cancérigène dans une radiographie, ou encore de compenser les effets d'une mauvaise mise au point lors de la prise de vue.

Les trois secteurs de base du traitement numérique d'images sont la réduction de redondance ou compression, la généralisation à deux ou trois dimensions des concepts classiques du traitement, et la restauration. Dans le premier cas, on cherche à réduire le nombre d'échantillons nécessaires à la représentation d'une image, afin de mieux utiliser les canaux de transmission et les mémoires de stockage (voir exemple ci-contre). Dans le deuxième cas, on vise l'élaboration d'une doctrine qui permette de dégager des traitements particuliers quantifiables et contrôlables. Dans le dernier cas, enfin, le but est d'améliorer la qualité d'une image dégradée. Sur ces trois secteurs viennent se greffer aujourd'hui une multitude de procédés qui font du traitement d'images un domaine important en pleine expansion.

Impasses théoriques

Pourtant, un examen attentif du domaine montre que, malgré les résultats spectaculaires obtenus, le traitement d'images repose sur certaines aberrations. On les observe surtout sur le plan méthodologique (théorie) et sur le plan des moyens mis en œuvre (architecture).

L'aspect théorique du traitement d'images provient, historiquement, du traitement des signaux, qui repose à son tour sur la théorie linéaire. Celle-ci est le «lego» de l'ingénieur. Elle a fait ses preuves dans d'autres disciplines. Hélas, en traitement d'images, elle se heurte à des limites fort restrictives. Pour résoudre des problèmes réels, on doit faire appel à des systèmes non linéaires, dont quelques composants peuvent être linéaires. La grande difficulté des systèmes non linéaires réside dans la faiblesse de l'outil de travail mathématique permettant de les analyser. De ce fait, un travail expérimental important est nécessaire pour déterminer leur validité, leur robustesse et leur domaine d'utilisation. L'arbitraire entre pour une part importante dans l'élaboration de telles théories; la science s'y mélange à l'art et la théorie aux astuces.

De l'acquisition (caméra, par exemple) à l'affichage (écran), la chaîne complète souffre des conséquences de la théorie linéaire. Les données image sont saisies selon



1. Image originale, avant la compression
2. Pendant la compression, les contours des visages sont extraits et les niveaux de gris traités séparément
3. Après avoir été compressée 150 fois, l'image est restituée

une hypothèse d'homogénéité, alors qu'une image est tout ce qu'il y a de plus inhomogène. Cela conduit à une représentation très inefficace dans les parties à faible variation de luminance. Les traitements et l'affichage ne tiennent pas compte du dernier maillon de la chaîne, qui n'est pas l'écran ou le papier photographique, mais le système visuel humain. Ainsi des informations superflues sont traitées et affichées alors qu'elles ne sont pas perçues.

Pour la mise au point des techniques de représentation et de transmission d'images, on fait appel à la théorie de l'information. Basée principalement sur des modèles et les statistiques, cette théorie s'applique avec succès à certains types d'information dont le modèle reflète plus ou moins fidèlement la réalité. Si la source d'information est réduite à une suite de bits «0» ou «1» et que le modèle est valable, elle conduit à d'excellents résultats. Malheureusement, il n'existe aucun modèle qui puisse engendrer la relation complexe qui existe entre la luminance d'une scène et une suite de bits. Finalement, le dernier maillon de la chaîne, le système visuel humain, est complètement ignoré de cette théorie.

La recherche de nouveaux outils

La dernière aberration, et non la moindre, réside dans les moyens de mise en œuvre. Les premiers systèmes de traitement numérique étaient les ordinateurs conventionnels tout usage et monoprocesseurs. Ils sont conçus en effet pour traiter des nombres. Tout traitement qui pouvait se traduire en programme d'ordinateur pouvait être implanté. L'imagination des hommes est si fertile qu'il n'a pas fallu attendre longtemps pour qu'on développe des traitements complexes qui ont saturé ces machines avec des calculs interminables; pour une raison très simple: une image numérique de taille moyenne nécessite environ un demi-million d'échantillons. Même si un ordinateur conventionnel peut effectuer plusieurs millions de multiplications par seconde, sa vitesse de calcul ne suffit plus pour un nombre aussi élevé d'échantillons quand il faut faire quelques centaines d'opérations par valeur. Le moyen n'est pas adapté du tout à la nature des données. C'est comme si l'on demandait à un ouvrier de construire, à lui seul, un complexe immobilier comme l'EPFL ou le CHUV.

C'est pourquoi, tout en recherchant des représentations plus efficaces pour les images, on s'est intéressé aux architectures parallèles d'ordinateur. Mais, au fur et à mesure que les progrès de la technologie nous offrent des machines plus rapides, les applications et les traitements sont toujours plus gourmands en calculs. Cette réaction en chaîne, à peine contrôlable, est devenue encore plus critique lorsqu'on s'est avisé d'imiter les facultés humaines de reconnaissance, ce qui implique un traitement d'images préalable.

Le modèle biologique

En admiration devant la faculté qu'a notre cerveau de résoudre les problèmes de reconnaissance visuelle, plusieurs chercheurs s'intéressent à son fonctionnement pour en tirer des indications utiles à l'élaboration de nouvelles machines de traitement d'images et d'analyse de scènes, appelés ordinateurs neuroniques. Ces derniers émulent la physiologie et l'anatomie du système nerveux. L'application liée à la compression d'images basées sur ce principe a déjà fait ses preuves. Bien qu'on n'en sache encore pas grand-chose, la partie la mieux connue de notre système nerveux se trouve être celle qui est liée à la vision. La poursuite de son étude est utile à un double titre: pour tenir compte de ses propriétés comme dernier maillon et pour s'en inspirer dans l'élaboration des méthodes.

En neurobiologie, la situation des chercheurs est comparable à celle que nous avons décrite dans le domaine du traitement d'images. Les deux secteurs qui progressent sont la neurophysiologie et la neuroanatomie, qui s'occupent respectivement des fonctions et des structures du système nerveux. La théorie et l'architecture sont aussi l'objet de recherches. Les progrès sont lents et les questions les plus importantes sont loin d'être résolues.

Murat Kunt

Murat Kunt est né à Ankara, en Turquie, le 16 janvier 1945, dans une famille cultivant tout à la fois l'humour, le pétrole, l'art décoratif et la culture hellénistique. Ses premières études se déroulent à Istanbul, aux bord du Bosphore. De son séjour sur les bancs du Lycée Galatasaray, où il fit ses études en français et obtint un baccalauréat-mathématique en 1963, il garde une solide fascination pour les grands noms de la science, notamment Albert Einstein, dont le portrait trône toujours dans son bureau.

De là probablement son intérêt pour la physique, branche qu'il vient étudier à l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne. En 1969, au moment de la fédéralisation de cette école, il obtient son diplôme d'ingénieur-physicien avec un travail pratique qui, déjà, montre sa passion grandissante pour les méthodes de l'informatique.

Il entre alors, comme jeune assistant, à la Chaire d'électronique de l'EPFL – bientôt rebaptisée Laboratoire d'électronique générale – dirigée par notre regretté maître et ami Roger Dessoulavy. C'est l'époque où, fraîchement revenu des Etats-Unis d'Amérique, je prends moi-même en main le développement d'une activité plus spécifique d'enseignement et de recherche dans le domaine de la théorie du signal et de l'information, et de son fer de lance: le traitement des signaux. Murat Kunt, séduit par ce domaine dont on pressent déjà la croissance fulgurante associée à l'explosion des technologies électroniques et informatiques, se passionne immédiatement pour les approches numériques de ces problèmes. Il se joint donc immédiatement au nouveau Laboratoire de traitement des signaux, lors de sa création officielle en 1972. Très

Trente ans, la vie devant soi...

On a au moins pris conscience de la difficulté de l'énigme à laquelle on s'est attaqué, sans réussir pour autant à exprimer avec précision et clarté cette difficulté... D'un côté, l'habitude de disséquer un problème complexe en sous-problèmes plus simples ne nous éclaire que



impressionné par un numéro spécial, consacré au traitement numérique des images, d'une revue scientifique internationale prestigieuse, il décide de faire de ce sujet son domaine de spécialisation. Sa thèse de doctorat ès sciences techniques – défendue avec succès en 1974 – sera son tremplin d'envol dans le monde fascinant des signaux bidimensionnels et des méthodes de compression de l'information. Sous le titre Comparaison de techniques d'encodage pour la réduction de redondance d'images facsimile à deux niveaux, *il y proposera de nouvelles méthodes pour l'encodage efficace des images en noir et blanc, de performances comparables aux techniques utilisées aujourd'hui pour la télécopie.*

Au bénéfice d'une bourse de relève du Fonds national suisse de la recherche scientifique, Murat Kunt rejoint ensuite pour deux ans le Massachussetts Institute of Technology, aux USA. Il y est accueilli, au titre de «visiting-scientist», par le Cognitive Information Processing Group, *dirigé à l'époque par le Professeur Murray Eden. Plusieurs membres de ce groupe viendront ultérieurement à l'EPFL comme professeur-invité. Il poursuit au MIT la recherche amorcée dans sa thèse en l'élargissant à des contextes nouveaux: télédistribution et stockage d'images biomédicales. Il y découvre aussi l'importance de la prise en compte, dans ce domaine, des facteurs physiologiques et psychologiques du système visuel humain.*

De retour à l'EPFL en 1976, il est nommé chargé de cours en traitement numérique des signaux et des images. Il signe aussi le volume XX du Traité d'électricité de l'EPFL, volume consacré à ce sujet et qui obtient un grand succès. Grâce notamment aux nombreux contacts établis lors de son séjour au MIT, il devient le promoteur de collaborations internationales. Celles-ci se cristalisent par le lancement d'un cycle européen de conférences en traitement des signaux (EUSIPCO, dont la première édition a lieu, avec un grand succès, à l'EPFL en 1980), d'une association spécialisée qui en assure le parrainage (EURASIP) et de sa revue principale dont il assume toujours la responsabilité de rédacteur en chef: Signal Processing. *Il participe également à plusieurs conseils scientifiques de laboratoires de recherche ou d'organismes internationaux. L'année 1980 marque aussi son accession à la nationalité suisse et à la citoyenneté de la ville de Renens.*

*Au Laboratoire de traitement des signaux (LTS), il développe une activité de recherche de plus en plus indépendante dans le domaine de l'analyse automatique d'images, de la représentation efficace de l'information visuelle, de la modélisation des signaux et des applications industrielles associées. Le LTS devient alors, sous son impulsion, un centre de compétence reconnu en matière de techniques de compression d'images dites de deuxième génération, dont les performances remarquables sont principalement dues à la prise en compte des propriétés du système visuel humain. En 1981, Murat Kunt reçoit le titre de professeur titulaire. En 1986, l'*Institute of Electrical and Electronics Engineers *(IEEE) lui décerne le grade honorifique de «Fellow», en témoignage de sa réputation internationale grandissante.*

L'année 1986 marque un tournant. Simultanément, je me vois investi de nouvelles responsabilités dans le cadre de l'EPFL (promotion de l'EAO et création d'un laboratoire approprié) et la qualité et la notoriété des recherches dirigées par Murat Kunt lui valent d'être fortement impliqué dans un vaste accord de coopération entre l'EPFL et l'industrie. Infatigable, Murat Kunt multiplie également les propositions de projets nouveaux, soit dans le cadre des recherches financées par le FNRS, soit dans celui des projets européens soutenus par les programmes COST ou ESPRIT. En parallèle, il met sur pied un cycle d'études postgrade en traitement de l'information, avec application aux systèmes, signaux et images, qui fait appel à un corps enseignant éclectique et très international.

En 1989, il est finalement nommé professeur extraordinaire à l'EPFL et reprend la direction du Laboratoire de traitement des signaux, dont le personnel administratif, scientifique et technique s'est considérablement accru grâce à ses efforts, pour atteindre aujourd'hui le chiffre respectable d'une trentaine de professeurs et collaborateurs. La liste des publications du laboratoire est impressionnante, près de cent cinquante, une majorité d'entre elles étant d'ailleurs signées ou cosignées par Murat Kunt.

De son enfance passée sur les bords de la mer de Marmara, et de ses escapades en bateau entre le village de Pendik et les îles des Princes, Murat Kunt a gardé une passion pour la mer. Son bateau, ancré en Méditerranée, est le refuge où il se précipite en famille au moment des vacances. En bon marin, Murat Kunt sait que l'exploration de nouveaux rivages implique de se méfier des récifs, que lorsque la brise se fait menaçante, on peut encore garder le cap à la condition de réduire la voilure, et qu'après la tempête il y a toujours le retour du beau temps.

Alors, capitaine Kunt, bon vent!

Professeur Frédéric de Coulon
Département d'électricité EPFL

très partiellement: la synthèse des résultats partiels paraît impossible. D'un autre côté, l'approche globale conduit rapidement à la compétition de plusieurs théories équivalentes. Le choix reste arbitraire ou nécessite davantage d'expérimentation... dont les résultats révèlent d'autres complexités. Le chercheur est ainsi condamné à disséquer. On peut légitimement se demander si, face au problème que pose le système visuel humain, il ne faut pas changer fondamentalement notre façon de penser pour éviter de tourner en rond.

Malgré ses trente ans, il faut voir le traitement numérique d'images comme un bébé nouveau-né. Un enfant naît avec tout son système visuel en place mais ne voit rien pendant les premiers mois de sa vie. Ensuite, petit à petit, tout se met en place et sa vision se précise progressivement. Même si beaucoup d'applications spectaculaires du traitement d'images ont pu être réalisées, l'essentiel reste encore à faire. Bel avenir pour un domaine scientifique! ■