



(12) PATENT

(19) NO

(11) 338889

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

G01V 1/20 (2006.01)

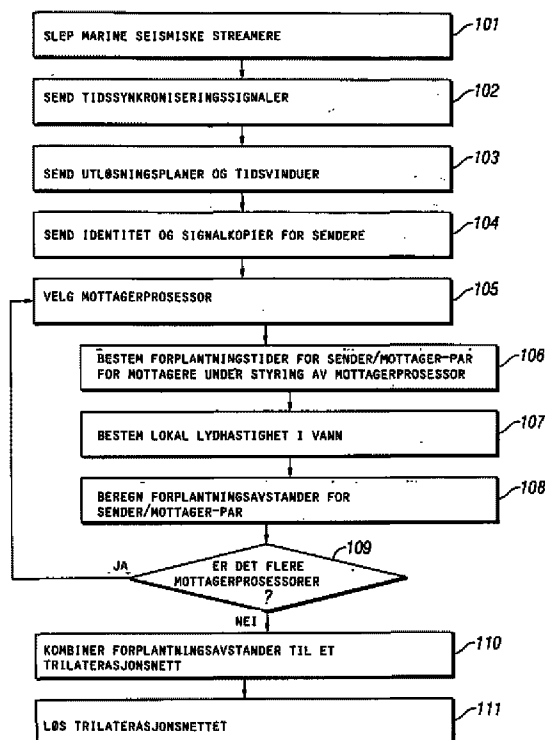
G01V 1/38 (2006.01)

G01S 15/46 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20063664	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	2006.08.14	(85)	Videreføringsdag	
(24)	Løpedag	2006.08.14	(30)	Prioritet	2005.10.21, US, 11/256,390
(41)	Alm.tilgj	2007.04.23			
(45)	Meddelt	2016.10.31			
(73)	Innehaver	PGS Geophysical AS, Postboks 290, 1326 LYSAKER, Norge			
(72)	Oppfinner	Stig Rune Lennart Tenghamn, 3303 Sage Terrace Drive, US-TX77450 KATY, USA Jon Falkenberg, Ringstabekkveien 67, 1358 JAR, Norge Nils Lunde, 2020 Eldridge Parkway, Apt. No. 4501, US-TX77077 HOUSTON, USA Per Birger Gunnarsson, Kustvägen 99, SE-24657 BARSEBÄCK, Sverige Nils Kroling, Östre Vallgatan 3, SE-22361 LUND, Sverige			
(74)	Fullmektig	Acapo AS, Postboks 1880 Nordnes, 5817 BERGEN, Norge			
(54)	Benevnelse	Posisjonsbestemmelse av tauede mannseismiske lyttekabler			
(56)	Anførte publikasjoner	US 5668775 A US 5668775 A US 6697300 B1 US 4992990 A US 4398274 A			
(57)	Sammendrag				

Et system omfatter et antall akustiske sendere montert inne i streamerne og innrettet for å sende bredbåndssignaler med lav krysskorrelasjon mellom signalene fra forskjellige sendere; et antall akustiske mottagere montert inne i streamerne og innrettet for å motta signalene fra senderne; minst en prosessor innrettet for å krysskorrelere signalene som er mottatt ved mottagerne, med kopier av sendersignalene for å bestemme identiteter av senderne av de mottatte signalene og for å bestemme forplantningstider for de mottatte signalene; og en hovedprosessor innrettet for å omforme forplantningstidene til avstander mellom de identifiserte senderne og mottagerne, og for å bestemme relative posisjoner av streamerne ut fra avstandene.



BAKGRUNN FOR OPPFINNELSEN

1. Teknisk område

Denne oppfinnelsen vedrører generelt område geofysisk prospektering. Mer spesielt angår oppfinnelsen innsamling av seismiske data til sjøs.

2. Beskrivelse av beslektet teknikk

For å utføre en tredimensjonal (3D) marin seismisk undersøkelse blir et antall marine seismiske streamere slepet ved en forutbestemt dybde, typisk mellom 4 og 25 meter, bak et overflatefartøy. Hver seismisk streamer, også kalt en streamerkabel eller slepekabel, er typisk flere tusen meter lang og inneholder en rekke seismiske sensorer og tilhørende analog/digital-omformerelektronikk fordelt langs streamerens lengde. Streamerkablene omfatter en rekke individuelle segmenter kalt streamerseksjoner, som hver typisk har lengde fra 75 til 200 m. Letefartøyet sleper også en eller flere seismiske kilder, for eksempel luftkanoner eller vannkanoner, men som vanligvis består av grupper med luftkanoner. Akustiske signaler generert av de seismiske kildene blir sendt ned gjennom vannsøylen og flere kilometer ned i undergrunnsformasjonene. Deler av signalene blir reflektert fra grenseflatene mellom forskjellige lag på grunn av forskjeller i den akustiske impedansen mellom forskjellige bergartsformasjoner. De akustiske signalene som reflekteres fra undergrunnsformasjonene, blir detektert ved hjelp av de seismiske sensorene som er plassert inne i streameren. De innsamlede seismiske signalene blir digitalisert og sendt via en hovedtelemetriorbindelse til slepefartøyet for databehandling om bord eller senere behandling på land. De behandlede dataene blir brukt til å estimere undergrunnsformasjonsstrukturen og eventuelt hydrokarboninnhold.

Fig. 1A illustrerer et skjematisk oppriss av et ideal-tilfelle uten tverrstrømmer, for en tredimensjonal marin seismisk undersøkelse ved bruk av slepte streamere. Et seismisk letefartøy 1 sleper et forholdsvis lite seismisk slepesystem som omfatter en aktiv kilde bestående av tre luftkanongrupper 2, og en spredning av fire streamerkabler 3. Streamerkablene 3 strekker seg fra streamerskilleplater (også kalt deflektorer) 4 ved fronten av spredningen til endebøyer 5 bakerst. I dette ideelle tilfellet strekker streamerkablene 3 seg alle bak fartøyet 1 i urealistisk rette og likt adskilte linjer parallelle med fartøyets bane og med hverandre. Fig. 1B illustrerer et skjematisk oppriss av et mer realistisk tilfelle for en tredimensjonal marin seismisk undersøkelse som benytter slepte streamere, som viser de typiske virkningene av tverrstrømmer på streamerspredningen. Avstandene mellom streamerne 3 er ikke lenger konstant, og posisjonene til endesegmentene avviker fra fartøyets bane. Denne avvikseffekten blir kalt "viftedannelse". Halesegmentene til streamerne kan i noen undersøkelsesområder avvike betydelig fra fartøybanen på grunn av tverrstrømmene langs slepespredningen.

For korrekt seismisk avbildning av undergrunnen under bunnen av undersøkelsesområdet, er det viktig å bestemme nøyaktig posisjonen av både luftkanonkildene og de seismiske mottagerne. De seismiske kildene blir slept forholdsvis tett bak letefartøyet og er lettere å styre enn streamergruppen. Streamergrupper består typisk av fra 8 til 12 uavhengig slepte streamerkabler hvor hver streamer er fra 3 til 8 km lang. Tendensen er imidlertid å utplassere enda flere og lengre streamere, slik som opptil 20 streamere med en lengde på omkring 12 km. Nøyaktig bestemmelse av streamerposisjoner er også viktig for å unngå driftsmessige høyrisikosituasjoner slik som streamersammenfiltring. Sammenfiltringen kan være

forårsaket av sterke vannstrømmer i sjøen når mer enn en kabel blir huket opp og forbundet. Oppløsning av slike sammenfiltreringsscenarier er kompleks og kan utsette mannskapet for farlige operasjoner i sjøen i tillegg til å være ganske kostbare.

Fremgangsmåter for å bestemme streamerposisjoner har innbefattet bruk av anordninger slik som mottagere for det globale posisjonsbestemmelssystemet (GPS), magnetkompass (også kalt magnetisk kurssensorer), akustiske sendere, konvensjonelle streamerhydrofoner eller akustiske mottagere spesielt utpekt for posisjonsbestemmelsesoppgavene.

US-patent nr. 4.231.111, "Marine Cable Location System", gitt til Walter P. Neeley den 28. oktober 1980, beskriver en fremgangsmåte for å bestemme streamerposisjoner som fordeler magnetkompass langs streamerkablene ved jevne mellomrom og anvender kursinformasjon fra disse kompassene til å modellere formen og orienteringen av hver kabel. De eksternt monterte kompassene går imidlertid noen ganger tapt på grunn av streamersammenfiltrering eller andre støtsituasjoner, og kompassene frembringer strømningsstøy på seismiske nabo-sensorer. Kompassene blir i tillegg drevet med batterier som må skiftes ut med visse mellomrom, og kompassene må omkalibreres i fabrikk etter eventuelle reparasjoner eller endringer.

US-patent nr. 5.761.153, "Method of Locating Hydrophones", utstedt til Vassilis N. Gikas, Paul A. Cross, og Asiama Akuamoa den 2. juni 1998, beskriver en fremgangsmåte for å bestemme streamerposisjoner, som anvender både magnetkompass og akustiske transceivere som innbefatter både sendere og mottagere. Senderne og mottagerne er akkurat som magnetkompassene eksternt festet til streamerkablene og de seismiske kildene, blir drevet av batterier og kommuniserer via induktive spoler som er plassert inne i streamerne. Kodede

ultralysdsignaler blir sendt mellom transceiverne.

Transceiverne måler avstander mellom sendere og mottagere og gjør det mulig både å bestemme formen til de slepte gruppene og å estimere de relative posisjonene til de seismiske

5 sensorene. I fremgangsmåter eksemplifisert ved hjelp av Gikas m.fl. '153, er senderne og mottagerne bare plassert ved fronten, på midten og den bakre enden av streamerslepet på grunn av den høye prisen på de akustiske transceiverne.

Magnetkompassene blir så brukt til å bestemme streamer-
10 posisjonene mellom transceiverstedene. Denne fremgangsmåten vil ha problemer i forbindelse med eksternt monterte magnetkompass som diskutert ovenfor i forbindelse med Neeley '111.

US-patent nr. 4.992.990, "Method for Determining the Position of Seismic Streamers in a Reflection Seismic
15 Measuring System", utstedt til Jan-Åge Langeland, Stein Åsheim, Bjørn Nordmoen og Erik Vigen, 2. februar 1991, beskriver en fremgangsmåte for å bestemme streamerposisjoner som utplasserer akustiske transceivere over hele streamerspredningen. Langeland m.fl. '990 anvender akustiske
20 transceivere posisjonert på de seismiske fartøyene, endebøyer, en flottør slept nær fronten av streamerne, strekkseksjoner ved fronten og den bakre enden av streamerne, og eventuelt i de aktive seksjonene av streamerne. Transceiverne opererer i frekvensbåndet fra 25 til 40 kilohertz. Ved å starte med to
25 kjente posisjoner, fortrinnsvis på slepefartøyet og flottøren, blir posisjonene til de andre transceiverne bestemt ved triangulering av overføringstidene (og dermed avstandene) mellom transceiverne for å danne et løsbart trekantnettverk. Anvendelse av seismiske innsamlingsmottagere til å bestemme
30 streamerposisjoner kan imidlertid forårsake problemer når noen av de seismiske innsamlingsmottagerne blir utilgjengelige på grunn av mekanisk eller elektrisk svikt i streamerne eller ellers i slepesystemet. Denne fremgangsmåten har videre

problemene i forbindelse med eksternt monterte transceivere som i Gikas m.fl. '153 ovenfor.

US-patent nr. 4.912.682, "Point Location Determination At or Close to the Surface", utstedt til John P. Norton, jr.,

5 Michael A. Hall og Ian N. Court, 27. mars 1990, beskriver et system hvor ultrasoniske sonarsendere er posisjonert langs en streamer, fortrinnsvis med mellomrom på 300 meter, og seismiske mottagere er posisjonert langs en streamer, fortrinnsvis med mellomrom på 100 meter, slik at det er tre
10 ganger så mange mottagere som sendere. Senderne avgir en unik toneskur eller rekke med toneskurer eller en kontinuerlig varierende tone som i et sveipet signal. Signalet blir utsendt i båndet fra 50 til 150 kHz. Mottagerne blir tidsstyrt for bare å registrere signalet i løpet av en fastsatt tidsperiode
15 for å begrense antallet mottagere som er tildelt hver sender, fortrinnsvis til sju. Den medgåtte tiden for hvert sender/mottager-par blir omformet til avstand ved å multiplisere med den lokale lydhastigheten i vann, som antas å være konstant. Posisjonene til fronten av hver streamer blir
20 antatt kjent, og posisjonene til senderne og mottagerne blir løst sekvensielt ned langs streamerlengdene ved hjelp av en koordinatvariasjonsteknikk. I denne teknikken blir et sett med ligninger i de additive korreksjonsleddene redusert til normale ligninger ved hjelp av minste kvadraters metode og så
25 løst. Fra de relative avstandene mellom sendere og mottagere kan deres relative posisjoner bestemmes. Anvendelse av de seismiske innsamlingsmottagerne til å bestemme streamerposisjoner og feste senderne og mottagerne eksternt til streameren, fører til de samme problemer som er diskutert i
30 Langeland m.fl. '990 ovenfor.

US-patent nr. 6.839.302 B2, "Acoustic Emitters for Use in Marine Seismic Surveying", utstedt til Peter Austad og Rolf Rustad, 4. januar 2005, beskriver en fremgangsmåte som unngår

ulempene med eksternt montert utstyr ved å plassere senderne eller mottagerne i spesialseksjoner som kan være innsatt mellom konvensjonelle streamerseksjoner. Austad m.fl. '302 beskriver en akustisk sender som kan settes inn mellom

5 tilstøtende streamerseksjoner. Senderen omfatter et ringformet hus som inneholder et ringformet piezoelektrisk senderelement som er beskyttet fra bøyning ved omgivende fleksible tønnestavorganer. Senderen er innrettet for å operere i et frekvensområde opptil 10 kHz. Lokalisering av senderne i
10 ytterligere innsatsseksjoner mellom streamerseksjonene er imidlertid kostbar og arbeidsintensiv.

Et problem spesielt for å bestemme posisjonene av slepte seismiske streamere med sendere og mottagere, er å holde rede på hvilken senders signal som blir detektert av hvilken
15 mottager til enhver gitt tid. US-patent nr. 4.187.492, "Device for Determining the Relative Position of Elongate Members Towed behind a Ship", utstedt til Robert Delignieres og Mareil Marly, 5. februar 1980, beskriver en fremgangsmåte for å anvende forskjellige frekvenser for forskjellige sendere.
20 Delignieres m.fl. '492 beskriver et system hvor akustiske bølgesendere er posisjonert langs en første streamer og akustiske pulsmottagere er posisjonert langs en annen streamer. Hver sender ved en forskjellig frekvens og hver mottager mottar signaler fra bare en sender. Systemet
25 innbefatter et telemetrisystem for å bestemme forplantningstidsintervaller for de akustiske pulsene mellom sendere og mottagere og måler de relative avstandene ut fra disse forplantningstidene. Senderne og mottagerne omfatter primært en transduser med seks sylindere av piezoelektrisk keramikk
30 med seks forskjellige lengder og som vibrerer i lengdemodus ved seks forskjellige frekvenser. Delignieres m.fl. '492 gir som et eksempel seks frekvenser i området fra 20 til 100 kHz. Anvendelse av forskjellige frekvenser for å skjelle mellom

senderne, øker imidlertid generelt kompleksiteten og kostnadene av både senderne og mottagerne.

US-patent nr. 6.697.300 B1, "Method and Apparatus for Determining the Positioning of Volumetric Sensor Array Lines", utstedt til Michael D. Holt, 2. februar 2004, beskriver en fremgangsmåte hvor hver sender sender et skjelnbart signal selv om senderne og sensorene er av identisk lengde, alle opererer ved samme frekvens. Holt '300 beskriver et system som omfatter sendere (innbefattet keramiske transdusere), sensorer (hydrofoner) for å motta seismiske refleksjoner av sendernes signaler fra objekter av interesse, og detektorer for å motta sendernes signaler direkte. Detektorene bestemmer forplantningstider uttrykt ved intervaller av klokkeperioder, og dermed avstander, mellom streamerne. Senderne anvender pseudo-tilfeldig tall av typen kodedelt multippel aksess til unikt å identifisere signalene som kommer fra hver sender. Signalene som er sendt av senderne til detektorene for posisjonsbestemmelse av streamere modulerer en bæreølge utenfor det akustiske analysebåndet for signalene som er mottatt av objektposisjonsbestemmelsessensorene, siden Holt '300 beskriver et system for sonar deteksjon av fiendtlige fartøyer som må være uoppgdaget av de andre fartøyene. I tilfelle med seismiske innsamlingsundersøkelser vil dette behovet resultere i en senderbæreølge omkring det seismiske innsamlingsbåndet. Disse høyfrekvente signalene er beheftet med høyere dekning og forringer derfor den oppløsningen som er nødvendig for posisjonsbestemmelse langs streamergrupper.

US-patent nr. 5.668.775, "Methods for Determining the Position of Seismic Equipment, and Applications of the Methods", utstedt til Kjell Hatteland 6. september 1997, beskriver en fremgangsmåte som anvender akustiske senere mellom streamerseksjonssegmenter og konvensjonelle seismiske mottagere (hydrofoner) lokalisert inne i streamerne. Både

kraft og kommunikasjon til disse senderne går gjennom streamerutrustningen. Senderne opererer ved lave frekvenser i det tilnærmede området fra 1 Hz til 1 kHz, som omfatter det seismiske frekvensområdet. Senderne genererer et spredt

5 spektrum-signal som en ortogonal kodet signalsekvens med en utvetydig topp i form av en fremtredende spiss i signalets autokorrelasjonsfunksjon. Krysskorrelering av signalet som er mottatt av en mottager med den ortogonalt kodede signal-

10 sekvensen til det utsendte spredt spektrum-signalet muliggjør bestemmelse av en tidsforskjell mellom deteksjonen av signalet ved hjelp av forskjellige mottagere. Denne tidsdifferansen gjør det så mulig å bestemme avstanden mellom individuelle sendere og mottagere basert på en kjent linjeavstand mellom mottagerne. Et høyt antall sender/mottager-kombinasjoner blir

15 brukt til å bestemme et nettverk som så gir det seismiske utstyrets geometriske konfigurasjon. I Hatteland '775 er imidlertid de seismiske mottagerne anvendt både til å bestemme streamerposisjoner og til konvensjonell seismisk innsamling i stedet for å anvende separate systemer av utpekte mottagere,

20 noe som fører til de samme problemene som er diskutert ovenfor i Norton, jr. m.fl. '682 og Langeland m.fl. '990.

De foran beskrevne fremgangsmåtene for å bestemme posisjonene til streamere inneholder et antall problemer. I systemer som anvender magnetkompass, som i Neeley '111 og

25 Gikas m.fl. '153, blir kompasskurser referert til magnetisk nord, og kjennskap til den lokale magnetiske variasjonen (misvisningen) er nødvendig. Virkningen av magnetiske stormer og lokale anomalier kan bare delvis korrigeres for. På grunn av den sparsomme samplingen langs kabelen og mangelen på

30 informasjon om hvordan streameren oppfører seg mellom kompassposisjonene, er posisjonsnøyaktigheten ikke presis. Denne mangelen på presisjon er spesielt viktig når interne styringsanordninger brukt til å regulere tverrlinjeposisjonen

til streamerkablene er plassert mellom kompassposisjonene. Fordi kompassavlesninger blir påvirket av bølgebevegelse forårsaket av værforhold, blir kompassavlesningene filtrert over tid med det resultat at de verdiene som brukes i beregningene av streamerposisjoner, har en betydelig tidsforsinkelse.

Anvendelse av eksternt monterte transceivere, enten sendere eller mottagere, som i Gikas m.fl. '153, Langeland m.fl. '990 og Norton, jr. m.fl. '682, har flere ulemper. Under utsetting av streamere og opphenting krever festing og fjerning av transceiverne slik at streamerne kan spoles direkte på og av vinsjer om bord i letefartøyet krever betydelig tid som er meget kostbar. Ekstern festing av transceiverne (eller annet utstyr, slik som magnetkompass) til streamerkablene øker slepemotstanden på streamerne og øker støyen i de detekterte seismiske signalene. Transceiverne blir også eksponert for støt, og transceivere blir dermed mistet fra tid til annen. I tillegg må batteriene skiftes med jevne mellomrom. På grunn av de høye frekvensene som brukes for den akustiske avstandsbestemmelsen, kan ytelsen bli forringet i et ugunstig akustisk driftsmiljø.

Lokalisering av sendere eller mottagere i utpekte streamerinnsatser mellom streamerseksjoner som i Austad m.fl. '302, er kostbart og arbeidsintensivt. Både dataredundans og kvalitet kan videre blir begrenset på grunn av begrensningen av avstand ved transceiverne.

Anvendelse av sendere konstruert for å sende ved forskjellige frekvenser som i Delignieres m.fl. '492, kan øke kostnadene for både senderne og mottagerne. Anvendelse av sendere utformet for å sende ved høye frekvenser, som i Holt '300, fører til signaler som dempes for hurtig over lengre avstander. Denne dempningen reduserer oppløsningen ved de lengste avstandene som anvendes ved posisjonsbestemmelse av

lange streamergrupper i forhold til de kortere streamergruppene som anvendes ved deteksjon av fartøy, som i Holt '300.

US patent nr. 5,668,775 med tittel «Methods for
5 determining the position of seismic equipment, and
applications of the methods» omhandler en fremgangsmåte for å
bestemme posisjonen for seismiske streamere ved at akustiske
sendere sender ut bredbåndssignaler som blir mottatt av
seismiske sensorer i streamere som det skal bestemmes
10 posisjonen. Ved å innsamle og bearbeide de signaler dette gir,
er det mulig å bestemme posisjonen til seismisk utstyr med
referanse til hver enkelt sensor i det seismiske utstyret hver
gang en måling tas.

US patent nr. 6,697,300 B1 med tittel «Method and
15 apparatus for determining the positioning of volumetric sensor
array lines» omhandler en metode og apparat for å bestemme
posisjonen for akustiske lyttekabler, og bruker
posisjonsbestemmende sensorer anordnet i lyttekablene og
bruker en synkroniseringsenhet og en mikroprosessor for å
20 bestemme posisjonen for lyttekablene.

Anvendelse av seismiske datainnsamlingsmottagere i stedet
for separat utpekte mottagere for å bestemme streamer-
posisjoner, som i Langeland m.fl. '990, Norton, jr. m.fl. '682
og Hatteland '775, fører til problemer. Det akustiske
25 posisjonsbestemmelsesnettverket kan bli betydelig forringet
hvis de seismiske innsamlingsmottagerne ikke er tilgjengelige
på noen streamere. Mottagerutilgjengelighet kan inntreffe
under streamersvikt, vedlikehold eller systemtesting.

Den manglende evnen til å ta avstandsmålinger i linjen,
30 som i Norton m.fl. '682, fører til slutt til mangel på nøyaktig
kunnskap om avstanden mellom senderne og mottagerne når
streameren er under slep, noe som igjen fører til mangel på
nøyaktig kunnskap om størrelsen av forlengelsen av streameren

under strekk. Denne mangelen på kunnskap forringer nøyaktigheten av posisjonsbestemmelsen av streameren.

Det er derfor behov for en forbedret fremgangsmåte for å bestemme posisjoner av slepte marine seismiske streamere.

5

KORT OPPSUMMERING AV OPPFINNELSEN

Oppfinnelsen er i en utførelsesform et system for å bestemme posisjoner av slepte marine seismiske streamere. Systemet omfatter et antall akustiske sendere montert inne i streamerne og innrettet for å sende bredbåndssignaler med lav krysskorrelasjon mellom signalene til forskjellige sendere; et antall akustiske mottagere montert inne i streamerne, der mottagerne er innrettet for å motta signalene som er sendt i en i-linje-retning mellom senderne og mottagerne montert i den samme streameren og tverrlinje-avstander mellom sendere og mottagere i forskjellige streamere, og å motta signaler sendt i en tverrlinje-retning mellom sendere og mottagere montert i forskjellige streamere. Videre omfatter systemet minst en mottagerprosessor innrettet for å krysskorrelere de signalene som er mottatt ved mottagerne med kopier av sendersignaler for å bestemme identiteter for sendere av de mottatte signalene og forplantningstider for de mottatte signalene; og en hovedprosessor innrettet for å omforme forplantningstidene til avstander mellom de identifiserte senderne og mottagerne, for å bestemme i-linje-avstandene langs streamerne mellom sendere og mottagere i den samme streameren, og tverrlinje-avstander mellom sendere og mottagere i forskjellige streamere, for å kombinere de omformede avstandene for å danne en trilaterasjonsnettrepresentasjon av avstandene mellom senderne og mottagerne, for å løse trilaterasjonsnettrepresentasjonen for å bestemme de relative posisjonene til senderne og mottagerne i streamerne, innbefattet posisjonsendringer som resulterer fra strekk av streamerne så vel som

posisjonsendringer som resulterer fra bevegelse av streamerne, og for å bestemme relative posisjoner av streamerne fra de relative posisjonene av senderne og mottakerne..

Oppfinnelsen er i en annen utførelsesform en fremgangsmåte for å bestemme posisjoner av slepte marine seismiske streamere, omfattende: å slepe et antall transdusere innrettet for å være akustiske sendere montert inne i streamerne, hvor senderne er innrettet for å sende bredbåndssignaler med lav krysskorrelasjon mellom signalene til forskjellige sendere; å slepe et antall akustiske mottagere montert inne i streamerne, hvor mottagerne er innrettet for å motta signalene fra senderne sendt i i-linje-retningen mellom sendere og mottagere montert i den samme streameren og for å motta signaler sendt i en tverrlinje-retning mellom sendere og mottagere montert i forskjellige streamere; å sende signalene fra senderne; å motta signalene ved mottagerne; å krysskorrelere de mottatte signalene med kopier av sendersignalene for å bestemme identitetene til sendere av de mottatte signalene og for å bestemme forplantningstider av de mottatte signalene; å omforme forplantningstidene til avstander mellom de identifiserte senderne og mottagerne, for å bestemme i-linje-avstander langs streamerne mellom sendere og mottagere i samme streamer, og tverrlinje-avstander mellom sendere og mottagere i forskjellige streamere. Der fremgangsmåten videre omfatter: å kombinere de omformede avstandene for å danne en trilaterasjonsnettrepresentasjon av avstandene mellom senderne og mottagerne; og å løse trilaterasjonsnettrepresentasjonen for å bestemme de relative posisjonene av senderne og mottagerne i streamerne, inkludert posisjonsendringer som resulterer av strekk av streamerne så vel som posisjonsendringer som resulterer av bevegelse av streamerne, og å bestemme relative posisjoner av streamerne fra de relative posisjonene av senderne og mottagerne.

KORT BESKRIVELSE AV TEGNINGENE

Oppfinnelsen og dens fordeler kan lettere forstås under henvisning til den følgende detaljerte beskrivelse og de

5 vedføyde tegningene, hvor:

Fig. 1A er et skjematisk oppriss av et ideelt tilfelle uten tverrrstrømmer, av en tredimensjonal, marin seismisk undersøkelse ved bruk av slepte streamere;

10 fig. 1B er et oppriss av et mer realistisk tilfelle med tverrrstrømmer av en tredimensjonal, marin seismisk undersøkelse ved bruk av slepte streamere;

fig. 2 er et oppriss av et system for å bestemme posisjoner av slepte seismiske marine mottagere i henhold til en utførelsesform av oppfinnelsen;

15 fig. 3 er en skjematisk perspektivskisse av en del av en streamerseksjon med seismiske innsamlingsmottagere i henhold til en utførelsesform av oppfinnelsen;

20 fig. 4 er en skjematisk perspektivskisse av en streamer-seksjon med streamerposisjonsbestemmende sendere og mottagere i henhold til en utførelsesform av oppfinnelsen;

25 fig. 5A er et flytskjema som illustrerer behandlingstrinnene til en hovedprosessor i en utførelsesform av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen for å bestemme de relative posisjonene av slepte, marine seismiske streamere;

30 fig. 5B er et flytskjema som illustrerer behandlingstrinnene for en valgt mottagerprosessor for en utførelsesform av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen til å bestemme forplantningstider av mottatte signaler utsendt av sendere, for å posisjonsbestemme mottagere under styring av den valgte mottagerprosessoren;

fig. 5C er et flytskjema som illustrerer behandlingstrinnene

- til en mottagerprosessor for en utførelsesform av fremgangsmåten i henhold til oppfinnelsen, til å bestemme en riktig Doppler-effekt-kompenserende kildesenderidentitet og forplantningstid for et
- 5 mottatt signal ved en posisjonsbestemmende mottager under styring av mottagerprosessoren;
- fig. 5D er et flytskjema som illustrerer behandlingstrinnene for en mottagerprosessor ifølge en utførelsesform av fremgangsmåten i henhold til oppfinnelsen for å
- 10 beregne en valgt Doppler-forskyvning og en resulterende forplantningstid for et valgt mottatt signal fra en valgt sender til en posisjonsbestemmende mottager under styring av mottagerprosessoren;
- 15 fig. 6A er et skjematisk sideriss av en bredbåndssender montert i en streamer, i henhold til en utførelsesform av oppfinnelsen;
- fig. 6B er et sideriss i tverrsnitt gjennom senderen på fig. 6A;
- 20 fig. 6C er en perspektivskisse av det beskyttelsesrøret som brukes i senderen på fig. 6B;
- fig. 7A er et sideriss i tverrsnitt gjennom en bredbåndsmottager i henhold til en utførelsesform av oppfinnelsen;
- 25 fig. 7B er en tverrsnittsskisse av mottageren på fig. 7A; og
- fig. 7C er et skjematisk sideriss av mottageren på fig. 7A og 7B, montert i en streamer.

Selv om oppfinnelsen vil bli beskrevet i forbindelse med

30 dens foretrukne utførelsesformer, vil man forstå at oppfinnelsen ikke er begrenset til disse. Tvert imot er oppfinnelsen ment å dekke alle alternativer, modifikasjoner og ekvivalenter som kan inkluderes innenfor rammen av opp-

finnelsen slik den er definert i de vedføyde patentkravene.

DETALJERT BESKRIVELSE AV OPPFINNELSEN

Oppfinnelsen er et system og en fremgangsmåte for å
5 bestemme posisjonene av datainnsamlingsutstyr, spesielt de
seismiske sensorene som brukes i multiple streamerkabler
anvendt i marine seismiske undersøkelser for avbildning av
undergrunnsformasjoner. Systemet omfatter en rekke akustiske
sendere og mottagere, utpekt til oppgaven med å bestemme
10 streamerposisjoner, fordelt langs lengden av streamerne.
Senderne og mottagerne er inkorporert sammen med tilsvarende
kraft- og styrings-elektronikk i streameren. I en foretrukket
utførelsesform er systemet for å bestemme streamerposisjonen
ifølge oppfinnelsen utformet som et alenestående system med
15 separat kraftforsyning og kommunikasjonstelemetriforbindelse
til letefartøyet.

Akustiske signaler fra senderne som befinner seg inne i
en seksjon av en streamerkabel, blir detektert av et antall
utpekte mottagere lokalisert inne i andre seksjoner. Mot-
20 tagerne kan være lokalisert i seksjoner både inne i den samme
streameren som senderen for i-linje-rangering og inne i andre
streamere for volumetrisk bestemmelse. Behandling av de
innsamlede signalene gir forplantningstidene mellom kombina-
sjoner av sendere og mottagere og dermed avstandene mellom
25 disse sender- og mottagerkombinasjonene. Disse avstandene kan
så igjen brukes til å beregne de relative posisjonene av
senderne og mottagerne i streamerne.

Fig. 2 illustrerer et skjematisk oppriss av et system for
å bestemme posisjonene til slepte, marine seismiske streamere
30 i henhold til en utførelsesform av oppfinnelsen. Som på fig. 1
ovenfor sleper et seismisk letefartøy 1 et illustrerende
seismisk slepesystem som omfatter en aktiv kilde bestående av
tre luftkanongrupper 2 og en spredning av fire streamerkabler

3. Streamerkablene 3 strekker seg fra streamerseparasjonsplater (deflektorer) 4 ved fronten av spredningen til endebøyer 5 ved den bakre delen. GPS-mottagere lokalisert på fartøyet 1, på streamerseparasjonsplatene 4 og 5 på endebøyene 5 mottar signaler fra navigasjonssatellitter 6 i rommet og tilveiebringer nøyaktige, absolutte posisjoner av referansepunktene foran og bak.

Det streamerposisjonsbestemmende systemet omfatter videre et antall akustiske sendere 9 og mottagere 11 montert inne i seksjonene (ikke angitt her) til streamerne 3. Senderne 9 og mottagerne 11 kommuniserer med en hovedprosessor 16 via en elektrisk bunt (vist på fig. 3 som 14) inne i streamerne 3. Hovedprosessoren 16 er typisk plassert om bord på letefartøyet 1, selv om posisjonen ikke behøver å bli betraktet som en 15 begrensning av oppfinnelsen. En sender 9 og en mottager 11 kan være kombinert i en transduserenhet selv om denne kombinasjonen ikke skal betraktes som en begrensning av oppfinnelsen. Hvis senderen 9 og mottageren 11 er kombinert i en transduserenhet, så kan denne transduserenheten virke som 20 enten en sender 9 eller en mottager 11 eller begge deler (selv om det ikke skjer samtidig).

I en foretrukket utførelsesform av oppfinnelsen sender det akustiske systemet for å bestemme streamerposisjoner signaler innenfor frekvensområdet fra 10 kHz til 40 kHz. Dette 25 frekvensbåndet er valgt for å unngå signalforringelse i ugunstige akustiske omgivelser som inntreffer når høyere ultralydfrekvenser blir benyttet og den minskede signaloppløsningen som inntreffer når lavere frekvenser blir benyttet. Senderne 9 sender et akustisk signal ut i vannet, og 30 mottagerne 11 mottar disse utsendte signalene. Flere sendere 9 kan sende samtidig, men forskjellige sendere 9 sender forskjellige signaler. De forskjellige signalene fra forskjellige sendere har lav krysskorrelasjon slik at en

mottager 11 kan skjelve mellom forskjellige sendersignaler selv om signalene ankommer samtidig.

En fremgangsmåte for å generere et signal med stor båndbredde og med fleksibilitet til å generere et antall
5 forskjellige senderbølgeformer med lav krysskorrelasjon er å bruke pseudo-tilfeldige støykoder. To eksempler på pseudo-tilfeldige støysekvenser som er passende for oppfinnelsen, er Gold-sekvensen og Kasami-sekvensen. Spredt spektrum-teknikker med direkte sekvenser kan brukes til å modulere en enkelt
10 bærefrekvens med disse pseudo-tilfeldige støysekvensene for å generere et spredt signal. To forskjellige modulasjonsteknikker kan anvendes. I den første teknikken modulerer den pseudo-tilfeldige pulssekvensen direkte bærefrekvensen og utfører den fullstendige båndspredningen. I den andre
15 teknikken representerer lineært sveipede frekvenssignaler tilstandene til den pseudo-tilfeldige støysekvensen og båndspredningen ligger hovedsakelig i sveipesignalene. Denne andre modulasjonsteknikken kan bruke mindre pseudo-tilfeldige støyfrekvenser til å generere forskjellige senderbølgeformer
20 med rimelig små krysskorrelasjoner. En slik løsning kan gi bedre korrelasjonsresultater enn bruk av beregningsfunksjoner med null krysskorrelasjon, som i Hatteland '775, som diskutert ovenfor.

Senderne 9 og mottagerne 11 er tidssynkronisert fra
25 hovedprosessen 16 som sender et tidssynkroniseringssignal mottatt av alle senderne 9 og mottagerne 11. Hver sender 9 sender et unikt akustisk signal i henhold til en forhåndsbestemt utløsningsplan for utsendelser for vedkommende sender 9. Minst en mottager 11 detekterer det utsendte signalet i
30 løpet av en forhåndsbestemt plan med lyttetidsvinduer for vedkommende mottager 11. Forplantningstiden mellom senderen 9 og mottageren 11 blir estimert basert på tidsdifferansen mellom den kjente utløsningstiden for senderen 9 og den

beregnete ankomsttiden ved mottageren 11 av det utsendte signalet fra senderen 9. Avstanden mellom senderen 9 og mottageren 11 kan så beregnes basert på kjennskap til lyd hastigheten i vannet. Mottageren 11 kan lytte etter

5 akustiske signaler fra flere sendere 9 samtidig og dermed bestemme avstanden til flere sendere 9 i systemet samtidig.

I en utførelsesform blir lyd hastigheten i vannet målt ved hjelp av lyd hastighetssensorer 17 plassert langs streamerne 3. Lyd hastighetssensorer 17 som er velkjente på området, måler

10 typisk lyd hastigheten i vann direkte, vanligvis ved hjelp av en akustisk forplantningstidsmåling, eller beregner lyd hastigheten i vann indirekte fra andre sensormålte parametere, typisk konduktivitet (for å bestemme saltholdighet), temperatur og dybde (for å bestemme trykk). I

15 andre utførelsesformer kan imidlertid hastighetssensorene 17 være lokalisert andre steder, slik som for eksempel i separate moduler innsatt mellom streamerseksjonene 15, i slepeanordningen ved fronten av streamerne 3, i styringsanordningene langs streamerne 3 eller i endebøyer bak streamerne 3.

20 Bruken av hastighetssensorer 17 er dessuten ikke ment å være en begrensning av oppfinnelsen ettersom lyd hastigheten i vannet kan bestemmes ved hjelp av andre midler som er kjent på området.

Systemet slik det er presentert i Fig. 2, kan anvendes

25 for i-linje-rangering langs lengden av streameren 3, som for eksempel kan gi måling av graden av strekk i en streamer 3 på grunn av belastningen ved å bli slept. Det akustiske signalet fra en sender 9 detekteres av en eller flere mottakere 11 som er plassert i den samme streameren 3. Avstanden mellom en

30 sender 9 og en mottager 11 beregnes ved å bruke den estimerte forplantningstiden til signalet og lyd hastigheten i vannet. Som før kan lyd hastigheten i vannet måles ved bruk av hastighetssensorer 17 som er plassert langs streameren 3 eller

ved enhver annen anordning som er kjent innen området.

Fig. 3 illustrerer en skjematisk perspektivskisse av en del av en streamerseksjon med seismiske innsamlingsmottagere, i henhold til en utførelsesform av oppfinnelsen. Den delen av streamerseksjonen 15 som er vist, inneholder seismiske innsamlingsmottagere 12, som vanligvis vil være trykkløse sensorer slik som hydrofoner. De seismiske innsamlingsmottagerne 12 er fordelt med kjente posisjoner langs streamerseksjonene 15. En rekke seismiske innsamlingsmottagere 12 kan være forbundet med hverandre for å gi et gruppeutgangssignal, eller signalene fra hver av de seismiske innsamlingsmottagerne 12 kan registreres individuelt. De seismiske innsamlingsmottagerne 12 er forbundet via en elektrisk bunt 14 med mottagerprosessorer 13 som sammen med de seismiske innsamlingsmottagerne 12, er forbundet via den elektriske bunten 14 med hovedprosessen 16 (vist på fig. 2). Mottagerprosessorene 13 er elektronikkmoduler som utfører mange oppgaver som er velkjente på området, slik som omforming av analoge seismiske signaler til digitalt format. Selv om mottagerprosessorene 13 er illustrert på fig. 3 som bygd inn i streamerseksjonen 15, er denne plasseringen ikke ment å være en begrensning av oppfinnelsen. Mottagerprosessorene 13 kan for eksempel være plassert i separate moduler (ikke vist) innsatt mellom streamerseksjonene 15.

Fig. 4 er en skjematisk perspektivskisse av en streamerseksjon med streamerposisjonsbestemmende sendere og mottagere i henhold til en utførelsesform av oppfinnelsen. Senderen 9 som er introdusert på fig. 2, og en senderprosessor 22 er montert inne i huden 23 til streamerseksjonen 15 og bruker ledninger i den elektriske bunten 14 i streamerseksjonen 15 for å motta kraft og for kommunikasjon med hovedprosessen 16 (fig. 2). Senderprosessen 22 er en elektronikkmodul som typisk omfatter en signalgenerator et drivtrinn (ingen er vist

separat). Senderprosessen 22 og dermed senderen 9, kan omprogrammeres av hovedprosessen 16 via den elektriske bunten 14. Senderprosessen 22 mottar et tidssynkroniseringsignal og en utløsningsplan for å fortelle senderen 9 når den skal sende signaler til mottagerne 11, i forhold til tidssynkroniseringssignalet fra hovedprosessen 16.

I en foretrukket utførelsesform av oppfinnelsen er mottagerne 11 som er introdusert på fig. 2, utpekt til å bestemme posisjonen av den seismiske streameren 3 og er separate fra de seismiske innsamlingsmottagerne 12 som er introdusert på fig. 3, for å detektere seismiske undersøkelsessignaler. I denne utførelsesformen vil mottagerne 11 bli referert til som posisjonsbestemmende mottagere 11 for å skjelne dem fra de seismiske innsamlingsmottagerne 12.

Den posisjonsbestemmende mottageren 11 og mottagerprosessen 13 som er innført på fig. 3, er montert inne i ytterlaget 23 til streamerseksjonen 15 og benytter ledninger i den elektriske bunten 14 i streamerseksjonen 15 for å motta kraft og for kommunikasjon med hovedprosessen 16. Mottagerprosessen 13 og dermed den posisjonsbestemmende mottageren 11, er omprogrammerbar ved hjelp av hovedprosessen 16 via den elektriske bunten 14. Mottagerprosessen 13 mottar et tidssynkroniseringssignal og et sett med tidsvinduer fra hovedprosessen 16. Mottagerprosessen 13 benytter tidsvinduet til å fortelle den posisjonsbestemmende mottageren 11 når den skal motta signaler fra senderne 9, i forhold til tidssynkroniseringssignalet fra hovedprosessen 16.

Senderprosessen 22 kommuniserer via den elektriske bunten 14 med hovedprosessen 16 (fig. 2) og mottar tidssynkroniseringssignalene og den forhåndsbestemte utløsningsplanen fra hovedprosessen 16. Senderprosessen 22 benytter utløsningsplanen til å bestemme når en sender 9 skal sende signaler i forhold til mottakstiden for tidssynkroniserings-

signalene som er mottatt fra hovedprosessen 16. Ved det bestemte tidspunktet genererer signalgeneratoren i senderprosessen 22 sendesignalet som så blir forsterket i drivtrinnet i senderprosessen 22. Til slutt sender senderprosessen 22 det forsterkede sendesignalet via den elektriske bunten 14 til senderen 9 for utsendelse til de posisjonsbestemmende mottagerne 11.

Når en av de posisjonsbestemmende mottagerne 11 mottar det utsendte akustiske signalet fra en av senderne 9, blir det mottatte signalet sendt via den elektriske bunten 14 til mottagerprosessen 13 som er tilknyttet mottageren 11. Mottagerprosessen 11 utfører vanligvis foreløpig signaltilpasning av det mottatte signalet før ytterligere behandling. Signaltilpasningen kan innbefatte, men er ikke begrenset til, forforsterkning, filtrering og digitalisering. Digitaliseringen blir bare utført på den del av det mottatte signalet som ankommer ved den posisjonsbestemmende mottageren 11 i løpet av ett av dens forhåndsbestemte tidsvinduer for derved å begrense de mottatte signalene til tidsvinduene. De utsendte signalene blir dermed bare utsendt i løpet av tidsvinduene for hver posisjonsbestemmende mottager 11, alle koordinert og tidssynkronisert av hovedprosessen 16.

Et tidsvindu for lytting etter signaler ved en spesiell posisjonsbestemmende mottager 11 svarer til et forplantningsavstandsområde for et signal utsendt mellom en sender 9 og den spesielle posisjonsbestemmende mottageren 11. Denne koordineringen av utløsningsplaner og tidsvinduer ved hjelp av hovedprosessen 16 styrer derfor hvilke posisjonsbestemmende mottagere 11 som mottar signaler fra hvilke sendere 9. Spesielt begrenser koordineringen de mulige senderne 9 som hver av de posisjonsbestemmende mottagerne 11 kan motta signaler fra. I virkeligheten kan hver av de posisjonsbestemmende mottagerne 11 være begrenset til å motta

signaler fra bare en mulig sender 9. Den mulige senderen eller senderne 9 som en spesiell posisjonsbestemmende mottager 11 kan motta signaler fra, kan videre endres i tid under styring av hovedprosessoren 16.

- 5 Det digitaliserte mottatte signalet blir videre behandlet ved hjelp av mottagerprosessoren 13 som er tilknyttet den posisjonsbestemmende mottageren 11. Mottagerprosessoren 13 bekrefter mottagelse av det mottatte signalet ved den posisjonsbestemmende mottageren 11 fra en spesiell sender 9.
- 10 Denne bekreftelsen av overføring av det mottatte signalet fra senderen 9 blir utført ifølge foreliggende oppfinnelse ved hjelp av krysskorrelasjon av det mottatte signalet fra den posisjonsbestemmende mottageren 11 og kopier av det utsendte signalet fra de mulige senderne 9. I tillegg bestemmer
- 15 mottagerprosessoren 13 ankomsttiden for det mottatte signalet ved den posisjonsbestemmende mottageren 11. Denne ankomsttidsbestemmelsen blir også utført ifølge foreliggende oppfinnelse ved hjelp av den samme krysskorrelasjon mellom mottatt signal og en kopi av et utsendt signal. En annen mulig
- 20 kilde til signalforringelse blir videre kompensert for før man fortsetter videre. Siden den relative avstanden mellom en sender 9 og en posisjonsbestemmende mottager 11 varierer, kan det mottatte signalet være forskjøvet, enten komprimert eller ekspandert i forhold til det utsendte signalet, på grunn av
- 25 Doppler-effekter. Mottagerprosessoren 13 må derfor bestemme den riktige Doppler-forskyvningen som kompenserer for disse Doppler-effektene før ytterligere behandling av det mottatte signalet kan foretas. Denne bestemmelsen av Doppler-forskyvning blir igjen utført ifølge foreliggende oppfinnelse
- 30 ved hjelp av den samme krysskorrelasjon av mottatt signal og utsendt signalkopi, som før. Disse krysskorrelasjonene behøver derfor bare å bli beregnet en gang for hver mulig kombinasjon av mottatt signal, utsendt signalkopi og Doppler-forskyvning

for å bestemme den riktige Doppler-kompensasjonen for det mottatte signalet, identiteten av senderen 9 for det mottatte signalet og ankomsttiden for det mottatte signalet. Denne beregningsmessige sparsomheten gir øket effektivitet av

5 fremgangsmåten ifølge foreliggende oppfinnelse.

Når mottagerprosessoren 13 bekrefter utsendelsen av det mottatte signalet fra en spesiell sender 9 til den posisjonsbestemmende mottageren 11, anvender mottagerprosessoren 13 utløsningsplanen for vedkommende sender 9 til å innhente
10 utsendelsestidspunktet for det mottatte signalet. Mottagerprosessoren 13 kan så beregne differansen mellom utsendelses- og ankomst-tidene for det mottatte signalet. Denne tidsdifferansen gir forplantningstiden mellom dette spesielle paret med sender 9 og posisjonsbestemmende mottager 11 ved
15 dette spesielle tidspunktet. Med kjennskap til denne forplantningstiden og den aktuelle lydhastigheten i vann, kan avstanden mellom senderen 9 og den posisjonsbestemmende mottageren 11 beregnes. Denne beregningen blir typisk utført i hovedprosessoren 16 selv om denne tildelingen ikke er ment å
20 være en begrensning av oppfinnelsen. Forplantningstiden blir derfor sendt via den elektriske bunten 14 fra mottagerprosessoren 13 til hovedprosessoren 16.

I en foretrukket utførelsesform utfører mottagerprosessoren 13 krysskorrelasjonene mellom det mottatte
25 signalet og kopier av mulige signaler fra senderen 9 på en iterativ måte. For et spesielt mottatt signal ved en spesiell posisjonsbestemmende mottager 11, bestemmer mottagerprosessen 13 et sett med mulige sendere 9 som kan være kilden til det mottatte signalet. Denne bestemmelsen kan for eksempel
30 utføres ved å sammenligne utløsningsplanene for senderne 9 med tidsvinduet for den posisjonsbestemmende mottageren 11 i løpet av hvilket det mottatte signalet ankom. Denne sammenligningen kan utføres av enten mottagerprosessoren 13 etter å ha mottatt

den nødvendige informasjon (utløsningsplanene og tidsvindue) fra hovedprosessen 16, eller av hovedprosessen 16 før resultatet (mulige sendere 9) sendes til mottagerprosessen 13.

5 Den iterative måten begynner med iterativt å kontrollere hvert av settet med mulige sendere 9 som bestemt ovenfor. Mottagerprosessen 13 velger en sender 9 fra settet med mulige sendere 9. Mottagerprosessen 13 leverer en kopi av det unike utsendte signalet for senderen 9 som mottager-
10 prosessen 13 ser på. I en utførelsesform er kopier av de forskjellige sendersignalene lagret i mottagerprosessen 13. I en annen utførelsesform blir kopiene av sendersignalene generert av mottagerprosessen 13. Oppfinnelsen er ikke begrenset til disse to spesielle utførelsesformene ettersom
15 andre fremgangsmåter som er kjent på området, kan anvendes.

Mottagerprosessen 13 bestemmer så et sett med mulige Doppler-forskyvninger for å kompensere det mottatte signalet for Doppler-effektene som kan forventes på grunn av undersøkellesforhold slik som størrelsen og retningen av strømmen i
20 nærheten av senderen 9 og den posisjonsbestemmende mottageren 11 som undersøkes. Doppler-kompensasjon blir utført ved å fjerne datasampler fra eller tilføye datasampler til det mottatte signalet i henhold til om det mottatte signalet er komprimert eller ekspandert på grunn av Doppler-effekter. Den
25 iterative måten ifølge oppfinnelsen vil så iterativt kontrollere hvert av dette settet med mulige Doppler-forskyvninger. Mottagerprosessen 13 velger en Doppler-forskyvning fra dette settet med mulige Doppler-forskyvninger og anvender denne Doppler-forskyvningen på det mottatte
30 signalet.

Mottagerprosessen 13 beregner krysskorrelasjonen for det Doppler-kompenserte mottatte signalet med kopien av det utsendte signalet for senderen 9 som kontrolleres. Mottager-

prosessoren 13 beregner omhyllingen av krysskorrelasjonen og bestemmer så den første toppen i korrelasjonsomhyllingen for å få et tilstrekkelig korrelasjonssignal for korrelasjonsstøyforhold til å kunne detekteres signifikant over

- 5 korrelasjonsstøyen. Mottagerprosessoren 13 kan anvende en toppdeteksjonsalgoritme til å bestemme den første toppen eller anvende en hvilken som helst annen metode som er velkjent på området. Mottagerprosessoren 13 beregner korrelasjonssignal/korrelasjonsstøy-forholdet og tiden for
- 10 denne detekterte korrelasjonstoppen og lagrer både toppkorrelasjonssignal/korrelasjonsstøy-forholdet og topptiden i et lager for senere fremhenting. Uttrykket korrelasjonssignal/korrelasjonsstøy-forhold vil her bli brukt i betydningen av forholdet mellom signalet i korrelasjonsomhyllingen
- 15 og støyen i korrelasjonsomhyllingen, som målt ved den første detekterbare toppen i korrelasjonsomhyllingen.

- Den iterative metoden ifølge oppfinnelsen kontrollerer hver av de gjenværende Doppler-forskyvningene i settet med mulige Doppler-forskyvninger. Mottagerprosessoren 13 gjentar
- 20 krysskorrelasjonene som er beskrevet ovenfor, for alle de mulige Doppler-forskyvningene. Doppler-forskyvningene som gir den beste av de lagrede korrelasjonstoppsignal/støy-forholdene for det mottatte signalet, blir utpekt som Doppler-skiftkompenseringen for den spesielle kombinasjonen av sender
- 25 9 og posisjonsbestemmende mottager 11. Den lagrede topptiden til den detekterte korrelasjonstoppen for den utpekte Doppler-kompenseringen vil bli betegnet som den estimerte ankomsttiden for det mottatte signalet fra vedkommende sender 9.

- Den iterative metoden ifølge oppfinnelsen kontrollerer
- 30 hver av de gjenværende senderne 9 i sette med mulige sendere 9. Mottagerprosessoren 13 gjentar de ovennevnte trinn for å finne Doppler-kompensasjonen og estimert ankomsttid, beskrevet i de foregående avsnitt for alle mulige sendere 9. De utsendte

signalene fra forskjellige sendere 9 er utpekt i oppfinnelsen med lave krysskorrelasjoner. De beregnede krysskorrelasjonene mellom det mottatte signalet og kopiene av de utsendte signalene fra forskjellige sendere 9 bør derfor være lavt for alle sendere 9 bortsett fra den aktuelle senderen 9 for det mottatte signalet. Den første posisjonen av en korrelasjonstopp med tilstrekkelig korrelasjons-signal/korrelasjonsstøy-forhold til å være signifikant detekterbart innenfor tidsvinduet til den posisjonsbestemmende mottageren 11, blir brukt til å bestemme ankomsttiden for det mottatte signalet fra kildesenderen 9.

Mottagerprosessorene 13 gjentar den ovenfor beskrevne iterative metoden ifølge oppfinnelsen for alle mottatte signaler og deres tilsvarende posisjonsbestemmende mottagere 11 for å identifisere kildesenderne 9 og estimere ankomst-tidene for alle mottatte signaler ved alle posisjons-bestemmende mottagere 11.

Mottagerprosessorene 13 kan så bestemme forplantnings-tider mellom parene av sendere 9 og posisjonsbestemmende mottagere 11 ved hjelp av den tidligere beskrevne iterative krysskorrelasjonsmetoden. Mottagerprosessoren 13 beregner tidsdifferansen mellom starttiden og ankomsttiden for det tilsvarende mottatte signalet. Mottagerprosessoren 13 kjenner starttiden for det mottatte signalet fra utløsningsplanen for kildesenderen 9, som bekreftet av krysskorrelasjons-resultatene. Mottagerprosessoren 13 kjenner ankomsttiden for det mottatte signalet fra den detekterte første korrelasjonstoppen for det mottatte signalet, som bestemt fra krysskorrelasjonsresultatene. Mottagerprosessorene 13 gjentar denne beregningen for alle mottatte signaler for å gi forplantningstidene mellom par av sendere 9 og posisjonsbestemmende mottagere 11.

Mottagerprosessorene 13 sender forplantningstidene til

hovedprosessen 16. Alternativt kan forplantningstidene bli målt og sendt som tall med klokkeperioder i stedet for aktuell tid. Temperaturkompenserte kvartskrystalloscillatorer kan brukes som klokker i mottagerprosessorene 13 for å gi

5 tilstrekkelig nøyaktighet og stabilitet sammen med minimal størrelse og minimalt kraftforbruk. Hovedprosessen 16 benytter disse forplantningstidene, multiplisert med den lokale lyd hastigheten i vannet, for å beregne forplantningsavstandene mellom senderne 9 og de posisjonsbestemmende mottagerne 11. Den lokale lyd hastigheten i vann kan estimeres, måles ved hjelp av lyd hastighetssensorer plassert langs de seismiske streamerne, eller fremskaffes på en hvilken som helst annen måte som er kjent på området.

Hovedprosessen 16 kombinerer forplantningsavstandene 15 mellom parene med sendere 9 og posisjonsbestemmende mottagere 11 i en trilaterasjonsnettrepresentasjon av senderne 9 og de posisjonsbestemmende mottagerne 11 i de slepte, marine seismiske streamerne 3. Et trilatereringsnett er en todimensjonal modell som bruker trekantformede elementer til å 20 representere de kjente relative avstandene mellom posisjonene for den ukjente senderen 9 og den posisjonsbestemmende mottageren 11 (noder). Vanlige matematiske teknikker er kjent på området for å løse med hensyn på nodene i et trilaterasjonsnett. Hovedprosessen 16 kan derfor bestemme de relative 25 posisjonene av de slepte, marine seismiske streamerne 3 ut fra de beregnede posisjonene av senderne 9 og de posisjonsbestemmende mottagerne 11 på streamerne 3.

Fig. 5A, 5B, 5C og 5D viser en rekke flytskjemaer som illustrerer trinnene i en utførelsesform av fremgangsmåten 30 ifølge oppfinnelsen for å bestemme de relative posisjonene av slepte, marine seismiske streamere. Oppfinnelsen er illustrert ved hjelp av en utførelsesform hvor behandlingsenhetene omfatter et nettverk med en hovedprosessor lokalisert om bord

i det seismiske letefartøyet og et antall fordelte mottagerprosessorer lokalisert inne i de seismiske streamerne. Prosessorenhetene kan imidlertid være fordelt over et nettverk av en hvilken som helst type ved en hvilken som helst passende posisjon eller kombinasjon av posisjoner, innbefattende, men ikke begrenset til det seismiske letefartøyet, andre fartøyer, de slepte streamerne og en hvilken som helst annen del av slepesystemet. Antallet, typene, posisjonen eller relasjonene mellom medlemmene i behandlingsnettverket er ikke en begrensning av oppfinnelsen.

Fig. 5A er et flytskjema som illustrerer behandlings-trinnene til en hovedprosessor for en utførelsesform av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen for å bestemme de relative posisjonene av slepte, marine seismiske streamere.

Ved trinn 101 blir et antall marine seismiske streamere slepet, vanligvis av et seismisk letefartøy. Et antall sendere og et antall mottagere er montert inne i streamerseksjonene i de slepte, marine seismiske streamerne. En hovedprosessor er lokalisert om bord i letefartøyet. Senderprosessorer og mottagerprosessorer er montert inne i streamerseksjonene i de slepte, marine seismiske streamerne. Antallet sendere omfatter akustiske transdusere utpekt for den oppgave å bestemme posisjonene av streamerne. Antallet mottagere omfatter to sett med mottagere. Det første settet med mottagere omfatter konvensjonelle seismiske mottagere utpekt til den oppgave å samle inn seismiske data. De seismiske innsamlingsmottagerne er typisk trykksensorer slik som hydrofoner, men kan også innbefatte partikkelbevegelsessensorer slik som geofoner eller akselerometre, eller eventuelle andre seismiske detektorer som er kjent på området. Det andre settet med mottagere omfatter akustiske transdusere utpekt til den oppgave å bestemme posisjonene til streamerne.

Ved trinn 102 sender hovedprosessoren tidssynkroniser-

ingssignaler til alle senderprosessorene og mottagerprosessorene i trinn 101.

Ved trinn 103 sender hovedprosessoren utløsningsplaner for hver sender til senderprosessorene i trinn 101 for å styre disse senderne og til mottagerprosessorene i trinn 101 som styrer de posisjonsbestemmende mottagerne som kan motta signaler fra disse senderne. Hovedprosessoren sender også sett med tidsvinduer for hver posisjonsbestemmende mottager til mottagerprosessorene i trinn 101, som styrer disse mottagerne.

Ved trinn 104 sender hovedprosessoren identiteten til og en kopi av det utsendte signalet som brukes av vedkommende sender, til mottagerprosessorene i trinn 101.

Ved trinn 105 velger hovedprosessoren en mottagerprossessor fra antallet mottagerprossessorer i trinn 101.

Alternativt kan mottagerprosessoren innlede følgende trinn under egen styring i stedet for under styring fra hovedprosessoren. Kilden for styring av mottagerprosessorene er ikke en begrensning av oppfinnelsen. Dette trinnet er en formell prosedyre for å ta hensyn til alle mottagerprossessorer og deres behandlingsresultater på en systematisk måte, kun for illustrasjonsformål.

Ved trinn 106 bestemmer hovedprosessoren forplantningstider for mottatte signaler utsendt fra (kilde) sendere til de posisjonsbestemmende mottagerne under styring av mottagerprosessoren som er valgt i trinn 105. I den utførelsesformen som er illustrert, mottar hovedprosessoren disse forplantningstidene for mottatte signaler mellom sender/mottager-par fra den valgte mottagerprosessoren, hvor forplantningstidene blir beregnet.

I den utførelsesformen som er illustrert, er denne beregningen av forplantningstider illustrert i den behandlingen som utføres i flytskjemaet på fig. 5B. Det vil si at prosessen går til begynnelsen, trinn 201 på fig. 5B, med

identiteten til den valgte mottagerprosessoren og så returnerer her til trinn 106 fra slutten, trinn 209, på fig. 5B med de beregnede forplantningstidene for mottatte signaler mellom sender/mottager-parene for alle mottagere under styring av den valgte mottagerprosessoren. Prosessen returnerer spesielt med identiteten til kildesenderne som er utpekt i trinn 207, de tilsvarende forplantningstidene som er innhentet i trinn 208 og den tilsvarende posisjonsbestemmende mottageren som er bestemt i trinn 201, for hvert mottatt signal valgt i trinn 202 på fig. 5B.

Ved trinn 107 bestemmer hovedprosessoren den lokale lyd hastigheten i vannet i nærheten av parene med kildesendere og posisjonsbestemmende mottagere som svarer til de mottatte signalene, som bestemt i trinn 106.

Ved trinn 108 beregner hovedprosessoren forplantningsavstandene mellom parene med kildesendere og posisjonsbestemmende mottagere, som svarer til de mottatte signalene som bestemt i trinn 106. Hovedprosessoren beregner forplantningsavstandene ved å multiplisere forplantningstidene for de mottatte signalene, som bestemt i trinn 106, med den lokale lyd hastigheten i vann som er bestemt i trinn 107.

Ved trinn 109 bestemmer hovedprosessoren om det er noen gjenværende mottagerprosessorer å kontrollere blant antallet mottagerprosessorer i trinn 101. Hvis svaret er ja, er det igjen mottagerprosessorer som skal kontrolleres, og prosessen vender tilbake til trinn 105. Hvis svaret er nei, er det ingen mottagerprosessorer tilbake å kontrollere, så prosessen fortsetter til trinn 110.

Ved trinn 110 kombinerer hovedprosessoren forplantningsavstandene som er beregnet i trinn 108, mellom par med sendere og posisjonsbestemmende mottagere for å konstruere en trilaterasjonsnettrepresentasjon av avstandene mellom alle parene med sendere og posisjonsbestemmende mottagere i de

slepte, marine seismiske streamerne.

Ved trinn 111 løser hovedprosessoren det trilaterasjonsnettet som er konstruert i trinn 110, for å oppnå de relative posisjonene av senderne og de posisjonsbestemmende mottagerne i de slepte, marine seismiske streamerne. Matematiske standardteknikker er kjent på området for å løse et trilaterasjonsnettverk. Posisjonene til senderne og de posisjonsbestemmende mottagerne gir, hvis de er tilstrekkelig fordelt langs streamerne, formen og de relative posisjonene av de slepte, marine seismiske streamerne.

I flytskjemaet på fig. 5A bestemmer derfor hovedprosessoren forplantningstidene for alle mottatte signaler sendt fra senderne til de posisjonsbestemmende mottagerne og benytter disse forplantningstidene til å bestemme de relative posisjonene til de slepte, marine seismiske streamerne. Det neste flytskjemaet på fig. 5B viser en del av den iterasjonsmåten som hver mottagerprosessor anvender til å bestemme forplantningstidene for de mottatte signalene ved de posisjonsbestemmende mottagerne under sin styring.

Fig. 5B er et flytskjema som illustrerer behandlingstrinnene for en valgt mottagerprosessor for en utførelsesform av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen, for å bestemme forplantningstider av mottatte signaler utsendt av sendere til de posisjonsbestemmende mottagerne under styring av den valgte mottagerprosessoren.

Ved trinn 201 bestemmer den mottagerprosessoren som er valgt av hovedprosessoren i trinn 105 på fig. 5A, et sett med mottatte signaler for hver av de posisjonsbestemmende mottagerne under styring av den valgte mottagerprosessoren. De mottatte signalene er de signalene som er utsendt av de posisjonsbestemmende senderne og mottatt av de posisjonsbestemmende mottagerne. Den posisjonsbestemmende mottageren som styres av mottagerprosessoren vil typisk være lokalisert i

samme streamerseksjon som mottagerprosessoren, men denne lokaliseringen er ikke ment å være en begrensning av oppfinnelsen.

5 Ved trinn 202 velger mottagerprosessoren et mottatt signal og den tilsvarende posisjonsbestemmende mottageren som mottok det mottatte signalet fra settet med mottatte signaler og tilsvarende posisjonsbestemmende mottagere som bestemt i trinn 201.

10 Ved trinn 203 bestemmer mottagerprosessoren et sett med mulige kildesendere for det mottatte signalet som er mottatt ved den tilsvarende posisjonsbestemmende mottageren valgt i trinn 202. Mottagerprosessoren bestemmer settet med mulige kildesendere for det mottatte signalet ved hjelp av sammen-
15 ligning mellom utløsningsplanene for senderne og det aktuelle undersøkte tidsvinduet for vedkommende posisjonsbestemmende mottager, utsendt fra hovedprosessoren i trinn 103 på fig. 5A.

Ved trinn 204 velger mottagerprosessoren en sender fra settet med mulige kildesendere for det mottatte signalet, som bestemt i trinn 203.

20 Ved trinn 205 henter mottagerprosessoren fra lageret korrelasjonssignal/korrelasjonsstøy-forholdet for den korrelasjonstoppen for det mottatte signalet som er valgt i trinn 202 for den senderen som er valgt i trinn 204. I den utførelsesformen som er illustrert, blir dette korrelasjons-
25 signal/korrelasjonsstøy-forholdet fremskaffet fra behandlingen som utføres i flytskjemaet på fig. 5C. Det vil si at prosessen går til begynnelsen, trinn 301, på fig. 5C med identiteten til det valgte mottatte signalet og den valgte mulige kildesenderen, og så vender tilbake hit fra slutten, trinn
30 306, på fig. 5C, med det innhentede korrelasjonssignal/korrelasjonsstøy-forholdet. Korrelasjonssignal/korrelasjonsstøy-forholdet for den korrelasjonstoppen som svarer til Doppler-forskyvningen for det valgte mottatte

signalet fra den valgte senderen, blir spesielt lagret i lageret i trinn 306 på fig. 5C.

5 Ved trinn 206 bestemmer mottagerprosessoren om det er noen gjenværende sendere å kontrollere blant settet med mulige senderkilder som bestemt i trinn 203. Hvis svaret er ja, er det sendere tilbake å kontrollere, og prosessen vender tilbake til trinn 204. Hvis svaret er nei, er det ingen sendere tilbake å kontrollere, så prosessen fortsetter til trinn 207.

10 I trinn 207 bestemmer mottagerprosessoren hvilken valgt sender som svarer til hvert av korrelasjonssignal/korrelasjonsstøy-forholdene for de korrelasjonstoppene som er innhentet i trinn 205, og betegner hver av disse valgte senderne som kildesendere for det mottatte signalet som er valgt i trinn 202.

15 I trinn 208 innhenter mottagerprosessoren fra lageret de tilsvarende forplantningstidene for de Doppler-forskjøvne mottatte signalene mellom kildesenderne som er utpekt i trinn 207, og de tilsvarende posisjonsbestemmende mottagerne som er valgt i trinn 202. Disse forplantningstidene er alle utpekt
20 som mulige forplantningstider for det mottatte signalet som er valgt i trinn 202. I den utførelsesformen som er illustrert, er disse forplantningstidene fremskaffet fra den behandlingen som er utført i flytskjemaet på fig. 5D. Spesielt blir de tilsvarende forplantningstider for de Doppler-forskjøvne,
25 mottatte signalene for kildesenderne lagret i lageret i trinn 410 på fig. 5D.

Ved trinn 209 bestemmer mottagerprosessoren om det er noen gjenværende mottatte signaler og tilsvarende posisjonsbestemmende mottagere å kontrollere blant settet med mottatte
30 signaler og tilsvarende posisjonsbestemmende mottagere i trinn 201. Hvis svaret er ja, er det tilbake mottatte signaler og tilsvarende posisjonsbestemmende mottagere å kontrollere, så prosessen vender tilbake til trinn 202. Hvis svaret er nei, er

det ingen mottatte signaler og tilsvarende posisjonsbestemmende mottagere tilbake å kontrollere, så prosessen vender tilbake til trinn 106 på fig. 5A. Prosessen vender tilbake med identiteten til kildesenderne som er utpekt i trinn 207, de tilsvarende forplantningstidene som er innhentet i trinn 208 og den tilsvarende posisjonsbestemmende mottageren som er bestemt i trinn 201, for hvert mottatt signal valgt i trinn 202.

I flytskjemaet på fig. 5B bestemmer så mottagerprosessen identitetene til alle mulige kildesendere og de tilsvarende forplantningstidene for alle mottatte signaler mottatt av alle posisjonsbestemmende mottagere under styring av en valgt mottagerprosessor. Det neste flytskjemaet på fig. 5C viser en gjenværende del av iterasjonsmetoden som hver mottagerprosessor anvender til å bestemme forplantningstidene for de mottatte signalene ved sine posisjonsbestemmende mottagere.

Fig. 5C er et flytskjema som illustrerer behandlingstrinnene i en mottagerprosessor for en utførelsesform av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen til å bestemme en riktig kompensering for Doppler-forskyvning, kildesenderidentitet og forplantningstid for et mottatt signal ved en posisjonsbestemmende mottager, under styring av mottagerprosessoren.

Ved trinn 301 bestemmer mottagerprosessoren et sett med mulige Doppler-forskyvninger for å kompensere for Doppler-effektene på de mottatte signalene som er valgt i trinn 202 på fig. 5B.

Ved trinn 302 velger mottagerprosessoren en av Doppler-forskyvningene fra settet med mulige Doppler-forskyvninger som er bestemt i trinn 301.

I trinn 303 henter mottagerprosessoren fra et lager, korrelasjonssignal/korrelasjonsstøy-forholdene for korrelasjonstoppe for alle Doppler-forskyvningene som er valgt i

trinn 302 for et mottatt signal valgt i trinn 202 på fig. 5B for en sender valgt i trinn 204 på fig. 5B. I den utførelsesformen som illustreres, er disse korrelasjonssignal/korrelasjonsstøy-forholdene fremskaffet fra den behandlingen som blir utført i flytskjemaet på fig. 5D. Korrelasjonssignal/-korrelasjonsstøy-forholdene for korrelasjonstoppene for alle Doppler-forskyvningene er spesielt lagret i lageret i trinn 406 på fig. 5D.

I trinn 304 bestemmer mottagerprosessoren om det er gjenværende Doppler-forskyvninger å kontrollere fra settet med mulige Doppler-forskyvninger som er bestemt i trinn 301. Hvis svaret er ja, så er det Doppler-forskyvninger tilbake å kontrollere, så prosessoren vender tilbake til trinn 302. Hvis svaret er nei, er det ingen flere Doppler-forskyvninger å kontrollere, så prosessen vender tilbake til trinn 305.

Ved trinn 305 bestemmer mottagerprosessoren hvilket av korrelasjonssignal/korrelasjonsstøy-forholdene for korrelasjonstoppene fra trinn 303, som er den beste. Den Doppler-forskyvningen som gir denne beste korrelasjonstoppen for signal/støy-forholdene blir utpekt som den riktig kompenserende Doppler-forskyvningen for det mottatte signalet fra den valgte senderen.

I trinn 306 lagrer mottagerprosessoren korrelasjonssignal/korrelasjonsstøy-forholdet for den korrelasjonstoppen som er bestemt i trinn 305, som svarende til det riktig Doppler-forskjøvne mottatte signalet fra den valgte senderen. Den valgte senderen som svarer til dette lagrede korrelasjonssignal/korrelasjonsstøy-forholdet blir bestemt i trinn 207 på fig. 5B og utpekt som en mulig kildesender for det mottatte signalet som er valgt i trinn 202 på fig. 5B. Denne senderen blir kombinert med enhver annen sender som er utpekt som mulige kildesendere for det valgte mottatte signalet i trinn 207 på fig. 5B, etter at senderne er bestemt å svare til

korrelasjonssignal/korrelasjonsstøy-forholdene i trinn 305.

I flytskjemaet på fig. 5C bestemmer derfor den valgte mottagerprosessen den riktig kompenserende Doppler-forskyvningen for et valgt mottatt signal fra en valgt sender til en valgt posisjonsbestemmende mottager. Det siste flytskjemaet på fig. 5D demonstrerer hvordan mottagerprosessen beregner denne informasjonen i det samme iterasjonstrinnet.

Fig. 5D er et flytskjema som illustrerer behandlings-trinnene for en mottagerprosessor ifølge en utførelsesform av fremgangsmåten i henhold til oppfinnelsen for beregning av en valgt Doppler-forskyvning og en resulterende forplantningstid for et valgt mottatt signal fra en valgt sender til en posisjonsbestemmende mottager under styring av mottagerprosessen.

Ved trinn 401 anvender mottagerprosessen den Doppler-forskyvningen som er valgt i trinn 302 på fig. 5C på det mottatte signalet som er valgt i trinn 202 på fig. 5B.

Mottagerprosessen anvender den valgte Doppler-forskyvningen ved å fjerne datasampler fra eller tilføye datasampler til det mottatte signalet, i henhold til om det mottatte signalet er blitt komprimert eller ekspandert av Doppler-effektene.

Ved trinn 402 beregner mottagerprosessen en kryss-korrelasjon mellom det Doppler-forskjøvne mottatte signalet fra trinn 401 og kopien av det utsendte signalet som er mottatt i trinn 104 på fig. 5A for den senderen som er valgt i trinn 204 på fig. 5B.

I trinn 403 beregner mottagerprosessen en omhylling for den krysskorrelasjonen som er beregnet i trinn 402.

I trinn 404 bestemmer mottagerprosessen en topp i korrelasjonsomhyllingen som er beregnet i trinn 403. Mottagerprosessen anvender fortrinnsvis en toppdeteksjons-algoritme til å bestemme den første topp med tilstrekkelig

signal/støy-forhold til å være signifikant detekterbar innenfor tidsvinduet til den posisjonsbestemmende mottageren, mottatt fra hovedprosessen i trinn 103 på fig. 5A.

I trinn 405 bestemmer mottagerprosessen korrelasjons-
5 signal/korrelasjonsstøy-forholdet for den toppen som er bestemt i trinn 404. Uttrykket korrelasjonssignal/korrelasjonsstøy-forholdet blir her brukt i betydningen av forholdet mellom signalet i korrelasjonsomhyllingen og støyen i korrelasjonsomhyllingen, som målt ved den første detekterbare
10 toppen i korrelasjonsomhyllingen.

I trinn 406 lagrer mottagerprosessen korrelasjons-
signal/korrelasjonsstøy-forholdet for den toppen som er bestemt i trinn 405, som svarer til den valgte Doppler-forskyvningen for det mottatte signalet fra den valgte
15 senderen. Dette lagrede korrelasjonssignal/korrelasjonsstøy-forholdet blir sammenlignet i trinn 305 på fig. 5C med andre lagrede korrelasjonssignal/korrelasjonsstøy-forhold bestemt i trinn 405, for å bestemme den riktig kompensierende Doppler-forskyvningen for det mottatte signalet fra den valgte
20 senderen.

Ved trinn 407 bestemmer mottagerprosessen en tid for forrelasjonstoppen som er bestemt i trinn 404. Tidspunktet for toppen blir utpekt som ankomsttiden for det Doppler-forskjøvne mottatte signalet som er beregnet i 401, fra den valgte
25 senderen.

Ved trinn 408 bestemmer mottagerprosessen tiden for utsendelse av det Doppler-forskjøvne, mottatte signalet som er beregnet i trinn 401. Mottagerprosessen bestemmer tidspunktet for utsendelsen av det Doppler-forskjøvne,
30 mottatte signalet fra utløsningsplanen for den valgte mottageren, mottatt fra hovedprosessen i trinn 103 på fig. 5A.

Ved trinn 409 beregner mottagerprosessen forplant-

ningstiden for det Doppler-forskjøvne, mottatte signalet mellom den valgte senderen og den posisjonsbestemmende mottageren. Mottagerprosessoren beregner forplantningstiden ved å beregne differansen mellom ankomsttiden som er bestemt i trinn 407 for det Doppler-forskjøvne mottatte signalet og utsendelsestiden som er bestemt i trinn 408 for det Doppler-forskjøvne, mottatte signalet.

Ved trinn 410 lagrer mottagerprosessoren den forplantningstiden som er beregnet i trinn 409 for det Doppler-forskjøvne mottatte signalet mellom den valgte senderen og den posisjonsbestemmende mottageren.

I det ovennevnte flytskjemaet på fig. 5D beregner derfor mottagerprosessoren og lagrer i lageret et korrelasjons-signal/korrelasjonsstøy-forhold og en resulterende forplantningstid for et Doppler-forskjøvet mottatt signal fra en valgt sender til en valgt posisjonsbestemmende mottager.

De foregående flytskjemaene på fig. 5A til 5D illustrerer bare en detaljert beskrivelse av en spesiell utførelsesform av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen, og denne illustrasjonen er ikke ment å begrense omfanget av oppfinnelsen.

Fig. 6A, 6B og 6C illustrerer forskjellige skisser av en sender som er egnet for bruk i systemet ifølge oppfinnelsen. I en utførelsesform omfatter senderen en eller flere sender-ringelementer av piezoelektrisk materiale. Hvis mer enn en ring blir brukt, så kan materialegenskapene være forskjellige slik at det totale frekvensområdet til senderen blir bredere enn for en enkelt senderring. Den spesielle utførelsesformen med tre senderringelementer vil bli illustrert her.

Fig. 6A er et skjematisk sideriss av en bredbåndssender som er montert i en streamer, i henhold til en utførelsesform av oppfinnelsen. Fig. 6A illustrerer en symmetrisk sender-konstruksjon basert på tre piezoelektriske rørelementer med omtrent like diametre, posisjonert kolineært inne i streamer-

ytterhuden 23. Både diameterne og lydhastigheten i de ytre rørene 31,33 er hovedsakelig lik, noe som gir nære resonansfrekvenser. Diameteren til det midtre røret 32 er tilnærmet den samme som for de to ytre rørene 31,33. Lydhastigheten i
 5 det midtre røret 32 er imidlertid forskjellig fra lydhastigheten i de to ytre rørene 31,33 med 10% eller mer, noe som resulterer i mer enn 10% forskjell i resonansfrekvenser mellom det midtre røret 32 og de ytre rørene 31,33. De ytre rørene 31,33 blir drevet sammen og brukt for utsendelse i et første
 10 frekvensbånd omkring deres resonansfrekvens. Det midtre røret 32 blir brukt for utsendelse i et annet frekvensbånd som er forskjellig fra det første frekvensbåndet til de ytre rørene 31,33. Denne konstruksjonen resulterer i en kombinert båndbredde som er bredere enn båndbredden til et enkelt rør og
 15 med et strålemønster som har samme opphav for begge frekvensbånd. Denne utførelsesformen av oppfinnelsen øker båndbredden til det utsendte signalet.

I en utførelsesform kan rørene 31,32,33 brukes til signalutsendelse i et frekvensbånd om gangen, eller i en annen
 20 utførelsesform brukes for begge frekvensbånd samtidig. Røret 32 med den høyeste resonansfrekvensen kan spesielt være plassert i midten, og rørene 31,33 med de laveste resonansfrekvensene kan være plassert symmetrisk på hver side av røret 32 for å øke båndbredden til senderen. I ytterligere
 25 utførelsesformer kan ytterligere par med rør (ikke vist) som hver har en resonansfrekvens som er forskjellig fra tidligere rør, være tilføyet symmetrisk, ett på hver side av den konstruksjonen som er beskrevet ovenfor, for å øke den kombinerte båndbredden ytterligere.

30 Fig. 6B er et sideriss i tverrsnitt gjennom den bredbåndssenderen som er vist på fig. 6A. Et beskyttelsesrør 44 perforert med hull 43 blir brukt til å beskytte de sprø piezoelektriske senderrørene 31,32,33 når streameren blir

påvirket av store ytre krefter på grunn av håndtering på dekk eller i vannet. Disse ytre kreftene oppstår for eksempel når streamerkabelen blir rullet over blokker eller hjul når streamerkabelen blir utsatt fra eller hentet opp på lete-
5 fartøyet, eller lagret på streamervinsjer om bord i letefartøyet. Under normale operasjonsbetingelser er beskyttelsesrøret 44 i fluid og er hovedsakelig frakoblet både akustisk og mekanisk, fra den interne strukturen til bredbåndssenderen. Når store radiale krefter blir påført streamerhuden 23, vil
10 understøttelselementer 41 og 42 stoppe beskyttelsesrøret 44 fra å nå de piezoelektriske senderrørene 31,32,33.

Fig. 6C er et sideriss av beskyttelsesrøret 44 som er vist i senderen på fig. 6B. Fig. 6C illustrerer at beskyttelsesrøret 44 kan være perforert med hull 43 som
15 tillater fluidstrømning gjennom hullene 43 for å utligne omgivelsestrykk på innsiden og utsiden av røret 44. Beskyttelsesrøret 44 kan videre være perforert med slisser 45 som er parallelle med streameraksen, slik at den radiale resonansmodusen til beskyttelsesrøret 44 blir flyttet ut av
20 frekvensbåndet til senderne.

Fig. 7A, 7B og 7C illustrerer forskjellige skisser av en mottager som er egnet for bruk i systemet ifølge oppfinnelsen. I en utførelsesform kan mottageren bestå av en eller flere piezoelektriske ringelementer i likhet med den konstruksjonen
25 av senderen som er illustrert på fig. 6A, 6B og 6C ovenfor. Her vil imidlertid en alternativ utførelsesform bli illustrert for konstruksjonen av mottageren, hvor en rekke transducerskiveelementer er plassert omkring omkretsen til en sirkulær, mekanisk struktur. Hvis flere transduserelementer
30 blir brukt, kan signalene fra disse føyes sammen. Bruken av flere små transduserelementer skyver resonansen av de piezokeramiske elementene godt utenfor det frekvensbåndet som er av interesse for mottagerne, som typisk er fra 10 kHz til

40 kHz.

Fig. 7A er et sideriss i tverrsnitt gjennom en akustisk bredbåndsmottager i henhold til en utførelsesform av oppfinnelsen. Fig. 7A illustrerer en allrettet, akustisk mottagerutforming som anvender ett eller flere små piezokeramiske elementer 54 montert i hulrom 60 i en hydrofonenhet 51. En høyfrekvent, bredbåndet hydrofon for montering i streamere kan implementeres ved å plassere piezokeramiske elementer 54 ved et antall steder under omkretsen til streamerhuden 23 for å detektere omgivelses-trykket ved disse stedene. Signalene fra alle elementene blir addert for å danne et utgangssignal. Ettersom dimensjonen til de piezokeramiske elementene 54 er liten, er det mulig å oppnå en nesten flat sensitivitetsrespons i frekvensbåndet av interesse, typisk fra 10 kHz til 40 kHz. Den elektriske bunten 14 og andre strukturelle streamerelementer slik som strekkrep, kan være innsatt gjennom et sentralt hull 64 og gjennom ytterligere hull 61 i hydrofonenheten 51.

Fig. 7B er en tverrsnittsskisse av den akustiske mottageren på fig. 7A. Fig. 7B illustrerer en utførelsesform hvor hvert piezokeramiske element 54 er montert i et hulrom 60 i hydrofonenheten 51. Lokale spennings- og bøyings-krefter blir dermed minimalisert når streameren 3 blir påvirket av store laterale krefter, slik som under håndtering i vann eller om bord på fartøyet, som beskrevet ovenfor i forbindelse med fig. 6B. Et piezokeramisk element 54 kan motstå høyt positivt trekk, men kan ikke håndtere negativt trykk på en god måte, og brekker derfor lett når bøyingskrefter blir påført. Hydrofonenheten 51 har hull 61 som er illustrert som sirkler her, men denne formen er ikke ment å være en begrensning av oppfinnelsen. Hullene 61 tillater bevegelser på linje av hydrofonenheten 51 i streameren 3. Under normale driftsforhold er hydrofonenheten hovedsakelig frakoblet både akustisk og

mekanisk, fra den indre strukturen til streameren 3.

Det vises igjen til fig. 7A hvor konsentrert spenning på et element 54 blir unngått ved å bruke ettergivende, ledende bånd 53, 56 i stedet for konvensjonelle loddetrådforbindelser som elektroder for de piezokeramiske elementene 54. Det ledende båndet 53, 56 kan være laget av et hvilket som helst passende ettergivende materiale, slik som kobber, som deformeres noe under trykk og dermed utjevner trykket over den piezokeramiske overflaten. Et lag med plastmateriale 55 dekker utsiden av det piezokeramiske elementet 54. Dette materialet 55 og streamerhuden 23 deformeres litt under eksternt trykk og fordeler de eksternt påførte kreftene (73,74,75 på fig. 7C) over overflaten til det piezokeramiske elementet 54. Et mykt ettergivende materiale 52 er brukt for å gjøre det mulig for elementet 54 å ekspandere lateralt når trykk (71,72 på fig. 7C) blir påført frontflaten til elementet. Dette er en vanlig prosedyre som brukes til å øke sensitivitet sammenlignet med det tilfelle som vanligvis refereres til som innspekt tykkelsesmodus hvor elementet 54 ikke tillates å ekspandere lateralt.

Fig. 7C er et skjematisk sideriss av den akustiske mottageren på fig. 7A og 7B som er montert i en streamer. Fig. 7C illustrerer en utførelsesform hvor hydrofonenheten 51 er plassert mellom to avstandsholdere 62, generelt sentrert på den elektriske bunten 14. Hydrofonenheten 51 har en mindre diameter enn avstandsholderne 62, som så vil bære mesteparten av de eksterne kreftene 73, 74, 75 når streameren 3 ruller over hjul 63 under utsetting eller opphenting av streameren 3, for å beskytte de piezokeramiske elementene inne i hulrommene 60 i hydrofonenheten 51.

Systemet ifølge oppfinnelsen er en selvstendig akustisk fremgangsmåte for å bestemme streamerposisjoner med høy grad av innebygd redundans. Akustiske bredbåndssignaler som

opererer ved frekvenser i den nedre del av ultralydbåndet, typisk 10 kHz til 40 kHz, blir generert og utsendt i sekvensiell rekkefølge fra sendere inne i et delsett med streamerseksjoner for de parallelt slepte streamerne. De

5 akustiske signalene blir detektert av forskjellige delsett med mottagere, behandlet og forplantningstidene mellom et stort antall akustiske sender- og mottager-kombinasjoner bestemt. Nøyaktig tidsstyring er tilveiebragt for å synkronisere alle sender- og mottager-hendelser. De tilsvarende avstandene
10 mellom sender- og mottager-kombinasjonene blir beregnet, og en geografisk nettrepresentasjon av den komplette seismiske streamerspredningen kan finnes. Relative posisjoner av det seismiske utstyret i de slepte streamerne kan så bestemmes.

Det skal bemerkes at det foregående bare er en detaljert
15 beskrivelse av spesielle utførelsesformer av oppfinnelsen, og at mange endringer, modifikasjoner og alternativer til de beskrevne utførelsesformene kan gjøres i samsvar med denne beskrivelsen uten å avvike fra oppfinnelsens ramme. Den foregående beskrivelse er derfor ikke ment å begrense omfanget
20 av oppfinnelsen. Omfanget av oppfinnelsen skal i stedet bestemmes bare av de vedføyde patentkrav og deres ekvivalenter.

P a t e n t k r a v

1. System for å bestemme posisjoner av slepte marine seismiske streamere, omfattende:

5 et antall akustiske sendere (9) montert inne i streamerne (3), innrettet for å sende bredbåndssignaler med lav kryss-korrelasjon mellom signalene fra forskjellige sendere;

et antall akustiske mottagere (11) montert inne i streamerne (3), der mottagerne (11) er innrettet for å motta
10 signalene som er sendt i en i-linje-retning mellom senderne og mottagerne montert i den samme streameren og å motta signaler sendt i en tverrlinje-retning mellom sendere og mottagere montert i forskjellige streamere;

karakterisert ved at:

15 minst en mottagerprosessor (13) innrettet for å kryss-korrelere de signalene som er mottatt ved mottagerne, med kopier av sendersignaler for å bestemme identiteter for sendere av de mottatte signalene og forplantningstider for de mottatte signalene; og

20 en hovedprosessor (16) innrettet for å omforme forplantningstidene til avstander mellom de identifiserte senderne og mottagerne (108), for å bestemme i-linje-avstander langs streamere mellom sendere og mottagere i den samme streameren, og tverrlinje-avstander mellom sendere og
25 mottagere i forskjellige streamere, for å kombinere de omformede avstandene for å danne en trilaterasjonsnettrepresentasjon av avstandene mellom senderne og mottagerne (110), for å løse
30 posisjonene til senderne og mottagerne i streamerne (111), innbefattet posisjonsendringer som resulterer fra strekk av streamerne så vel som posisjonsendringer som resulterer fra bevegelse av streamerne, og for å bestemme relative posisjoner

av streamerne fra de relative posisjonene av senderne og mottakerne.

2. System ifølge krav 1, hvor mottagerne blir anvendt
5 utelukkende for å bestemme posisjonene til streamerne.

3. System ifølge krav 1, hvor:
hovedprosessen er innrettet for å sende
tidssynkroniseringssignaler til senderprosessorer innrettet
10 for å styre senderne;

hovedprosessen er innrettet for å sende utløsnings-
planer for sendersignaler til senderprosessorene; og
senderprosessorene er innrettet for å anvende tids-
synkroniseringssignalene og utløsningsplanene til å styre
15 utsendelse av signalene fra senderne.

4. System ifølge krav 3, hvor hovedprosessen er innrettet
for å anvende tidssynkroniseringssignalene og
utløsningsplanene for å måle forplantningstidene mellom
20 senderne og mottagerne.

5. System ifølge krav 1, hvor:
hovedprosessen er innrettet for å sende tidssynkroni-
seringssignaler til mottagerprosessorene;
25 hovedprosessen er innrettet for å sende tidsvinduer for
lytting etter signalene til mottagerprosessorene; og
mottagerprosessorene er innrettet for å anvende
tidssynkroniseringssignalene og tidsvinduene for å styre
mottagelse av signalene ved hjelp av mottagerne.

30

6. System ifølge krav 1, hvor mottagerprosessorene er
innrettet for å kompensere de mottatte signalene for Doppler-
effekter.

7. System ifølge krav 1, hvor mottagerprosessorene er innrettet for å lagre kopier av sendersignalene.
- 5 8. System ifølge krav 1, hvor mottagerprosessorene er innrettet for å generere kopier av sendersignalene.
9. System ifølge krav 1, videre omfattende:
lydhastighetssensorer utplassert langs streamerne og
10 innrettet for å bestemme en lokal lydhastighet i vann; og hvor hovedprosessen er innrettet for å anvende den lokale lydhastigheten i vann til å omforme forplantningstider til avstander.
- 15 10. System ifølge krav 1, hvor senderne og mottagerne er innrettet for å operere i et frekvensbånd og fra omkring 10 til 40 kHz.
11. System ifølge krav 1, der prosessen videre er innrettet
20 for å bestemme absolute referanseposisjoner på streamerne; og å anvende de absolute referanseposisjonene for å bestemme absolute posisjoner av streamerne fra de relative posisjonene av streamerne.
- 25 12. Fremgangsmåte for å bestemme posisjoner av slepte, marine seismiske streamere, omfattende:
å slepe et antall akustiske sendere (9) montert inne i streamerne (3), hvor senderne er innrettet for å sende bredbåndssignaler med lav krysskorrelasjon mellom signalene
30 fra forskjellige sendere;
å slepe et antall akustiske mottagere (11) montert inne i streamerne (3), hvor mottagerne er innrettet for å motta signalene fra senderne sendt i i-linje-retningen mellom

sendere og mottagere montert i den samme streameren og for å motta signaler sendt i en tverrlinje-retning mellom sendere og mottagere montert i forskjellige streamere;

å sende signalene fra senderne;

5 å motta signalene ved mottagerne;

å krysskorrelere de mottatte signalene med kopier av sendersignalene for å bestemme identitetene til sendere av de mottatte signalene og for å bestemme forplantningstider av de mottatte signalene (106 i Fig. 5A og 5B);

10 å omforme forplantningstidene til avstander mellom de identifiserte senderne og mottagerne, for å bestemme i-linje-avstander langs streamere mellom sendere og mottagere i den samme streameren, og tverrlinje-avstander mellom sendere og mottagere i forskjellige streamere (108);

15 *karakterisert ved;*

å kombinere de omformede avstandene for å danne en trilaterasjonsnettrepresentasjon av avstandene mellom senderne og mottagerne (110); og

20 å løse trilaterasjonsnettrepresentasjonen for å bestemme de relative posisjonene av senderne og mottagerne i streamerne, inkludert posisjonsendringer som resulterer av strekk av streamerne så vel som posisjonsendringer som resulterer av bevegelse av streamerne, og å bestemme relative posisjoner av streamerne fra de relative posisjonene av
25 senderne og mottagerne (111).

13. Fremgangsmåte ifølge krav 12, hvor mottagerne utelukkende blir anvendt til å bestemme posisjonene til streamerne.

30 14. Fremgangsmåte ifølge krav 12, hvor trinnet med å sende signalene videre omfatter:

å sende tidssynkroniseringssignaler til senderprosessorer som styrer senderne;

å sende utløsningsplaner for utsendelse av signaler til prosessorene; og

å anvende tidssynkroniseringssignalene og utløsningsplanene i senderprosessorene til å styre utsendelse av
5 signalene fra senderne.

15. Fremgangsmåte ifølge krav 14, hvor trinnet med å motta signalene videre omfatter:

å utsende tidssynkroniseringssignaler til mottagerprosessorer som styrer mottagerne;
10

å sende tidsvinduer for å lytte etter signaler til mottagerprosessorene; og

å anvende tidssynkroniseringssignalene og tidsvinduer i mottagerprosessorene for å styre mottagelsen av signalene fra
15 mottagerne.

16. Fremgangsmåte ifølge krav 14, hvor trinnet med omforming av forplantningstider til avstander omfatter:

å anvende tidssynkroniseringssignalene og triggeplanene i prosessorene for å beregne forplantningstider mellom sendere og mottakere.
20

17. Fremgangsmåte ifølge krav 12, hvor trinnet med krysskorrelering av de mottatte signalene videre omfatter:

25 å kompensere de mottatte signalene for Doppler-effekter.

18. Fremgangsmåte ifølge krav 12, hvor trinnet med krysskorrelering av de mottatte signalene videre omfatter:

å lagre kopier av sendersignalene i prosessorer.
30

19. Fremgangsmåte ifølge krav 12, hvor trinnet med krysskorrelering av de mottatte signalene videre omfatter:

å generere kopier av sendersignalene i prosessorer.

20. Fremgangsmåte ifølge krav 12, hvor trinnet med omforming av forplantningstider til avstander videre omfatter:

- 5 å utplassere lydhastighetssensorer for å bestemme lokal lydhastighet i vann; og
- å anvende den lokale lydhastigheten i vann for å omforme forplantningstidene til avstander.

21. Fremgangsmåte ifølge krav 12, hvor senderne og mottagerne
10 opererer i et frekvensbånd fra omkring 10 til 40 kHz.

22. Fremgangsmåte ifølge krav 12, videre omfattende:
å bestemme absolutte referanseposisjoner på streamerne; og
å anvende de absolutte referanseposisjonene til å bestemme
15 absolutte posisjoner av streamerne fra de relative posisjonene av streamerne.

1/9

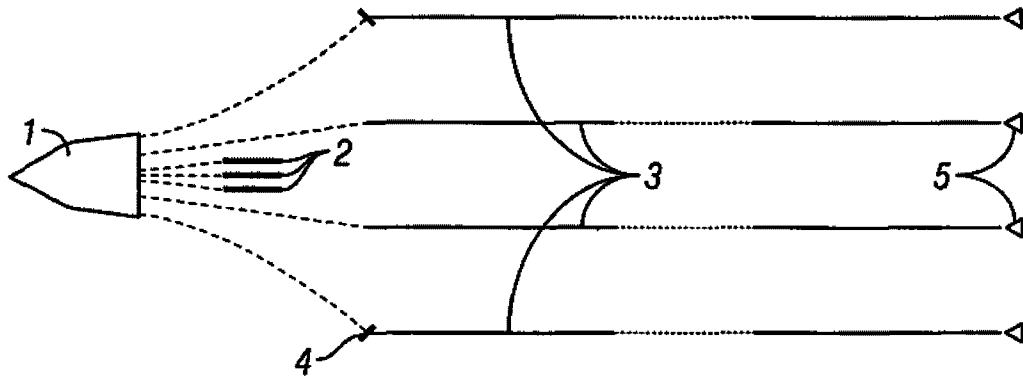


FIG. 1A

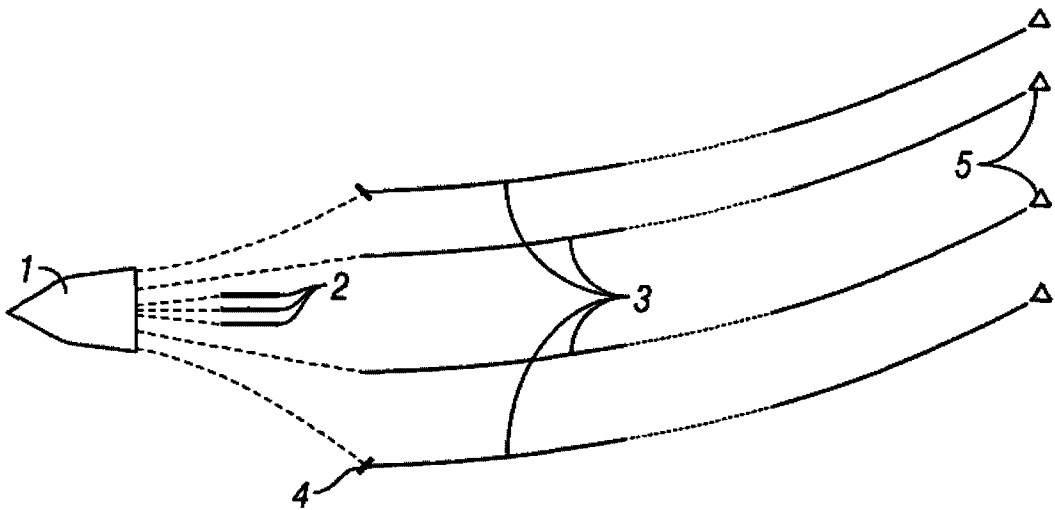


FIG. 1B

2/9

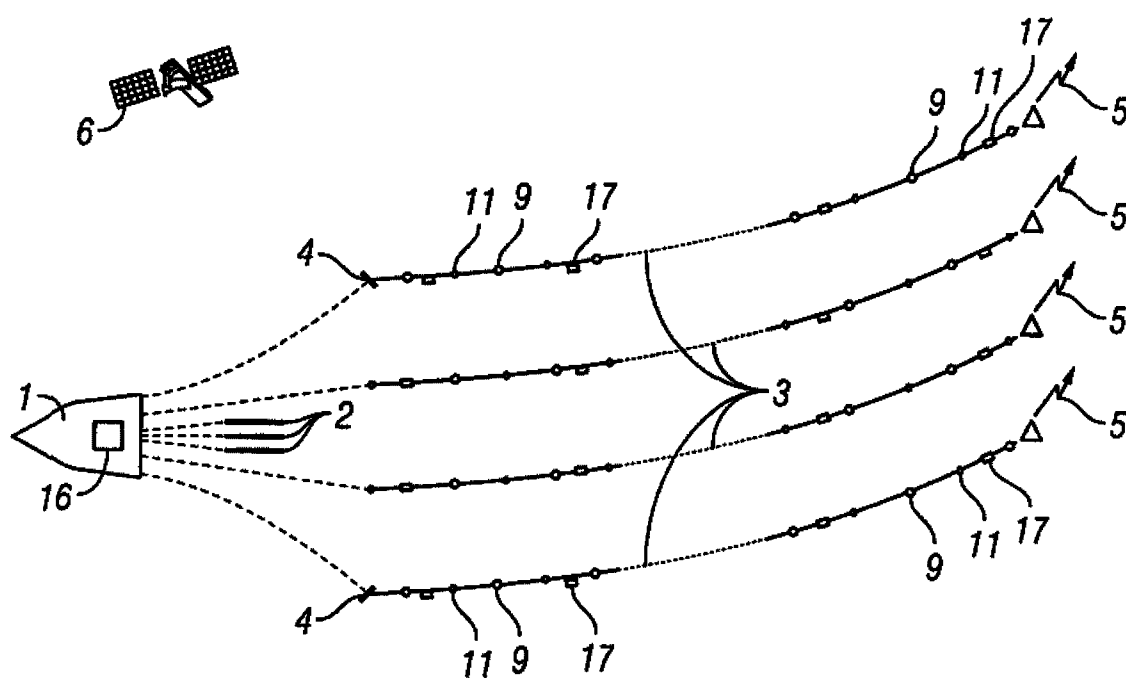


FIG. 2

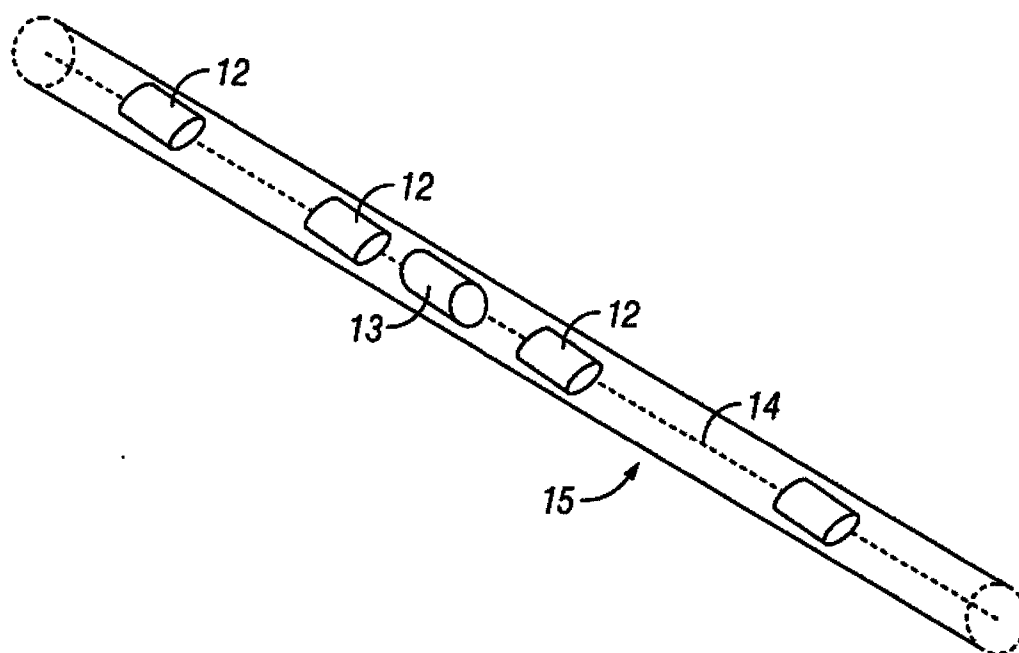


FIG. 3

3/9

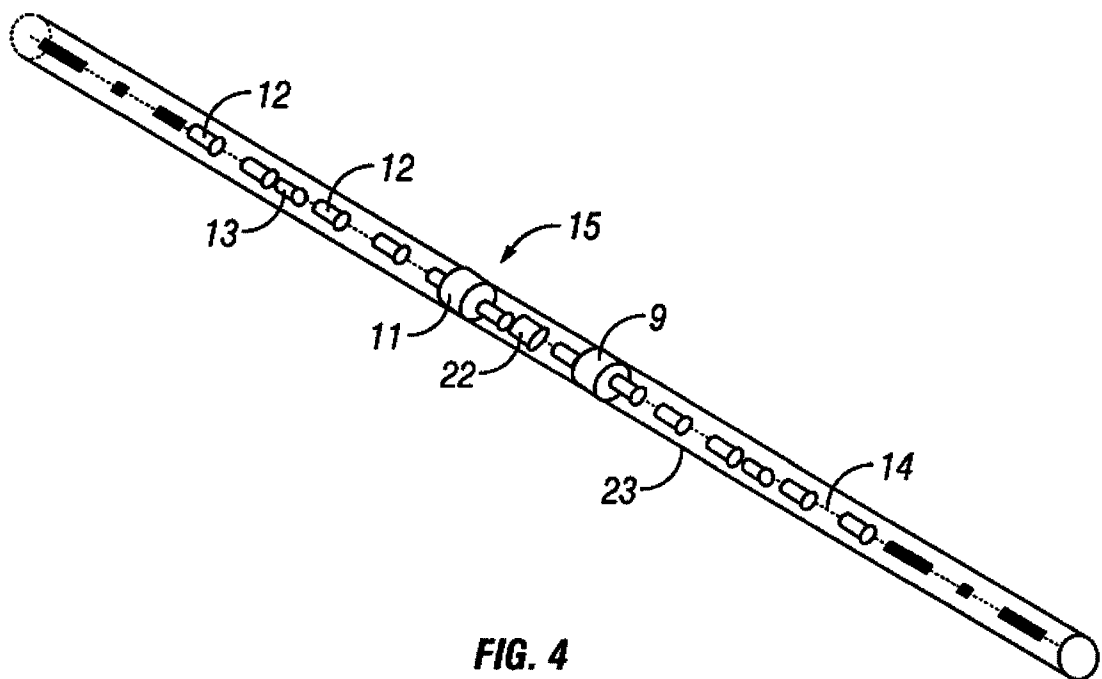


FIG. 4

4/9

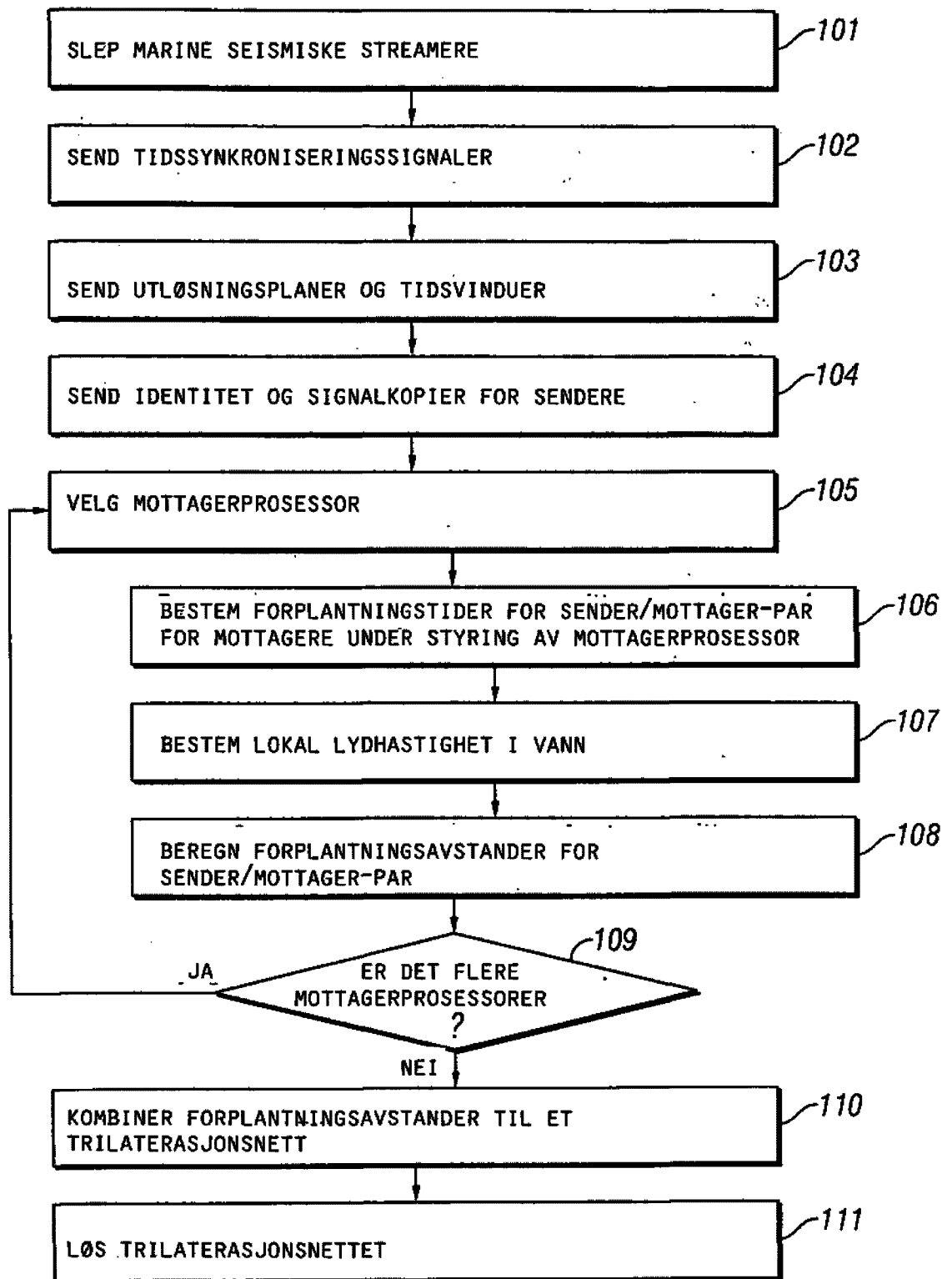


FIG. 5A

5/9

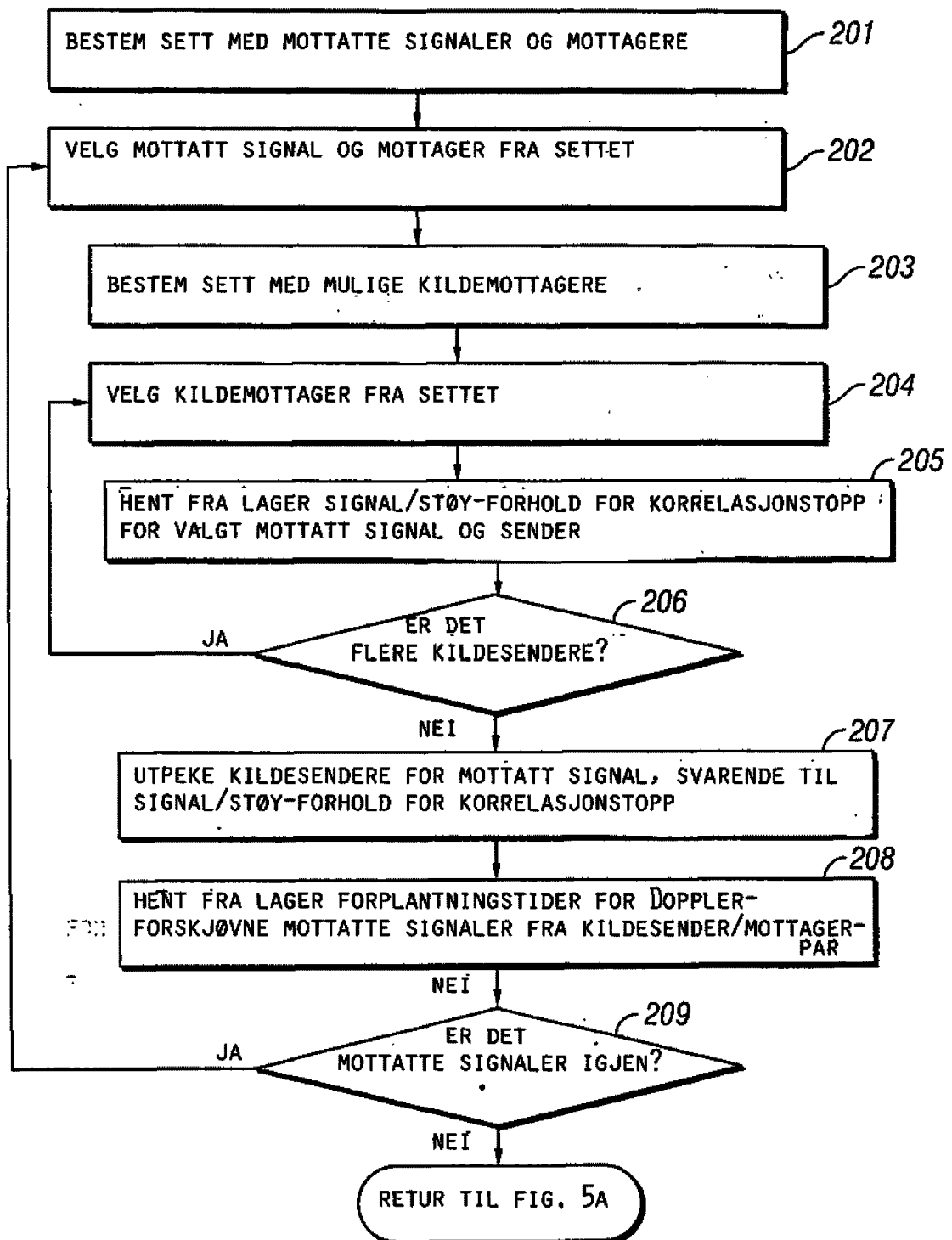


FIG. 5B

6/9

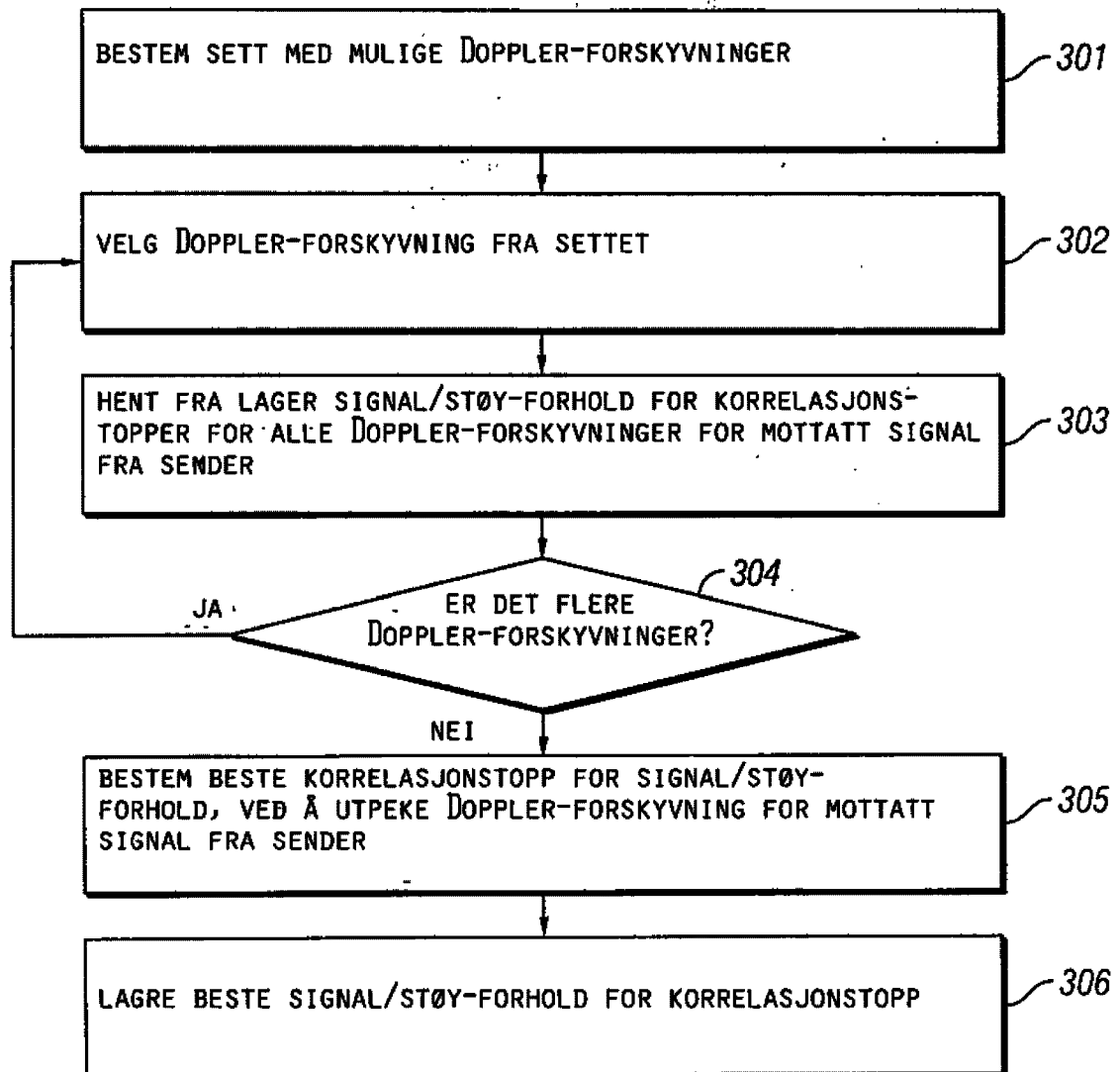


FIG. 5C

7/9

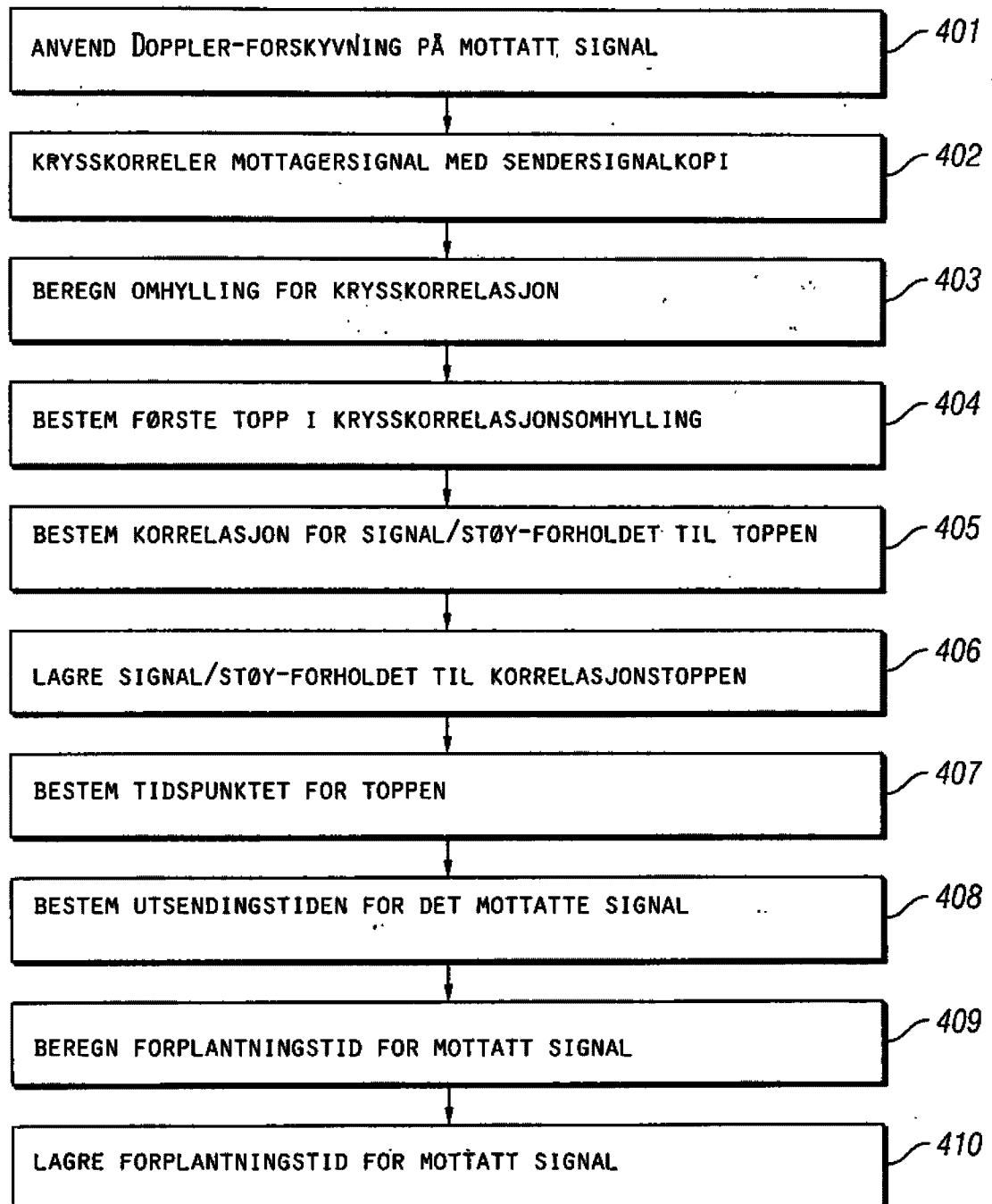


FIG. 5D

8/9

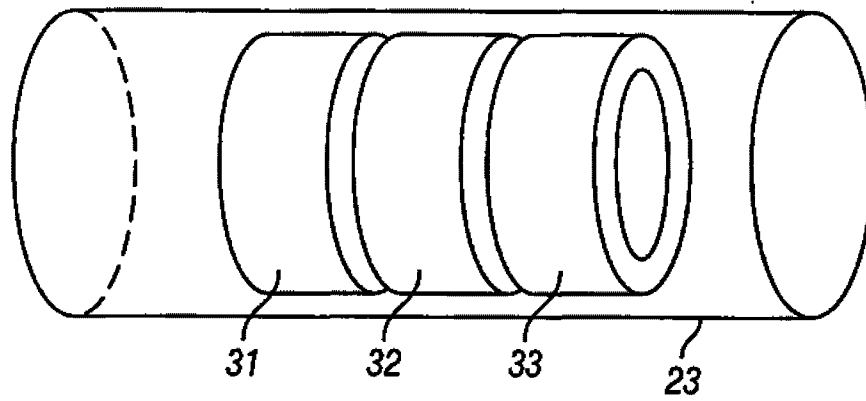


FIG. 6A

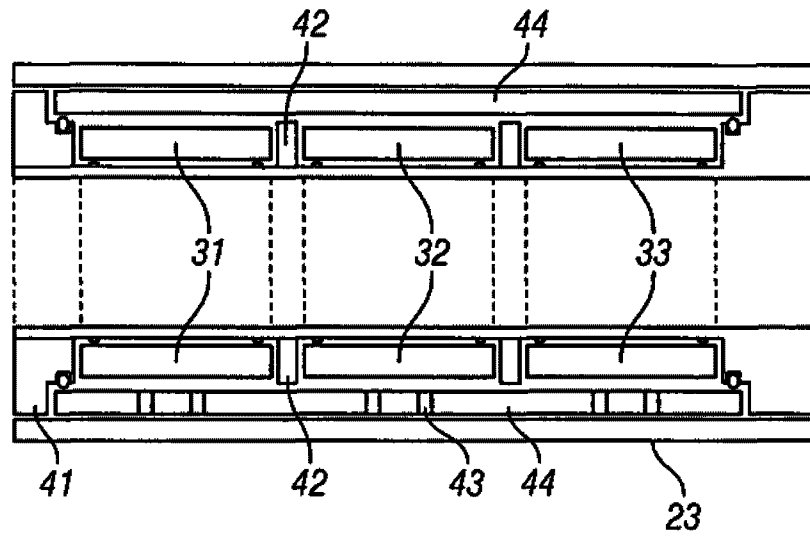


FIG. 6B

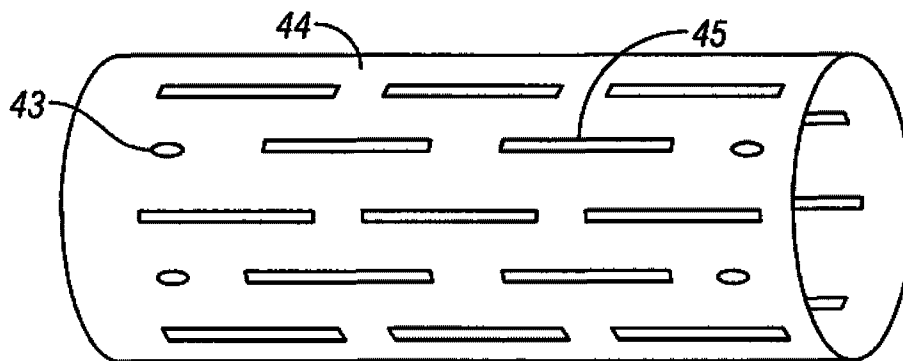


FIG. 6C

9/9

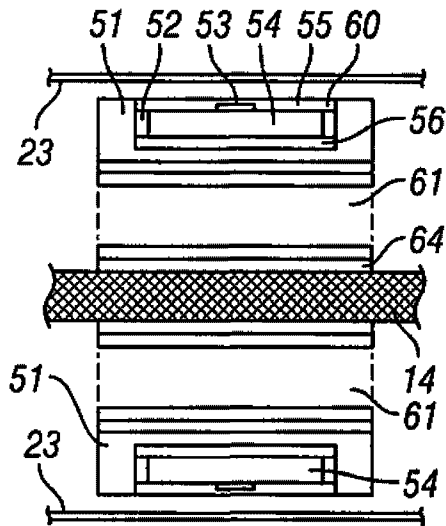


FIG. 7A

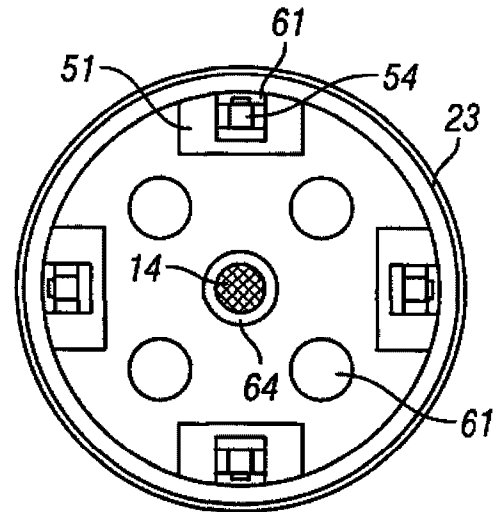


FIG. 7B

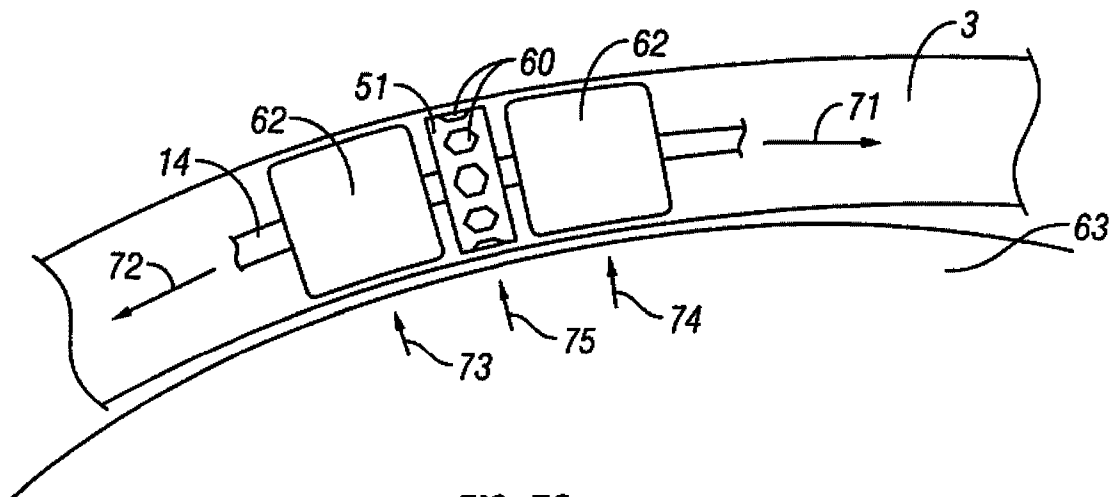


FIG. 7C