



CONFÉDÉRATION SUISSE
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

⑤ Int. Cl.³: G 06 F 15/20
G 06 K 9/80

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein



⑫ FASCICULE DU BREVET A5

⑪

637 231

⑲ Numéro de la demande: 2977/79

⑳ Date de dépôt: 30.03.1979

㉔ Brevet délivré le: 15.07.1983

㉕ Fascicule du brevet
publié le: 15.07.1983

㉗ Titulaire(s):
The Environmental Research Institute of
Michigan, Ann Arbor/MI (US)

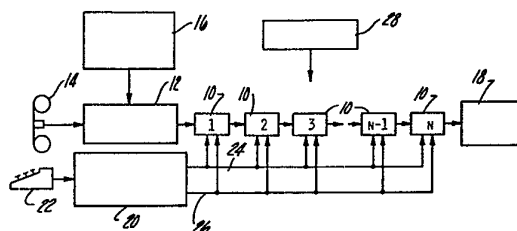
㉘ Inventeur(s):
Stanley R. Sternberg, Ypsilanti/MI (US)

㉚ Mandataire:
Micheli & Cie, ingénieurs-conseils, Genève

⑤④ Dispositif de traitement d'images.

⑤⑦ Le dispositif comprend essentiellement une série d'étages de transformation de voisinage (10), branchés entre une source de données (12) et un dispositif d'affichage et/ou d'enregistrement (18). Chaque étage accomplit une transformation particulière sur la matrice dont des points définissent l'image à traiter, et cette transformation augmente ou diminue le nombre d'états possibles pour chaque point de l'image.

Ce dispositif est utilisable notamment pour le traitement automatique des images de radar.



REVENDECATIONS

1. Dispositif de traitement d'images, caractérisé en ce qu'il comprend un générateur qui engendre un train série de signaux électriques numériques qui ont plusieurs états possibles et qui représentent chacun un point d'une matrice de points définissant une image; une chaîne série d'étages de transformation de voisinage, pratiquement identiques, chaque étage comportant une entrée qui reçoit un train série de signaux de sortie numériques qui provient de l'étage précédent, un élément d'extraction de voisinage qui comprend plusieurs dispositifs numériques de mémoire branchés en série, pour enregistrer temporairement les états d'un voisinage de la matrice qui est formé par un point central et par des points environnants dans la matrice, un élément qui décale les signaux dans les dispositifs de mémoire pour accéder séquentiellement à tous les voisinages de la matrice et un élément de commande numérique qui est branché à chaque dispositif de mémoire, qui analyse chaque voisinage au moment où il est présenté aux dispositifs de mémoire et qui applique un train série de signaux de sortie modifié à l'entrée de l'étage suivant, en fonction du résultat de l'analyse, cet élément de commande comprenant un organe qui enregistre une configuration de voisinage donné et un organe qui compare la configuration enregistrée avec celle qui est enregistrée dans les dispositifs de mémoire de l'élément d'extraction de voisinage; et un organe programmable central qui est branché à l'élément de commande de chaque étage, pour modifier sélectivement l'analyse des voisinages dans chaque étage, en transmettant des configurations de voisinage données particulières à l'élément de commande de chaque étage, tandis que l'entrée du premier étage de transformation est branchée au générateur et que la sortie du dernier étage est branchée à un dispositif de sortie qui utilise la matrice de sortie transformée.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le signal de sortie de l'élément de commande a un nombre d'états possibles qui est supérieur à celui de chaque point qui est analysé.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que le dispositif de sortie qui utilise la matrice transformée comprend un visuel qui affiche une matrice de points qui représente une configuration dans laquelle chaque point peut avoir un nombre d'états possibles supérieur à celui du point équivalent dans la matrice d'origine qui est appliquée au premier étage.

4. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel un voisinage consiste en un tableau de $N \times M$ points, caractérisé en ce que l'élément d'extraction de voisinage comprend $N \times M$ dispositifs de mémoire.

5. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'élément de commande comprend un élément qui compare l'état du point central dans le voisinage considéré avec une valeur que fournit l'organe programmable.

6. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'élément de commande comprend un élément qui compare l'état des points environnants dans le voisinage considéré avec une valeur que fournit l'organe programmable.

La présente invention concerne des dispositifs de traitement et de reconnaissance d'images, et porte plus particulièrement sur une catégorie de dispositifs automatiques de traitement d'images qui utilisent les techniques de la géométrie intégrale et d'autres méthodes mathématiques pour classer des formes dans une image d'entrée, qui consiste en une silhouette.

Il existe de très nombreuses applications dans lesquelles il serait souhaitable de disposer d'une machine capable de reconnaître, analyser et/ou classer automatiquement des formes qui existent dans les images du type silhouette (images uniformément noires sur un fond blanc). Parmi les problèmes les plus simples, qui ont été résolus à

l'aide de machines, avec au moins un succès limité, figurent la reconnaissance des caractères alphanumériques et la reconnaissance ou le comptage de certaines particules, comme les cellules sanguines.

Parmi des tâches plus ambitieuses de cette catégorie, qui apparaissent au-delà des possibilités de la technologie actuelle, on peut citer la reconnaissance automatique d'objectifs militaires à partir de capteurs de thermographie ou la traduction d'une écriture manuscrite en un code utilisable par une machine.

On a écrit des programmes perfectionnés pour réaliser des travaux d'analyse et de classification des formes à l'aide d'ordinateurs universels. Le succès limité qu'a rencontré l'utilisation d'ordinateurs universels pour l'analyse et la classification des formes tient au temps de traitement extrêmement long qui est nécessaire pour traiter les images qui comportent un très grand nombre de points de données. Il semble plus prometteur d'utiliser un ordinateur spécialisé qui met en œuvre une technique mathématique applicable aux données sous forme d'images; la géométrie intégrale est l'une de ces techniques. Dans une telle technique, on considère les données d'entrée comme un tableau qui comporte $M \times N$ éléments, ces éléments consistant en 0 et 1 qui représentent les éléments noir ou blanc de l'image. A partir du tableau d'entrée, on élabore un autre tableau de $M \times N$, et chaque point du second tableau est une fonction de l'état du point équivalent du tableau initial ainsi que de divers points voisins dans le tableau initial. On effectue une série de transformations de ce type pour déterminer un certain nombre de caractéristiques des formes que représente le tableau initial. Par exemple, le brevet US N° 3241547 décrit un dispositif de traitement d'images spécialisé de ce type, utilisé pour compter les lymphocytes dans le sang. On trouve la description de dispositifs utilisant des traitements similaires pour réaliser ces transformations de voisinage, dans les articles: «Pattern Detection and Recognition» par Unger, «Proceedings of the IRE» (1959), p. 737, et «Feature Extraction» par Golay, «Hexagonal Pattern Transformers», par Preston, Jr., «IEEE Transactions on Computers», vol. C-20, N° 9 (septembre 1971).

L'article «The Texture Analyzer», in «Journal of Microscopy», vol. 95, partie II (avril 1972), pp. 349-356, décrit un autre type de machines spécialisées qui mettent en œuvre une forme d'analyse par géométrie intégrale employant ce que l'auteur appelle des transformations par succès/échec.

Tous ces dispositifs de traitement d'images de l'art antérieur fonctionnent sur des images dont les points de données ont été réduits sous forme binaire, c'est-à-dire sous forme de 0 ou 1, conformément aux nécessités habituelles de la géométrie intégrale. En ce qui concerne les applications de la géométrie intégrale à la reconnaissance des formes, on pourra consulter les ouvrages ou articles suivants:

1. G. Matheron, «Random Sets and Integral Geometry, Wiley (1975).

2. Albert B.J. Novikoff, «Integral Geometry as a Tool in Pattern Perception», in «Principles of Self-Organization», publié par Von Foerster et Zopf, Pergamon Press (1962).

3. J. Serra, «Stereology and Structuring Elements», in «Journal of Microscopy», vol. 95, 1^{re} partie (février 1972), pp. 93-103.

L'invention concerne de façon générale un dispositif de traitement d'images qui utilise une extension du principe de la géométrie intégrale, dans laquelle les transformations font intervenir des matrices dans lesquelles on peut affecter à chaque point d'une image un nombre d'états supérieur aux états que peut prendre un point dans l'image d'origine. Par exemple, si l'image d'origine numérisée est une silhouette, dont les points sont exprimés par des valeurs binaires, les matrices qui résultent des transformations de cette image peuvent avoir trois états ou valeurs — ou davantage — pour chaque point de l'image. L'extension de la géométrie intégrale à ces transformations à états multiples et le dispositif objet de l'invention qui met en œuvre les techniques mathématiques sont nettement plus simples et/ou plus puissants que les techniques et les machines correspondantes à l'art antérieur, et ils permettent un progrès important dans la capacité à

reconnaître, à analyser et à classer des formes du type silhouette. Le dispositif de traitement d'images objet de l'invention est défini dans la revendication 1.

On verra au cours de la description détaillée qui suit d'un mode de réalisation avantageux de l'invention que le dispositif de traitement d'images se présente sous la forme d'une chaîne série d'étages de traitement identiques, et chaque étage consiste en partie en registres à décalages à plusieurs bits et en mémoires vives, correspondant à n'importe quelle technologie de mémoire, comme des mémoires à tores, à semi-conducteurs ou à bulles magnétiques. Dans le mode de réalisation préféré, on exprime chaque point de l'image avec 2 bits, si bien qu'il peut prendre un état parmi quatre possibles. Dans d'autres modes de réalisation, la gamme des états des points de l'image pourrait être encore plus étendue. Le registre à décalage qui fait partie de chaque étage de traitement a pour fonction d'accéder séquentiellement à tous les voisins possibles, dans l'image d'entrée de l'étage. On suppose dans ce but que les points de l'image sont appliqués à l'étage sous forme séquentielle, avec analyse ligne par ligne. Le registre à décalage comporte des accès de sortie en des emplacements appropriés, ce qui permet d'examiner simultanément la valeur de n'importe quel point et de ses voisins immédiats. Ces valeurs disponibles simultanément forment l'argument d'une fonction logique qui est mise en œuvre par une mémoire vive, un réseau logique programmable ou un réseau d'éléments logiques.

Pendant le décalage dans le registre des points représentés dans la matrice, on examine séquentiellement chaque point de données et ses voisins, et le circuit logique engendre un point de données transformé qui est une fonction de la valeur du point de données équivalent dans l'image d'entrée et des valeurs des points de données voisins, dans l'image d'entrée. La fonction logique que l'on applique à ces valeurs de voisinage donne un signal de sortie pour un seul étage de traitement et ce signal est appliqué à l'étage de traitement suivant de la chaîne qui accomplit une autre transformation.

On peut modifier la nature de la transformation qu'accomplit chaque étage de traitement sous la commande d'une unité centrale de programmation qui communique avec chaque étage de traitement d'images.

Le principe qui consiste à effectuer des transformations de géométrie intégrale à plusieurs étages, dans un réseau série d'étages de traitement identiques, supprime la nécessité de disposer de divers dispositifs d'enregistrement d'images périphériques et d'éléments arithmétiques et logiques, qui sont normalement associés aux dispositifs spécialisés de traitement d'images. En outre, l'information de sortie de chaque étage de traitement apparaît au même rythme que son information d'entrée, et sa vitesse de fonctionnement n'est limitée que par la technologie que l'on utilise pour le registre à décalage et le circuit logique. Ainsi, le dispositif de traitement de type série traite en temps réel les données que produit un capteur à analyse par lignes, et l'image analysée est continuellement disponible en sortie du dernier étage de traitement, avec seulement un retard fixe qui est proportionnel au nombre d'étages de traitement dans la chaîne série.

Le procédé de traitement mis en œuvre par le dispositif objet de l'invention consiste de façon générale à réaliser des transformations de voisinage sur une matrice bidimensionnelle qui est formée par des points de données d'image qui ont N états possibles, pour créer des matrices transformées dans lesquelles chaque point de données d'image est exprimé par $N \pm M$ états possibles. Par exemple, si chaque point de données d'image a deux valeurs possibles dans les données d'entrée, le premier étage de traitement peut engendrer une matrice transformée dans laquelle chaque point de données d'image peut avoir une valeur parmi trois. Les transformations suivantes qu'accomplissent les étages de traitement ultérieurs de la chaîne peuvent augmenter ou diminuer le nombre d'états que l'on peut affecter à un point de données d'image. Bien que la plupart des transformations augmentent ou diminuent d'une unité le nombre d'états possibles que l'on utilise pour exprimer un point de données d'image, le procédé est suffisamment général pour englober des

transformations qui changent de plus d'une unité le nombre d'états possibles.

A titre d'exemple simple du procédé analytique que permet de mettre en œuvre l'invention, on va considérer le tableau bidimensionnel de 1 et 0 que représente la fig. 1, et les 1 de ce tableau forment un certain nombre de courbes ouvertes, ne se coupant pas, de différentes longueurs. On va considérer l'opération qui consiste à sélectionner parmi ces courbes celles dont la longueur est supérieure à L, c'est-à-dire un nombre entier pair exprimé en unités correspondant à l'écartement minimal entre deux points du tableau, c'est-à-dire la limite de résolution du tableau bidimensionnel. Le premier étage de traitement d'une chaîne série d'étages applique au tableau d'entrée une transformation de voisinage dans laquelle tous les 1 qui ont un seul voisin immédiat 1 sont convertis en 2, tous les autres points d'image conservant leur état initial (voir la fig. 2). Cette transformation marque les points d'extrémité de chaque ligne. On accomplit ensuite une série de transformations identiques dans lesquelles chaque point de l'image de valeur 1 qui a un 2 dans son voisinage immédiat est converti en un 2. On effectue cette transformation $(L/2) - 1$ fois, dans $(L/2) - 1$ étages de traitement qui suivent l'étage initial de la chaîne. A ce moment, toutes les lignes de longueur inférieure ou égale à L consistent uniquement en 2 et les lignes plus longues ont une partie centrale formée par des 1 (voir la fig. 3). On accomplit ensuite une série de $L/2$ transformations dans les $L/2$ étages de traitement suivants et, dans ces transformations, chaque point qui consiste en un 2 et qui a un voisin immédiat 1 est converti en un 1. Après cette série de transformations, les lignes de longueur supérieure à L sont représentées par des 1 et les lignes de longueur inférieure ou égale à L sont représentées par des 2 (voir la fig. 4). On a ainsi classé les lignes en deux groupes en fonction de leur longueur et on les a marquées par deux valeurs différentes de points de données de l'image. Le traitement est réalisé dans une chaîne de L étages de transformation.

En considérant cette série de transformations, il convient de noter que l'image transformée de chaque étage de la série contient une quantité d'information qui est suffisante pour reconstruire l'image d'entrée d'origine. Ainsi, il n'est nullement besoin d'enregistrer l'image d'origine, ou n'importe quelle image intermédiaire, comme c'est le cas dans les dispositifs d'analyse d'image de l'art antérieur. Il n'est pas non plus nécessaire d'additionner ou de soustraire les images l'une par rapport à l'autre, comme doivent le faire les analyseurs d'image de l'art antérieur, du fait que les transformations effectuées par le dispositif objet de l'invention permettent d'obtenir des résultats équivalents.

Pour réaliser le traitement ci-dessus avec un dispositif de traitement d'images construit conformément à l'invention, il suffit simplement de programmer une chaîne série d'étages de traitement, de longueur égale au nombre de transformations de voisinage que comporte l'algorithme de discrimination de longueur. On peut employer un organe de commande central pour programmer les étages individuels du dispositif de traitement série, pour leur faire accomplir des transformations de voisinage particulières, et cet organe de commande reçoit ses données d'un clavier ou de toute autre source d'information appropriée. Selon une variante, on pourrait concevoir un langage de programmation de niveau supérieur pour programmer les étages de traitement individuels. Par exemple, pour réaliser la série de transformations décrite ci-dessus, on peut introduire le nombre L dans l'organe de commande central à partir d'un clavier. Cet organe programme alors les étages appropriés de la chaîne aux instants appropriés, ce qui évite à l'utilisateur d'avoir à désigner successivement $L + 1$ fois la transformation nécessaire.

Chaque étage de traitement effectue une transformation similaire sur son train de données d'entrée. Tout d'abord, on contrôle la cellule centrale du voisinage à neuf cellules, pour déterminer si elle a la valeur K1. On contrôle ensuite un sous-ensemble N formé par les huit cellules de voisinage de frontière, pour déterminer s'il existe au moins une cellule de valeur K2 dans ce sous-ensemble. Si ces deux conditions sont remplies, on change la valeur de la cellule centrale

pour lui donner la valeur K3. Programmer un étage de traitement consiste à introduire les valeurs pour N, K1, K2 et K3 dans les registres de mémoire appropriés de l'étage.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre d'un mode de réalisation avantageux et en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

les fig. 1 à 4 sont des tableaux qui montrent une série de transformations effectuées par le dispositif de l'invention ;

la fig. 5 est un schéma synoptique d'une forme d'exécution du dispositif objet de l'invention qui est destiné à réaliser les transformations ;

la fig. 6 est un schéma synoptique d'une partie du circuit d'un étage caractéristique que l'on utilise dans le dispositif de la fig. 5 pour extraire séquentiellement les voisinages de cellule à partir d'un train de données d'entrée ;

la fig. 7 est un schéma synoptique du décodeur d'adresse et du registre de mémoire de l'un des étages du dispositif de la fig. 5 ;

la fig. 8 est un schéma synoptique des circuits que l'on utilise dans un étage du dispositif de la fig. 5, pour déterminer l'identité entre les valeurs des cellules du voisinage et le contenu du registre K2 ;

la fig. 9 est un schéma synoptique du circuit d'un étage du dispositif de la fig. 5, qui détermine l'identité entre une cellule centrale et le contenu du registre K1 ;

la fig. 10 est un schéma synoptique d'un circuit qui appartient à chaque étage du dispositif de la fig. 5 et qui détermine un sous-ensemble de voisinage qui dépend de la position ;

la fig. 11 représente des sous-tableaux caractéristiques qui définissent l'ensemble de positions du tableau d'entrée qui sont traitées avec des configurations de voisinage identiques par les étages du dispositif de la fig. 5, et

la fig. 12 est un schéma synoptique d'une autre configuration possible pour le circuit qui compare les valeurs de chaque cellule voisine avec le contenu du registre K2.

On peut mettre en œuvre le procédé de traitement à l'aide d'un ordinateur universel programmé de façon appropriée, mais ce procédé est tel qu'il permet l'utilisation d'une catégorie d'ordinateurs spécialisés relativement simples et extrêmement puissants. La fig. 5 montre qu'un mode de réalisation avantageux du dispositif de l'invention consiste en un certain nombre d'étages 10, ou modules, qui sont pratiquement identiques les uns aux autres et qui sont branchés en série. La sortie de chaque étage attaque l'entrée de l'étage suivant de la chaîne. Le nombre d'étages disponibles limite le nombre de transformations que peut accomplir le dispositif en une seule passe sur les données d'entrée. Du fait que chaque étage est relativement simple et économique, on peut réaliser matériellement des dispositifs de traitement qui comprennent des centaines ou des milliers d'étages et ces dispositifs présentent un avantage de coût par rapport à un ordinateur universel.

La matrice de données d'entrée qui est appliquée au premier étage 10 de la chaîne provient d'une source de données 12 qui peut comprendre un dispositif d'enregistrement — comme une bande magnétique 14 — ou qui peut représenter un dispositif de numérisation qui travaille sur un train de données qui provient d'un dispositif fonctionnant en temps réel, comme un récepteur de radar 16.

L'information de sortie du dernier étage 10 de la chaîne est appliquée à un dispositif d'affichage ou d'enregistrement 18 qui peut se présenter sous la forme d'un visuel à tube cathodique — ou d'un enregistreur à bande magnétique — par exemple, qui pourrait ultérieurement présenter une image sur un visuel.

L'organe programmable central de commande 20 détermine la transformation qu'accomplit chaque étage 10. Un clavier 22, ou toute autre source de programme appropriée, comme des cartes perforées, une bande, etc., permet de modifier le fonctionnement de l'organe de commande. L'organe de commande 20 est connecté à chaque étage par une ligne bus d'adresse 24 et une ligne bus de transformation 26. Pour modifier la transformation qu'accomplit un seul étage, l'organe de commande 20 applique tout d'abord l'adresse

de cet étage sur la ligne bus 24, puis il applique un code de transformation approprié sur la ligne bus 26. Chaque étage 10 contient un élément d'adressage qui compare une adresse particulière enregistrée avec l'adresse qui est appliquée sur la ligne bus 24. Lorsque la comparaison indique la coïncidence, le code de transformation qui suit sur la ligne bus 26 est enregistré dans l'étage et commande son mode de fonctionnement.

Tous les circuits du dispositif de traitement fonctionnent de manière synchrone, sous la commande des signaux d'horloge qu'engendre une horloge 28.

Les fig. 6 à 10 montrent les principaux sous-ensembles logiques d'un étage 10 de type caractéristique. La fig. 6 montre le système à décalage 30 qui extrait séquentiellement les neuf voisinages de cellules du train de données d'entrée. Dans cette représentation, chaque cellule 1A, 1B-9A, 9B peut prendre une valeur parmi quatre possibles, et il faut donc 2 bits d'enregistrement par cellule pour tous les étages du registre à décalage. Si la matrice de données d'entrée a une largeur de W éléments, chaque registre à décalage 32, 34 doit avoir une longueur de W-3 étages.

Chaque étage de traitement possède une adresse qui est déterminée par sa position dans la chaîne des étages de traitement. Pour programmer un étage, l'organe de commande transmet simultanément l'adresse de l'étage à programmer, sur la ligne bus d'adresse, et les valeurs de N, K1, K2 et K3, sur la ligne bus de données. La valeur de N est un nombre binaire à 8 bits, dans lequel un 1 dans la position de bit de rang i indique que la cellule de voisinage de frontière i doit faire partie du sous-ensemble de voisinage N de la cellule centrale (voir la fig. 6 pour le numérotage des cellules de voisinage de frontière). La fig. 7 montre la configuration du décodeur d'adresse 36 et des registres de mémoire 38-44.

Pour chaque voisinage qui est extrait, un groupe de huit comparateurs 46-50 (voir la fig. 8) compare la valeur à 2 bits de chaque voisin avec le contenu du registre K2 42. Le signal de sortie du comparateur est à 1 si, et seulement si, le contenu des cellules de voisinage correspond au contenu du registre K2. Le signal de sortie de chaque comparateur est alors transmis sélectivement par la porte ET respective qui est commandée par le bit approprié du registre de sous-ensemble de voisinage, ou registre N38. Le signal de sortie de n'importe quelle porte ET52-56 est à 1 si, et seulement si, la position de voisinage correspondante fait partie du sous-ensemble de voisinage N et le contenu de la cellule de voisinage est égal à K2. Une seule porte OU 58 reçoit le signal de sortie de toutes les portes ET et son signal de sortie est à 1 si, et seulement si, une cellule de voisinage, au moins, du sous-ensemble N a la valeur K2.

Le comparateur 60 qui est représenté sur la fig. 9 compare le contenu des cellules centrales avec celui du registre K1. Le signal de sortie du comparateur 60 est à 1 si, et seulement si, la cellule centrale a la valeur K1. Lorsque cette condition est remplie en même temps que la condition examinée précédemment sur les cellules de voisinage, la porte 62 est activée et le signal de sortie du multiplexeur 64 est fixé à K3. Dans le cas contraire, le signal de sortie du multiplexeur 64 est égal au contenu de la cellule centrale. Le signal de sortie du multiplexeur constitue le train de données de sortie d'un étage.

Il peut ne pas être toujours souhaitable de traiter exactement de la même manière toutes les cellules d'un tableau, indépendamment de leur position dans le tableau. De façon générale, le sous-ensemble N des voisins d'une cellule centrale dont la position est i, j dans le tableau peut-être une fonction de la position de la cellule centrale.

La fig. 10 montre comment on détermine le sous-ensemble de voisinage N_{ij} qui est fonction de la position. L'ensemble de toutes les positions de cellule du tableau d'entrée qui sont traitées avec des configurations de voisinage identiques constitue un sous-tableau. On peut fractionner un tableau en N sous-tableaux, en désignant par M un nombre égal à 2, 3, 4 ou davantage. La fig. 11 illustre certains sous-tableaux utiles.

Pour le traitement des sous-tableaux, il est commode de remplacer le registre N par un élément de mémoire 66 à plus grande capa-

cité, c'est-à-dire un élément qui est capable d'enregistrer M mots à 8 bits correspondant à M sous-ensembles de voisinage, c'est-à-dire un pour chacun des M sous-tableaux possibles. La sélection du signal de sortie de cet élément de mémoire de voisinage s'effectue par le signal d'entrée de l'élément qui correspond à l'étiquette de sous-tableau R, avec $R = 1, 2, \dots, M$. L'organe de commande peut programmer l'élément de mémoire de voisinage par la ligne bus d'adresse et la ligne bus de données, d'une manière similaire à celle que l'on a décrit pour la programmation du registre N.

On obtient l'étiquette de sous-tableau R à partir de la position de la cellule centrale i, j, dans le réseau logique de sous-tableau 68. La nature exacte du réseau logique de sous-tableaux dépend du nombre de sous-tableaux et de leur configuration particulière dans le tableau de données. Du fait qu'on examine séquentiellement les cellules cen-

trales, on peut conserver la trace des coordonnées de cellule centrale à l'aide d'un compteur 70, à condition que l'organe de commande positionne initialement le compteur en correspondance avec la position de l'étage de traitement dans la chaîne de traitement.

5 L'étage de traitement de voisinage que représentent les fig. 6 à 10 est suffisamment général pour qu'on puisse accomplir toutes les transformations de voisinage utiles avec un ou plusieurs étages de traitement associés en série. Le circuit de la fig. 12 est utile dans certains types de transformation; il est identique à celui de la fig. 8, à l'exception du fait que la porte OU 58 est remplacée par une fonction logique généralisée de huit variables, enregistrée dans une mémoire vive 72. L'organe de commande peut naturellement programmer cette mémoire 72 par l'intermédiaire des lignes bus d'adresse et de données.

[illegible][illegible][illegible][illegible]

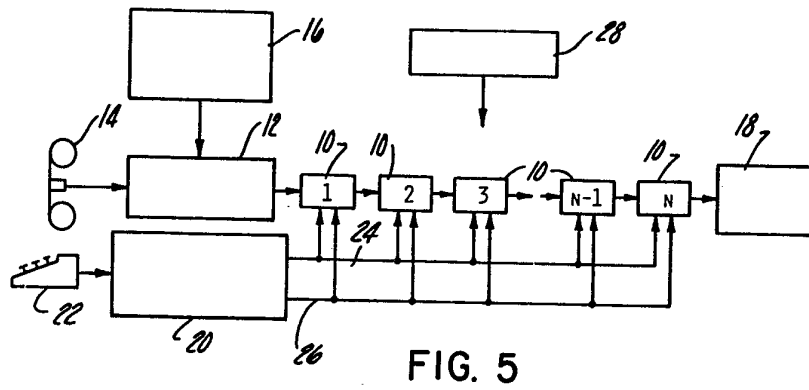


FIG. 5

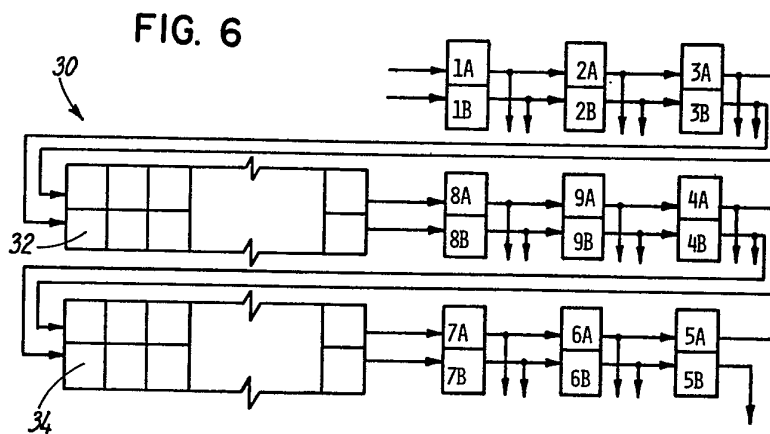


FIG. 6

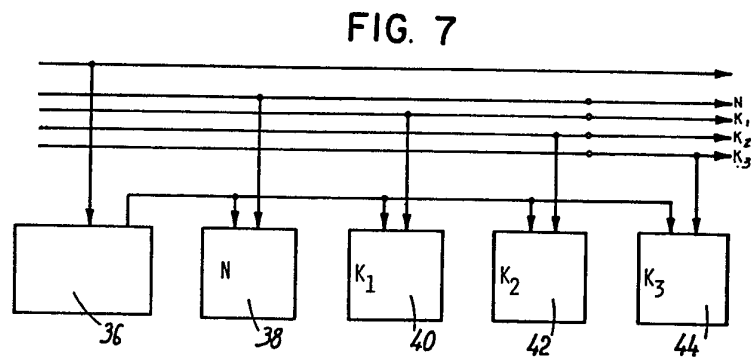


FIG. 7

