



**NORGE**

(19) [NO]

STYRET FOR DET  
INDUSTRIELLE RETTSVERN

**[B] (12) UTLEGNINGSSKRIFT (11) Nr. 164137**

(51) Int. Cl.<sup>5</sup> G 01 S 13/89

(21) Patentsøknad nr. **842800**  
(22) Inngivelsesdag 10.07.84  
(24) Løpedag 10.07.84  
(62) Avdelt/utskilt fra søknad nr.

(71)(73) Søker/Patenthaver **NORGES TEKNISK-NATURVITEN-  
SKAPELIGE FORSKNINGSRÅD,**  
Postboks 70, Tåsen,  
0801 Oslo 8,  
NO.

(83)

(86) Internasjonal søknad nr. -  
(86) Internasjonal inngivelsesdag -  
(85) Videreføringsdag -  
(41) Alment tilgjengelig fra 13.01.86  
(44) Utlegningsdag 21.05.90  
(72) Oppfinner **DAG T. GJESSING, Skedsmokorset,  
JENS HJELMSTAD, Lillestrøm,  
NO.**

(74) Fullmektig Siviling. Rolf Chr. B. Larsen,  
ABC-Patent, Siviling. Rolf Chr. B. Larsen,  
Oslo.

(30) Prioritet begjært Ingen.

(54) Oppfinnelsens benevnelse **SYSTEM FOR DETEKSJON AV OBJEKTER MED GITTE,  
KJENTE KARAKTERISTIKA, MOT EN BAKGRUNN.**

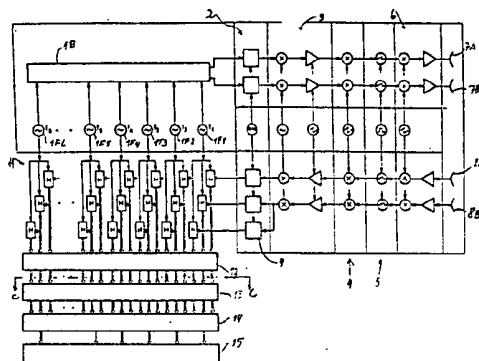
(57) Sammendrag

Oppfinnelsen adresserer seg primært til problemstillingen omkring deteksjon og identifikasjon av båter mot sjøoverflaten. Det fokuseres på hvorledes en radarsensor koblet til kraftig data-prosesseringsutstyr kan gi en hittil utenkelig overvåkningsevne ved at tilhørende optimale radar-strukturer og signalprosesseringsalgoritmer anvendes. Det er beskrevet hvilke funksjoner som kan opereres uavhengig på sendersiden og mottagersiden. Avhengig av målsettingen vil en slik radar kunne utnyttes til å:

- søke etter båter
- søke etter kjølvannsspor
- samtidig søke etter båt og tilhørende kjølvannsspor
- følge båt og kjølvannsspor
- identifisere båter basert på ulike filtre.

Som følge av datastyringen vil en slik radar eller eventuelt et tilsvarende sonarsystem kunne rekonfigurere seg etter behov, hvilket innebærer at kravet til signalprosessering avtar og utnyttelsen av ressursene blir bedre.

For dannelse av et interferensmønster svarende til det eller de objekter som ønskes detektert, innbefatter systemets senderanordning og/eller mottageranordning to eller flere stråler-aperturer (7A, 7B eventuelt 8A, 8B) for koherent utsending resp. mottagning av bølger, idet den innbyrdes avstand mellom disse stråler-aperturer er større enn en bølgelengde av de bølger som utsendes.



(56) Anførte publikasjoner

Norsk (NO) alment tilgjengelig patentsøknad nr. 833702,  
Norsk (NO) utl.skrift nr. 155416,  
Europeisk (EP) patentsøknad, publ. nr. 53048, 97490,  
USA (US) patent nr. 3490018, 4042928, 4119940, 4119940, 4321601, 4462032, 4596007.

Denne oppfinnelse angår deteksjon av objekter med gitte, kjente karakteristika mot en bakgrunn. Problemstillingen omkring deteksjon og identifikasjon f.eks. av båter mot sjøoverflaten er av interesse i denne sammenheng. Oppfinnelsen er primært fremkommet med tanke på radarsystemer og utnyttelse av elektromagnetiske bølger, men har åpenbart også anvendelser innen sonar og lignende som er basert på akustiske bølger.

I radarsystemer som innbefatter kraftig dataprosesseringsutstyr kan oppfinnelsen gi en hittil helt utenkelig overvåknings- evne ved at tilhørende optimale radarstrukturer og signalprosesserings-algoritmer anvendes.

Det er kjent i radarsystemer å utsende koherente elektromagnetiske bølger som har karakteristikkertilpasset for det eller de objekter, bakgrunnsbølgemønstre eller andre bølgemønstre som ønskes fremhevet, eventuelt undertrykket ved deteksjonen. Slik tilpasning kan betegnes som sendergenererte filterfunksjoner. Bruk av filterfunksjoner på sendersiden innebærer at det etter en tilpasset deteksjon på mottagersiden fremkommer en desisjon om et objekt svarende til vedkommende filterfunksjon forefinnes. Objektets form i romdomenet såvel som dets bevegelse i tidsdomenet er uavhengige parametersett som kan analyseres. Et hologramlignende interferensmønster av en bølge eller båtstruktur eller begge deler legges på sjøoverflaten ved at utgående bølge og reflektert bølge interfererer og danner stående bølger. Så kan hologram- eller interferensmønsteret sveipes for å undersøke hvilke spesifikke forplantningsretninger og romlige orienteringer som forefinnes. Fordi det eksisterer relasjoner mellom f.eks. båters bevegelse og tilhørende induserte vannbølger på og i vannet, kan et bølgehologram og et bådologram legges på sjøoverflaten simultant for å forsterke deteksjonsprosessen.

Det er klart at hva som er "objekt" og hva som er "bakgrunn", er et rent definisjonsspørsmål. Således kan f.eks. det interessante objekt tenkes å være et "naturlig" forekommende vannbølgemønster, mens farøyer og tilhørende bølgemønstre på vannoverflaten kan ansees å være en forstyrrende bakgrunn eller støy, som forsøkes undertrykket i deteksjonsprosessen.

Tidligere kjent teknikk av interesse kan ansees representert ved US-patentene 3 490 018 og 4 119 940. Av disse omhandler US-

164137

2

patent 3 490 018 en metode til å løse flertydigheter ved anvendelse av et flertall frekvenser i et radarsystem. Dette har liten interesse i forbindelse med de problemer som foreliggende oppfinnelse beskjeftiger seg med, idet denne er basert på romlig tilpasset belysning.

US-patent 4 119 940 angår en sonar basert på interferometri og beskriver et spesielt presentasjons- eller avbildningssystem. Den der omhandlede romlige modulasjon som blir oppnådd ved kompleks modulasjon, har å gjøre med superponering av bilder fra de forskjellige frekvenser. Dette er også forskjellig fra den romlig tilpassede belysning som er med å danne grunnlaget for foreliggende oppfinnelse.

Forøvrig kan det henvises til generell litteratur på området, f.eks. Gjessing, D. T., 1981, "Adaptive Radar in Remote Sensing", Ann Arbor Publishers Inc, Ann Arbor, USA.

I det typiske tilfelle med et flybåret radarsystem går oppfinnelsen i korthet ut på å bruke romlig adskilte antenner for å strukturere hologrammet (interferensmønsteret) i flyets fartsretning. Dette forutsetter at antennens hovedstråleretning ligger på tvers av fartsretningen og at antennene har uavhengig modulasjon. På tilsvarende måte blir det å arrangere akustiske svingere eller transdusere i akustiske systemer, f.eks. sonarsystemer.

Også systemer som arbeider innen den optiske del av det elektromagnetiske frekvensområde er mulige innenfor rammen av denne oppfinnelse.

Nærmere bestemt angår således denne oppfinnelse et system for deteksjon av objekter med gitte, kjente karakteristika mot en bakgrunn, omfattende en senderanordning for utsending av elektromagnetiske eller akustiske bølger som har karakteristikkertilpasset for det eller de objekter som ønskes detektert, eventuelt den bakgrunn som ønskes undertrykket ved deteksjonen, hvilke bølger består av et antall frekvenskomponenter hvis frekvens er en funksjon av tiden, og en mottageranordning for mottagning av tilbakespredte elektromagnetiske, resp. akustiske bølger og for koherent demodulering ved anvendelse av signaltilpassede filtre og omfattende homodyne detektorer, hvor senderanordningen og/eller mottageranordningen innbefatter to eller

flere stråleraperturer for koherent utsending resp. mottagning av bølgene, og den innbyrdes avstand mellom stråleraperturene er større enn en bølgelengde av de bølger som utsendes. Den nevnte signalbehandling på mottagersiden kan betegnes som mottager-genererte filterfunksjoner som på basis av en antatt eller gitt senderfunksjon, foretar tilsvarende signaloperasjoner for å oppnå romlig oppløsning og tidsoppløsning i det prosesseringsdomene hvor maksimal kontrast mellom objekt (mål) og bakgrunn oppnås.

På ovenstående grunnlag gir denne oppfinnelse en prinsipiell løsning som åpner for mange nye og forskjellige muligheter og anvendelser. Det nye og særegne ved løsningen ifølge oppfinnelsen består i første rekke i at signaler fremkommet av de mottatte bølger ved den nevnte demodulering og filtrering, og relatert til henholdsvis i det minste to samtidig utsendte frekvenser og i det minste to aperturer, multipliseres ved kompleks multiplikasjon, hvor et signal detektert av en homodyn detektor ved en frekvens og for en apertur underkastes den komplekse multiplikasjon med et annet signal detektert av en annen homodyn detektor ved en annen samtidig frekvens og for en annen apertur adskilt fra den nevnte ene apertur med i det minste en bølgelengde av de nevnte bølger, hvilken komplekse multiplikasjon gir et produkt som utgjør et tilpasset filter for et gitt objekt eller en gitt bakgrunn.

Ovenfor er det som eksempel nevnt flyradarsystemer, men det vil innsees at et system ifølge oppfinnelsen kan anvendes på forskjellige typer av bærende plattformer, og ikke bare på fly. Det kan her dreie seg om såvel stasjonære som bevegelige plattformer. De to eller flere stråleraperturer kan befinne seg på en og samme plattform eller de kan være plassert på hver sin separate plattform som er mekanisk uavhengig av den eller de andre plattformer.

Som det vil fremgå av det følgende er det også på andre måter muligheter til forskjellige modifikasjoner av dette nye system, herunder matning av stråleraperturene med samme eller ulike frekvenser, eventuelt tidsvarierende frekvenser, og variasjon av

164137

4

den innbyrdes plassering, henholdsvis orientering av stråleraperturene.

Spesielt foretrukne utførelsesformer av denne oppfinnelse, blant annet på de nettopp nevnte punkter, fremgår av patentkravene.

Oppfinnelsen skal i det følgende forklares nærmere under henvisning til tegningene, hvor:

Fig. 1 viser et forenklet blokkskjema for et radarsystem som utnytter prinsippene ifølge denne oppfinnelse,

fig. 2 illustrerer mottagergenererte filterfunksjoner som kan inngå i systemet på fig. 1,

fig. 3A viser en spesiell utførelsesform ifølge oppfinnelsen,

fig. 3B viser et diagram i tilknytning til utførelsen på fig. 3A,

fig. 4 illustrerer geometrien av spredeprosessen ved bølgetallsfilterering langs flyaksen (bevegelsesretningen for plattformen),

fig. 5 viser et interferogram (interferensmønster) ved anvendelse av multifrekvensbølger, for illustrasjon av spesielle funksjoner,

fig. 6 viser i et diagram den såkalte K-rom-signatur av henholdsvis en sjø-overflate og et skip,

fig. 7 er et diagram som viser dopplerforskyvning som funksjon av frekvensavstand mellom anvendte multifrekvenskomponenter i et radarsystem,

fig. 8 illustrerer skjematisk en fordelaktig dopplersignalbehandling i systemet ifølge oppfinnelsen, og

fig. 9 viser en ytterligere spesiell utførelse ifølge oppfinnelsen.

Fig. 1 er et forenklet blokkskjema til illustrasjon av et komplett radarsystem i hvilket prinsippene ifølge foreliggende oppfinnelse er anvendt. Radaren på fig. 1 er strukturert i blokker som alle styres fra en datamaskin (ikke vist). For de forskjellige oppgaver eller funksjoner som radarsystemet skal ta seg av under operasjon (f.eks. søking, følging, identifisering), vil radarens filtre eller signalbehandlingsblokker være

konfigurert tilsvarende og med sikte på optimal ydelse. De filter- eller signalbehandlingsfunksjoner som inngår, vil i vesentlig grad kunne implementeres i form av programvare for datamaskinen. Algoritmer for rekonfigurering av radarsystemet for de forskjellige oppgaver kan også hensiktsmessig være en del av denne programvare. Linjen C-C på figuren antyder hvor man vanligvis kan anta at programdelen (nedenfor linjen) begynner i forhold til mer eller mindre konvensjonell elektronikk (over linjen C-C) som inngår i systemet. Det er imidlertid klart at denne grense er flytende og kan forskyves i retning mot mer fast elektronikk eller mot sterkere innslag av programvare og datamaskin-prosessering, avhengig av tilgjengelig teknologi. Ut fra dagens teknologi vil datamaskinprosessering maksimalt kunne skje fra og med båndpassfiltreringen og nedover på fig. 1.

Senderdelen av systemet på fig. 1 omfatter for det første en gruppe frekvenssyntetisatorer 1F1-1F6 som arbeider i frekvensbåndet 50 til 90 MHz med sikte på å belyse det objekt eller område som har interesse, med de egnete sett frekvenser (bølger). I det viste eksempel er det således anordnet seks frekvenssyntetisatorer 1F1-1F6 med valgte innbyrdes frekvensavstander.

Blant aktuelle sendergenererte filterfunksjoner i dette system nevnes først og fremst multifrekvensbelysning, dvs. samtidig utsendelse av flere koherente bølger eller frekvenskomponenter. Ved f.eks. å belyse en sjøoverflate fra en eller flere senderaperturer med et signal som er sammensatt av et antall frekvenskomponenter, vil man ved å kombinere disse på mottagersiden få generert et antall stående bølger mot sjøoverflaten. Disse bølgers periode er omvendt proporsjonal med frekvensavstanden mellom frekvenskomponentene. Flere av de forannevnte referanser omtaler nærmere slike sendergenererte filterfunksjoner, f.eks. ref. (6) på side 356 og figur 4.

De nevnte senderfrekvenser utgjør et koherent linjespektrum av utsendte bølger, som etter å være blitt kombinert i en kombinasjonssenheter 1B, eventuelt kan gis en polarisering i en

164137

6

polarisasjonskode-enhet 2 og en polarisasjons-basisprosessor 3. Deretter følger en doppler-prosessor 4 og en avstands--portenhet 5 før signalene går til en SHF-enhet 6 som transponerer signalene til en passende mikrobølgefrequens. Hensikten med polarisasjonsprosessoren 3 er å tilveiebringe et flertall kanaler for uavhengige målinger av alle elementer i tilbakespredningsmatrisen. Dopplerprosessoren 4 foretar en forhåndskompensering for objektets eller målets hastighet. Enhetene eller funksjonsblokkene 2, 3 og 4 som nevnt her, er ikke nødvendige for den prinsipielle løsning ifølge oppfinnelsen, men kan muliggjøre spesielle og fordelaktige funksjoner i tilknytning til denne. Det vil innsees at tilsvarende funksjoner også kan inngå på mottagersiden, slik det er vist på fig. 1.

Eksempelet på fig. 1 viser således en struktur med to senderkanaler som fra kombinasjonsenheten 1B fører frem til to separate antenner eller stråleraperturer 7A og 7B som mates for koherent utsending av elektromagnetiske bølger. Den innbyrdes avstand mellom antennene 7A og 7B må være større enn en bølgelengde av de utsendte bølger. Dette skal forklares nærmere nedenfor tilknytning til fig. 3A og 3B.

Selv om fig. 1 er skjematisk og forenklet vil det innsees at antennene 7A og 7B avgir direktiv stråling med parallelle hovedstråleretninger for de to antenner. Disse er videre i en fordelaktig utførelsesform plassert i ett og samme plan vinkelrett på hovedstråleretningen.

På mottagersiden er det anordnet to antenner 8A og 8B i et innbyrdes arrangement som kan være helt tilsvarende det som er beskrevet for senderantennene. I tilhørende to separate mottagerkanaler kan det eventuelt inngå funksjonsblokker med komplementære funksjoner til blokkene 2, 3 og 4 på sendersiden. Polarisasjonskoderen i mottagerdelen omfatter i tillegg til de gjennomgående to mottagerkanaler fra de respektive antenner 8A og 8B, en særskilt enhet 10 som er nødvendig for at deteksjonen skal gi fullstendig måling av polarisasjons-spredeverdier, hvilket er uten direkte interesse for grunntanken ifølge oppfinnelsen. Mottagerdelen omfatter videre et antall homodyne detektorer 11 som

på i og for seg kjent måte besørger den nødvendige deteksjon. Fra detektorene blir det til en båndpassfilter-bank 12 levert et antall signaler svarende til de seks utsendte frekvenskomponenter. Da deteksjonen omfatter såvel amplitude som fase, vil antallet signaler som leveres av båndpassfiltrene være tolv.

Båndpassfilter-funksjonen representert ved blokk 12 på fig. 1 er på vanlig kjent måte innrettet til å gi en smalbåndet følsomhet innenfor de respektive frekvensbånd, med sikte på å eliminere interferens og støy. De følgende blokker 13 og 14 omfatter mer spesielle funksjoner, nemlig en multiplikasjon i 13 og en koherensfilter-funksjon i 14. Disse skal forklares nærmere nedenfor.

Som siste (nederste) funksjonsblokk på fig. 1 er det vist en display-blokk 15. Denne tjener til å levere sluttproduktet av prosesseringen til omverdenen, vanligvis representert ved en operatør. I tillegg til eller som alternativ til presentasjon for en operatør, kan selvsagt blokken 15 omfatte automatiske alarmfunksjoner eller styringsfunksjoner aktivert for eksempel ved deteksjon og identifikasjon av et bestemt objekt.

Fig. 2 illustrerer i delbilder A-G funksjoner som inngår i eller kan være inkorporert i systemet på fig. 1. Således viser fig. 2A et aktuelt eksempel på en anvendelse av et radar-system, nemlig mot en sjøoverflate med vannbølger 21 som antydnet og med et fartøy 22 i bevegelse. De viste ovale utsnitt kan ansees å være den "scene" som belyses ved den direkte utsendelse av elektromagnetiske bølger fra en plattform, f. eks. et fly.

På fig. 2B og 2C illustreres henholdsvis azimuth-kompresjon og avstandsport- eller -fokuseringsfunksjoner, som ikke direkte har noe med foreliggende oppfinnelse å gjøre, men som indikerer at prinsippene ifølge oppfinnelsen også kan anvendes i forbindelse med konvensjonell SAR-prosessering (SAR: synthetic aperture radar) og for spesielle tilleggsfunksjoner, såsom avstands-fokusering. Det dreier seg her om mottagergenererte filterfunksjoner hovedsakelig basert på bølgetallsfiltrering for å gi en forbedret romlig oppløsning.

Funksjoner som illustrert ved delbildene 2D, 2E og 2F på figuren gjelder bølgetall-dopplerfiltrering for etablering av bølgetallspektra og tilsvarende dopplerspektra. Nærmere bestemt viser fig. 2D i prinsippet et diagram med den såkalte K-rom-signatur for sjø 23 og skip 24, hvilket skal forklares nærmere nedenfor i tilknytning til fig. 6. Denne form for presentasjon (i K-rom) er beskrevet i ref. (6), (7) og (8).

Multiplikasjonsblokken 13 på fig. 1 besørger i analog kretsteknikk og/eller med en programmert datamaskin bl.a. den bølgetalls-filtrering som gir en presentasjon som på fig. 2D.

Ved å illuminere sjøoverflaten fra en senderaperture med et signal som er sammensatt av et antall frekvenskomponenter, vil man ved å kombinere disse på mottagersiden få generert et antall stående bølger mot havoverflaten med periode omvendt proporsjonal med frekvensseparasjonen (-avstanden) mellom frekvenskomponentene.

Når frekvensavstanden mellom to frekvenskomponenter er  $\Delta F$ , fåes en modulasjon i rommet med periode  $c/2\Delta F$ . Ved å utsende et antall frekvenskomponenter lik  $n$  med ulik innbyrdes frekvensseparasjon, oppnås ved kombinasjon et antall  $n(n-1)/2$  ulike modulasjonsperioder (bølgetall).

Det utsendte signalet  $s(t)$  vil da skrives som en sum av frekvenskomponenter

$$s(t) = \sum_{f_i}^{f_n} \exp(j2\pi f_i t) \cdot w(t)$$

hvor

$w(t)$  = en passende vindusfunksjon i tidsdomenet hvor romlig selektiv analyse av bølgetall er ønskelig.

Det nevnte antall  $n(n-1)/2$  gir seg til kjenne på mottagersiden i et antall signaler fra blokk 13. Med f.eks. seks utsendte frekvenskomponenter blir dette antall signaler som prosesseres lik 15.

Fig. 2E, 2F og 2G gjelder mulige og ønskelig tilleggsoperasjoner etter selve deteksjonen, nemlig dopplerfiltrering (Fig. 2E) hvor skipet trer frem ved 26 i forhold til sjøen 25, og svevefrekvens-dopplerfiltrering (Fig. 2F) hvor kurven 27 (tilnærmet rett) gjelder skipet, mens kurven 28 gjelder sjøen. Denne siste diagramform skal forklares nærmere nedenfor under henvisning til fig. 7. Endelig angår fig. 2G dannelse av gjensidig-rom/tid-koherens-spektra ved hjelp av spesielle filterfunksjoner, som på fig. 1 er representert ved blokk 14. Se også forklaringen nedenfor i tilknytning til fig. 8.

Ved bruk av filterfunksjoner som på forenklet og prinsipiell måte er illustrert på fig. 2, vil de ulike karakteristika for objekter som f.eks. skip, induserte bølger og bakgrunnsbølger, bli utnyttet for å forsterke deteksjonsevnen i et radarsystem, eventuelt sonarsystem eller lignende.

Vesentlig for den prinsipielle løsning ifølge oppfinnelsen er det som kan betegnes som transversell romvariabel multifrekvens-belysning, dvs. utsendelse av elektromagnetiske eller akustiske bølger mot en scene omfattende objekt og/eller bakgrunn. I eksempelet med flybåret radar, og ved å bruke flere antenne-aperturer langs flyets fartsretning kan bølgetall gis en komponent i fartsretningen som kan utnyttes til å generere periodisiteter med en vilkårlig orientering i forhold til flyets fartsretning og antennenenes pekeretning.

Ved å bruke en signalform

$$s_1(t) = \sum_{f_i}^{f_n} \exp(j2\pi f_i t) \tilde{\omega}(t)$$

i aperture 1 og en signalform

$$s_2(t) = \sum_{f_i}^{f_n} \exp(j2\pi (f_i + \delta f(t))t) \omega(t)$$

164137

10

i aperture 2 separatert en avstand  $x$  oppnås dermed et sveip av bølgetallsvektoren som illustrert på fig. 3A. De foran-nevnte aperturer 1 og 2 er på denne figur representert ved de to antenner 31 og 32 skjematisk antydnet som tilhørende et fly 30. Antennene belyser et område av en sjøoverflate 33 med et interferensmønster som kan variere med tiden, slik det fremgår av de ovenstående matematiske uttrykk for signalformene  $s_1(t)$  og  $s_2(t)$ .

Den resulterende romlige bølgetallsvektor  $K_{res}$  kan gis en rotasjon ( $\omega$ ) i horisontalplanet ved å la utsendt signal i den ene av antenne-aperturene 31, 32 få en differensiell frekvensforskyvning (se leddet  $\delta f(t)$  i uttrykket for  $s_2(t)$ ). Denne kan variere med tiden. Videre vil det innsees at en vilkårlig valgt faseforskjell mellom aperturene, kan anvendes.

I betraktning av at det resulterende hologram eller interferensmønster som antennene 31 og 32 tilsammen etablerer, skal ha ønskede eller forhåndsbestemte spesielle forløp som kan avvike meget betydelig fra det som antennene etablerer enkeltvis, vil det være nødvendig å plassere antennene i en innbyrdes avstand ( $x$ ) som er større enn en bølgelengde ved de anvendte frekvenser.

I likhet med fig. 1 viser fig. 3A en plassering av antennene 31 og 32 side om side i samme plan med parallelle og ensrettede hovedstråleretninger.

Til nærmere forklaring av virkemåten på fig. 3A viser fig. 3B hvordan de frekvenser som påtrykkes respektive antenner 31 og 32 forløper med tiden. Mens antenne 31 har konstant frekvens har antenne 32 en periodisk tidsvariasjon som et sinusforløp. Perioden er  $\frac{2\pi}{\omega}$ , idet  $\omega$  er rotasjonshastigheten av vektoren  $K_{res}$  på fig. 3A.

Av den foregående omtale av figurene 3A og 3B fremgår det at systemet kan arbeide med samme frekvenser eller med forskjellige frekvenser og eventuelt med tidsvarierende frekvenser på de to antenne-aperturer. Valget av frekvensforløp og -kombinasjon vil avhenge av hvilke objekter og/eller bakgrunner som i en gitt anvendelse er av betydning.

Det vil også innsees at aperturane ikke nødvendigvis må ligge i ett og samme plan vinkelrett på hovedstråleretningen(e). Aperturane kan være plassert med innbyrdes forskyvning i stråleretningen og på den måte danne interferensmønster svarende til det eller de objekter som ønskes detektert, eventuelt til en bakgrunn som skal undertrykkes eller fremheves. Se Fig. 9.

Geometrien i spredeprosessen ved bølgetallsfiltrering langs flyaksen er illustrert på fig. 4. Denne viser en plattform 40 forsynt med et antall sideveis rettede aperturer 41-48 som belyser et objekt 50 hvis refleksjonskoeffisient for de anvendte bølger varierer etter kurven 51. På mottagersiden vil det ved tilbakespredning fra objektet fremkomme en resulterende feltstyrkefordeling som vist ved kurven 49. Aperturane 41-48 eller tilsvarende mottageraperturer vil dermed oppfange respektive feltstyrkeverdier som angitt ved 41A-48A.

Vinkelspektret  $\vec{E}_s(\vec{K})$  av tilbakespredt feltstyrke 49 fra den struktur som objektet 50 representerer, er Fourier-transformasjonen av romlig feltstyrke  $E(\vec{r})$  som det fremgår av fig. 4.

$$\vec{E}(\vec{K}) \sim \int \vec{E}(\vec{r}) e^{-j\vec{K}\vec{r}} d\vec{r}$$

På samme måte blir da vinkeleffektspektret  $P(\theta)$

$$\begin{aligned} P(\theta) &= \vec{E}(\vec{K}) \cdot \vec{E}^*(\vec{K}) \\ &\sim \int R_E(\vec{r}) e^{-j\vec{K}\vec{r}} d\vec{r} \end{aligned}$$

164137

12

hvor

$$R_E(\vec{r}) = \text{autokorrelasjonsfunksjonen}$$

av feltstyrkeinterferogrammet  $E(\vec{x})$  og  $\vec{r}$  er et inkrement i  $\vec{x}$ . Siden

$$|\vec{K}| = \frac{4\pi}{\lambda} \sin \theta/2$$

og

$$\vec{r} = \vec{V} \psi$$

hvor

$\lambda$  = mikrobølgelengden

$\vec{V}$  = flyhastigheten (når plattformen er et fly)

$\psi$  = inkrement i tid

$K = \omega/c$

blir

$$P(\theta) = \int R_E(V\psi) e^{-j\omega\psi\frac{V}{c}} d(V\psi)$$

det vil si

$$P(\theta) \sim W(f) \sim \sigma\left(\frac{\psi}{R}\right)$$

Dette betyr at ved å ta effektspekteret av det interferogram (interferensmønster, "hologram") som plattformen (flyet) 40 beveger seg gjennom, blir det oppnådd et direkte uttrykk for den transverselle fordeling av spredte-elementer i objektstrukturen 50.

Forannevnte referanser (1) og (2) behandler det prinsipielle grunnlag for det som er omtalt umiddelbart ovenfor i tilknytning til fig. 4.

En annen og ekvivalent fremstillingsmåte som forklarer det samme som fig. 4, men fra et annet synspunkt, er vist på

figurene 5A og 5B. Situasjonen ifølge fig. 5A tilsvarer i prinsippet den på fig. 4 ved at en plattform 55 med antenne 55A beveger seg med hastighet  $v$ , mens et objekt representert ved to punkter i en innbyrdes avstand  $\Delta x$  befinner seg i en avstand  $R$  fra plattformen 55 og belyses med dennes antenne 55A. Mellom antennen og objektet vil det stå et interferogram som vist på fig. 5B, hvor kurven 56 angir antenne-mønsteret (interferogrammet) som helhet, mens f.eks. utsnittene 56A og 56B angir henholdsvis objektets posisjon og størrelse, oppnådd som følge av den tidligere beskrevne multifrekvensbelysning.

Ved å sette sammen bølgetallsinformasjon frembragt i henhold til fig. 4 og 5, blir det mulig å forbedre deteksjonen i et radarsystem, f.eks. for diskriminasjon mellom båter og bølger. Presentasjonen skjer da ved hjelp av et diagram som i prinsippet vist på fig. 2D og omtalt generelt ovenfor. Mer detaljert er et eksempel på slikt diagram vist på fig. 6. Langs begge koordinater i diagrammet har man frekvens-separasjonen, og det er plottet en K-rom-signatur for henholdsvis et skip ved 61 og for sjøen ved 62. Signaturen 61 som inntegnet, er teoretisk beregnet, mens sjø-signaturen 62 er målt.

Bølgetallsplotting i et diagram som på fig. 6 kan således generelt benyttes til å representere en scene med objekt/bakgrunn ved etablering av et harmonisk hologram (interferogram, interferensmønster) som tidligere forklart. Rent generelt kan man videre ved bruk av kompliserte hologram-mønstre med hensyn til tidsvariasjon, frekvenskomponenter og aperture-arrangementer, som omtalt ovenfor, tilpasse systemet for scener (objekter og bakgrunner) av høyst ulike typer, men fortsatt beskrive responsen i et diagram av den art som er vist på fig. 6 (og fig. 2D). Alle de tidligere omtalte filterfunksjoner kan være av interesse i denne forbindelse. På grunnlag av det som her er beskrevet i tilknytning til fig. 4, 5 og 6, vil med andre ord signalbehandlingen på mottagersiden ved bølgetallsfiltrering kunne gi registrering av responsen av et antall simultane interferensmønstre dannet ved utsending av bølger mot et objekt, og bestemmelse av graden av samsvar

164137

mellom interferensmønstrene og det objekt som ønskes detektert.

Fig. 7 er et diagram fremkommet ved at et punkt-sampel fra fig. 6 underkastes en tidsanalyse ved doppler-prosessering (se fig. 1 og 2). Slik prosessering og presentasjon er forklart i de forannevnte referanser (6), (7) og (8). Diagrammet på fig. 7 viser doppler-forskyvning som funksjon av frekvensseparasjon og to kurveforløp, henholdsvis for et stivt objekt i bevegelse (kurve 71) og for gravitasjonsbølger på vann (kurve 72). Den siste kurve er basert på den teoretiske dispersjonsrelasjon for gravitasjonsbølger på dypt vann.

Som det fremgår av kurvene 71 og 72 på fig. 7 kan bølgetalls-dopplerspektrene for en båt (stivt objekt) og en sjø-overflate med bølger, bare ha sammenfallende maksimalt spektral-maksimum for én verdi av frekvensseparasjonen  $\Delta F$ . For andre verdier av  $\Delta F$  vil derfor denne form for filterfunksjon resultere i en ytterligere forsterket kontrast mellom sjø og båt, ut over det som blir oppnådd med de øvrige beskrevne filterfunksjoner.

Denne doppler-filtrering av bølgetallspekteret med beregning av doppler-spektret av den umiddele autokorrelasjonsfunksjon  $R(\Delta F)$  gir informasjon om hvorledes ulike strukturer som resonerer med den aktuelle frekvensseparasjonen, beveger seg. Doppler-spektret beregnes som

$$P_{\Delta F}(f) = \int_T E_{f_1}(t) E_{f_j}^*(t) \exp(j2\pi f t), f_1 - f_j = \Delta F$$

Slik doppler-prosessering tillater altså bestemmelse av objektets bevegelser i forhold til det dannede interferensmønster (hologram, interferogram).

Nærmere bestemt har dopplerkurven 72 for sjø et kvadratisk forløp, mens båt-kurven 71 er lineær med en vinkelkoeffisient som er proporsjonal med båtens radielle hastighet (i forhold

til observasjonsplattformen). Den nevnte ene mulige sammenfallende verdi er gitt ved et krysningspunkt mellom kurvene 71 og 72, som ligger til høyre utenfor diagrammet på fig. 7.

Som siste funksjonsblokk foran display-blokken 15 på fig. 1, er det vist en spesiell filterfunksjon betegnet gjensidig koherens, dvs. ved filtrering av bølgetall-serier. Dette implementeres f.eks. som illustrert på fig. 8. Også her blir det som interessant anvendelse tatt et stivt objekt, såsom en båt, mot en bakgrunn i form av sjø-overflaten.

Efter dekonvolverings- og normaliseringsprosesser strekkes tidsaksen (ved 81 resp. 82) til autokorrelasjonsfunksjonene  $R(\Delta F, t)$  slik at ulikhetene i  $\Delta F$  elimineres. Dette gjøres ved å strekke tidsaksen med en faktor  $\Delta F_r / \Delta F_i$ , hvor  $\Delta F_i$  er frekvensdifferansen av R-funksjonen og  $\Delta F_n$  er referansefrekvensdifferansen.

Dernest korreleres (ved 83) hver av frekvenskomponentene i de normaliserte funksjonene  $R(\Delta F_i, t)$  og  $R(\Delta F_n, t)$ . Fordi havoverflaten <sup>er</sup> dispersiv og kompressibel vil denne ikke gi noen korrelasjon mens derimot stive objekter såsom båter vil gi en betydelig korrelasjon.

Den beskrevne strekning kan istedenfor å gå på tidsaksen, eventuelt gjelde frekvensaksen, hvilket er helt analogt. Generelt innebærer oppfinnelsen på dette punkt at de mottatte og prosesserte, komplekse dopplersignalkomponenter frembragt av de utsendte multifrekvensbølger, behandles parvis ved strekning av tidsaksen eller frekvensaksen for den mest høyfrekvente komponent i hvert par og/eller komprimering av tidsaksen eller frekvensaksen for den mest lavfrekvente komponent i paret, for å bringe disse komponenter til samme frekvens. Denne strekning og/eller komprimering foretas med en faktor som avhenger av hva som ønskes detektert. Efter denne parvise behandling korreleres de to signalkomponenter slik at det blir oppnådd en forbedret deteksjon av objekter.

164137

16

Dreier det seg om deteksjon av undervannsobjekter i bevegelse som frembringer interne bølger i en vannmasse med resulterende modifikasjon av et overflatebølgemønster på vannet, foretas den nevnte strekning og/eller komprimering av tidsaksen eller frekvensaksen, med en faktor gitt av dispersjonsrelasjonen for interne bølger ved den aktuelle tetthetsprofil i vannmassen.

Den her omhandlede gjensidig-koherens-funksjon oppnådd ved å korrelere normaliserte doppler-spektra fra et differanse-frekvens-par med et annet, gjør det mulig å få et uttrykk for stivheten av det objekt eller den struktur som er av interesse.

Ved installasjon av et system ifølge oppfinnelsen på en plattform i bevegelse, f.eks. fly, satellitt eller skip, kan denne plattform med fordel og på i og for seg kjent måte være forsynt med en treghetsreferanseanordning for stabilisering av den eller de antenner (aperturer) som inngår i systemet. Det vil innsees at ved bevegelige plattformer, særlig når de to eller flere samvirkende aperturer som skal ha en bestemt innbyrdes avstand, er fordelt på flere slike plattformer, må man ta spesielle forholdsregler for å kompensere for mulige innbyrdes bevegelser. Dette kan med fordel oppnås ved hjelp av en kompenseringsanordning basert på faseforskyvning av signaler som inngår, for etablering av et lokalt og tidsbegrenset stasjonært interferensmønster av bølgene. En slik anordning vil bl.a. muliggjøre spesielle arrangementer hvor i det minste to aperturer er anbragt på hver sin plattform som er mekanisk uavhengig av hverandre, f.eks. to fly.

Til nærmere forklaring av de her nettopp nevnte muligheter, skal det henvises til fig. 9. Det er der vist et fly 90 forsynt med et antall antenner 91-99 hvis hovedstråleretning 90A kan være parallell med flyets lengdeakse. Ved den viste skjematiske plassering har antennene en innbyrdes forskyvning i hovedstråleretningen. Normalt vil bare et mindre antall av disse an-

tenner 91-99, særlig to og to av disse, brukes for samtidig, koherent utsending henholdsvis mottagning. Ved hjelp av en kommutator 100 kan det svitsjes elektronisk mellom antennene, slik at man bl.a. kan oppnå en tidsvariasjon i den innbyrdes avstand mellom de i hvert tidspunkt aktiverte antenner. Videre er det skjematisk på fig. 9 vist en tregghetsreferanseanordning 101 som gjennom en kompensasjonsanordning 102 basert på faseforskyvning av antennesignalene, gjør det mulig å etablere et ønsket interferensmønster, særlig et lokalt og tidsbegrenset, stasjonært interferensmønster.

Endelig vil det innsees av fagfolk på området at i slike systemer er det i prinsippet full resiprositet mellom sender-side og mottagerside. I hovedsaken vil derfor trekk som i den foregående beskrivelse er omtalt i tilknytning til enten sendersiden eller til mottagersiden, gjelde tilsvarende for den motsatte eller komplementære side, dvs. mottagersiden resp. sendersiden.

1. System for deteksjon av objekter med gitte, kjente karakteristika mot en bakgrunn, omfattende en senderanordning (1F1-1F6, 1B, 2-6, 7A, 7B) for utsending av elektromagnetiske eller akustiske bølger som har karakteristikk tilpasset for det eller de objekter som ønskes detektert, eventuelt den bakgrunn som ønskes undertrykket ved deteksjonen, hvilke bølger består av et antall frekvenskomponenter hvis frekvens er en funksjon av tiden, og en mottageranordning (8A, 8B, 11) for mottagning av tilbakespredte elektromagnetiske, respektive akustiske bølger og for koherent demodulering ved anvendelse av signaltilpassede filtre og omfattende homodyne detektorer, hvor senderanordningen og/eller mottageranordningen innbefatter to eller flere stråleraperturer (7A, 7B, evt. 8A, 8B, 31-32, 41-48, 91-99) for koherent utsending resp. mottagning av bølgene, og den innbyrdes avstand mellom stråleraperturene er større enn en bølgelengde av de bølger som utsendes, k a r a k t e r i s e r t v e d a t signaler fremkommet av de mottatte bølger ved den nevnte demodulering og filtrering, og relatert til henholdsvis i det minste to samtidig utsendte frekvenser og i det minste to aperturer, multipliseres ved kompleks multiplikasjon (13), hvor et signal detektert av en homodyn detektor ved en frekvens og for en apertur underkastes den komplekse multiplikasjon med et annet signal detektert av en annen homodyn detektor ved en annen samtidig frekvens og for en annen apertur adskilt fra den nevnte ene apertur med i det minste en bølgelengde av de nevnte bølger, hvilken komplekse multiplikasjon gir et produkt som utgjør et tilpasset filter for et gitt objekt eller en gitt bakgrunn.

2. System ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d a t senderanordningen og/eller mottageranordningen er innrettet til å avgi til resp. motta fra stråleraperturene signaler som har samme frekvenser, eventuelt med vilkårlig valgt faseforskjell mellom stråleraperturene.

3. System ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d a t senderanordningen og/eller mottageranordningen er innrettet til å avgi til resp. motta fra stråleraperturene signaler som har

forskjellige frekvenser, eventuelt med vilkårlig valgt faseforskjell mellom stråleraperturene.

4. System ifølge krav 1 eller 2, k a r a k t e r i s e r t v e d a t senderanordningen og/eller mottageranordningen er innrettet til å avgi til resp. motta fra stråleraperturene signaler med frekvenser som varierer i tid.
5. System ifølge et av kravene 1-4, k a r a k t e r i s e r t v e d a t hver av stråleraperturene (31, 32) er innrettet for direktiv stråling med en hovedstråleretning, og at stråleraperturenes (31, 32) hovedstråleretninger er innbyrdes parallelle og rettet samme vei.
6. System ifølge krav 5, k a r a k t e r i s e r t v e d a t stråleraperturene (31, 32) er plassert i ett og samme plan som står vinkelrett på hovedstråleretningen.
7. System ifølge krav 5, k a r a k t e r i s e r t v e d a t stråleraperturene (91-99) er plassert med innbyrdes forskyvning i hovedstråleretningen (90A).
8. System ifølge et av kravene 1-7, k a r a k t e r i s e r t v e d a t i det minste to stråleraperturer er anbragt på hver sin plattform som er mekanisk uavhengig av andre plattformer, f.eks. uavhengige plattformer i form av fly.
9. System ifølge krav 8, k a r a k t e r t i s e r t v e d en kompenseringsanordning (102) for plattformens (90) bevegelse, basert på faseforskyvning av signaler, for etablering av et lokalt og tidsbegrenset stasjonært interferensmønster av bølgene.
10. System ifølge et av kravene 1-9, k a r a k t e r i s e r t v e d en anordning for registrering av responsen av et antall simultane interferensmønstre dannet ved utsending av bølger mot et objekt, og en anordning for bestemmelse av graden av samsvar mellom interferensmønstrene og det objekt som ønskes detektert (fig. 4, 5, 6).

11. System ifølge et av kravene 1-10, k a r a k t e r i s e r t v e d a t signalbehandlingen i mottageranordningen omfatter dopplerprosessering (4) for bestemmelse av et objekts bevegelser i forhold til det dannede interferensmønster (fig. 1, 7).

12. System ifølge et av kravene 1-11, basert på anvendelse av signaltilpassede filtre i mottageranordningen for generering av et doppler-signal for hver multifrekvens-komponent av de utsendte bølger, k a r a k t e r i s e r t v e d en anordning for normalisering av de genererte dopplersignaler normaliseres med hensyn på effekt for dannelselse av et normalisert, komplekst dopplersignal for hver multifrekvenskomponent, at disse dopplersignalkomponenter behandles parvis i en anordning (81, 82) for strekning av tidsaksen eller frekvensaksen for den mest høyfrekvente komponent i hvert par og/eller komprimering av tidsaksen eller frekvensaksen for den mest lavfrekvente komponent i paret, for å bringe disse komponenter til samme frekvens, hvilken strekning og/eller komprimering foretas med en faktor som avhenger av hva som ønskes detektert, og at de to signalkomponenter i hvert par etter den nevnte parvise behandling korreleres i en korreleringsanordning (83) slik at det blir oppnådd en forbedret deteksjon av objekter (fig. 8).

POLAR- POLARISA- DOPPLER- AVST.- SHF- ANTENNER  
ISASJONS SJONS PRO- PORT-  
KODER SENSOR SENSOR ENHET

HOVED-BØLGEFORMGENERATOR

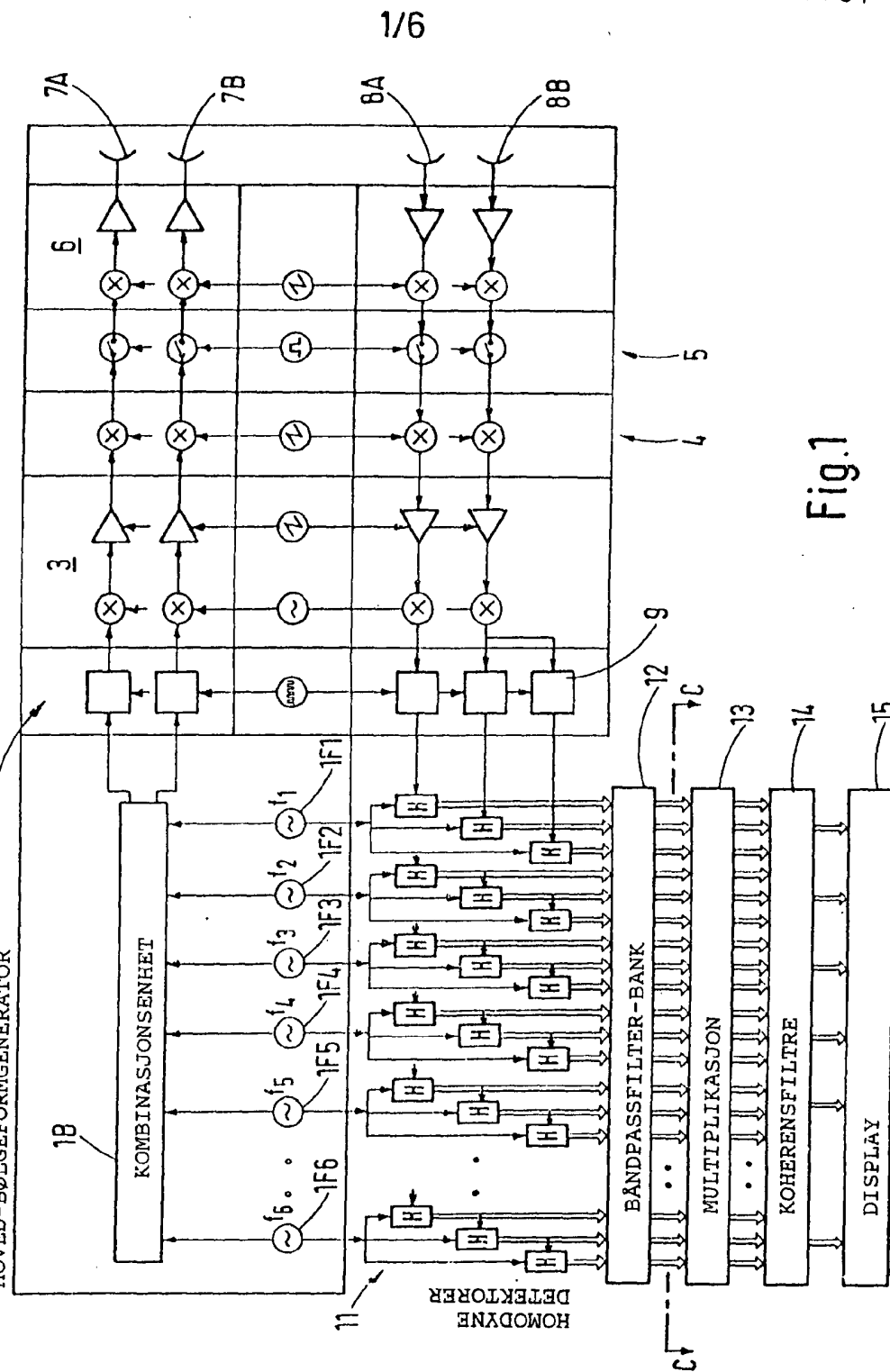


Fig.1

164137

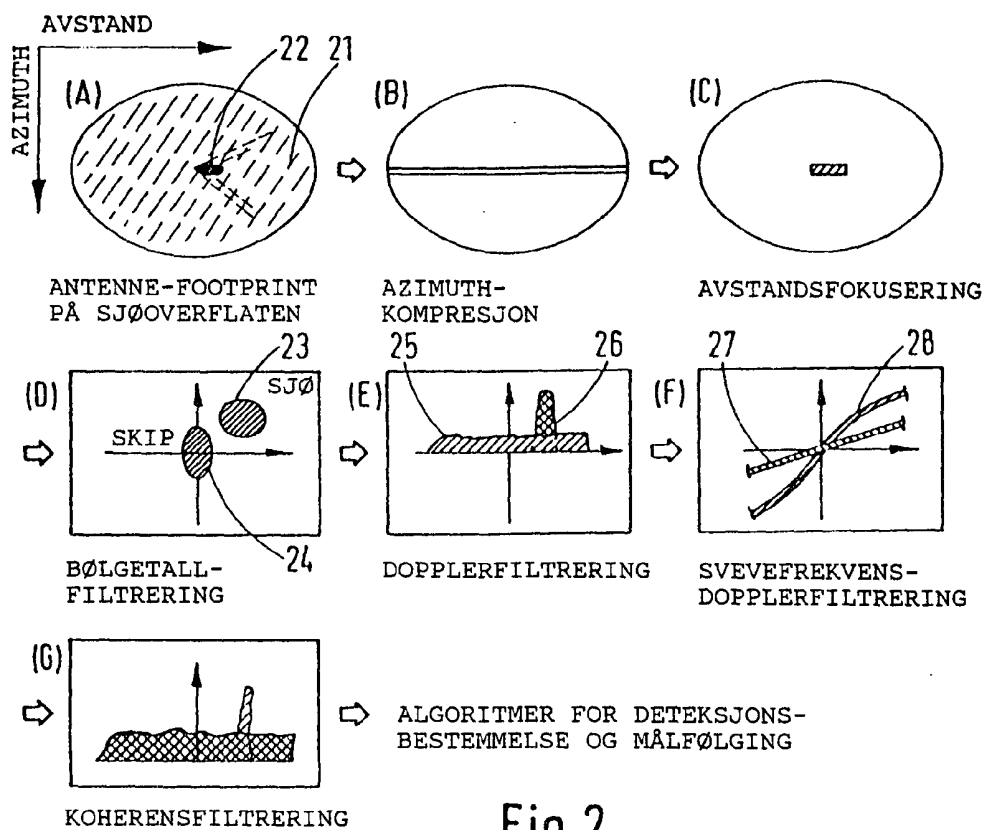


Fig.2

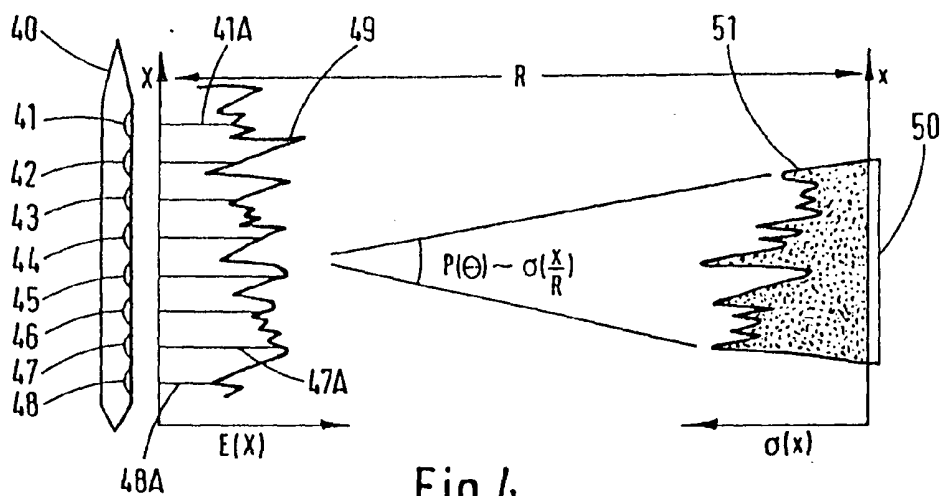
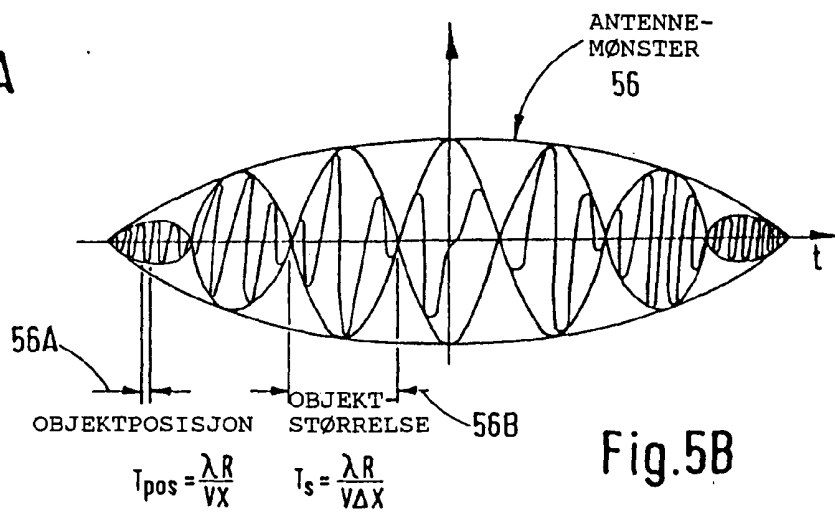
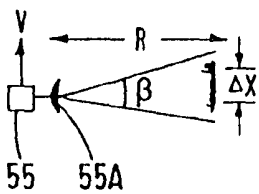
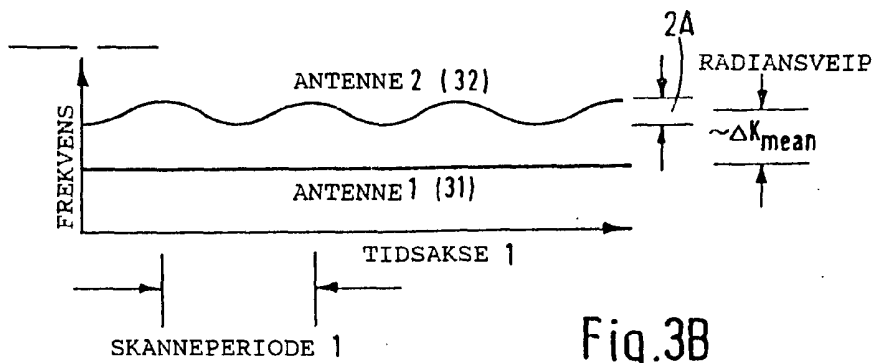
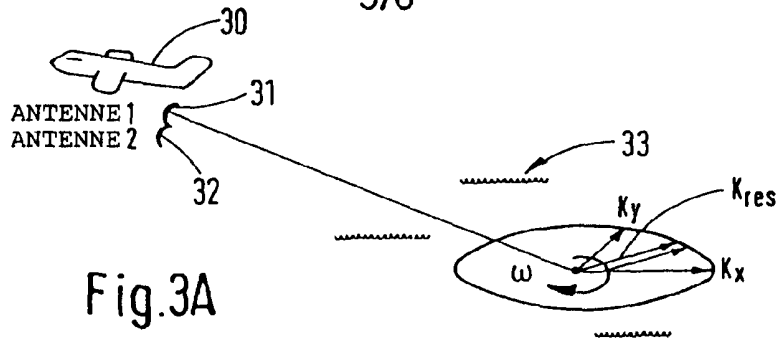


Fig.4



4/6

164137

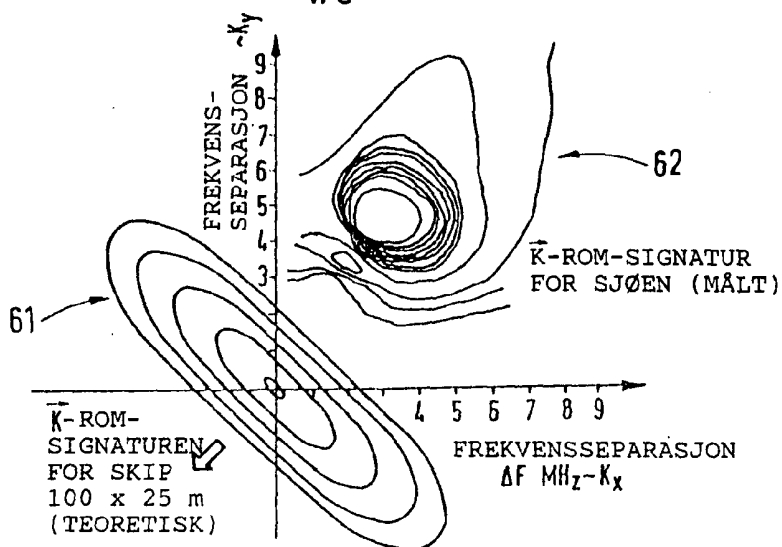


Fig.6

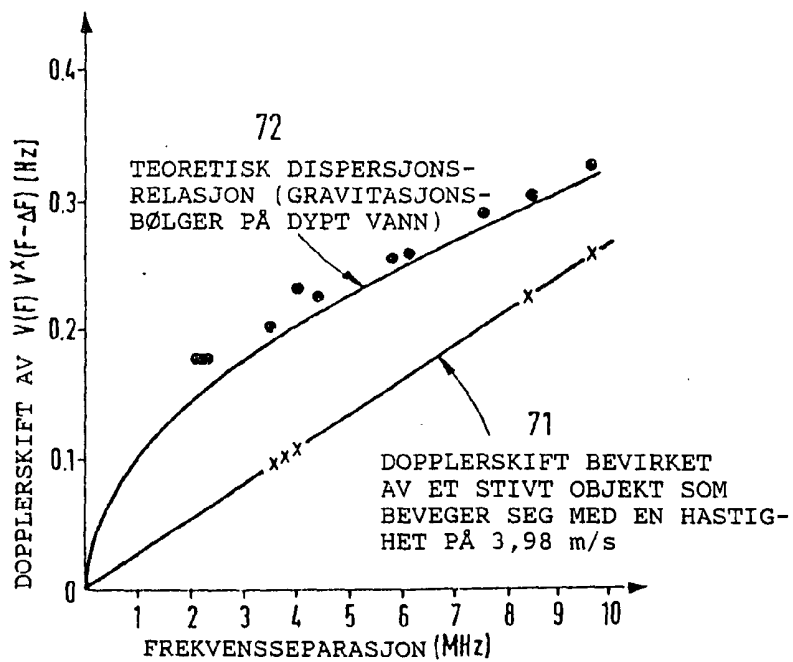


Fig.7

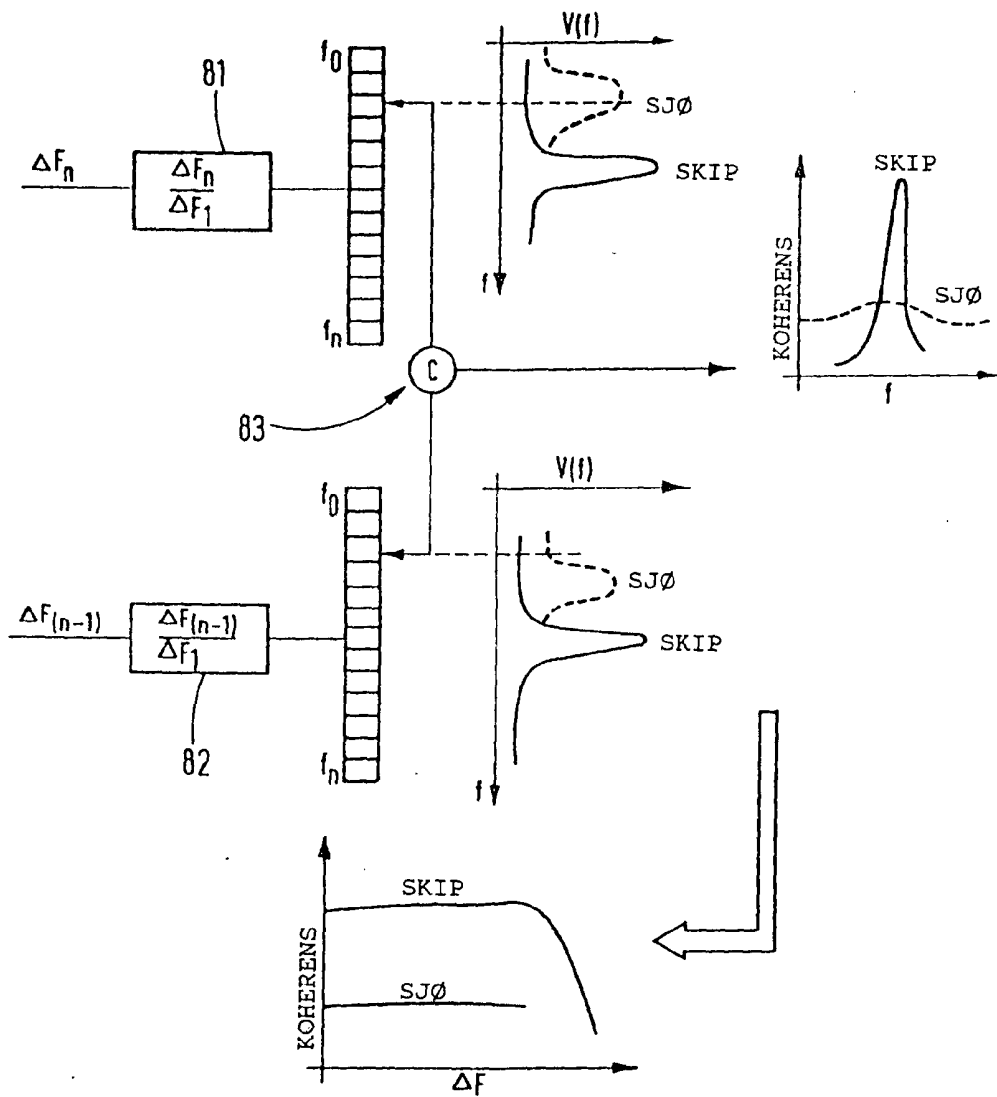


Fig.8

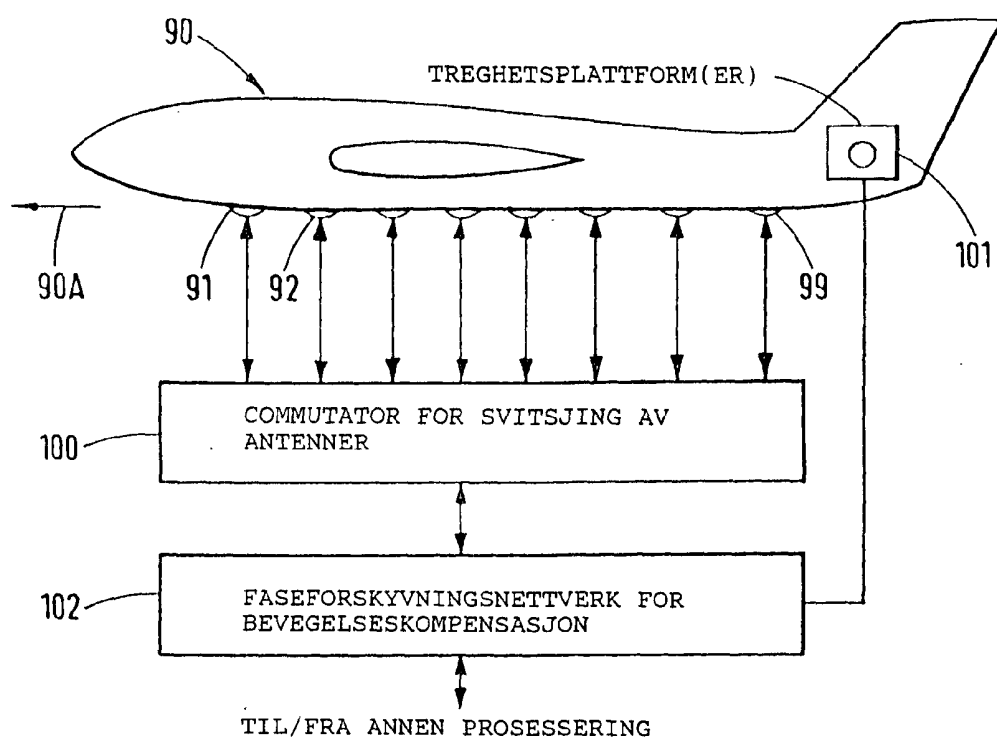


Fig.9