



Patentdirektoratet
TAASTRUP

(21) Patentansøgning nr.: 3449/84

(51) Int.Cl.5

G 06 F 15/68

(22) Indleveringsdag: 13 jul 1984

G 06 K 9/40

(24) Løbedag: 15 nov 1983

(41) Alm. tilgængelig: 13 jul 1984

(44) Fremlagt: 21 sep 1992

(86) International ansøgning nr.: PCT/US83/01778

(86) International indleveringsdag: 15 nov 1983

(85) Videreførelsesdag: 13 jul 1984

(30) Prioritet: 15 nov 1982 US 441826

(71) Ansøger: *EASTMAN KODAK COMPANY; 343 State Street; Rochester; NY, 14650, US

(72) Opfinder: Philip G. *Powell; GB

(74) Fuldmægtig: Budde, Schou & Co. A/S

(54) Fremgangsmåde til billedbehandling under anvendelse af blokovertappingstransformationsprocedure

(56) Fremdragne publikationer

US pat nr. 4163258

Andre publikationer: Bell System Technical Journal, bind 56, nr. 1, 1977,
Mounts m.fl.: "Design of quantizers for real-time
hadamardtransform coding of pictures", side 21-47.
AFIPS Conference Proceedings, juni 1978, side
1025-1031, Mori m.fl.: "Design of local parallel
pattern processor for image processing".

(57) Sammendrag:

3449-84

Ved behandling af billedmateriale tilvejebringes støj-
reduktion og god billedgengivelse ved anvendelse af lineære
og ulineære transformationsprocedurer, idet billedmaterialet
opdeles i indbyrdes overlappende blokke.

Behandlingen udføres i hirakisk anordnede trin
- i den foretrukne version med Walsh-Hadamard-filtre (60,
62, 64), idet de lineære transformationer er Walsh-Hadamard-
transformationer. I hvert trin udføres en blokoperation på
billedsignalerne fra det foregående trin, og ved at lade
blokkene overlappe hverandre, optræder det behandlede sig-
nal fra hvert billedelement som en lineær kombination af
mange transformationskoefficienter fra hver overlappende
blok i hvert trin. Hvert billedelement sammensættes således
af et stort antal delelementer, hvilket sikrer, at de behand-

fortsættes

lede billede ikke fremtræder med en ternet struktur fra blokafgrænsningerne.

Støjreduktion udføres ved ikke-lineære tærskelsammenligningstransformationer, og data fra samtlige trin sammenholdes med det oprindelige signal i et fælles udgangstrin (48); i en enkelt version anvendes det oprindelige signal dog ikke hertil.

Ved behandlingen frembringes billeder med et ringe billedtab og en ringe billedforvrængning.

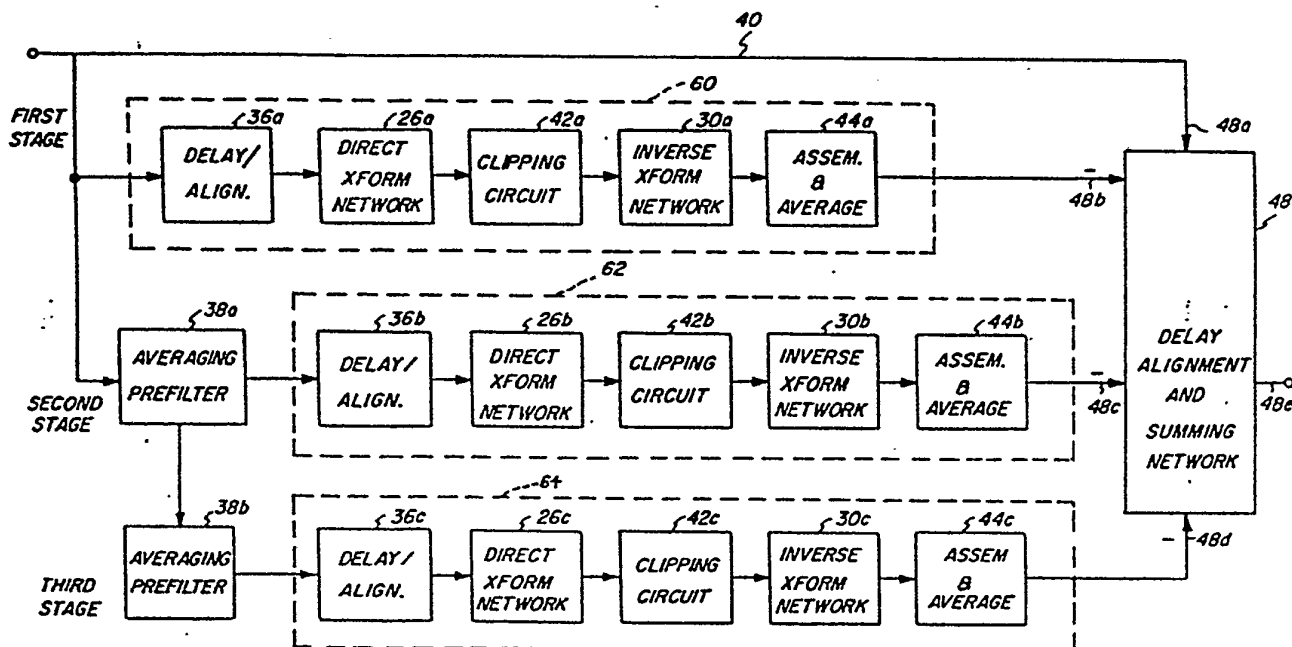


FIG. 3

Opfindelsen angår en fremgangsmåde til billedbehandling til reduktion af støj i et eksempleret billede. Nærmere bestemt angår opfindelsen en fremgangsmåde ved hvilke et billede opdeles i blokke af eksemplerede billedelementer, 5 hvilke elementer transformeres i overensstemmelse med en lineær transformationsprocedure.

Kendte billedbehandlingsapparater anvender i almindelighed to typer fremgangsmåder til at reducere støj i en eksempleret billedfremstilling, en metode udføres som en omgivelsespunktproces, og den anden metode udføres som en transformationsproces. I begge typer fremgangsmåder erstattes hver 10 eksempleret billedværdi med en modificeret værdi tilvejebragt fra billedværdier inden for et omgivende felt af billedelementer. Værdierne inden for det omgivende felt anvendes til 15 tilvejebringelse af et antal forskellige lineære kombinationer hver repræsenterende forskellige enheder i billedstrukturen inden for feltet, og hvorefter de fleste repræsenterer detaljer inden for feltet. Hver detaljefølsom kombination er udtryk for en forskel mellem lokale billedværdier og vil i 20 større eller mindre grad forsvinde når en særlig billeddetalje ikke er til stede. Støjen reduceres ved modifikation af de detaljefølsomme kombinationer f.eks. således at værdien af en kombination sænkes eller sættes til nul hver gang en særlig billeddetalje ikke er til stede i en vis, væsentlig grad.

25 Ved omgivelsespunktprocessen undersøges værdien af hvert oprindeligt element for sig sammen med værdierne inden for et lille naboområde af omgivende elementer. Disse processer gendanner billedet ved at erstatte værdien af hvert oprindeligt billedelement med summen af et antal af lineære 30 kombinationer af værdier inden for et naboområde.

Som omtalt i AFIPS Conference Proceedings, 5-8 juni 1978, Morei et al, "Design of Local Parallel Pattern Processor for Image Processing", Montvale, US, er det kendt at anvende en filtermatrix til forskellig vægtning af den midt- 35 stillede pixel og de omkring denne placerede pixel.

0

Transformationsprocesser kan i stedet for et lille naboområde anvende hele samlingen af eksemplerede billedværdier, således som dette er offentliggjort i Computer and Electronic Engineering, bind 2, 1975, Agrawal og Jain, 5 "Bandwidth Compression of Noisy Images", side 275-284, og Computer and Electronic Engineering, bind 4, 1977, Keshavan et al, "Application of Orthogonal Transforms in the Enhancement of Images in the Presence of Additive Noise", side 279-10 -295. I en transformationsproces udtrykkes det oprindelige billede ved en kombination af forud fastsatte mønstre, (dvs. funktioner). Hvert mønster vægtes numerisk af en transformationskoefficient, hvilken koefficient er beregnet ud af en linearkombination af billedværdier. Størrelsen af hver transformationskoefficient viser hvor meget det tilsvarende mønster har betydet for det oprindelige billede. Trans-15 formationskoefficienterne for alle disse mønstre udgør således det oprindelige billede i dets transformerede form. Billedet (i dets oprindelige form) kan gendannes ved at erstatte billedværdierne for hvert element med forskellige20 linearkombinationer af transformationskoefficienterne.

Såvel i omgivelsespunktprocessen som i transformationsprocessen reduceres støj ved modifikation af de detaljesensitive linearkombinationer af billedværdierne. Eftersom støjmodifikationsprocessen indbefatter anvendelsen af en25 ikke-lineær funktion, kan der frembringes utilsigtede ændringer af de lokale billedværdier (dvs. en artefakt fra selve processen), hvilke ændringer indvirker på det ønskede billede og på den uønskede støjrest, men dette accepteres for at kunne tilvejebringe den ønskede støjreduktion.

30 For et typisk billede udføres en transformationsproces både som en direkte transformationsberegning og en spejltransformationsberegning på et stort datasæt. Det er, i forbindelse med kompression af data gennem en transformationsproces, i Proceedings of the IEEE, bind 60, nr. 7, juli35 1972, Wintz, "Transform Picture Coding", side 809-820 offentliggjort, hvorledes opdeling af billedet i indbyrdes til-

0

stødende billedelementblokke udføres, for herigennem at forenkle kodificeringen i forbindelse med billedtransmission. Opdelingen af billedet i blokke gør behandlingen nemmere ikke alene ved billedkodificering, men også ved støjreduktion.

5

Behandlingen af hver blok for sig i forbindelse med støjreduktion nedsætter beregningsarbejdet og reducerer problemet med at styre store datamængder. Det samlede antal transformationskoefficienter, som skal tilvejebringes til den senere modifikation nedsættes kun lidt, men beregningsmængden for

10

hver af dem er mindre.

15

Der er uheldigvis også en ulempe forbundet med at opdele billedet i blokke. Efter modifikation og spejltransformation kan der være tilvejebragt en afgrænsningskant mellem tilstødende blokke. Disse afgrænsningskanter kan medføre at det rekonstruerede billede fremtræder med et ternet mønster, hvilket kan accepteres ved visse anvendelser, men er uacceptabelt ved billedreproduktion af høj kvalitet. I SPIE bind 238, Image Processing for Missile Guidance, Nicholson og Davis, "The Binomial Window", side 467-479, offentliggøres, at denne fejl kan reduceres ved at lade billedet gennemgå gentagne forløb af blokprocessen, under hvilke procesblokadressen øges mellem de enkelte forløb, således at der tilvejebringes en overlapning mellem blokkene. Det påpeges imidlertid, at datatomkostninger (eller tid) normalt begrænser blokbehandlingspraksis til sammenstødende ikke-overlap-

25

pende billedblokke.

Udvælgelsen af blokstørrelsen i en til støjreduktion anvendt transformationsbehandling må nøje overvejes. Hvis blokstørrelsen er for lille, vil støjkomposanter med lav mellemrumsfrekvens forblive uændrede efter modifikationen af

30

koefficienterne, hvilke kan medføre en restpletning i billedets udseende. I visse tilfælde, hvor der anvendes billeder af jævn kvalitet og mellemrumsopløsning, vil en lille blok med relativ få elementer tilvejebringe en tilstrækkelig grad af støjreduktion. En sådan anvendelse er offentliggjort i

35

US patentskrift nr. 4163258. I disse tilfælde, vil fremgangs-

0

måden med flere procesgennemløb med blokoverlapning, således som foreslået af Nicholson og Davis, løse problemet med blokafgøringskanterne, uden at kræve store beregninger. I andre tilfælde, hvor der anvendes billeder af høj kvalitet, er det imidlertid nødvendigt, at anvende en stor blok med et indhold af et relativt højt antal elementer for at kunne undertrykke pletter. Anvendelsen af en sådan blok forøger ikke alene beregningsarbejdet, især hvis der anvendes overlapning, men forringer også højfrekvensdetaljer som forekommer i et lille område inden for blokken.

10

Af disse årsager er det at foretrække i forbindelse med støjreduktion at behandle billedet med flere forskellige blokstørrelser og at anvende overlapning, for at undgå tilsynskomsten af et ternet mønster. Afhængig af den anvendte fremgangsmåde, kan kravene til datamattid og datamatkapacitet være meget store. I forbindelse med et billedkodningssystem er der ved US patentskrift nr. 4.134.134 offentliggjort en fremgangsmåde, hvor beregningsmængden reduceres gennem behandling i et antal trin således som følger. I det første trin deles billedet i blokke, og hver blok transformeres. En koefficient fra hver transformeret blok er et udtryk for gennemsnittet inden for blokken. I det andet trin, anvendes disse gennemsnitskoefficienter til at tilvejebringe et reduceret billede, som er afledt af blok gennemsnittet i det foregående trin. Det reducerede billede deles i blokke, hver blok transformeres og koefficienterne, som er et udtryk for gennemsnittene, anvendes til tilvejebringelse af et yderligere reduceret billede. Eftersom antallet af blokke i det første trin er mindre end antallet af elementer i det første trin, er beregningsomfanget for det andet trin mindre end for det første. Efterfølgende trin kan indføres, hvilke trin kræver mindre og mindre yderligere beregning.

20

25

30

35

Til støjreduktionsformål, hvilke formål ikke er behandlet i US patentskrift 4.134.134, har flertrinsproceduren den fordel, at behandlingen kan ske med forskellige blokstørrelser. Små blokke som kun indeholder få lokale

0

billedelementer, anvendes ved behandling af høje mellemrumsfrekvenser, medens store blokke, som indeholder gennemsnit fra små blokke og som er et udtryk for mange billedelementer, anvendes ved behandling af lave mellemrumsfrekvenser.

5

Små områder med højfrekvensbilleddetaljer er nu udtrykt ved kun et lille antal koefficienter, som er tilvejebragt fra de små blokke, som indeholder den bestemte detalje. Dette muliggør, at der kan fjernes mere af højfrekvensstøjen i andre områder uden derved at nedsætte højfrekvensbilleddetaljen i de blokke, i hvilket det finder sted. Yderligere vil, selv om US patentskrift nr. 4.134.134 ikke behandler overlapning, en trinvis arbejdsmåde nedsætte beregningsarbejdet således, at blokoverlapning bliver mulig i praksis. Denne overlapning nedsætter synligheden af blokafgrænsningskanterne.

15

Den ved opfindelsen tilvejebragte fremgangsmåde anvender en forening af en blokoverlapningstransformationsproces og en flertrinsprocedure for at overvinde problemerne med afgrænsningskanternes synlighed i en billedbehandlingsfremgangsmåde til støjreduktion. Ud over at reducere behandlingsomfanget til et passende niveau, skønt der fortsat anvendes forskellige blokstørrelser, har denne samlede løsning af bloksynlighedsproblemet en anden fordel. Til forståelse af denne fordel, betragtes først det tilfælde, at der finder anvendelse af en flertrinsprocedure med ikke-overlappende afgrænsninger sted. Hvert billedelement er til stede i én blok af hver størrelse. Hvert billedelements værdi er efter behandling den lineære kombination af den modificerede detaljfølsomme transformationskoefficient fra en blok i hver trin, og gennemsnitsværdien af en blok af den største størrelse i serien. I modsætning hertil, afhænger værdien af hvert element i en flertrinsprocedure med overlapning efter behandling og gennemsnitsberegning over antallet af procesforløb af et meget større antal koefficienter. Disse koefficienter er for det første de modificerede detaljfølsomme transformationskoefficienter for hver blok, som overlapper det pågældende element i hvert trin, og for det andet gennemsnitsværdien

35

af alle de største blokke som overlapper det pågældende element. Det aktuelle antal af beregningsenheder afhænger af antal trin, størrelsen af transformationsblokken i hvert trin og den overlappingsstørrelsesorden, der anvendes i hvert

5 trin. Værdien af sammenhørende koefficienter fra alle de blokke, som overlapper hvert element, vil være forskellige, og hver af dem vil blive modificeret på forskellig vis ved den ikke-lineære støjreduktionsproces. Som tidligere forklaret, har den lokale forvrængning (dvs. artefakt) sammen

10 med denne ikke-lineære modifikation indflydelse på det ønskede billedes komponenter og hvad der endnu er til stede af uønskede støjkomponenter. Imidlertid reducerer en gennemsnitsberegning over et stort antal af overlappede delbilleder, således som tilvejebragt ved opfindelsen til reduktion af

15 bloksynligheden, også den tydelighed hvormed artefakter ses i begge billedkomponenter, hvorved støjreduktionsvirke-måden forbedres.

Opfindelsen angår en fremgangsmåde som angivet i indledningen til krav 1, hvilken fremgangsmåde er ejendommelig ved det i samme kravs kendetegnende del angivne, hvorved

20 der tilvejebringes en fremgangsmåde til behandling af et oprindeligt billede for herved at tilvejebringe et behandlet billede med færre uønskede bestanddele, som f.eks. støjbestanddele, i det oprindelige billede, men uden at

25 frembringe et karakteristisk bloklignende mønster på grund af bloktransformationsprocessen. Yderligere tilvejebringes de ønskede billedbestanddele med mindre billedtab og forvrængning end det ville være tilfældet hvis blokkene stødte op mod hverandre. Endvidere er den tilbageblivende mængde af

30 uønskede støjbestanddele som følge af den ikke-lineære behandling formindsket. Ved fremgangsmåden anvendes en flertinsprocedure som virker på billedsignaler, som er knyttet til de respektive bestanddele i det oprindelige billede, på følgende måde. Billedsignalerne samles i billedsignalsæt

35 knyttede til overlappende billedbestanddelsblokke, idet hver blok indbefatter i det mindste en billedbestanddel i fælles-

0

skab med i det mindste en anden blok. Disse opstillede sæt behandles i et antal hinanden efterfølgende trin, i hvilke trin det billedsignal som tilvejebringes i hvert trin, som følger efter det første, er udtryk for signaler afledt af sammensætningen af billedsignaler, som var til stede i det foregående trin. Inden for hvert trin bliver hvert sæt af billedsignaler gennem et sæt af uafhængige funktioner transformeret til et tilsvarende sæt af koefficientsignaler som udtrykker samlingen af billedsignaler, som er knyttet til almindelig lysstyrke og billeddetalje. Visse koefficient-signaler modificeres for at formindske uønskede bestanddele i det behandlede billede. Et behandlet billede bliver så tilvejebragt fra de mange koefficientsignalsæt, af hvilke nogle blev modificeret i det foregående trin.

15

Det afledte billedsignal som tilvejebringes for hvert trin som følger efter det første, kan udformes på et antal måder. Eksempelvis kan det afledte billedsignal indbefatte de koefficientsignaler som er knyttet til et overslag over den almindelige lysstyrke inden for hver blok i det foregående trin. I et andet eksempel kan sådanne billedsignaler blive tilvejebragt gennem filtrering af det billedsignal, som skal behandles i et foregående trin, for herved at tilvejebringe filtrerede billedsignaler som udtryk for den almindelige lysstyrke inden for de områder af billedet, som skal behandles i det foregående trin.

25

Koefficientsignalmodificeringstrinnet kan også indføres på forskellige måder. En sådan indførelsesform, som herefter er benævnt som "udtagning og addering", indbefatter anvendelsen af en tærskelværdi (eller et tærskelværdisæt knyttet til koefficientsignalsættet), som udtryk for en koefficientværdi større end, hvad der kunne forventes på grund af støj (dvs. at den større koefficientværdi sjældent frembringes på grund af støj alene), udvælgelse af koefficientsignaler, som har en mindre værdi end denne tærskelværdi, ændring af disse udvalgte koefficientsignaler gennem reduktion af deres størrelse, og tilvejebringelse af et behandlet billede

35

0

gennem addering af summen af de fra modificerede og umodificerede koefficienter afledede billedsignaler til et billedsignal, der udtrykker billedets almindelige lysstyrke. En anden form, som herefter benævnes "afskæring og subtraktion", indbefatter udpegning af koefficientsignaler, som har en større værdi end tærskelværdien, modifikation af disse udpegede koefficientsignaler gennem reducering af deres værdi, og tilvejebringelsen af et behandlet billede gennem subtraktion af summen af de fra modificerede og umodificerede koefficienter afledte billedsignaler fra et totalt billedsignal, som repræsenterer det oprindelige billede.

10

Opfindelsen forklares i det følgende nærmere under henvisning til tegningen, på hvilken

15

fig. 1 viser et blokdiagram af hovedelementerne i en ved opfindelsen tilvejebragt bloktransformationsfremgangsmåde til nedsættelse af støjen i et billede,

fig. 2 er et blokdiagram, som anskueliggør en ved opfindelsen tilvejebragt første udførelsesform af en tretrins, overlappende bloktransformationsfremgangsmåde,

20

fig. 3 er et blokdiagram, som anskueliggør en ved opfindelsen tilvejebragt anden udførelsesform af en tretrins, overlappende bloktransformationsfremgangsmåde,

25

fig. 4 er et blokdiagram, som anskueliggør en ved opfindelsen tilvejebragt tredje udførelsesform af en tottrins, overlappende bloktransformationsfremgangsmåde,

fig. 5 er et diagram, som viser anvendelsen af Walsh-Hadamard's operation på et 2×2 billedsignalsæt,

fig. 6 anskueliggør indlæggelse af billedelementer i blokke af forskellig størrelse,

30

fig. 7A og 7B er diagrammer til forståelse af den indbyrdes blokoverlapning med henholdsvis 2×2 og 4×4 blokke,

fig. 8A og 8B er diagrammer over vægtningsmønstrene, der anvendes til efterfiltrering i fig. 2,

35

fig. 9A og 9B er diagrammer af vægtningsmønstrene, som anvendes til forfiltrering i fig. 3,

0

fig. 10A, 10B og 10C er diagrammer, som viser de særlige billedelementslokationer, som udpeges til transformation i hvert trin i fremgangsmåden især ifølge udførelsesformerne i fig. 2 og 3,

5

fig. 11 er et kredsløbsdiagram, som anskueliggør indførelsen af det første trinfilter i fig. 3,

fig. 12 er et kredsløbsdiagram som anskueliggør indførelsen af det andet trinfilter i fig. 3,

10

fig. 13 er et kredsløbsdiagram som anskueliggør indførelsen af det tredje trinfilter i fig. 3,

fig. 14 er et kredsløbsdiagram, som viser Walsh-Hadamard's datamat, som er indbefattet i fig. 11, 12 og 13,

fig. 15 et et kredsløbsdiagram af de 2 x 2 transformationsorganer, som er indbefattet i fig. 14,

15

fig. 16 er et kredsløbsdiagram af de 1 x 2 transformationsorganer indgående elementer, hvilket transformationsorganer igen er indbefattet af de 2 x 2 transformationsorganer som er vist i fig. 15,

20

fig. 17 og fig. 18 er kredsløbsdiagrammer af det gennemsnitsudregnende tre filterpar, som er indbefattet i fig. 3,

fig. 19 er et kredsløbsdiagram, som viser det kredsløb, som anvendes til forsinkelsesopretning og summering i fig. 3,

25

fig. 20 er et diagram som anskueliggør den 4 x 4 billedelementsopbygning, som behandles af filtret i fig. 21,

fig. 21 er et kredsløbsdiagram over indførelsen af fig. 4's første trinfilter,

30

fig. 22 er et kredsløbsdiagram af rampeprocessoren som er indbefattet i fig. 21,

fig. 23 er et kredsløbsdiagram af opbygningen af et 1 x 4 transformationsorgan, til indførelse af det direkte rampetransformationsorgan i fig. 22,

35

fig. 24 er et kredsløbsdiagram af elementerne til indføring af hvert 1 x 4 transformationsorgan som beskrevet i fig. 23, og

fig. 25 er et kredsløbsdiagram af elementer for indførelse af et 1 x 4 omvendt rampetransformationsorgan, som anvendes i opbygningen af det 4 x 4 omvendte rampetransformationsorgan, som er vist i fig. 22.

5 I den følgende beskrivelse tilvejebringes indgangssignalet ved scanning og eksemplering af et oprindelig billede. I den foretrukne udførelsesform af opfindelsen antages det, at indgangssignalet tilvejebringes fra et billede som f.eks. et negativt eller positivt transparent fotografi. Det
10 er yderligere forudsat, at et sådant signal kan repræsentere et antal adskilte billedelementer, indbefattende et gennemsnitligt hvidhedsniveau, fine detaljer som f.eks. meget fine linier og teksturer, mellemliggende detaljer, som f.eks. små elementer, og grove detaljer som f.eks. formdannelse gennem afskygning og andre gradvis varierende forekomster.
15 (Formdannelse, således som det anvendes her, henviser til gengivelsen af jævnt varierende træk og detaljer.) Yderligere indbefatter signalerne en støjdel, som i en vis udstrækning har indflydelse på de enkelte elementer. I et transparent
20 fotografi frembringes en stor del af støjen som følge af den tilfældige fordeling af lysabsorberende partikler, som danner grundlaget for nærværende billedoptegnelsessystem. Selv om den foreliggende opfindelse beskrives i forbindelse med eksemplerede data fra et transparent fotografi, er det under-
25 forstået, at indgangssignalet kan repræsentere anden information eller andre data, som f.eks. sådanne, som er tilvejebragt fra direkte scanning af en genstand, fra et sammensat video-signal eller fra billedinformation i et optisk, elektrisk eller magnetisk lager. I sådanne tilfælde frembringes støjen
30 i andre områder af signalgenerationssystemet.

Fig. 1 er et diagram over de større enheder i et apparat til indførelse af en fremgangsmåde til overlappende bloktransformationsstøjundertrykkelse i tre trin ifølge opfindelsen. Selv om tre trin beskrives i forbindelse med
35 fig. 1, kan to trin eller mere end tre trin anvendes. Hvert trin er i stand til at behandle en blokstørrelse afvigende

fra blokstørrelsen i de øvrige trin. Billedsignaler knyttet til hvidhedsværdierne for elementerne i det oprindelige billede, tilvejebringes af et apparat 8 til scanning og eksemplering. En signalsekvens repræsenterende disse elementer i det eksemplerede billede overføres til et opretnings- og summeringskredsløb 10 som en strøm af hinanden efterfølgende billedsignaler. Kredsløbet 10 sammensætter et billedsignalsæt udvalgt fra denne signalsekvens således, at der dannes et todimensionalt sæt knyttet til en blok af bil-

10 ledelementer, hvilket sæt er egnet til bloktransformation, hvorefter der tilvejebringes sådanne sæt af billedsignaler i forudbestemte størrelser til behandling i et efter hinanden følgende antal trin, hvilke trin hver for sig står i et bestemt forhold til det foregående trin. Der er endvidere

15 tilvejebragt passende lavpas forfiltrering af de signaler, som frembringer de forskellige todimensionale sæt, og der tilvejebringes en kontinuerlig strøm af sådanne todimensionale sæt, svarende til overlappende billedelementblokke, hvilke blokke er flyttet i det mindste et billedelement i

20 forhold til den foregående blok. Hvert trin indbefatter en kanal til overførsel af signaler, som registrerer særlige adskilte billedelementer: det første trin overfører signaler for fine detaljer i kanal 14a, det andet trin overfører signaler for detaljer af middel størrelse i kanal 14b og

25 det tredje trin overfører signaler for grovere detaljer i kanal 14c. Støjsignaler fra fotografiske korn forekommer fordelt over alle kanaler, idet støjsignalniveauet i hver kanal svarer til billedopløsningsniveauet af den dertil svarende detalje.

30 Til anskueliggørelse af arbejdsmåderne, vises i fig. 6 et billedfelt i hvilket billedelementer er indlagt i tre blokke 15a, 15b og 15c af forskellig størrelse, hvilke blokke er vist koncentriske alene af hensyn til anskueliggørelsen. Det billedsignal der er knyttet til disse elementer kan være det oprindelige billedsignal tilvejebragt fra

35 apparatet 8 til scanning og eksemplering, eller de kan være afledte signaler frembragt ved filtrering eller behandling

0
på anden måde. Blok 15a (2 x 2) svarer til billedsignalsættet, hvilket sæt føres gennem det første trins kanal 14a til fine detaljsignaler, blok 15b (4 x 4) svarer til signaler, som føres gennem anden trins kanal 14b for mellemstore detaljer, og blok 15c (8 x 8) svarer til signaler som føres gennem tredje trins kanal 14c for signaler for grove detaljer. For at sættet knyttet til blok 15b kan repræsentere mellemstore detaljer, og for at sættet svarende til blok 15c kan repræsentere grove detaljer, skal hvert element af disse sæt repræsentere et gennemsnit taget over den tilsvarende blok af indgangsbilledsignaler (svarende til at disse signaler bliver lavpasforfjælnede). Dette udføres af opretnings- og summeringskredsløbet 10. Den i fig. 6 viste blok 15a er en 2 x 2 blok, men der forstås herved at dette udelukkende er for anskueliggørelsens skyld, og den kan være større. Det er ligeledes underforstået, at størrelsen af blokkene 15b og 15c kan være en anden end vist, og at deres anbringelser således som det er vist, udelukkende er eksempler svarende til de sæt, der optræder, når billedsignalsekvenserne føres gennem kredsløbet 10.

Den stadige strøm af sådanne signaler ordnede i sæt og tilvejebragt fra kredsløbet 10, bevirker en stadig ændring af blokafgrensningernes placering mellem de forskudte blokke, som er dannet i hver kanal til frembringelse af blokoverlapping. I fig. 7a er blokken 15a vist i forskellige forskudte placeringer 15a-1, 15a-2, 15a-3 og 15a-4, hvilke placeringer henføres til billedelementet A. Det ses, at billedelementet A (og alle andre elementer efter tur tilvejebringer elementer (4 hvis det er en 2 x 2 blok) til deltagelse i dannelsen af flere sæt i kanalen 14a til signaler for fine detaljer. Tilsvarende føres blokken 15b (4 x 4) effektivt i alle retninger ved forøgelse med et afbildningselement således at billedelementet A deltager i tilvejebringelsen af flere sæt i kanal 14b. I fig. 7b vises fire placeringer af blokken 15b, hvilken blok er bevæget i en retning B og indbefattende en række billedelementer hvori også indgår element A.

0

Denne placering af blok 15b gentages yderligere fire gange (ikke vist af hensyn til tydeligheden) i retningen C hvorved tilvejebringes fire mulige kombinationer af fire rækker, som vil kunne overlappe elementet A, hvilket fører til, at elementet A i alt deltager i tilvejebringelsen af seksten sæt i kanalen 14b. Det ses ligeledes ved en tilsvarende analyse, at blokoverlapningen af 8 x 8 blokken 15c tilvejebringer deltagelse af elementet A i fireogtreds sæt i kanal 14c. Diskussionen om blokoverlapning forudsætter, at hver blok bevæges et stykke ud fra den oprindelige blokposition svarende til et billedelement. Det må forstås, at for blokke større end 2 x 2 kan bevægelsen være af en anden størrelsesorden end et billedelement, hvilket har indflydelse på antallet af transformationer hvori hvert billedelement deltager.

10

15

20

25

I fig. 1 overføres de billedsignaler, som udgør hvert trins todimensionale sæt, til et direkte transformationskredsløb 12, hvilket kredsløb virker med en todimensional lineær transformation. Kredsløbet kan deltage med adskillige kendte transformationer, heri indbefattet men ikke begrænset til Fourier-, cosinus-, sinus-, Walsh-Hadamard-, Haar-, rampe- eller Karhunen-Loeve-transformationer. Disse transformationer er velkendte for fagfolk på området. Der henvises til W. K. Pratt, "Digital Image Processing", 1978, John Wiley & Sønner, New York, kap. 10 og bibliografiske henvisninger. Hvert trin behøver ikke nødvendigvis at anvende den samme transformationsform. De følgende udførelsesformer vil blive beskrevet i forbindelse med anvendelsen af rampe- og Walsh-Hadamard-transformationer.

30

35

Hver af disse transformationer indbefatter et operatorsæt som er defineret som funktioner af værdierne i en datablok, således at der efter transformationen er sket en erstatning af hver datablokværdi med en transformationskoefficient. Operatorerne er tilvejebragt på sædvanlig vis som matricer sammensat af multiplicerende faktorer, hvilke matricer anvendes i en summation af en tilsvarende datamatrix. I fig. 5 er vist de aritmetiske operationer, som anvendes i

0 et 2 x 2 billedsignalsæt for hver af de fire Walsh-Hadamard-
-operationer. Walsh-Hadamard-operatorerne fastsætter de matri-
cer sammensat af multiplicerende faktorer (som enten er -1
eller +1), som skal anvendes ved summationen af en 2 x 2
5 billedsignalblok. F.eks. viser H1 operatormatricen at alle
signalværdierne i blokken er adderede, medens H2 operatorma-
trixen viser, at værdierne i den højre søjle er subtraherede
fra værdierne i den venstre søjle, og så fremdeles. Det er
væsentligt at bemærke, at disse datamatricer ikke nødvendig-
10 vis billedflademæssigt er knyttet til en blok af oprindelige
billedelementer. Medens f.eks. 2 x 2 blokken af billedelemen-
ter 15a kan stedfæstes element for element i den 2 x 2 trans-
formationsoperator, som er vist i fig. 5, kan en 2 x 2 trans-
formation også anvendes på 4 x 4 blokken 15b gennem udpeg-
15 ning af billedsignalværdier fra andre elementer i andre rækker
til tilvejebringelsen af et 2 x 2 datasæt til transformatio-
nen. For 8 x 8 blokken 15c kan en 2 x 2 transformation anven-
des ved at tages signalværdierne fra hver fjerde element i
hver fjerde række til tilvejebringelsen af et 2 x 2 datasæt
20 til transformation. Det skal også bemærkes, at eftersom ele-
menterne i blokkene 15b og 15c i sig fører afledede signaler,
som repræsenterer gennemsnittet af indgangsbilledsignaler
taget over de tilsvarende blokke, vil de afledede signalværdi-
er, som udpeges til de forskellige datasæt, også indeholde
25 deltagelse fra andre billedelementsindgangssignaler i blokke-
ne 15b og 15c, hvilke signalers afledte værdier ikke var ud-
pegede til denne særlige transformation. Selv om denne be-
skrivelse henviser til særlige billedelementblokstørrelser og
transformationssæt forstås det, at de samme betragtninger
30 kan anvendes på andre størrelser.

Hvert sæt af billedsignaler transformeres ved hjælp
af et sæt uafhængige funktioner, hvilke funktioner er fast-
lagt gennem valget af transformationer, og transformationen
resulterer i et tilsvarende sæt af koefficientsignaler, hvilke
35 signaler repræsenterer sammensætningen af almindelig hvid-
hedsbilledsignaler og billeddetaljesignaler inden for hver

0

blok. Visse af disse koefficientsignaler vil blive påvirkede af billedmæssige variationer som skyldes støjkomposanter. Hvert trins transformationskoefficientsignaler føres til et koefficientmodifikationskredsløb 16. I disse kredsløb er til-
5 vejebragt et sæt tærskelkriterier til fastlæggelse af, om de forskellige koefficientsignaler overvejende repræsenterer støj og kun overfører en lille eller slet ingen billedinformation. Tærskelværdierne vælges således, at de er større end transformationskoefficientværdierne i tilfælde af støj forventes at være, idet større koefficientværdier som følge af
10 støj alene kun sjældent forekommer. Koefficientsignalerne i hver af de tre kanaler 14a, 14b og 14c sammenlignes med de tilsvarende tærskelværdier og modificeres i overensstemmelse hermed. Således sættes f.eks. hver koefficient lig med nul, hvis koefficientværdien er mindre end den tilsvarende tærskel-
15 værdi.

Modificerede koefficientsignaler i hver af de tre kanaler 14a, 14b og 14c overføres til inverstransformationskredsløbet 18. Eftersom koefficientsignalerne tilvejebragt
20 fra kredsløbet 16 kan henføres til totale billedsignalsæt (svarende til billedelementblokke) tilvejebringer kredsløbet 18 for hver kanal et sæt af modificerede billedsignaler, som er knyttet til den i kanalen anvendte blokstørrelse. Kredsløbet 18 frembringer disse modificerede billedsignaler ud
25 fra lineære kombinationer af de modificerede transformationskoefficientsignaler. Eftersom der er indbefattet tre kanaler idet i fig. 1 viste system, tilvejebringer kredsløbet 18 tre forskellige lineære kombinationssæt sammenknyttet med de tre blokstørrelser, som anvendes i disse kanaler. Yderligere
30 vil der, efterhånden som billedsignalsekvenserne føres gennem netværket 18 fra hver af disse tre sæt lineære kombinationer blive tilvejebragt et antal lineære kombinationer, som er knyttet til hvert billedelement og som svarer til alle de overlappende placeringer af hver blok, som indbefatter bil-
35 ledelementet. Et opretnings- og summeringskredsløb 2 samler, sammenlægger og foretager gennemsnitsberegninger af alle dis-

0

se delbidrag fra hvert billedelement. I virkeligheden erstatter kredsløbet 20 værdien af hvert oprindeligt billedelement, som indføres i systemet i fig. 1, med summen af et antal delbilledstørrelser, som er tilvejebragt fra spejltransformationskredsløbet 18. Uddata fra kredsløbet 20 indbefatter en række gendannede billedsignaler, som kan undergå yderligere behandling.

Fig. 2 og fig. 3 viser diagrammer af opbygningen af to apparater til udøvelse af den ved opfindelsen tilvejebragte fremgangsmåde til billedbehandling under anvendelse af flertrinsblokoverlapningstransformationsprocedure. Som eksempel er der i hver af de tre trin, som er vist i fig. 2 og 3 anvendt 2×2 Walsh-Hadamard transformationsoperatorer. Hvis 2×2 transformationsoperatorerne skal anvendes i hvert trin til behandling af detaljer med forskellige niveauer, så vil de billedsignaler, som tilvejebringes i hvert trin efter det første være filtrerede eller behandlede gengivelser af enten de oprindelige billedsignaler, eller af disse billedsignaler behandlet i et foran liggende trin. Selv om der kun transformeres fire billedsignaler på samme tid, så vil det billedmæssige forhold - dvs. om de er tæt sammenliggende eller adskilt af mellemliggende billedelementer - af de tilsvarende af Walsh-Hadamard operatorer behandlede billedelementer afhænge af til hvilket trin de er henført. I fig. 10 vises placeringen af de særlige billedelementer, som for hvert trin er udpeget til Walsh-Hadamard transformation. Bogstaverne a, b, c og d viser placeringerne af de billedsætelementer, som er udpegede til at frembringe de 2×2 transformationsblokke i hvert trin, medens stregene viser billedelementer som ikke tilvejebringer inddata til de forskellige beregninger. Udpegningen på hvert trin af fire billedsignaler til transformation betyder, at hvert billedsignal i hvert trin medvirker i transformationen af fire billedsignalsæt. Eftersom hvert billedsignal i et hvilket som helst trin efter det første er en filtreret gengivelse af et forudgående billedsignal, så vil imidlertid de fire billedelement-

35

0

placeringer, som er udpegede til transformation i sådanne trin, allerede indbefatte deltagende data fra nabolokationer på grund af filterprocessen.

Fig. 2 og fig. 3 viser forskellige udførelsesformer af opretnings- og summeringskredsløbene 10 og 20. I hver udførelsesform tilvejebringer opretnings- og summeringskredsløbene tidsmæssig opretning af en inddata-billedsignalsstrøm, hvorved der tilvejebringes et sæt billedsignaler som et to-dimensionalt sæt egnet til bloktransformation, hvorefter der tilvejebringes en tilsvarende tidsmæssig genopretning efter en inverstransformation, hvorved en strøm af modificerede billedsignaler gendannes. I fig. 2 gennemføres trinvirkemåden under anvendelse af H1 transformationskoefficientsignalet (det signal, som er tilvejebragt ved anvendelse af operator H1). H1 koefficientsignalet repræsenterer et hvidhedsgennemsnit taget over en 2×2 blok og frembringer et lavpas-filtreret billede til det næste trin i processen. Denne funktion, som tidligere er beskrevet i forbindelse med opretnings- og summeringskredsløbet 10 i fig. 1, udføres i blokkene 26a, 26b og 26c i fig. 2. I det første trin bliver inddatabilledsignalerne forsinkede og oprettede på passende vis i et forsinkelses- og opretningskredsløb 22a hvorved tilvejebringes et 2×2 billedsignalsæt, hvilket signalsæt er tilvejebragt ud fra det oprindelige billede, og som overføres til et direkte transformationskredsløb 26a for transformation. Det første trin er således virksomt på et billede, som er opdelt i små blokke 15a i fig. 6. Hvert H1 koefficientsignal i dette første trin repræsenterer et gennemsnit af en 2×2 billedelementblok, hvorved tilvejebringes et første lavpas-signal, og koefficientsignalet overføres til et forsinkelses- og opretningskredsløb 22b i det andet trin. De resterende H2, H3 og H4 koefficientsignaler, som er tilvejebragt fra kredsløbet 26a repræsenterer tilsammen et højpasfilter, og tilvejebringer signaler til yderligere behandling i det første trin af kredsløbet 28a og 30a.

35

0

Kredsløbet 22b forsinket og opretter derefter på passende vis H1 koefficientsignalerne fra det første trin, hvorved der tilvejebringes de særlige elementer i sættet (svarende til fig. 10(B)) som er udpeget til Walsh-Hadamard transformationen i det andet trin, og hvorved der endvidere sker en overførsel af dette sæt af udpegede elementer til det direkte transformationskredsløb 26b til transformation i det andet trin. Dette vil sige, at der i det andet trin udføres en 2×2 Walsh-Hadamard transformation (beskrevet i fig. 5) af udpegede elementer fra 4×4 sættet, som svarer til blok 15b, idet hvert element repræsenterer gennemsnittet af oprindelige billedelementer udregnet over en 2×2 blok. Hvert H1 koefficientsignal i dette andet trin repræsenterer gennemsnittet af billedelementer beregnet over en 4×4 blok, hvorved tilvejebringes et andet lavpassignal, og overføres til et forsinkelses- og opretningskredsløb 22c i det tredje trin. De tilbageblevne H2, H3 og H4 koefficientsignaler tilvejebragt fra kredsløbet 26b repræsenterer tilsammen et højpasfilter, som virker på lavpassignalet fra det første trin, hvorved der tilvejebringes et første båndpassignal til yderligere behandling i andet trin i kredsløbene 28b og 30b. Kredsløbet 22c forsinket og opretter herefter på afpasset vis H1 koefficientsignalerne fra det andet trin, hvorved tilvejebringes de sætelementer (svarende til fig. 10(C)), som er udpeget til Walsh-Hadamard transformationerne i det tredje trin, og dette sæt af udpegede elementer overføres til det direkte transformationskredsløb 26c til transformation i det tredje trin. Herefter udføres i det tredje trin den 2×2 Walsh-Hadamard transformation (vist i fig. 5) på det til blok 15c svarende 8×8 sæt, i hvilket sæt hvert element repræsenterer gennemsnittet af en 4×4 blok af billedelementer. Hvert H1 koefficientsignal i dette tredje trin er udtryk for gennemsnittet over en 8×8 blok af billedelementer og udgør et tredje lavpassignal. De øvrige H2, H3 og H4 koefficientsignaler, som er tilvejebragt fra kredsløbet 26c udgør tilsammen et højpasfilter, som virker

35

0

på lavpassignalet fra det andet trin, hvorved der tilvejebringes et andet båndpassignal til yderligere behandling i det tredje trin i kredsløbene 28c og 30c.

De H2, H3 og H4 transformationskoefficientsignaler, som er tilvejebragt i hvert trin behandles i de ikke-lineære koefficientmodifikationskredsløb 28a, 28b og 28c før en eventuel rekombination. Hvert af disse kredsløb virker for at reducere støjen, således som beskrevet i forbindelse med koefficientmodifikationskredsløbet 16 i fig. 1. I den foreliggende udførelsesform af opfindelsen sættes de koefficientsignaler, som er mindre end de tilsvarende tærskelværdier, lig med nul, hvilken proces undertiden kaldes en udtagningsproces. De H1 koefficientsignaler, som er tilvejebragt i et tredje trin overføres til transformationsnetværket 30c, idet de overspringer det ikke-lineære kredsløb 28c. Disse koefficienter repræsenterer et lavpasfilter, og der tilvejebringes således et umodificeret lavpassignal som eventuelt kan rekombineres med højpasssignalerne og båndpassignalerne. Walsh-Hadamard's inverstransformationskredsløb 30a, 30b og 30c frembringer modificerede billedsignaler i hver kanal. Det modificerede billedsignal er frembragt ud fra lineære kombinationer af de modificerede transformationskoefficientsignaler, således som det er beskrevet i forbindelse med transformationskredsløbet 18 i fig. 1. Eftersom Walsh-Hadamard transformationerne er nøjagtigt invertible og anvender de samme operatorer både som inversoperatorer og som direkte operatorer (dog med en forstærkningsfaktor til forskel), anvendes operatorerne i fig. 5 til inverstransformationen sammen med en egnet forholdsfaktor.

De efterliggende filtre 32b og 32c virker på de modificerede billedsignaler i andet og tredje trin på en sådan måde at båndpasbilledsignalerne interpoleres, og således, at der tilvejebringes billedsignaler knyttet til hvert element i de større sæt som igen er knyttet til henholdsvis blokkene 15b og 15c som vist i fig. 6. De i fig. 8A og fig. 8B viste vægtmønstre anvendes som lavpaskoefficienter

35

0

i filtrene 32b og 32c. De gendannede billedsignaler i det første trin og de gendannede interpolerede signaler i det andet og tredje trin overføres til et forsinkelses-, opretnings- og summeringskredsløb 34 som, med en egnet tidsopretning samler, sammenlægger og foretager gennemsnitsberegning af de delelementer, som indgår i hvert billedelement.

I diagrammet i fig. 3 bemærkes det at der er en del ændringer i forhold til diagrammet i fig. 2. I fig. 3 er arbejdsmåden i forbindelse med støjisolering og signalrekombination afskæring og subtraktion, i modsætning til den udtagnings- og adderingsarbejdsmåde, som er beskrevet i fig. 2, hvilken sidste arbejdsmåde nedsætter støjen i hver kanal og summerer de tilbageblevne signaler. I fig. 3 føres det modtagne samlede billedsignal uden modifikation gennem en leder 40 til inddataport 48a i et forsinkelses-, opretnings- og summeringskredsløb 48. Imidlertid ledes de til billedet knyttede højfrekvensdele af signalerne i hvert af de tre trin (repræsenterede af H2, H3 og H4 koefficientsignaler) til ikke-lineære koefficientmodifikationskredsløb 42a, 42b og 42c. Hvert af disse kredsløb virker på en sådan måde, at alle koefficientsignaler, som er mindre end fastlagte tærskelværdier, forbliver uændrede, og koefficientsignaler som er større end disse tærskelværdier sættes lig med nul. Lavpasgennemsnitssignalet (H1 koefficientsignalet) anvendes ikke og sættes lig med nul i hvert af disse trin. Højfrekvenssignaler med lav amplitude føres gennem inddataportene henholdsvis 48b, 48c og 48d på kredsløbet 48, hvor de oprettes og summeres, så der herved tilvejebringes en beregnet støjstørrelse, som subtraheres fra det umodificerede samlede signal. Det behandlede uddatasignal føres videre fra en uddataport 48e.

Fig. 3 indbefatter også en anden ændring i forhold til det tidligere diagram. Egnede forfiltrede lavpasbilledsignaler, som er knyttede til den gennemsnitlige hvidhed i det oprindelige billedes områder tilvejebringes i det andet og tredje trin under anvendelse af forfiltrene 38a og 38b,

0

hvilke filtre foretager en gennemsnitsberegning, i stedet for som i fig. 2 at samle gennemsnitstransformationskoefficienterne fra det foregående trin. Yderligere indbefatter forfiltreringerne ikke alene gennemsnitsberegningen over en 2 x 2 blok, hvilket fører til H1 koefficientsignalet i fig. 2, men virkemåden, som er indbefattet i de efterliggende filtre i fig. 2, udføres nu før støjreduktionen i stedet for efter. I det første trin føres en inddatabilledsignalstrøm til et forsinkelses- og opretningskredsløb 36a, hvilket kredsløb overfører et billedsignalsæt til transformationskredsløbet 26a til transformation i det første trin (kanal 14a). Inddatabilledsignalet overføres også til det andet trins forfilter 38a, som udfører gennemsnitsberegninger, i hvilket forfilter hvert billedsignal fra det oprindelige billede erstattes af et gennemsnitssignal udregnet for det omkring det oprindelige billedsignal beliggende område i overensstemmelse med vægtmønsteret i fig. 9A. Denne strøm af billedsignaler, på hvilke signaler der er foretaget en gennemsnitsberegning en gang, overføres til et forsinkelses- og opretningskredsløb 36b i det andet trin og et forfilter 38b, som foretager gennemsnitsberegninger, i det tredje trin. Kredsløbet 36b overfører et billedsignalsæt til transformationskredsløbet 26b til transformation i det andet trin (kanal 14b). I forfiltret 38b, i hvilket filter der foretages gennemsnitsberegninger, erstattes ethvert af førstegennemsnitssignalerne af et gennemsnitssignal beregnet for et større område omkring førstegennemsnitssignalerne, således som vist i fig. 9B. Denne strøm af andetgennemsnitsbilledsignaler overføres til et tredje forsinkelses- og opretningskredsløb 36c, som overfører et sæt af andetgennemsnitsbilledsignaler til transformationskredsløbet 26c til transformation i det tredje trin (kanal 14c).

Hvert forsinkelses- og opretningstrin 36a, 36b og 36c er opbygget således, at der overføres et sæt af særlige billedsignaler, hvilke billedsignaler er udpegede i overensstemmelse med de i fig. 10 vist placeringer a, b, c og

35

0 d, til transformation ved de 2×2 Walsh-Hadamard operatorer i hvert trin. Dette betyder, at i andet trin virker 2×2 transformationen på fire signaler som er udtaget fra de næstnærmeste signaler i de næstnærmeste rækker i første gennemsnigssignalerne, som er tilvejebragt ved en opretning af
5 den udtagne signalstrøm. I det tredje trin virker 2×2 transformationen på de fire nærmeste signaler i den fjerde nærmeste række i det overførte andet gennemsnitssignal. I den næste opretning af den modtagne billedsignalstrøm overføres nye sæt på fire signaler til transformationskredsløbene. Hvert billedsignal er derfor indbefattet i fire transformationssæt i hvert trin. Som et resultat af den to gange foretagne gennemsnitsberegning sammen med sammensætningen af forfiltrering med efterfølgende filtrering eller interpolation, indvirker et stort antal elementer i det oprindelige
10 billede på gendannelsen af hvert billedelement i det behandlede billede.

De i hvert af de tre trin fra de direkte transformationskredsløb henholdsvis 26a, 26b og 26c tilvejebragte
20 transformationskoefficientsignaler overføres til koefficientmodifikationskredsløbene. I den i fig. 3 viste udførelsesform indbefatter disse kredsløb afskæringskredsløbene henholdsvis 42a, 42b og 42c, som alle har et afskæringsniveau udvalgt i overensstemmelse med de forventede støjniveauer, som udtrykt i de koefficientsignaler, som er ført gennem
25 hvert af trinnene. De koefficientsignaler som ligger under afskæringsniveauet, hvilke signaler indeholder størstedelen af støjen, føres ubehandlede til inverstransformationskredsløb 30a, 30b og 30c. Koefficientsignaler større end afskæringsniveauerne, hvilke signaler indeholder størstedelen af billedinformationen, sættes lig med nul. Uddata fra spejltransformationerne i inverstransformationskredsløbene 30a, 30b og 30c sammensættes i sæt på fire billedsignaldele svarende til placeringen af elementerne a, b, c og d som
30 vist i henholdsvis fig. 10(A), (B) og (C). Disse billedsignaldele overføres til samlings- og gennemsnitsberegnings-

0 kredsløb henholdsvis 44a, 44b og 44c, hvor de fire delele-
menter, på grund af blokoverlapningen i hvert trin, sammen-
sættes gennem en egnet opbygning af forsinkelseselementer hvor-
efter der foretages gennemsnitsberegning for hvert billed-
5 signal. Gennemsnitsbilledsignalet (nu fortrinsvis støj)
fra hvert trin overføres derefter til forsinkelses-, opret-
nings- og summeringskredsløbet 48, hvor der tilvejebringes
forsinkelser som compensation for de forsinkelser, som frem-
bringes i de enkelte trin, hvorefter billedsignalerne opret-
10 tes og de i alle tre trin tilvejebragte billedsignaler (nu
overvejende støjsignaler) subtraheres fra det umodificerede
samlede signal, som tilvejebringes på lederen 40.

En måde at udføre fremgangsmåden på beskrives i det
følgende under henvisning til fig. 3. De dele af blokdia-
15 grammet i fig. 3, som udgør de forskellige filtertrin, er
af denne årsag særligt indrammet med punkterede linier.
Herefter vil den indrammede kasse 60 blive benævnt første-
trins 2 x 2 Walsh-Hadamard-filter, den indrammede kasse 62
benævnes andettrins 2 x 2 Walsh-Hadamard-filter, og den
20 indrammede kasse 64 benævnes tredje trins 2 x 2 Walsh-Hadamard-
filter. Fig. 11, 12 og 13 viser hvorledes de enkelte filter-
trin opbygges, idet fig. 11 viser Walsh-Hadamard-filteret 62
og fig. 13 viser Walsh-Hadamard-filteret 64. Forfiltrene
38a og 38b til gennemsnitsberegning, er tilvejebragt af
25 forsinkelses- og summeringselementerne som er vist i
fig. 17 og 18. Forsinkelses-, opretnings- og summeringskreds-
løbet 48 er tilvejebragt fra de forsinkelses- og summerings-
elementer, som tilvejebringer forbindelse i den inddata-
opbygning som er vist i fig. 19.

30 Et antal af lignende elementer er vist i diagrammerne
i fig. 11-19, således som forklaret herefter. Linie- og
elementforsinkelsesenheder er angivet med kasser henholdsvis
mærket med et "L" eller "P". (Hvor det er hensigtsmæssigt,
anføres et multiplum af "L" eller "P" i en enkelt kasse,
35 for herved at vise, at der er tilvejebragt flere forsinkel-
sesenheder). Summeringsorganer er angivet med kasser som

0

er mærkede med "S", og inddata er angivet med et "+" eller "-". Forholdsændringer er vist ved kasser mærkede med divisionssymbolet " $\div$ " fulgt af den særlige divisor (dvs. forholds faktor), som anvendes i denne særlige forholdsændring.

5

Endelig kan de komponenter, som indgår i opbygningen af de i figurerne 11-19 og 21-25 viste kredsløb tilvejebringes fra almindelige forsyningskilder. Udvalgelsen af komponenttyper kan foretages af enhver fagmand på området. Yderligere specifikationer anses for at være unødvendige til udøvelse

10

af den ved opfindelsen tilvejebragte fremgangsmåde.

15

Med henvisning til såvel fig. 3 som til fig. 11-19 overføres inddatabilledsignalstrømmen på samme tid til det første trins 2 x 2 Walsh-Hadamard-filter 60 (fig. 11) og til det andet trins forfilter 38a, som udfører gennemsnitsberegninger, (fig. 17). Den i fig. 17 viste opbygning af forsinkelses- og summeringsenheder tilvejebringer det i fig. 9A viste mønster til udførelse af gennemsnitsberegning.

20

Det resulterende gennemsnit divideres med 16 og overføres til det andet trins Walsh-Hadamard-filter 62 (fig. 12) og til det tredje trins forfilter 38b, som foretager gennemsnitsberegner (fig. 18). De i fig. 18 viste forsinkelses- og summeringsenheder tilvejebringer det i fig. 9B viste mønster til udførelse af gennemsnitsberegning. Det resulterende gennemsnit divideres herefter med 16 og overføres til det tredje trins Walsh-Hadamard-filter 64 (fig. 13).

25

Hvert Walsh-Hadamard-filter (fig. 11-13) indbefatter en 2 x 2 Walsh-Hadamard-processor 70, hvilken processor vises mere detaljeret i fig. 14. Med henvisning til de i fig. 3 viste enheder, omfatter hver processor 70 et direkte-transformationskredsløb 26a, 26b eller 26c (også vist som et 2 x 2 transformationsorgan 72 i fig. 14), endvidere afskæringsskredsløbene 42a, 42b eller 42c (også vist som en størrelseskomparator 76 og en multipleksor 77 i fig. 14) og endelig inverstransformationskredsløbet 30a, 30b eller 30c (også vist som et 2 x 2 transformationsorgan 78 i fig. 14). De kredsløb med forsinkelsesenheder som ligger foran kreds-

30

35

0

løbet 70 i hver af diagrammerne i fig. 11-13 svarer til
forsinkelses- og opretningskredsløbene henholdsvis 36a, 36b
eller 36c, hvilke kredsløb er indbefattet i det i fig. 3
viste apparats forskellige trin. Disse forsinkelsesenheder
5 tilvejebringer fire billedsignaler a, b, c og d, hvilke
billedsignaler er knyttet til de fire billedelementlokatio-
ner a, b, c og d, som er udpegede til Walsh-Hadamard-trans-
formationerne i hvert trin (som vist i fig. 10(A), 10(B) og
10(C)). De i hver af diagrammerne i fig. 11-13 efter kreds-
løbet 70 følgende forsinkelses- og summeringsenheder svarer
10 til de samlings- og gennemsnitsberegningskredsløb henholdsvis
44a, 44b og 44c, som er vist i fig. 3.

I fig. 14 er vist et detaljeret diagram af 2 x 2
Walsh-Hadamard-processoren 70, hvor fire inddatabilledsig-
15 naler a_1 , b_1 , c_1 og d_1 overføres til 2 x 2 transformations-
organet 72, som tilvejebringer en Walsh-Hadamard-transforma-
tion af inddatasignalet og tilvejebringer de fire transforma-
tionskoefficientsignaler H1, H2, H3 og H4. De til Walsh-Hada-
mard-operationerne nødvendige beregninger tilvejebringes
20 fra et sæt af 1 x 2 Walsh-Hadamard-transmutationsorganer 74
i fig. 15, hvilke organer indbefatter et summeringskreds-
løb som vist i fig. 16. Tre af koefficientsignalerne H2, H3
og H4 sammenlignes med referencestørrelser i størrelseskompa-
ratoren 76. Hvis et af koefficientsignalerne har en størrel-
25 se som overskrider referencestørrelsen, tilføres der en
bit til multiplekseren 77, som medfører at multipleksoren 77
forbinder den tilsvarende koefficient med jord (nul). Hvis
størrelsen er mindre end den tilsvarende referencestørrelse,
overføres inddatakoefficientsignalet til 2 x 2 transforma-
30 tionsorganet 78 uden ændringer. I et "udtagnings- og adde-
rings-" system vil ethvert inddatakoefficientsignal, som er
større end den tilsvarende referencestørrelse bliver over-
ført til transformationsorganet 78, medens andre signaler
forbindes med jord (nul), og H1 koefficientsignalet, som
35 repræsenterer et gennemsnit af inddatabilledsignalerne, over-
føres enten til det næste trin (som i de første to trin i

0

fig. 2), eller direkte til 2×2 transformationsorganet 78 (som i det tredje trin i fig. 2). I udførelsesformen i fig. 3, som er et "afskærings- og subtraktions-" system, bliver det til transformationsorganet 78 førte H1 signal indstillet til nul. Til Walsh-Hadamard-inverstransformation er 2×2 transformationsorganet 78 opbygget på samme måde som 2×2 transformationsorganet 72, idet dog inddata nu er modificerede koefficientsignaler H1', H2', H3' og H4'. I transformationsorganet 78 frembringes Walsh-Hadamard's inverstransformation, og der tilvejebringes, efter division med en forholdsfaktor på 4, fire modificerede billedsignaler a_4 , b_4 , c_4 og d_4 .

Disse modificerede billedsignaler overføres derefter til de af forsinkelses- og summeringsenheder tilvejebragte kredsløb, som ligger efter processoren 70 i fig. 11, 12 og 13. I disse kredsløb samles de fire delelementer, som er tilvejebragt ved blokoverlapningen, af de indsatte forsinkelseselementer, og der foretages en gennemsnitsberegning for hvert billedsignal. Strømmen af disse gennemsnitsbilledsignaler overføres derefter til de tilsvarende porte på forsinkelses-, opretnings- og summeringskredsløbet i fig. 19. I dette kredsløb tilvejebringes forsinkelse til udfligning af de forsinkelser der frembringes i de enkelte trin, og endvidere sker der en opretning og en subtraktion af de fra de tre trin frembragte signaler fra det umodificerede samlede signal, som overføres til porten 48a fra lederen 40.

Eftersom opfindelsen angår flertrinsopbygningen og blokoverlapningstransformationsfremgangsmåden til støjreduktion, er den særlige art eller sammensætning af transformationer, som anvendes, ikke udslagsgivende for opfindelsens udøvelse. Ikke desto mindre gengiver visse arter eller kombinationer af transformationer visse billedelementer i det behandlede billede forskelligt fra, hvorledes andre arter eller kombinationer af transformationer ville gengive sådanne elementer. Hvorvidt en gengivelse ved anvendelse af en art eller kombination af transformationer er "bedre" end andre, afhænger af de samlede fordele og ulemper ved brugen af den/-

35

0

de bestemte transformation(er) set ud fra det resultat som er særlig foretrukket i billedbehandlingen. Som eksempel er i fig. 4 vist et blokdiagram af en blocoverlapningstransformationsfremgangsmåde, som udføres i to trin ifølge en tredje udførelsesform af opfindelsen. I det første trin anvendes et 4 x 4 rampetransformationsorgan, og i det andet trin et 2 x 2 Walsh-Hadamard-transformationsorgan. Det antages, at sammensætningen af transformationer, som er anvendt i denne tredje udførelsesform, kan indbefatte visse fordele i forhold til udførelsesformen i fig. 3 ved gengivelsen af form, medens sammensætningen af transformationer, som er anvendt i udførelsesformen i fig. 3 synes at have visse fordele ved gengivelsen af kanter.

Som i udførelsesformen i fig. 3 indbefattes i fig. 4 en afskærings- og subtraktionsarbejds måde til støjisolation og signalrekombination. Yderligere er flere af elementerne i udførelsesformen i fig. 3 også indbefattet i udførelsesformen i fig. 4. Den tilførte sekvens af billedsignaler (som repræsenterer det samlede billedsignal) overføres uden modifikation via en leder 100 til inddataporten 48a på forsinkelses-, opretnings- og summeringskredsløbet 48. De til billedet knyttede højfrekvensdele af signalet transformeres og afskæres i et 4 x 4 rampefilter 102 i det første trin, og i 2 x 2 Walsh-Hadamard-filteret 64 i det andet trin. Det fra afskæringen tilvejebragte resultat inverstransformeres og overføres til samlekredsløb, hvori foretages gennemsnitsberegninger, hvilke kredsløb er indbefattet i filtrene 64 og 102, hvor delementerne, som er tilvejebragt ved blocoverlapningen, samles og hvor der foretages en fælles gennemsnitsberegning for hvert billedsignal. De resulterende højfrekvenssignaler med små amplituder, hvilke signaler indbefatter gennemsnitsbilledsignaler, som hovedsagelig repræsenterer støj, overføres til inddataportene 48c og 48d på forsinkelses-, opretnings- og summeringskredsløbet 48. Fig. 20 viser den 4 x 4 billedelementopbygning, som behandles af 4 x 4 rampefilteret 102. 2 x 2 Walsh-Hadamard-filteret 64 behandler den

0 opbygning af billedelementer, som er vist i fig. 10(C)
(tredje trin). I det andet trin er der ved et forfilter
104, til gennemsnitsberegning tilvejebragt en udjævnet udga-
ve af det oprindelige billede.

5 De i en udførelse af de i blokdiagrammet i fig. 4
indgående kredsløbselementer er vist i fig. 13-19 og 21-25.
4 x 4 rampefilteret 102 i det første trin er vist i fig. 21
indbefattende et antal forsinkelses- og summeringskredsløb
og en 4 x 4 rampeprocessor 106. Rampeprocessoren 106 indbefat-
10 ter de i fig. 22 viste dele: et 4 x 4 direkte rampetransforma-
tionsorgan 108, en størrelseskomparator 110, en multipleksor
112, et 4 x 4 inversrampetransformationsorgan 114, og et
forholdsændringsorgan 115, som dividerer med 16, til hver
koefficient. 4 x 4 rampetransformationsorganet 108 beskri-
15 ves yderligere i fig. 23, idet det indbefatter en indbyr-
des forbundet gruppe af 1 x 4 direkte rampetransformations-
organer 116, hvilket organer igen er vist i fig. 24. Det er
her vist, hvorledes 1 x 4 rampetransformationen tilvejebrin-
ges fra fire 1 x 2 Walsh-Hadamard transformationsorganer
20 118 ved en sammensætning af aritmetiske operationer. 1 x 2
Walsh-Hadamard-transformationsorganet 118 er vist i fig. 16
i sin grundform indbefattende summerings og divisionselemen-
ter. Et forfilter 104, som foretager beregning af gennem-
snit, er en sammensætning af elementerne i fig. 17 og 18,
25 dvs. at uddata fra elementerne i fig. 17 sammensættes til
inddata for elementerne i fig. 18. 2 x 2 Walsh-Hadamard-fil-
teret i andet trin i fig. 4 er det samme filter, som er vist
i fig. 13, og indbefatter den samling af kredsløbselementer,
som tidligere er beskrevet i forbindelse med fig. 14-16.

30 Ved fremgangsmådens udøvelse overføres en strøm af
inddatabilledsignaler samtidig til 4 x 4 rampefilteret 102
i det første trin og forfilteret 104, som foretager gennem-
snitsberegninger, i det andet trin. I det første trin indran-
gerer samlingen af forsinkelsesenheder på inddatasiden af
35 4 x 4 rampeprocessoren 106 (fig. 21) inddatasignalerne i
det datasæt, som er anskueliggjort i fig. 20. Disse seksten

0

inddatabilledsignaler $a_1 \dots p_1$ overføres til 4×4 rampetransformationsorganet 108, hvor der tilvejebringes en rampetransformation af inddatasignalerne, samt frembringes 16 transformationskoefficientsignaler $a_3 \dots p_3$. Rampetransformationsorganet 108 indbefatter et antal 1×4 rampetransformationsorganer 116 (fig. 23). Et skematisk diagram over et enkelt 1×4 rampetransformationsorgan, som virker på de første fire billedsignaler $a_1 \dots d_1$ er vist i fig. 24, hvor også vises dets tilvejebringelse fra 1×2 Walsh-Hadamard transformationsorganet 118 (som vist i fig. 16). Det i fig. 23 viste andet 1×4 rampetransformationsorgan er tilsvarende opbygget, når bortses fra inddata- og uddatalinierne.

Femten af rampetransformationskoefficientsignalerne - $b_3 \dots p_3$ - sammenlignes med tilsvarende referencestørrelser i størrelseskomparatoren 110. Hvis et eller flere af koefficientsignalerne har en størrelse, som overstiger den tilsvarende referencestørrelse, overføres en bit til multipleksoren 112, hvilken bit bevirker at multipleksoren 112 forbin-
der det tilsvarende koefficientsignal med jord (nul). I modsat fald overføres koefficientsignalerne til 4×4 spejl-rampetransformationsorganet 114 uden ændringer. Eftersom det her er tilvejebragt en "afskærings- og subtraktions-" arbejds-
måde, indstilles koefficienten a_3 , som repræsenterer gennemsnits- eller lavpassignalet, til nul. 4×4 spejlrampetransformationsorganet 114 indbefatter et antal 1×4 rampetransformationsorganer, som vist i fig. 23, bortset fra at hvert 1×4 direkte transformationsorgan 116 er erstattet med det i fig. 25 viste 1×4 inversrampetransformationsorgan. Fire 1×2 Walsh-Hadamard-transformationsorganer 118 (fig. 16) og egnede aritmetiske operationer er vist i fig. 25 for et enkelt 1×4 inversrampetransformationsorgan. Det bemærkes, at spejlrampetransformationer i en blokeoverlapingstransformationsfremgangsmåde er identisk med den direkte rampe-transformation, bortset fra fortegnende. Dvs. at 4×4 spejlrampetransformationsorganet 114 kan opbygges på samme måde som 4×4 direkte rampetransformationsorganet 108, når der

0

tages hensyn til fortegnene. Det ved afskæring tildannede billedsignal divideres herefter med seksten og overføres til det efter processoren 106 i fig. 21 følgende, af forsinkelses- og summeringsenheder frembragte net. I dette net sam-

5 les seksten fra blokoverlapningen tilvejebragte delelementer i de indsatte forsinkelseselementer, hvorefter gennemsnittet af dem for hvert billedsignal beregnes.

I det andet trin i fig. 4 overfører forfilteret 104, hvori der foretages gennemsnitsberegninger, sammenkædningen af de i fig. 9A og 9B viste gennemsnitsberegningssmønstre for billedsignalinddatastrømmen. Dette er iværksat ved sammenkædning af andet og tredje trins forfiltre, som vist i fig. 17 og 18 sammen med fig. 3. Eftersom andet trins

10 2 x 2 Walsh-Hadamard-filter 64 i fig. 4 er identisk med tredje trins Walsh-Hadamard-filter 64 i fig. 3, henvises for en total beskrivelse af de i filteret indgående dele til beskrivelsen af tredje trins Walsh-Hadamard-filter i fig. 13.

Gennemsnitssignalerne (nu fortrinsvis støj) fra hvert trin i fig. 4 overføres nu til forsinkelses-, opretnings- og summeringskredsløbet 48, hvor der frembringes forsinkelser til udligning af de forsinkelser, som frembringes i de enkelte trin, og hvor der finder en opretning sted, samt hvor der udføres en subtraktion af de i de to trin tilvejebragte signaler fra det umodificerede samlede signal, som overføres på lederen 100. Den i diagrammet i fig. 19 viste sammenstilling af forsinkelses- og summeringselementer, tilvejebringer de til kredsløbet 48 i fig. 4 nødvendige forsinkelses-, opretnings- og summeringsfunktioner i det tilfælde at det samlede signalbånd forbindes med inddataporten 48a, uddata fra 4 x 4 rampefilteret 102 forbindes med inddataporten 48c, og uddata fra andettrins 2 x 2 Walsh-Hadamard-filter 64 forbindes med inddataporten 48d. Ved anvendelsen af kredsløbet i fig. 19 til kredsløbet 48 i fig. 4 forbliver inddataporten 48b uforbundet.

15 20 25 30

35

Den foreliggende opfindelse er detaljeret beskrevet under henvisning til foretrukne udførelsesformer, men ek-

sempelvis vil det kunne forstås, at de ved opfindelsen til-
vejebragte fremgangsmåder kan udøves ved egnet programmering
af en digitaldatamat. En sådan programmering er kendt og er
åbenbar for fagfolk på området.

5

10

15

20

25

30

35

P a t e n t k r a v .

1. Fremgangsmåde til billedbehandling af et oprindeligt billede til frembringelse af et behandlet billede med færre uønskede bestanddele, end det oprindelige billede,
5 hvilken fremgangsmåde indbefatter følgende trin:
- A. i et første trin frembringelse af en første række billedsignaler knyttede til hvidheden af de enkelte elementer i det oprindelige billede,
- B. sammensætning af billedsignalerne fra den første
10 serie i billedsignalsæt svarende til overlappende blokke af billedelementer, hvor visse af billedsignalerne er indbefattede i mere end ét sæt,
- C. omsætning af hvert sæt af billedsignaler ved et sæt af uafhængige funktioner til et tilsvarende første sæt
15 af koefficientsignaler, som repræsenterer (a) en gennemsnitlig hvidhed inden for hver blok og (b) én eller flere værdiansættelser af rumlige hvidhedsvariationer, som er repræsentative for støj og billeddetaljer i hver blok, k e n d e - t e g n e t ved følgende trin:
- 20 D. frembringelse i idet mindste ét efterfølgende trin af en efterfølgende række af afledte billedsignaler fra sammensætningen af billedsignaler i den foregående række, som var repræsentative for hvidheden i udpegede områder af billedet, og som var behandlet i det foregående trin,
- 25 E. gruppering de afledte billedsignaler i sæt af afledte billedsignaler svarende til overlappende blokke af afledte billedelementer, hvori visse af de afledte billedsignaler er indbefattet i mere end ét sæt,
- F. omsætning af hver sæt af afleddede billedsignaler
30 ved et sæt uafhængige funktioner til et tilsvarende efterfølgende sæt af afledte koefficientsignaler, som repræsenterer (a) en gennemsnitlig hvidhed indenfor hver blok af afledte billedelementer, og (b) én eller flere værdiansættelser af rumlige variationer af hvidheden, som er repræsentativ for
35 støj og billeddetaljer, indenfor hver blok af afledte billedelementer,

G. modifikation af i det mindste visse af sættene af koefficientsignaler ved (a) udpegning af visse koefficienter ved sammenligning med i det mindste én tærskelværdi, og (b) ændring af disse udpegede koefficientsignaler,

5 H. frembringelse af et behandlet billede ud fra sættet af koefficientsignaler behandlet i hvert trin, hvorved støj reduceres uden dannelse af bloklignende strukturer, som er karakteristisk for bloktransformationsbehandling, og hvor billeddetaljer gengives med ringe billedtab og ringe for-
10 vrængning.

2. Fremgangsmåde ifølge krav 1, k e n d e t e g - n e t ved, at det trin, i hvilket der tilvejebringes afledte billedsignaler, indbefatter anvendelse af de koefficientsignaler, som repræsenterer den gennemsnitlige hvidhed inden
15 for blokkene i det forudgående trin, som de afledte billedsignaler.

3. Fremgangsmåde ifølge krav 1, k e n d e t e g - n e t ved, at det trin, i hvilket der tilvejebringes afledte billedsignaler, indbefatter filtrering af de billedsignaler,
20 som er behandlede i det forudgående trin, for tilvejebringelse af filtrerede billedsignaler, som repræsenterer de i det forudgående trin behandlede billedsignalers almindelige hvidhed.

4. Fremgangsmåde ifølge krav 1, k e n d e t e g - n e t ved, at i det trin, hvor der opstilles afledte billedsignaler i sæt af afledte billedsignaler svarende til overlappende blokke af afledte billedelementer, frembringes
tilsvarende blokke med det samme antal afledte billedelementer, idet hver blok indbefatter i det mindste ét afledt
30 billedelement, som blokken har fælles med i det mindste én anden blok.

5. Fremgangsmåde ifølge krav 2, 3 eller 4, k e n d e t e g n e t ved, at trinnet til modifikation af i det mindste nogle af koefficientsignalsættene indbefatter følgen-
35 de trin,

A. fastsættelse af én eller flere tærskelværdier,

som repræsenterer én eller flere koefficientstørrelser af sådanne værdier, at større koefficientstørrelser kun sjældent vil frembringes udelukkende på grund af støj,

B. udpegning af dertil knyttede koefficientsignaler, 5 som er mindre end én eller flere af tærskelværdierne,

C. ændring af disse udpegede koefficientsignaler ved reduktion af deres størrelse.

6. Fremgangsmåde ifølge krav 2, 3 eller 4, k e n - d e t e g n e t ved, at

10 A. trinnet med tilvejebringelse af billedsignaler yderligere indbefatter frembringelse af et samlet billedsignal, hvilket signal er sammensat af billedsignaler, som ikke indgår i billedsignalsæt, eller er overført til den forudbestemte række af adskilte trin,

15 B. modifikationstrinnet, hvori i det mindst nogle af koefficientsignalsættene modificeres, indbefatter følgende trin

(a) fastsættelse af én eller flere tærskelværdier, som repræsenterer én eller flere 20 koefficientstørrelser af sådanne værdier, at større koefficientstørrelser kun sjældent vil frembringes udelukkende på grund af støj,

(b) udvælgelse af dertil knyttede koefficientsignaler, som er større end én eller 25 flere af tærskelværdierne,

(c) ændring af disse udpegede koefficientsignaler, som er større end én eller flere af tærskelværdierne,

30 C. det trin, hvori frembringes behandlede billedsignaler indbefatter frembringelse af støjsignaler fra koefficientsignalsættene, hvoraf nogle er ændrede, og subtrahering af støjsignaler fra det samlede billedsignal.

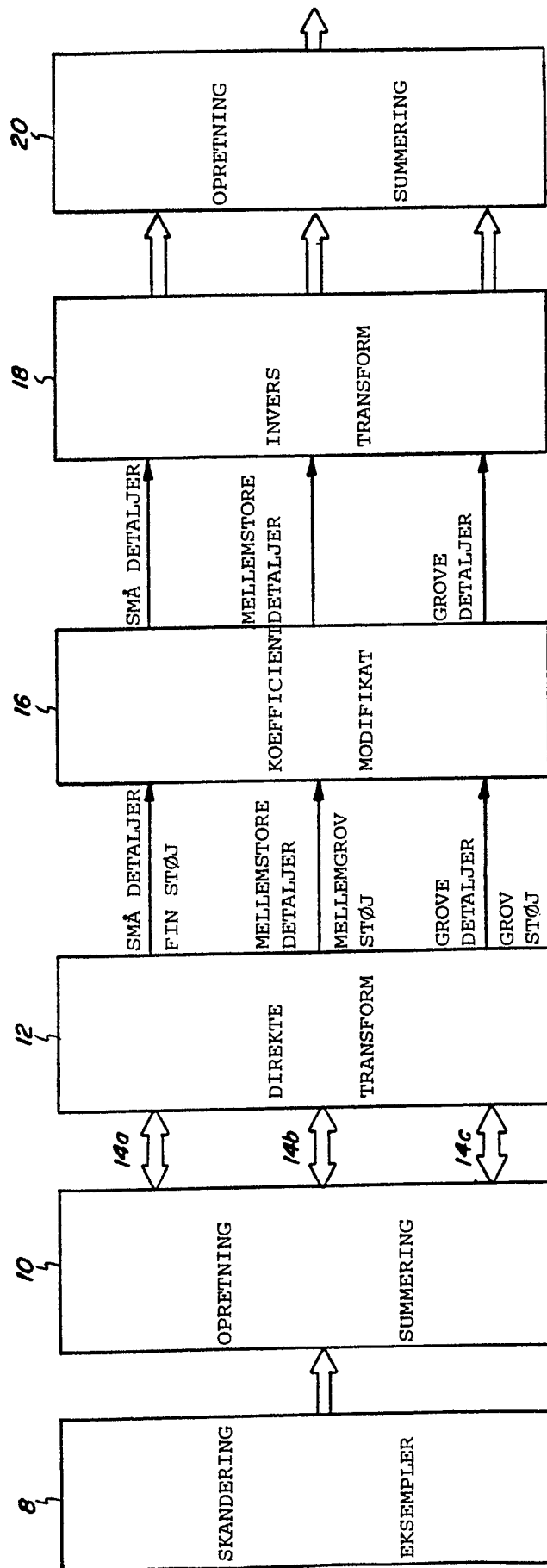


FIG. 1

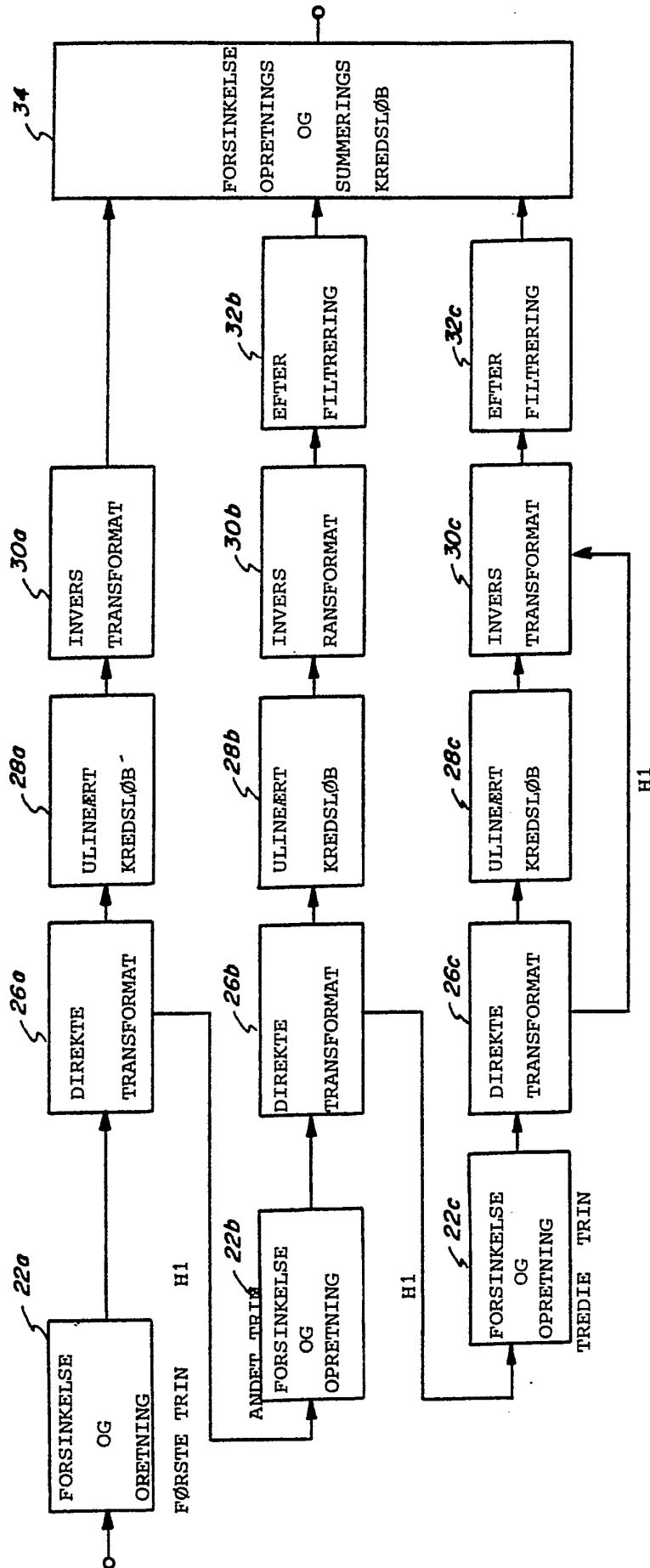
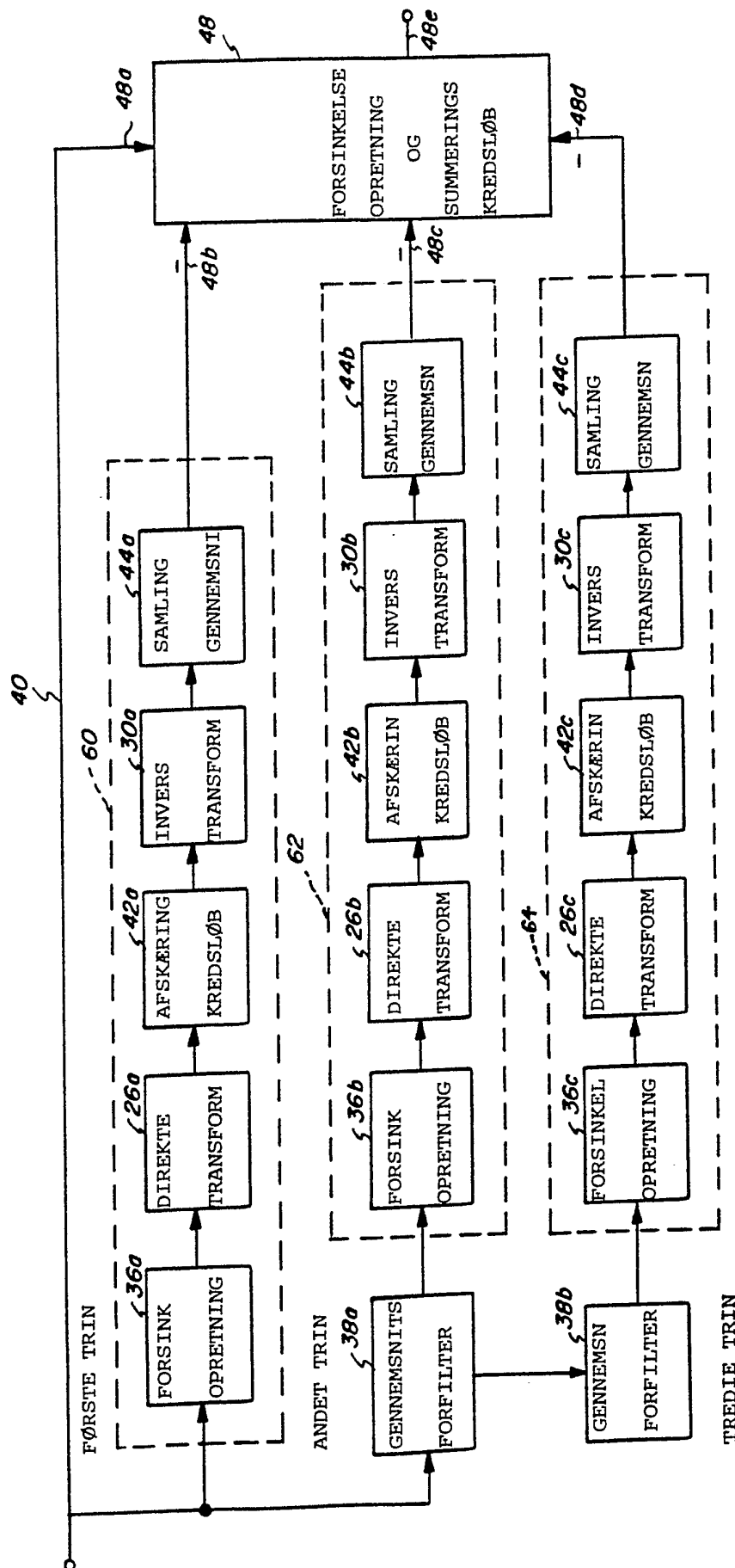


FIG. 2



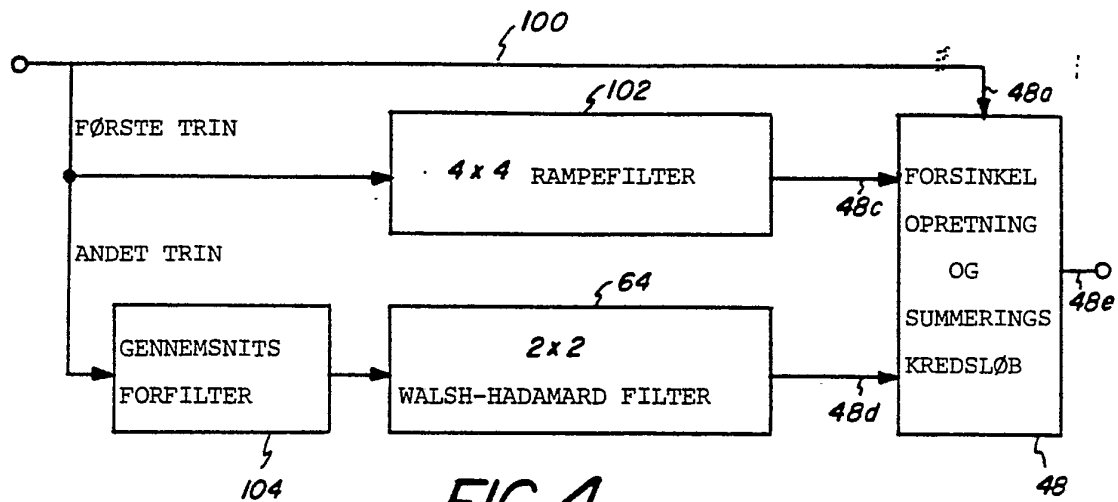


FIG. 4

2x2

BILLEDSIGNALBLOK

d	c
b	a

WALSH-HADAMARD OPERATORER

H1	H2	H3	H4
$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$

FIG. 5

DIREKTE WALSH-HADAMARD BEREKNINGER

$$H1 = d + c + b + a$$

$$H2 = d - c + b - a$$

$$H3 = d + c - b - a$$

$$H4 = d - c - b + a$$

INVERSE WALSH-HADAMARD BEREKNINGER

$$d = (H1 + H2 + H3 + H4) / 4$$

$$c = (H1 - H2 + H3 - H4) / 4$$

$$b = (H1 + H2 - H3 - H4) / 4$$

$$a = (H1 - H2 - H3 + H4) / 4$$

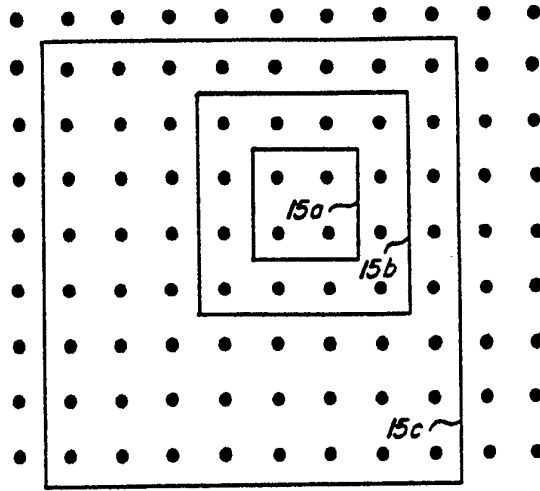


FIG. 6

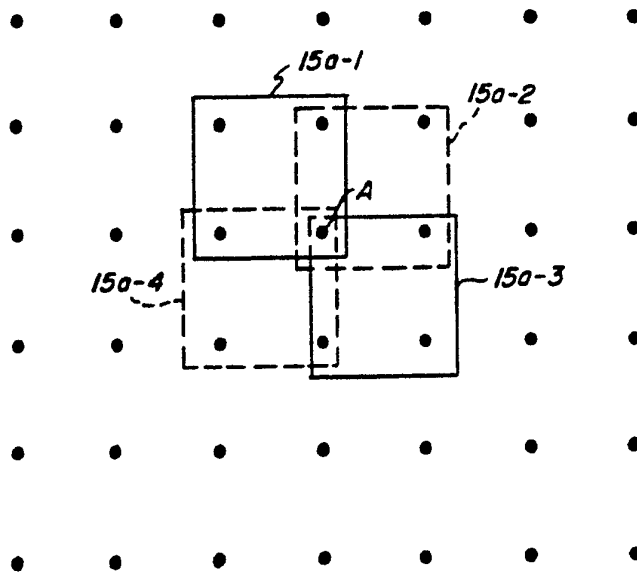


FIG. 7a

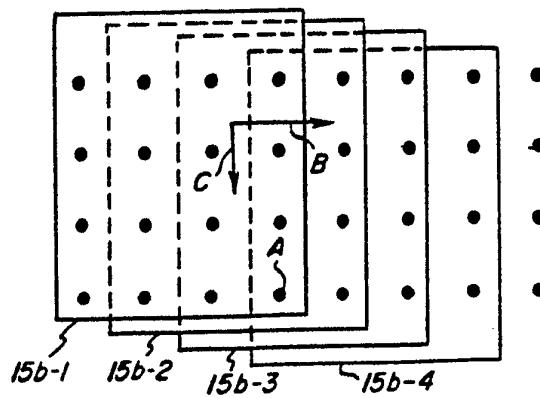


FIG. 7b

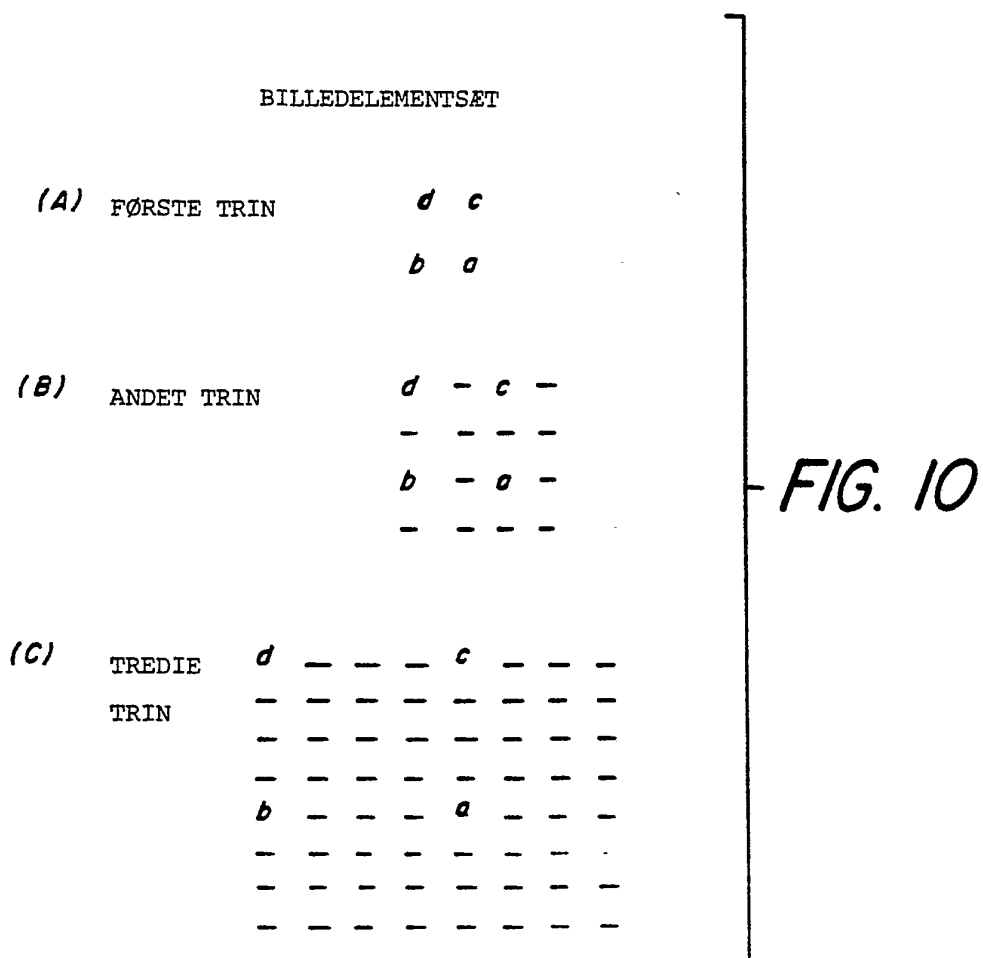
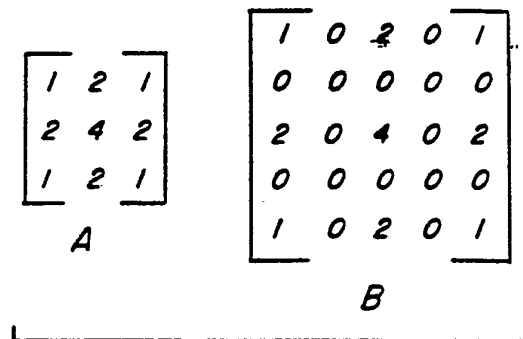
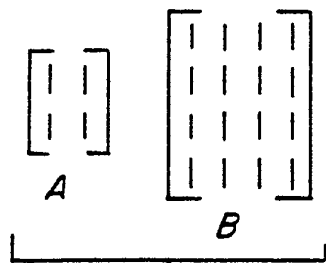


FIG. 11

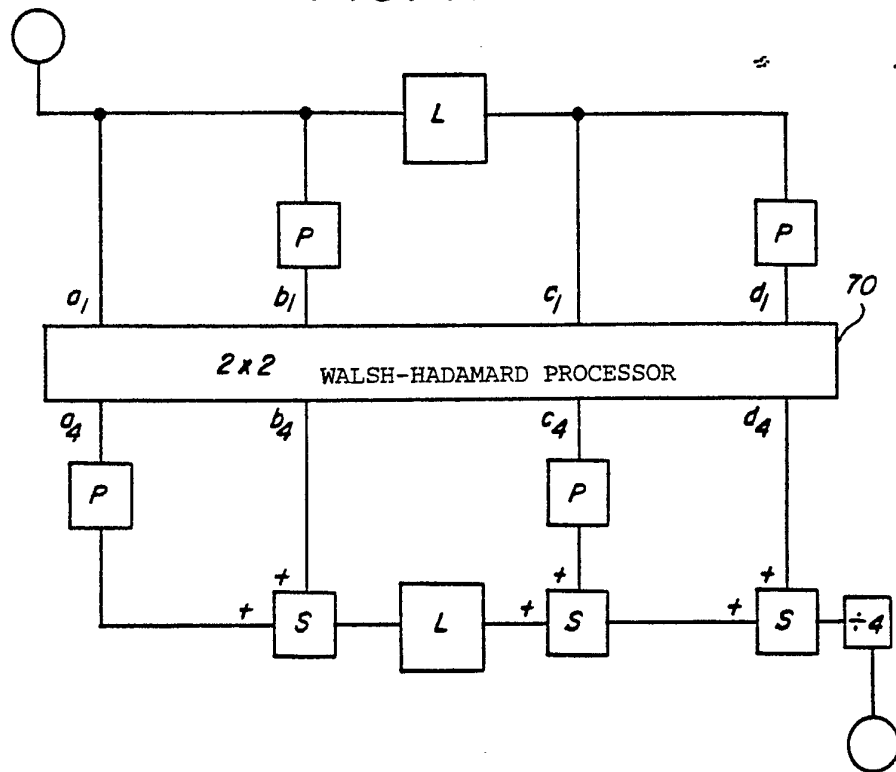


FIG. 12

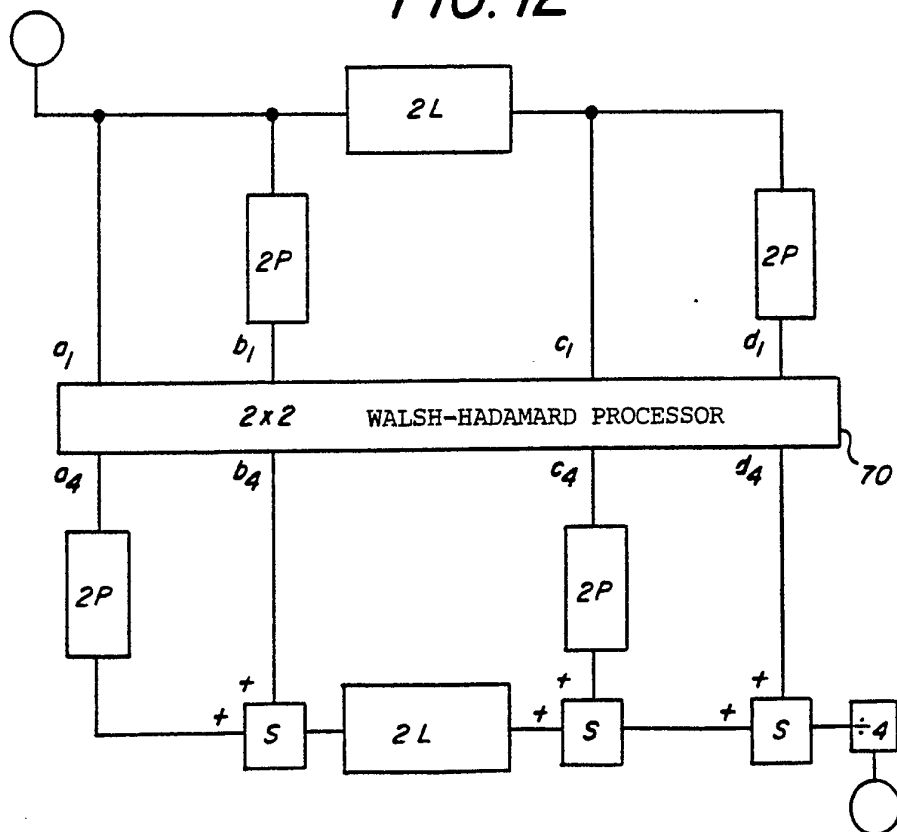


FIG. 13

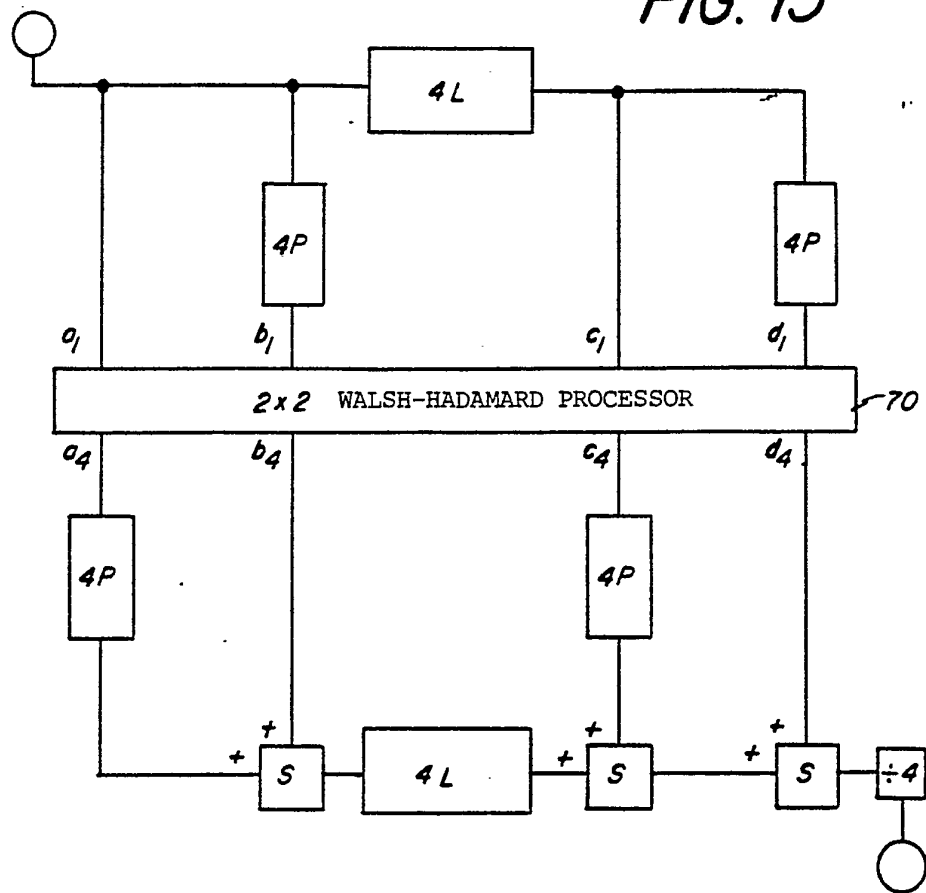


FIG. 14

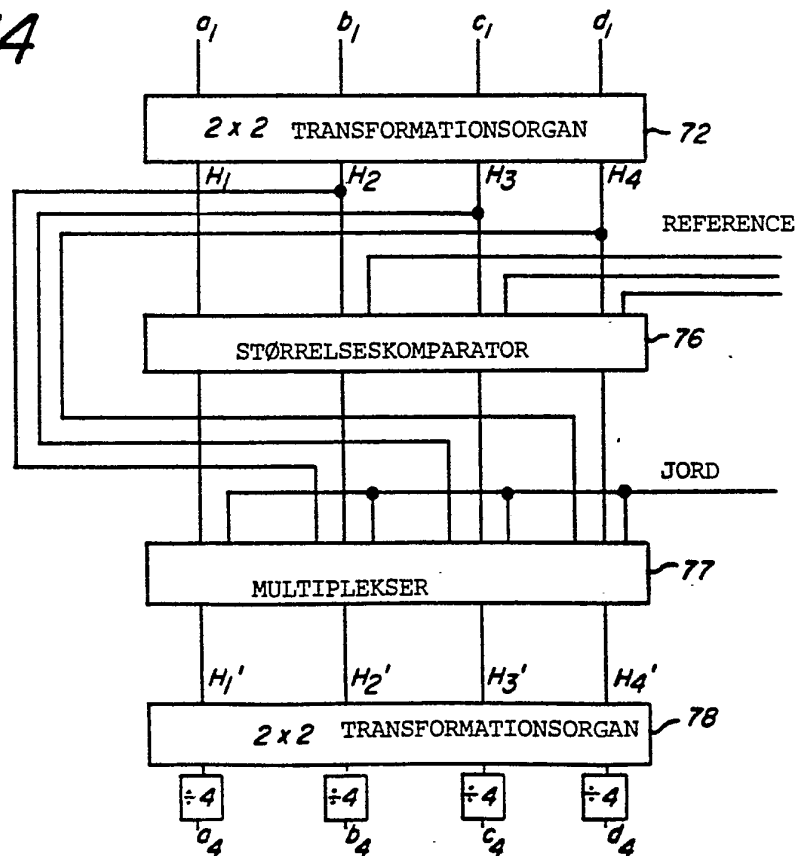


FIG. 15

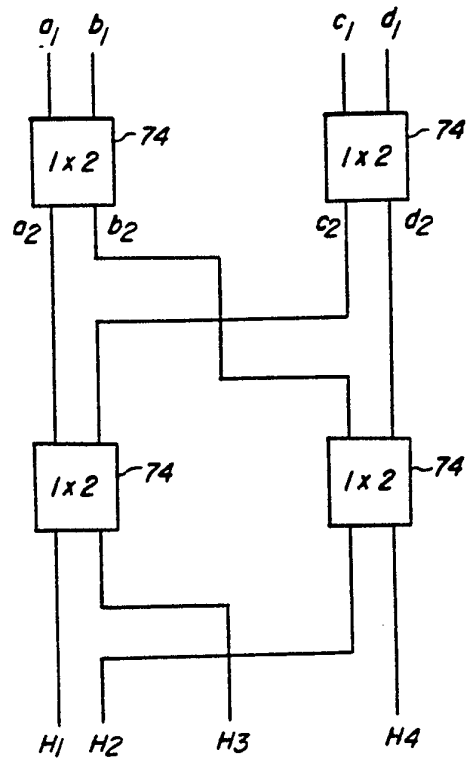
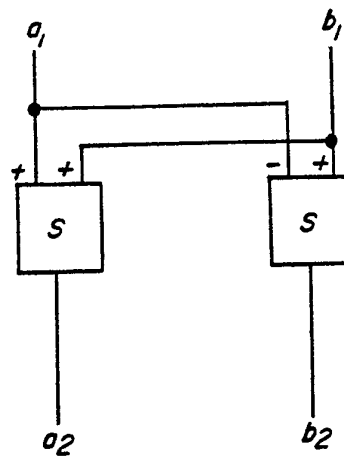


FIG. 16



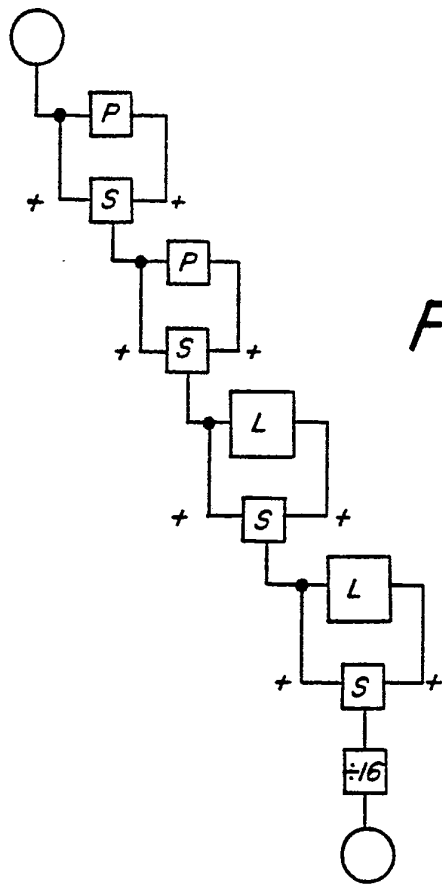


FIG. 17

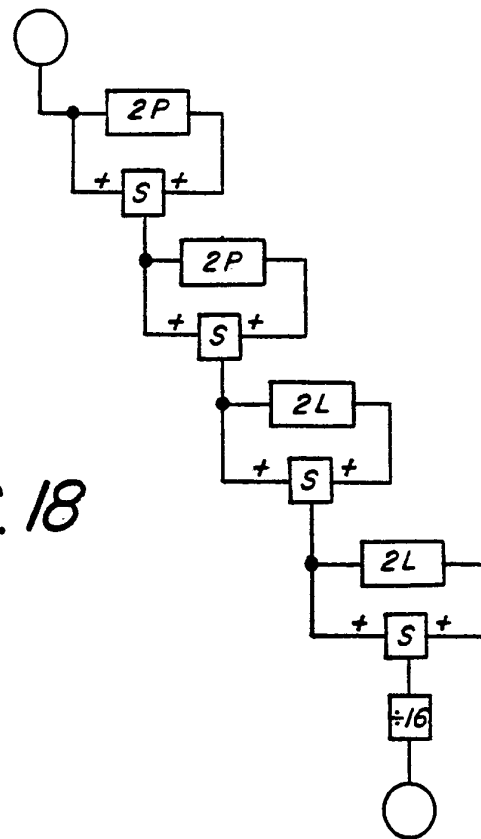


FIG. 18

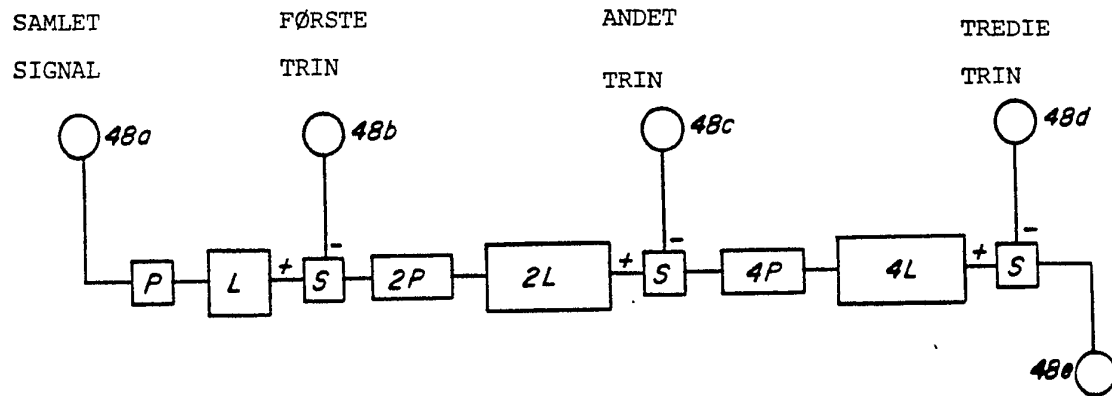


FIG. 19

p	o	n	m
l	k	j	i
h	g	f	e
d	c	b	a

FIG. 20

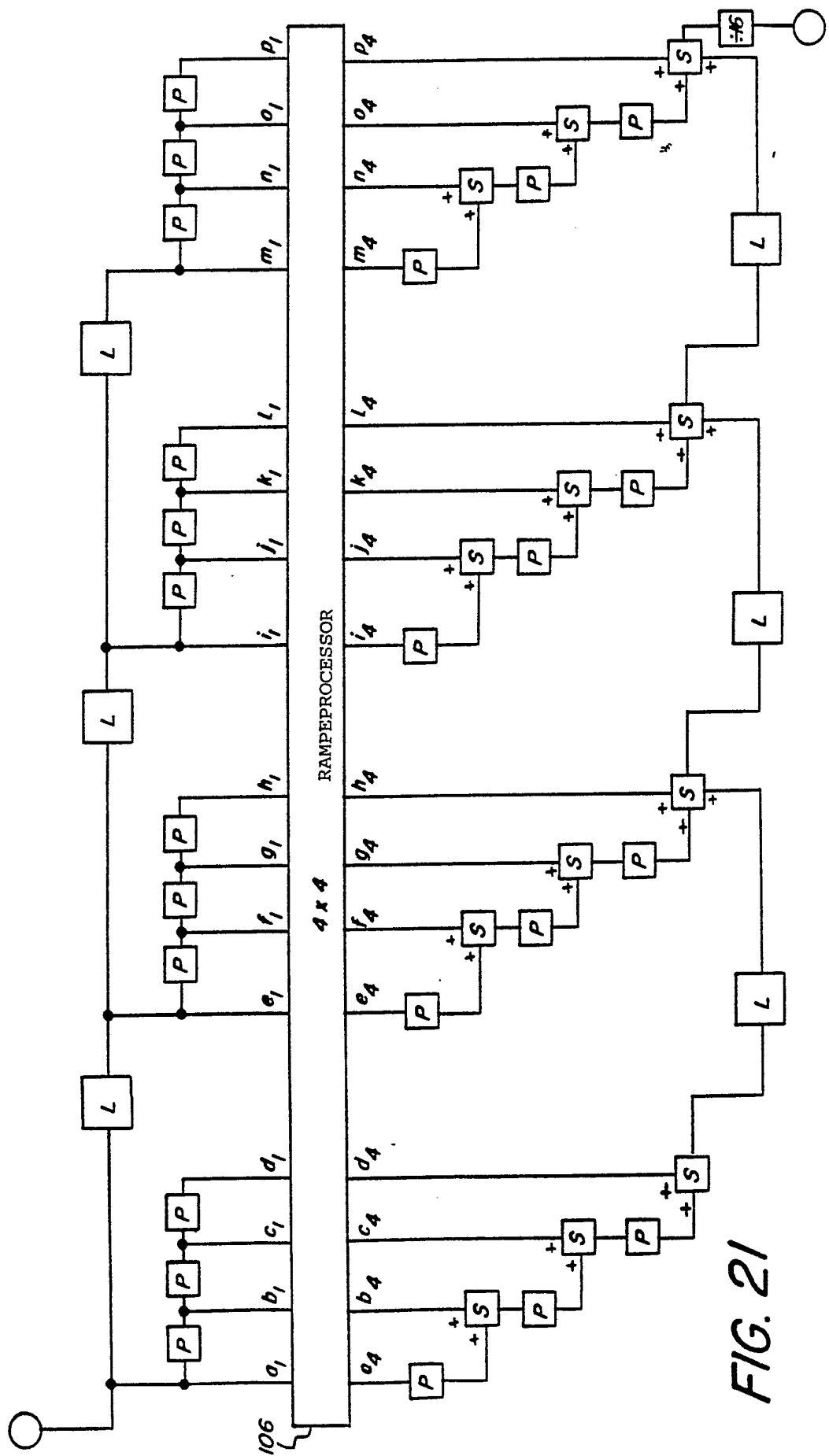


FIG. 21

FIG. 22

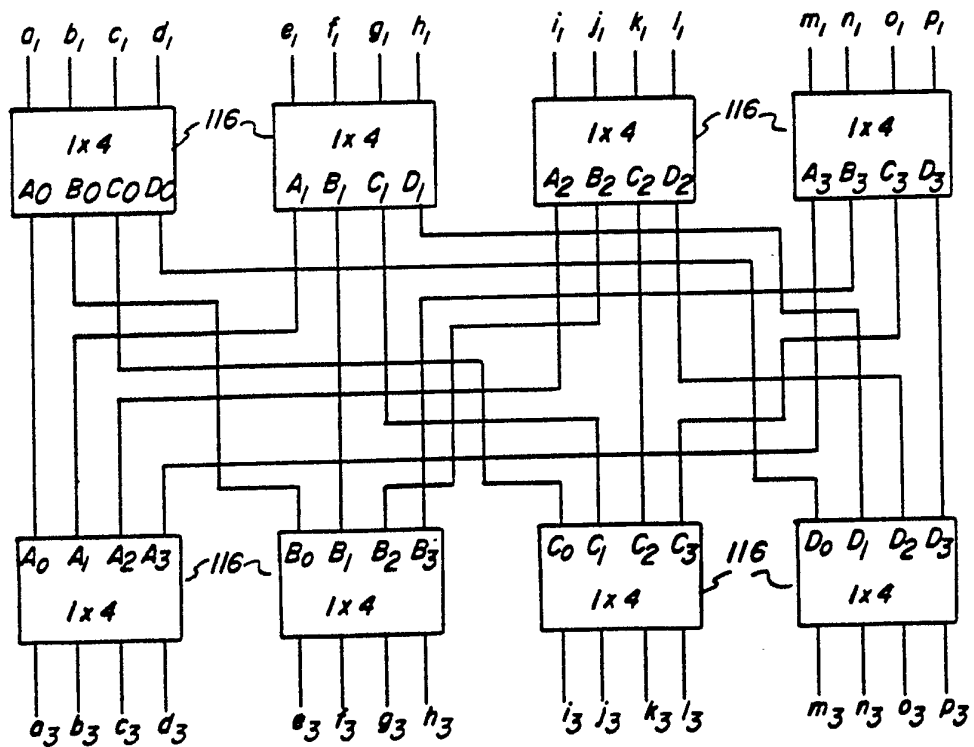
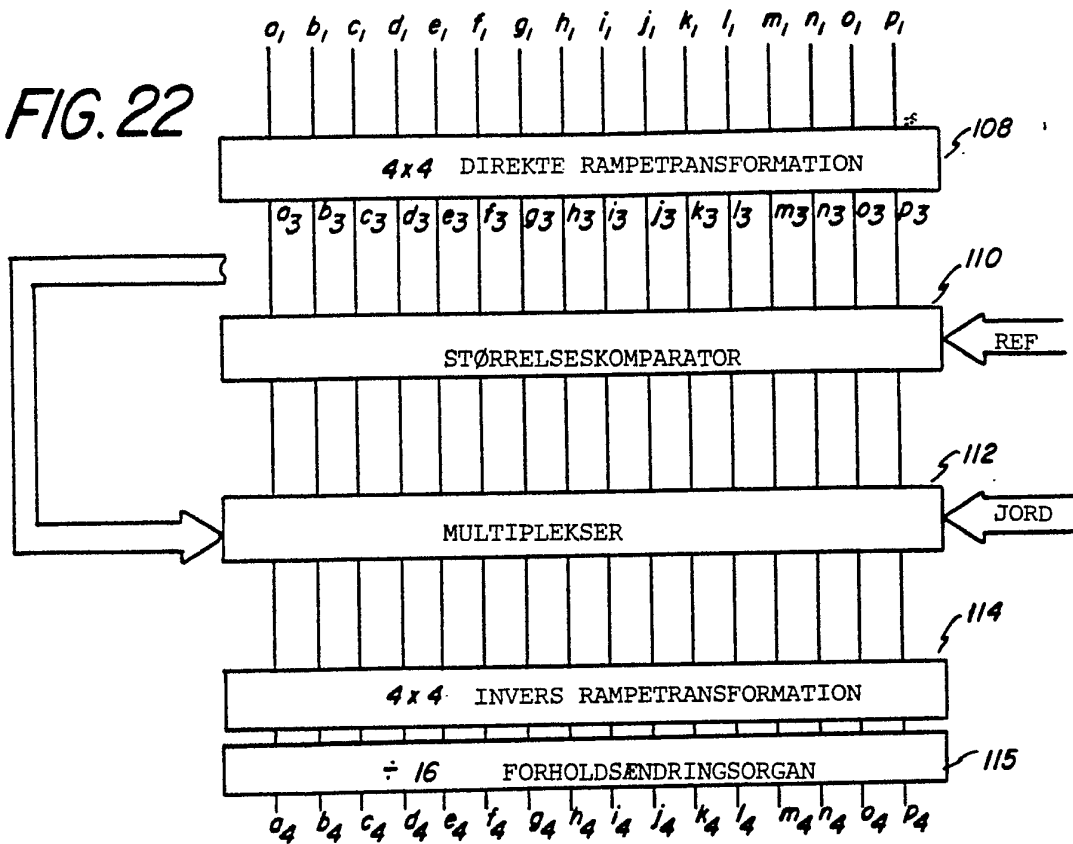


FIG. 23

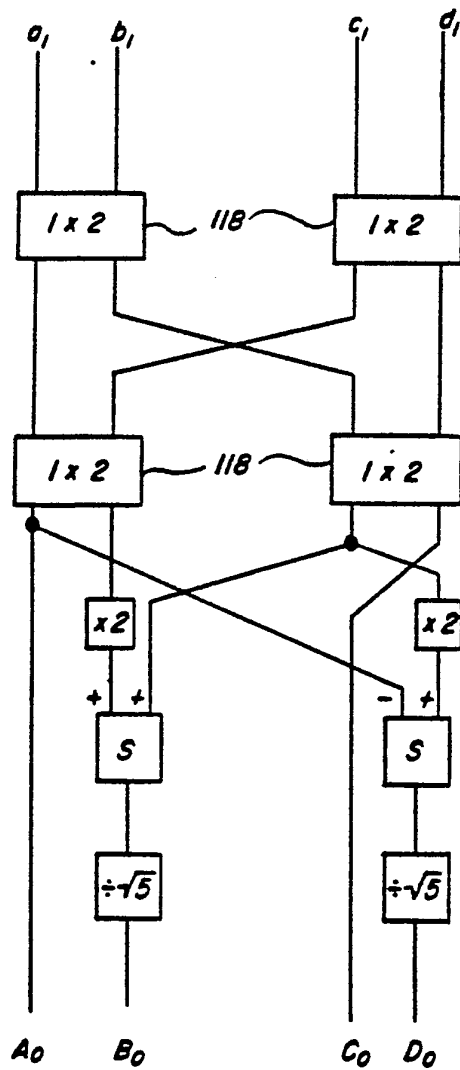


FIG. 24

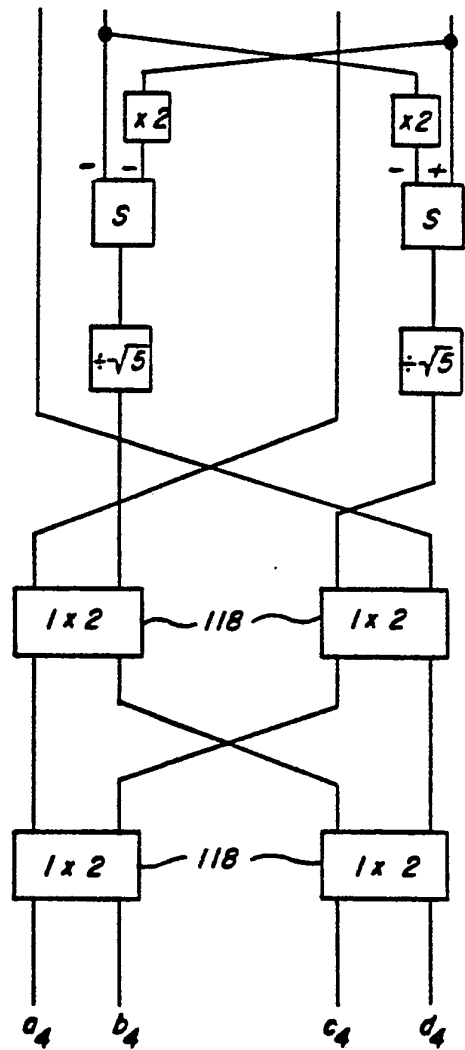


FIG. 25