(19) Bureau voor de Industriële Eigendom Nederland

(11) **1013812**

(12) C **OCTROOI**[20]

(21) Aanvrage om octrooi: **1013812**

(22) Ingediend: **09.12.1999**

(51) Int.Cl.[7]
G01V1/20, G01V1/22, G01R23/16

(30) Voorrang:
14.12.1998 FR 9815792

(41) Ingeschreven:
19.06.2000

(47) Dagtekening:
19.06.2000

(45) Uitgegeven:
01.08.2000 I.E. 2000/08

(73) Octrooihouder(s):
Institut Francais Du Petrole te Rueil-Malmaison cedex, Frankrijk (FR).

(72) Uitvinder(s):
Van Bui-Tran te Massy (FR)
Thi Thu Nguyen te Clichy la Garenne (FR)
Gérard Thierry te Nanterre (FR)

(74) Gemachtigde:
Drs. F. Barendregt c.s. te 2280 GE Rijswijk.

(54) **Werkwijze en inrichting voor gesynchroniseerde verwerving van seismische signalen.**

(57) Werkwijze en inrichting bedoeld voor gesynchroniseerde verwerving van seismische signalen door middel van een of meer verwervingseenheden, die ingericht zijn voor digitalisering van seismische signalen, waarbij de werkwijze en inrichting het mogelijk maken om voor elk signaal een reeks y[n] monsters van deze vanaf een referentietijd heringestelde signalen te verkrijgen uit een vanaf een begintijd voorafgaande aan de referentietijd geproduceerde eerste reeks x [n] gedigitaliseerde monsters van dit seismische signaal. De werkwijze omvat: het detecteren van een synchronisatiesignaal dat indicatief is voor deze referentietijd (t_R), het meten van het effectieve tijdsverschil (D) tussen de referentietijd en de begintijd, het bepalen van de coëfficiënten van een digitaal filter (F), dat ingericht is om het fractionele deel (d) van het gemeten effectieve tijdsverschil te compenseren, en het toepassen van dit digitale compensatiefilter op de eerste reeks monsters, hetgeen het mogelijk maakt om een reeks van vanaf de referentietijd heringestelde gedigitaliseerde monsters te verkrijgen. Om de bepaling van de filtercoëfficiënten in afhankelijkheid van het waargenomen verschil (D) te versnellen, worden de coëfficiënten van een bepaald aantal tussenfilters, die corresponderen met vastgestelde fracties van het bemonsteringsinterval, bij voorkeur vooraf berekend. De werkwijze kan worden toegepast voor seismische opsporing of observatie, aardbevingsdetectie, enz.

NL C 1013812

De inhoud van dit octrooi komt overeen met de oorspronkelijk ingediende beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekeningen.

Korte aanduiding: Werkwijze en inrichting voor gesynchroniseerde verwerving van seismische signalen.

De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze voor gesynchroniseerde verwerving van seismische signalen, welke werkwijze hersynchronisatie van de verwerving van seismische signalen op een uitwendige gebeurtenis mogelijk maakt, en op een inrichting voor het uitvoeren van de werkwijze.

De werkwijze volgens de uitvinding vindt toepassing op vele gebieden, waarop talrijke gemeten signalen dienen te worden bemonsterd, bijvoorbeeld door middel van verschillende verwervingsketens, door op te leggen, dat de reeks van genomen monsters in hoofdzaak synchroon is met een uitwendige gebeurtenis. Dit is met name het geval op het gebied van seismische exploratie, waarbij een begintijd, van waaraf significante seismische signalen worden geregistreerd, vastgelegd dient te worden voor een verwervingssysteem.

De in het algemeen gekozen beginreferentietijd is het tijdstip van het triggeren van een bron van seismische golven. De uitgezonden golven planten zich voort in de ondergrond en worden door bijvoorbeeld over het grondoppervlak verdeelde seismische opneemelementen ontvangen. De door deze opneemelementen geleverde signalen worden naar een centraal regel- en registratiestation verzonden, in het algemeen door middel van in het veld verdeelde verwervingsinrichtingen. De verwervingsinrichtingen zijn elk ingericht om de na elke brontriggering opgenomen signalen te versterken, te filteren, te digitaliseren en op te slaan. De opgeslagen gegevens worden op vaste tijdsintervallen (na elke zend-ontvangstcyclus bijvoorbeeld) of "met de stroom" vanaf elke verwervingsinrichting naar een centraal station gezonden, zodra een zendtijdsinterval beschikbaar is. Seismische verwervingssystemen worden bijvoorbeeld beschreven in octrooien FR-2 511 772 (US-4,583,206) en FR-2 538 194 (US-4,628,494).

In elke verwervingsinrichting worden de seismische signalen toegevoerd aan een verwervingsketen. Een gangbare verwervingsketenstructuur omvat een voorversterker met een stabiele versterkingsfactor, een hoogdoorlaatfilter, een anti-aliasing laagdoorlaatfilter en een analoog/digitaal-(ADC)omzetter. De omzetters leveren bijvoorbeeld 24-bit numerieke woorden. Deze omzetters zijn bijvoorbeeld (sigma-

delta type) met digitale filters (FIR) verbonden overbemonstering-analoog/digitaal-omzetters.

Overbemonsteringsomzetters produceren numerieke woorden van een gereduceerd formaat in relatie tot gangbare omzetters, doch met een veel hogere frequentie. Het normale dynamische bereik wordt hersteld door het op de van de omzetter afkomstige signalen toepassen van een digitaal filter, dat als een decimatiefilter wordt aangeduid, welk filter, naast zijn anti-aliasing filterfuncties, ingericht is om een voorafbepaald aantal monsters met geschikte weegfactoren te stapelen, zoals algemeen bekend is voor specialisten.

Een analoog/digitaal-omzetter digitaliseert reeksen analoge monsters, die door middel van een interne klok op vaste tijden uit een signaal worden genomen. Dit vormt geen nadeel, wanneer de omzetter geïsoleerd werkt. Het wordt een nadeel in alle gevallen, waarin het gewenst is om nauwkeurig een beginreferentietijd vast te leggen ten opzichte waarvan een reeks gebeurtenissen is geplaatst, en in het bijzonder wanneer signaalverwervingen uitgevoerd dienen te worden door een reeks verschillende omzetters.

Met name bij seismische exploratiebewerkingen, worden de als gevolg van het door een bron uitzenden van seismische golven uit de ondergrond komende seismische golven opgepikt door een aantal ontvangers, en omgezet in gedigitaliseerde monsters door een dikwijls aanzienlijk aantal verschillende verwervingsketens, die elk zijn voorzien van een analoog/digitaal-omzetter. Een referentietijd wordt gekozen, in het algemeen de tijd van het triggeren van de seismische bron, en men tracht ten opzichte van deze tijd het door de verschillende omzetters van elk door de ontvangers opgepikt signaal genomen eerste significante monster in te stellen. Indien de bemonsteringstijd van elke omzetter slechts afhankelijk is van een interne klok, is er geen reden om deze te synchroniseren met de als de referentie gekozen uitwendige gebeurtenis. Een bepaalde willekeurige vertraging of jitter volgt daaruit, welke in het algemeen van verwervingsketen tot verwervingsketen verschillend is. Het gevolg hiervan is een gebrek aan synchronisatie, welk gebrek zeer storend is, wanneer de door verschillende verwervingsketens ontvangen en verworven signalen dienen te worden gecombineerd, zoals het in het algemeen het geval is bij gangbare seismische verwerking.

Het octrooi FR-2 666 946 (US-5,245,647), ingediend door onderhavige aanvrager, openbaart een signaalbemonsteringsinrichting, die in combinatie een met een FIR-type digitaal filter, dat een decimatie

van opeenvolgende reeksen van overbemonsteringen uitvoert, verbonden sigma-delta-type overbemonsteringsomzetter en een inrichting voor het met een uitwendige gebeurtenis, zoals bijvoorbeeld het triggertijdstip van een seismische bron, synchroniseren van de geleverde monsters, omvat. De in deze bekende inrichting gebruikte oplossing bestaat in wezen uit een tussen de sigma-delta-omzetter en het decimatiefilter ingevoegd geheugen, waarin permanent een reeks overbemonsteringen is opgeslagen. Bij ontvangst van een uitwendig referentiesignaal, is de inrichting ingericht om in het ingevoegde geheugen de voor ontvangst van dit signaal gevormde overbemonsteringen te vinden en om de overdracht daarvan aan het decimatiefilter op te dragen, teneinde het eerste van de hergesynchroniseerde monsters te produceren.

Hoewel deze oplossing uitstekend werkt, heeft deze oplossing het nadeel, dat complexe en kostbare elektronische componenten, die tussen de delta-sigma-modulator en het FIR-anti-aliasingfilter zijn ingevoegd, d.w.z. een geheugen en relatief complexe middelen voor het bedienen daarvan, worden vereist.

Er zijn ook algemeen bekende fractionele (minder dan een eenheid) vertragingsverwerkingstechnieken, met name beschreven door:
- Laakso, T.I. e.a.: Splitting the Unit Delay; in IEEE Signal Processing Magazine; 1996, welke technieken het mogelijk maken om door middel van berekeningen een tijdherinstelling van de signaalbemonstering uit te voeren. Bepaalde principes daarvan, die bruikbaar zijn voor een beter begrip van de werkwijze, worden hierna in herinnering geroepen.

x[n] duidt een vanaf een begintijd t_0 met een bemonsteringsinterval Δt door middel van een analoog/digitaal-omzetter uit een meetsignaal genomen reeks gedigitaliseerde monsters S_k, S_{k+1}, S_{k+2} ... S_{k+p}, enz. aan (fig. 1), en y[n] duidt een met hetzelfde interval uit hetzelfde meetsignaal genomen reeks monsters S'_1, S'_2, S'_3 ... S'_{p+1}, enz., doch in tijd vanaf een referentietijd T_R na t_0 opnieuw ingesteld. Het herinstellingstijdverschil D is een positief reëel getal.

Dit getal kan in het algemeen als volgt worden geschreven: D = int(D) + d, waarin int(D) correspondeert met een geheel aantal bemonsteringsperioden en d een fractie van een periode is.

We dienen te hebben: y[n] = x[n-D].

Om een vertraging int(D) te verkrijgen, is het voldoende om het oorspronkelijke signaal x[n] door middel van een eenvoudige translatie te vertragen. De monsters y[n] zijn die monsters x[n], waarvan de

index eenvoudig met int(D) is vertraagd (opnieuw genummerd). Bijvoorbeeld wordt het het getal k in de eerste reeks dragende monster het het getal 1 in de tweede reeks dragende monster, met $k.\Delta t = int(D)$. Voor het fractionele gedeelte van dit tijdsverschil zullen de opnieuw ingestelde monsters y[n] ergens tussen de waarden van x[n] in twee opeenvolgende bemonsteringsposities voor de lokale klok liggen en zij dienen het beste te corresponderen met de effectieve amplituden van de bemonsterde signalen in deze tussengelegen posities. Deze vertraging met herinstelling kan worden verkregen door het toepassen van een digitale filtering F (fig. 2).

Met de voor de z-transformatie specifieke notaties, kan deze vertraging door middel van digitale filtering als volgt worden uitgedrukt:

$$Y(z) = X(z).z^{-D}.$$

De frequentieresponsie van het ideale filter H_{ID} is:

$$H_{ID} = z^{-D} = e^{-j\omega D} \text{ met } z = e^{j\omega}.$$

De amplitude- en faseresponsies van het ideale filter voor elke ω zijn daardoor:

$$\left|H_{id}\left(e^{j\omega}\right)\right| = 1 \text{ en } \arg\left[H_{id}\left(e^{j\omega}\right)\right] = \theta_{id}(\omega) = -D\omega$$

De fase wordt dikwijls weergegeven als een fasevertraging, gedefinieerd door:

$$\tau_p(\omega) = -\frac{\theta_{id}(\omega)}{\omega},$$

een vertraging die hier D is.

De corresponderende impulsresponsie wordt verkregen door middel van een inverse Fourier-transformatie:

$$h_{id}[n] = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} H_d\left(e^{j\omega}\right)e^{j\omega n\Delta t}\,d\omega$$

voor elke n, geldt daarom:

$$h_{id}[n] = \frac{\sin[\pi(n\Delta t - D)]}{\pi(n\Delta t - D)} \sin c(n\Delta t - D)$$

voor elke n.

Dit ideale filter kan niet worden geïmplementeerd, omdat de impulsresponsie daarvan oneindig lang is. Er bestaan echter verschillende werkwijzen die het mogelijk maken om deze ideale oplossing dicht genoeg te benaderen om de herinstellingsnauwkeurigheid vergelijkbaar met de in de praktijk verwachte nauwkeurigheid te houden. De

keuze van de te gebruiken werkwijze hangt af van specifieke criteria, die binnen het kader van de toepassing waargenomen dienen te worden.

De te implementeren filteringswerkwijze dient te corresponderen met bepaalde met de gebruikte middelen verbonden voorwaarden: doorlaatband van de te verwerven signalen, bemonsteringsfrequentie, technische beperkingen van de beschikbare digitale-filteringtoepassingsmiddelen (rekenmiddelen) en verwachte nauwkeurigheid van de berekening van het heringestelde monster.

Binnen het kader van bijvoorbeeld een toepassing op seismische-gegevensverwerking, wordt er opgelegd, dat de doorlaatband van het filter verenigbaar is met alle bruikbare signalen, die seismische informatie dragen, en daardoor bijvoorbeeld het [0 Hz, 275 Hz] frequentie-interval bevat, alsmede een 1000 Hz bemonsteringsfrequentie voor de seismische signalen. Een directe monsterherinstelling kan worden opgelegd, indien de verwervingseenheden bijvoorbeeld krachtige DSP-type signaalprocessoren omvatten, zoals beschreven wordt in de hiervoorgenoemde octrooien, welke processoren ook bijdragen aan het vergemakkelijken van de implementatie van digitale filtering.

De werkwijze voor gesynchroniseerde verwerving van seismische signalen volgens de uitvinding maakt het mogelijk om een reeks gedigitaliseerde monsters van elk in de tijd vanaf ten minste een referentietijd heringesteld signaal uit een eerste reeks gedigitaliseerde monsters van deze vanaf een begintijd voorafgaande aan de referentietijd geproduceerde seismische signalen door middel van een verwervingseenheid met een bepaald bemonsteringsinterval te verkrijgen.

De werkwijze wordt gekenmerkt doordat deze omvat:

- het detecteren van een voor deze referentietijd (geproduceerd in responsie op de detectie van een gebeurtenis) indicatief synchronisatiesignaal,
- het meten van het effectieve tijdverschil (D) tussen de referentietijd en de begintijd,
- het bepalen van de coëfficiënten van een digitaal filter, dat ingericht is om het gemeten effectieve tijdverschil te compenseren, waarbij de coëfficiënten voldoende in aantal zijn om een vaste tijdcompensatienauwkeurigheid te verkrijgen, en
- het op de eerste reeks monsters toepassen van het digitale compensatiefilter, dat het mogelijk maakt om een reeks vanaf de referentietijd heringestelde gedigitaliseerde monsters te verkrijgen.

De berekening van de fractionele filtercoëfficiënten omvat met voordeel een directe bepaling van de rimpelmarges van de amplitude

respectievelijk de fase volgens de maximum tijdfout (E_M), die het door het fractionele filter vertraagde signaal beïnvloedt, waardoor het mogelijk is om de coëfficiënten van dit filter te berekenen.

Volgens een voorkeursuitvoeringsvorm worden,

a) eerst de waarden van de coëfficiënten van N tussengelegen digitale filters, die ingericht zijn om N door de omzetter over de duur van het bemonsteringsinterval van het seismische signaal verspreide tijdverschilwaarden te compenseren, bepaald, en vervolgens worden deze filtercoëfficiënten opgeslagen,

b) de coëfficiënten van het digitale filter met fractionele vertraging, dat ingericht is om het gemeten effectieve tijdverschil te compenseren, berekend door middel van interpolatie (bijvoorbeeld Lagrange-type interpolatie) tussen de coëfficiënten van de reeks filtercoëfficiënten, die met de dichtstbijzijnde verschilwaarden zijn verbonden, en wordt

c) het fractionele compensatiefilter toegepast op de eerste reeks monsters.

Het synchronisatiesignaal wordt bijvoorbeeld na detectie van een seismisch signaal opgewekt, welk signaal de eerste-onderbrekingsgolf kan zijn, die wordt uitgezonden wanneer een seismische bron (pulsbron of vibrator(s)) wordt getriggerd, of na identificatie (door middel van correlatie) met een bekende signatuur of na detectie van een bepaald seismische-energieniveau, in het geval waarin dit wordt gebruikt voor het detecteren van een aardbeving of een kernexplosie, enz.

De werkwijze volgens de uitvinding kan met name worden gebruikt in een inrichting, die is bedoeld voor gesynchroniseerde verwerving van seismische signalen, die worden opgepikt door seismische ontvangers in reactie op het op referentietijden door een of meer seismische bronnen afgeven van elastische golven in de grond, waarbij de ontvangers in contact met de grond staan en verbonden zijn met ten minste een seismische verwervingseenheid op afstand van een besturingsstation. Deze werkwijze omvat het met een bepaald bemonsteringsinterval verwerven van ten minste een reeks gedigitaliseerde monsters van deze seismische signalen door middel van een analoog/digitaalomzetter in elke verwervingseenheid vanaf een begintijd voorafgaande aan de referentietijd, het door middel van elke verwervingseenheid detecteren van een voor de referentietijd indicatief synchronisatiesignaal, het meten van het effectieve tijdverschil tussen de begintijd en de referentietijd (waarbij mogelijkerwijs de voortplantings-

tijd van elk synchronisatiesignaal naar elke verwervingseenheid in rekening wordt gebracht), het bepalen van de coëfficiënten van een fractioneel digitaal filter, dat ingericht is om het gemeten effectieve tijdverschil te compenseren, waarbij de coëfficiënten voldoende in aantal zijn om een vaste compensatienauwkeurigheid te verkrijgen, en het toepassen van het compensatiefilter op de eerste reeks monsters, waardoor het vormen van een reeks gedigitaliseerde monsters, die vanaf de referentietijd heringesteld zijn, mogelijk is.

Volgens een uitvoeringsvorm, die toepasbaar is op seismische opsporingsbewerkingen, waarbij elastische golven door verschillende vibrators worden uitgezonden, omvat de werkwijze het door middel van elke verwervingseenheid detecteren van synchronisatiesignalen, die in reactie op de afgifte van golven door elke vibrator worden uitgezonden, en het meten van de corresponderende effectieve tijdverschillen, het bepalen van de coëfficiënten van de verschillende fractionele digitale filters, die ingericht zijn om de verschillende gemeten effectieve tijdverschillen te compenseren, waarbij de coëfficiënten voldoende in aantal zijn om een vaste compensatienauwkeurigheid te verkrijgen, en het toepassen van de verschillende compensatiefilters, die het vormen van een reeks vanaf de corresponderende referentietijd heringestelde gedigitaliseerde monsters mogelijk maken.

De hierboven gedefinieerde digitaliseringswerkwijze is om verschillende redenen gunstig.

De werkwijze kan worden uitgevoerd door analoog/digitaal-omzetters van een standaardtype, niet-gemodificeerd en daardoor dadelijk beschikbaar, in samenwerking met een nauwkeurig meetmiddel, dat eventueel in de verwerkingseenheid is opgenomen. Aangezien digitale filtering wordt uitgevoerd door middel van programmatuurmiddelen, is de werkwijze flexibel en gemakkelijk aan elk type toepassing aanpasbaar.

Het verkleinen van het interval tussen de tussengrenzen waarvan een interpolatie wordt uitgevoerd om de exacte coëfficiënten van het geschikte digitale filter te vinden, in gevallen waarin de coëfficiënten van het op verscheidene goed gedefinieerde fracties van het bemonsteringsinterval toepasbare digitale filter vooraf berekend worden, reduceert de rekentijd aanzienlijk.

De werkwijze van het herinstellen van reeksen monsters volgens de uitvinding maakt het mogelijk om de (of elke) omzetter permanent te laten werken en om de reeks van vanaf de referentietijd heringestelde monsters te vormen zodra de vertraging D bekend is.

Het te gebruiken synchronisatiesignaal vormt niet langer alleen het triggersignaal (TB) doch, zoals hierboven is weergegeven, ook de eerste-onderbrekingsgolf, het herkenningstijdstip van een akoestische signatuur of het detectietijdstip van een energiedrempelwaarde, enz.

In het geval waarin verscheidene vibrators, die min of meer synchroon trillen, worden gebruikt, is het bij continue seismische verwerving noodzakelijk om de voor herinstelling met betrekking tot het begin van de corresponderende trilling gekozen referentietijd te vertragen teneinde de ontvangen signalen te verwerken (en met de uitgezonden signalen te correleren), en met betrekking hiertoe is de werkwijze volgens de uitvinding bijzonder flexibel.

De inrichting voor de gesynchroniseerde verwerving van seismische signalen volgens de uitvinding maakt het mogelijk om uit elk seismisch signaal ten minste een reeks van vanaf ten minste een referentietijd heringestelde gedigitaliseerde monsters te verkrijgen uit een uit dit seismische signaal genomen eerste reeks gedigitaliseerde monsters, welke eerste reeks vanaf een begintijd voorafgaande aan de referentietijd is geproduceerd.

De inrichting omvat ten minste een signaalverwervingseenheid, die ten minste een deze eerste reeks monsters producerende analoog/digitaal-omzetter bevat, en wordt gekenmerkt, doordat deze inrichting in elke verwervingseenheid omvat: een middel voor het detecteren van een synchronisatiesignaal, een met middelen voor het opslaan van een reeks van door de omzetter geproduceerde monsters verbonden verwerkingseenheid, een meetmiddel voor het meten van het tussen de begintijd en de referentietijd verstreken effectieve tijdsinterval, waarbij de verwerkingseenheid is geprogrammeerd om coëfficiënten van een digitaal filter, dat ingericht is om het gemeten effectieve tijdsverschil (bestaande uit een geheel deel en een fractioneel deel) te compenseren, te bepalen en om het digitale fractionele compensatiefilter op de eerste reeks monsters toe te passen.

De inrichting wordt met voordeel gebruikt in een seismisch-signaalverwervingssysteem, waarin elke verwervingseenheid omvat: middelen, die door middel van een overdrachtskanaal gegevensuitwisseling met een station op afstand mogelijk maken, welk station is voorzien van middelen voor het uitzenden van het synchronisatiesignaal in reactie op de detectie van een gebeurtenis, en een besturingssysteem, dat de verwerkingseenheid, die ingericht is om de seismische gegevens te verwerken voordat deze aan het centrale station worden overgedra-

gen, bevat. De verwerkingseenheid wordt vervolgens geprogrammeerd om coëfficiënten van een fractioneel digitaal filter, dat ingericht is om het door de meetmiddelen gemeten effectieve tijdverschil te compenseren, te bepalen door het in rekening brengen van de voortplantingstijd van het synchronisatiesignaal over het elke verwervingseenheid met het centrale station verbindende overdrachtskanaal.

Volgens een voorkeursuitvoeringsvorm omvat de inrichting middelen voor het opslaan van coëfficiënten van N tussenliggende digitale filters, die ingericht zijn om N over de duur van het bemonsteringsinterval van het seismische signaal door de omzetter verspreide tijdverschilwaarden te compenseren, en is de verwerkingseenheid ingericht om de coëfficiënten van het digitale filter, dat ingericht is om het gemeten effectieve tijdverschil te compenseren, te berekenen door middel van interpolatie tussen de met de dicht bij elkaar gelegen verschilwaarden verbonden reeks filtercoëfficiënten, en om het compensatiefilter op de eerste reeks monsters toe te passen.

Volgens een uitvoeringsvorm, die ingericht is voor seismische opsporingsbewerkingen onder gebruikmaking van vibrators als zendmiddelen, bevat de inrichting meetmiddelen in elke verwervingseenheid voor het detecteren van in reactie op de afgifte van golven door elke vibrator afgegeven synchronisatiesignalen, en voor het meten van elk effectief tijdverschil, waarbij de verwerkingseenheid omvat: middelen voor het bepalen van de coëfficiënten van de verschillende fractionele digitale filters, die ingericht zijn om de verschillende gemeten effectieve tijdverschillen te compenseren, en middelen voor het toepassen van de verschillende compensatiefilters om het vormen van een reeks vanaf de referentietijd heringestelde gedigitaliseerde monsters mogelijk te maken.

Andere kenmerken van de werkwijze en van de inrichting volgens de uitvinding zullen duidelijk worden bij het lezen van de beschrijving van een niet-beperkend uitvoeringsvoorbeeld, onder verwijzing naar de bijgevoegde tekening, waarin:

fig. 1 een herinstelling van een reeks monsters toont,

fig. 2 de toepassing van digitale filtering F, die herinstelling van monsters mogelijk maakt, toont,

fig. 3 het principe van het gebruik van tussenfilters, die het versnellen van de berekening van de digitale filters mogelijk maken, toont,

fig. 4 op schematische wijze een seismische-gegevensverwerings- en -overdrachtssysteem toont,

fig. 5 op schematische wijze de organisatie van een lokale verwervingsbox toont,

fig. 6 een kaart is, die het restverschil tussen het bemonsterde beginsignaal en het door de herberekende monsters gedefinieerde signaal toont overeenkomstig het aantal coëfficiënten van het filter en de waarde van de vertraging, uitgedrukt als een fractie van het bemonsteringsinterval, en

fig. 7 een kaart is, die de overeenkomstig het aantal vooraf berekende tussenresultaten en de orde van het interpolatiepolynoom verkregen nauwkeurigheid toont.

Een belangrijk punt van de werkwijze is, dat het mogelijk is om vast te stellen, dat, indien ΔD en a de rimpelmarges binnen de doorlaatband met betrekking tot respectievelijk de fase en de amplitude zijn, de maximale tijdsfout E_M punt voor punt tussen het door het filter berekende vertraagde signaal en het ideale vertraagde signaal (waarvoor $E_M = 0$) kan worden uitgedrukt door middel van de relatie:

$$E_M \approx \sqrt{\left[(\Delta D)^2 + (a)^2\right]} \qquad (1)$$

mits het signaal in de frequentieband beneden de filterafsnijfrequentie ligt.

Deze relatie tussen de maximale fout en de filterkarakteristieken kennende, wordt een bekende FIR (Finite Impulse Response = eindige impulsresponsie) filterontwerpwerkwijze gekozen, die de coëfficiënten van het geschikte filter geeft.

Wanneer bijvoorbeeld een op 24-bits, die een tekenbit bevatten, werkende analoog/digitaal-omzetter wordt gebruikt, kan men voorschrijven dat de fout ten hoogste gelijk aan een kwantificatie-interval is, d.w.z. $2^{-23} \approx 10^{-7}$.

Voor een 10^{-7}-fout dient a in de orde van 10^{-7} te liggen, hetgeen een rimpelmarge $|H|$ van de filterfunctie vereist, zodat: $1-a \leq |H| \leq 1+a$. Aangezien a zeer klein is, kan gemakkelijk worden aangetoond, dat deze ongelijkheid equivalent is aan: $-10^{-6} \leq |H|_{dB} \leq 10^{-6}$. Dezelfde relatie (1) geeft aan, dat $|\Delta D|$ eveneens in de orde van 10^{-7} dient te liggen.

Met de hierboven gegeven specificaties, geschikt voor seismische opsporingstoepassingen:

- een afsnijfrequentie gekarakteriseerd door twee waarden, 375 Hz en 420 Hz,
- oscillaties in de [0,375 Hz] frequentieband beneden 0,05 dB,
- oscillaties in de [0,420 Hz] frequentieband beneden 0,2 dB,
- een faseafsnijfrequentie van 375 Hz,

- oscillaties in de [0,375 Hz] frequentieband beneden een met een tijdsvertraging van 4 µs corresponderende vertraging, geeft de met 4 µs corresponderende fasespecificatie voor een bemonsteringsfrequentie van 1000 Hz (daardoor een tijdsperiode $T_e = 10^{-3}$ s = 1 ms) een fractionele vertraging:

$$\Delta D = \frac{\Delta t}{T_e} = \frac{4\mu s}{1ms} = 4.10^{-3}.$$

Aan deze amplitude- en fasevoorwaarden wordt derhalve sterk voldaan indien een fout beneden 10^{-7} wordt voorgeschreven.

De waarde van de filtercoëfficiënten dient vervolgens te worden bepaald, onder beschouwing van de voorgeschreven beperkingen, door het selecteren van een werkwijze uit de voor specialisten bekende filterontwerpwerkwijzen, zoals hierboven is vermeld. De Lagrange-interpolatiewerkwijze kan worden gebruikt, welke werkwijze een zeer goede frequentieresponsie en een zeer vlakke amplituderesponsie voor de lage frequenties verschaft, doch het resulterende filter heeft een zeer smalle doorlaatband, die niet veel varieert met de orde van het filter. Er bestaan ook algemeen bekende tijdvensterwerkwijzen (Kaiser-venster, Dolph-Tchebichev-venster, Blackman-venster, Hamming-venster, enz.). Een andere bekende werkwijze, als kleinste-kwadraten-werkwijze aangeduid, bestaat in wezen uit het minimaliseren van de frequentiefout tussen het ideale filter en het gebruikte FIR-filter. De voor het berekenen van de filtercoëfficiënten volgens deze verschillende werkwijzen vereiste computerprogramma's zijn dikwijls beschikbaar uit bekende signaalverwerking-programmatuurbibliotheken, zoals bijvoorbeeld Matlab™.

Voor elke bijzondere vertragingswaarde vereist een herbemonstering, die een benadering met een nauwkeurigheid in de orde van 10^{-} mogelijk maakt, berekening van een door verschillende tientallen filtercoëfficiënten gedefinieerd filter. Bij de veralgemeniseerde kleinste-kwadratenwerkwijze worden bijvoorbeeld 60 coëfficiënten vereist om een nauwkeurigheid van deze orde te bereiken, zoals is weergegeven in de tabel van fig. 6.

De voor een dergelijke berekening vereiste tijd hangt vanzelfsprekend af van de beschikbare rekenmiddelen of hulpbronnen. Er zijn gevallen, waarin als gevolg van de voorgeschreven voorwaarden - een relatief brede doorlaatband van de te verwerven signalen en/of prestaties van de beschikbare computermiddelen - de gewenste herinstelling van de bemonsterde signalen ten opzichte van een referentietijd niet in de reële tijd kunnen worden uitgevoerd.

In dit geval bestaat een oplossing uit het vooraf berekenen van de filtercoëfficiënten voor goed gedefinieerde fracties van de periode of het bemonsteringsinterval Δt. Wanneer het interval Δt door N punten I_1, I_2, ... I_k, I_N (fig. 3) is onderverdeeld in N+1 delen (waarbij N bijvoorbeeld 10 bedraagt), zijn er derhalve N vooraf berekende filters F_1 tot F_N gedefinieerd. De verschillende reeksen coëfficiënten worden vervolgens opgeslagen in geheugens van de computereenheid, voordat de verwervingsbewerkingen beginnen. Tijdens werking wordt het tijdsubinterval (tussen I_k en I_{k+1} in de figuur), waarin het fractionele tijdsverschil d tussen de beginbemonsteringstijd en de referentietijd ligt, bepaald, en een interpolatie wordt uitgevoerd tussen de opgeslagen corresponderende reeks van coëfficiënten, teneinde de coëfficiënt van het vereiste herinstellingsfilter te berekenen. De door deze eerdere berekeningen mogelijk gemaakte dichtere benadering van de fractionele vertraging d reduceert aanzienlijk de voor de berekening van het geschikte digitale filter vereiste tijd. Een nauwkeurigheid in de orde van 10^{-7} kan bijvoorbeeld worden bereikt met 10 reeksen van vooraf berekende tussencoëfficiënten voor een interpolatie van de 5-de orde en met 20 reeksen van tussencoëfficiënten voor een interpolatie van de 4-de orde, zoals is weergegeven in de tabel van fig. 7.

De beschreven werkwijze kan worden uitgevoerd in een seismisch verwervingssysteem, zoals dit is beschreven in de hiervoorgenoemde octrooien, met name in octrooien FR-A-2 720 518, EP-A-594 477 of in octrooiaanvrage FR-97/09 547, welk systeem ingericht is om de door seismische ontvangers R (fig. 4), die over een te exploreren zone zijn verdeeld, opgepikte signalen te verwerven, volgens een voor de uit te voeren 2D- of 3D-type opsporing geschikte layout, waarbij deze ontvangers R de door ondergrondse discontinuïteiten gereflecteerde seismische golven oppikken, en om de signalen naar een op afstand gelegen station CS, zoals een centrale-besturings- en registratiestation, waarin alle verzamelde seismische signalen eventueel worden gecentraliseerd, te verzenden ofwel direct of door middel van tussenstations LS, die min of meer complexe functies vervullen: concentratie, organisatie en volgordevorming van de uitwisselingen tussen verwervingseenheden A en het centrale station CS.

De bron S kan een puls zijn (bijvoorbeeld een explosieve lading of een luchtgeweer) of bestaan uit een of meer vibrators. Deze bron kan met de formaties van de te exploreren zone gekoppeld zijn en door middel van een radioverbinding of stuurkabel met het centrale station

CS verbonden zijn of in het geval van kustzone-exploratie, mogelijkerwijs al ondergedompeld gesleept worden door een met het centrale station CS door middel van een radioverbinding verbonden afvuurboot.

Elke verwervingsbox (fig. 5) is ingericht voor verwerving van een aantal k ($k \geq 1$) seismische ontvangers R_1, R_2, ... R_k, die elk een seismisch "spoor" verschaffen. De box omvat daardoor bijvoorbeeld k verwervingsketens CA_1 tot en met CA_k, die de k signalen ontvangen en elk bijvoorbeeld een laagdoorlaatfilter F_{11}, F_{12}, ... F_k, een voorversterker PA_1, PA_2, ... PA_k, een hoogdoorlaatfilter F_{21}, F_{22}, ..., F_{2k}, en een analoog/digitaal(ADC)-omzetter AD_1, AD_2, ... AD_k voor het omzetten van de versterkte en gefilterde analoge signalen in bijvoorbeeld 24-bit numerieke woorden, omvatten. De omzetters zijn bijvoorbeeld overbemonstering-sigma-delta-type omzetters. De verwervingsketens zijn alle verbonden met een microprocessor 2, die bijvoorbeeld 16- tot 32-bit numerieke woorden verwerkt, en die is geprogrammeerd om de verwerving en uitwisselingen met het station op afstand (niet weergegeven) te beheren. Met de microprocessor 2 zijn een werkgeheugen M_1 en een geheugen Mp voor de programma's verbonden. De processor 2 is verbonden met een zend/ontvangsteenheid 3, die ingericht is voor het voor communicatie met het station op afstand gebruikte overdrachtskanaal. Indien het kanaal een Hertz-kanaal is, omvat de eenheid 3 een radiozender RE en een radio-ontvanger RR, die met een antenne 4 communiceren. Een in het hierboven beschreven octrooi FR-A-2 608 780 beschreven koppelingseenheid 5 maakt ook een infraroodcommunicatie met een initialisatiebox 6 mogelijk, door middel waarvan een bediener mogelijkerwijs aan de beheersprocessor 2 adresseer- en selectieopdrachten met betrekking tot de werkparameters van de verwervingsketens kan zenden.

Elke verwervingsbox Ai omvat bij voorkeur ook een in signaalverwerking gespecialiseerde processor 7, zoals bijvoorbeeld een DSP 96002-type zwevende-komma 32-bit processor, die met een DMA-type inrichting voor het versnellen van gegevensblokoverdrachten tussen de twee processoren 2 en 7 is verbonden. Met de laatstgenoemde processor is een werkgeheugen M_3 verbonden. Elke verwervingsbox omvat ook een onafhankelijke voedingseenheid 8.

De functie van de algemene processor 2 is het uitvoeren van het decoderen van de door het station op afstand verzonden opdrachten, en het beheren van de verwerving door de verschillende verwervingsketen van de van de ontvangers R_1 tot en met R_k afkomstige signalen van overdrachten in verband met de overdrachtseenheid 3, het geheugen M_1

1017012

voor tijdelijke gegevensopslag, invoeren/uitvoeren, onderbrekingen tussen programma's, uitwisselingen met DSP-rekenprocessor 7, enz.

De DSP-rekenprocessor 7 is in het bijzonder zeer geschikt voor hoge-snelheidsbewerkingen, zoals opmaakomzettingen, complex-getalvermenigvuldigingen, FFT-type Fourier-transformaties, correlaties tussen ontvangen signalen en uitgezonden signalen, digitale filtering, opeenvolgende-schotstapeling met onderdrukking van verstoringsruis van niet-seismische aard, combinatie van de door seismische ontvangers met meerdere assen, zoals bijvoorbeeld drie-assige geofonen, geleverde signalen, enz. Lokaal uitgevoerde voorverwerking voorafgaande aan overdracht draagt bij tot het aanzienlijk reduceren van het aantal aan het station op afstand gestelde taken.

Elke verwervingsbox kan ook bijvoorbeeld een stoot-type opslaggeheugen met grote capaciteit 9 omvatten, welk geheugen in staat is een bepaald gegevensvolume, dat later aan het centrale station kan worden overgedragen, absorberen.

De verwerkingseenheid (2, 7) in elke verwervingseenheid omvat bij voorkeur middelen voor het opslaan (in bijvoorbeeld werkgeheugen M_3) van reeksen coëfficiënten, die een bepaald aantal tussengelegen vooraf berekende filters F_1 tot F_N definiëren, en meetmiddelen C voor het nauwkeurig bepalen van het tijdsinterval D = int(D) + d tussen het tijdstip, waarop het bemonsteren van de door de seismische ontvangers geproduceerde signalen in opdracht van de lokale klok is begonnen, en het nauwkeurige tijdstip van aankomst van het referentiesignaal. Dit tijdsinterval houdt rekening met het uitzendtijdstip van het signaal door de seismische bron (TB) en ook met de effectieve voortplantingstijd van dit signaal naar de betreffende verwervingseenheid, via het overdrachtskanaal (kabel- of radioverbinding), die de bron met het centrale station CS verbindt, welke voortplantingstijd kan variëren als gevolg van de positie van de bron in het veld.

Nadat dit tijdsinterval D is gemeten, wordt de signaalprocessor 7 geprogrammeerd om a) de voor de referentietijd volgens de waarde van int(D) genomen monsters te hernummeren, zoals hierboven is beschreven, b) de coëfficiënten van het fractionele digitale filter te berekenen, welke ingericht zijn om het gemeten verschil te compenseren, en c) het geschikte vertragingsfilter toe te passen.

De coëfficiënten van het geschikte digitale filter worden bij voorkeur berekend, zoals hierboven is vermeld, door middel van interpolatie tussen de reeksen coëfficiënten van de N vooraf berekende filters F_1 tot F_N, die de fractie d van het tijdsinterval D begren-

zen, welke coëfficiënten zijn opgeslagen in geheugens M van de verwerkingseenheid 2, 7.

De uiterst nauwkeurige herinstelling, die wordt uitgevoerd tussen het door de of elke seismische bron uitgezonden signaal, maakt het mogelijk om de verwerkingsresultaten, zoals "spoor"stapeling of correlaties, die door elke verwervingsinrichting in het veld voorafgaande aan repatriëring van de seismische gegevens naar het centrale station worden uitgevoerd, te verbeteren.

De werkwijze is in het bijzonder gunstig in gevallen, waarbij bijvoorbeeld seismische bewerkingen worden uitgevoerd met trillingsinrichtingen, die gelijktijdig werken of met een tijdsvertraging ten opzichte van elkaar. Verwerving van de seismische signalen wordt vervolgens continu uitgevoerd. De correlatie, die gewoonlijk wordt uitgevoerd tussen elk trillingssignaal en de verworven signalen, vereist allereerst hersynchronisatie daarvan om de tijdsvertragingen in relatie tot de verschillende TB's in rekening te brengen. Deze bewerking wordt met betrekking tot de hiervoor geselecteerde softwaremiddelen zonder enige moeilijkheid uitgevoerd.

Bij gebruik van bijvoorbeeld vier stellen zwaaifrequentietrillingsinrichtingen met een zwaaitijd van 16 s, een verwervingsvenster of luisterperiode van 6 s en een verplaatsingstijdsinterval van 30 s, wordt een gemiddelde glijtijd van (16+6+30)/4=13 s bepaald. De signalen, die bedoeld zijn om gecorreleerd te worden, dienen allereerst heringesteld te worden, door als referentie het begin van elke tijdsperiode gelijk aan deze glijtijd te gebruiken. De verwervingseenheid van elke verwervingsinrichting is eenvoudig aanpasbaar om de gewenste instellingen met de signalen van de verschillende trillingsinrichtingen uit te voeren.

C O N C L U S I E S

1. Werkwijze voor gesynchroniseerde verwerving van seismische signalen door middel van ten minste een een analoog/digitaal-omzetter omvattende verwervingseenheid, die het mogelijk maakt om een reeks y[n] van vanaf ten minste een referentietijd (t_R) heringestelde monsters van elk signaal te verkrijgen uit een eerste reeks x[n] gedigitaliseerde monsters van dit seismische signaal, waarbij de eerste reeks door de analoog/digitaal-omzetter vanaf een begintijd voorafgaande aan de referentietijd met een bepaald bemonsteringsinterval (Δt) is geproduceerd, **met het kenmerk**, dat de werkwijze omvat:

- het detecteren van een voor de referentietijd (t_R) indicatief synchronisatiesignaal,
- het meten van het effectieve tijdverschil (D) tussen de referentietijd (t_R) en de begintijd (t_0),
- het bepalen van de coëfficiënten van een digitaal filter (F), dat ingericht is om het gemeten effectieve tijdverschil (D) te compenseren, waarbij de coëfficiënten voldoende in aantal zijn om een vaste tijdcompensatienauwkeurigheid te verkrijgen, en
- het op de eerste reeks monsters toepassen van het digitale compensatiefilter, dat het mogelijk maakt om een reeks vanaf de referentietijd (t_R) heringestelde gedigitaliseerde monsters te verkrijgen.

2. Werkwijze volgens conclusie 1, **met het kenmerk**, dat de berekening van de coëfficiënten van het fractionele filter het bepalen van rimpelmarges ($\Delta D,a$) van de amplitude respectievelijk de fase volgens de maximale tijdsfout (E_M), die het door het filter vertraagde signaal beïnvloedt, door het toepassen van de relatie:

$$E_M \approx \sqrt{\left[(\Delta D)^2 + (a)^2\right]}$$

omvat.

3. Werkwijze volgens conclusie 1 of 2, **met het kenmerk**, dat

- eerst de waarden van de coëfficiënten van N tussengelegen digitale filters (F_1 tot F_N), die ingericht zijn om N door de omzetter over de duur van het bemonsteringsinterval (Δt) van het seismische signaal verspreide tijdverschilwaarden te compenseren, worden bepaald, en dat vervolgens deze filtercoëfficiënten worden opgeslagen,
- de coëfficiënten van het fractionele-vertraging digitale filter, dat ingericht is om het gemeten effectieve tijdverschil (D) te

compenseren, worden berekend door middel van interpolatie tussen de coëfficiënten van de reeks filtercoëfficiënten, die met de dichtstbijzijnde verschilwaarden zijn verbonden, en

- het fractionele compensatiefilter wordt toegepast op de eerste reeks monsters.

4. Werkwijze volgens een van de voorgaande conclusies, **met het kenmerk**, dat de coëfficiënten van het digitale filter, dat ingericht is om het gemeten effectieve tijdverschil te compenseren, worden berekend door middel van een Lagrange-interpolatie.

5. Werkwijze volgens een van de voorgaande conclusies, **met het kenmerk**, dat het synchronisatiesignaal wordt opgewekt na detectie van een seismisch signaal.

6. Werkwijze volgens conclusie 5, **met het kenmerk**, dat het seismische signaal door ten minste een met de grond gekoppelde seismische bron wordt uitgezonden.

7. Werkwijze volgens conclusie 6, **met het kenmerk**, dat het seismische signaal door ten minste een seismische vibrator wordt uitgezonden.

8. Werkwijze voor verwerving van door in contact met de grond staande en ten minste met een seismische verwervingseenheid (A) op een afstand van een besturingsstation verbonden seismische ontvangers (R) opgepikte seismische signalen in reactie op elastische golven, die op referentietijden door zendmiddelen in de grond zijn afgegeven, **met het kenmerk**, dat de werkwijze omvat:

- het met een bepaald bemonsteringsinterval verwerven van ten minste een reeks gedigitaliseerde monsters van elk van deze seismische signalen door middel van een analoog/digitaal-omzetter (AD) in elke verwervingseenheid (A) vanaf een begintijd (t_0) voorafgaande aan de referentietijd,

- het door middel van elke verwervingseenheid detecteren van een voor de referentietijd (t_R) indicatief synchronisatiesignaal,

- het meten van het effectieve tijdsverschil (D) tussen de begintijd en de referentietijd (t_R),

- het bepalen van de coëfficiënten van een fractioneel digitaal filter (F) , dat ingericht is om het gemeten effectieve tijdsverschil te compenseren, waarbij de coëfficiënten voldoende in aantal zijn om een vaste compensatienauwkeurigheid te verkrijgen, en

- het toepassen van het compensatiefilter (F) op de eerste reeks monsters, waardoor het vormen van een reeks gedigitaliseerde

monsters, die vanaf de referentietijd (t_R) heringesteld zijn, mogelijk te maken.

9. Werkwijze volgens conclusie 7, **met het kenmerk**, dat elk synchronisatiesignaal wordt uitgezonden door het besturingsstation in reactie op het triggeren van zendmiddelen, en het effectieve tijdsverschil (D) tussen de begintijd en de referentietijd wordt gemeten door rekening te houden met de voortplantingstijd van het synchronisatiesignaal over een overdrachtskanaal (4, TC), dat elke verwervingseenheid (A) met het besturingsstation (CS) verbindt.

10. Werkwijze volgens conclusie 7 of 8, waarbij de elastische golven worden uitgezonden door verschillende vibrators, **met het kenmerk**, dat de werkwijze omvat:

- het door middel van elke verwervingseenheid (A) detecteren van synchronisatiesignalen, die in reactie op de afgifte van golven door elke vibrator worden uitgezonden, en het meten van de corresponderende effectieve tijdsverschillen (D),

- het bepalen van de coëfficiënten van de verschillende fractionele digitale filters (F), die ingericht zijn om de verschillende gemeten effectieve tijdverschillen te compenseren, waarbij de coëfficiënten voldoende in aantal zijn om een vaste compensatienauwkeurigheid te verkrijgen, en

- het toepassen van de verschillende compensatiefilters (F), die het vormen van een reeks vanaf de corresponderende referentietijd (t_R) heringestelde gedigitaliseerde monsters mogelijk maken.

11. Werkwijze volgens een van de voorgaande conclusies, **met het kenmerk**, dat de werkwijze het met de seismische signalen combineren van de verschillende verworven en heringestelde seismische signalen omvat.

12. Verwervingsinrichting voor gesynchroniseerde seismische signalen ingericht om uit elk seismisch signaal ten minste een reeks van vanaf een referentietijd (t_R) heringestelde gedigitaliseerde monsters uit een eerste reeks van vanaf ten minste een begintijd (t_0) voorafgaande aan de referentietijd (t_R) geproduceerde gedigitaliseerde monsters van deze seismische signalen te produceren, omvattende ten minste een verwervingseenheid (A) voorzien van een analoog/digitaal-omzetter (AD), die de eerste reeks monsters produceert, **met het kenmerk**, dat de inrichting in elke verwervingseenheid (A) omvat: een middel (3) voor het detecteren van een synchronisatiesignaal, een met middelen (M_1-M_3) voor het opslaan van door de omzet-

ter (AD) geproduceerde reeksen monsters verbonden verwerkingseenheid (2, 7), een meetmiddel (C) voor het meten van het tussen de begintijd en de referentietijd verstreken effectieve tijdinterval, waarbij de verwerkingseenheid (2, 7) is geprogrammeerd om coëfficiënten van een fractioneel digitaal filter, dat ingericht is om het gemeten effectieve tijdverschil te compenseren, te bepalen, en om het fractionele digitale compensatiefilter op de eerste reeks monsters toe te passen.

13. Verwervingsinrichting volgens conclusie 12, waarbij elk seismisch signaal door een in contact met de grond staande seismische ontvanger (R) wordt opgepikt, elke verwervingseenheid (A) middelen (RE, RR) bevat, die gegevensuitwisseling via een overdrachtskanaal (4, TC) met een station op afstand (CS), dat voorzien is van een middel voor het uitzenden van het synchronisatiesignaal in reactie op de detectie van een gebeurtenis, mogelijk maken, en een de verwervingseenheid bevattend besturingssysteem bevat, dat is ingericht om de seismische gegevens te verwerken, voordat deze naar het centrale station worden verzonden, **met het kenmerk**, dat de verwerkingseenheid (2, 7) is geprogrammeerd om coëfficiënten van een fractioneel digitaal filter, dat ingericht is om het door de meetmiddelen (C) gemeten effectieve tijdverschil te compenseren, te bepalen door het in rekening brengen van de voortplantingstijd van het synchronisatiesignaal over het elke verwervingseenheid (A) met het centrale station (CS) verbindende overdrachtskanaal.

14. Inrichting volgens conclusie 12 of 13, **met het kenmerk**, dat de inrichting middelen omvat voor het opslaan van coëfficiënten van N tussenliggende digitale filters (F_1 tot F_N), die ingericht zijn om N over de duur van het bemonsteringsinterval van het seismische signaal door de omzetter verspreide tijdsverschilwaarden te compenseren, en de verwerkingseenheid is ingericht om de coëfficiënten van het digitale filter, dat ingericht is om het gemeten effectieve tijdsverschil te compenseren, te berekenen door middel van interpolatie tussen de met de dicht bij elkaar gelegen verschilwaarden verbonden reeks filtercoëfficiënten, en om het compensatiefilter op de eerste reeks monsters toe te passen.

15. Inrichting volgens een van de conclusies 12 tot en met 14, voor gesynchroniseerde verwerving van seismische signalen in reactie op de afgifte van elastische golven in de grond door verschillende vibrators, **met het kenmerk**, dat de inrichting meetmiddeen omvat in elke verwervingseenheid (A) voor het detecteren van in reactie op de afgifte van golven door elke vibrator afgegeven synchronisatiesig-

nalen, en voor het meten van elk effectief tijdsverschil (D), waarbij de verwerkingseenheid omvat: middelen voor het bepalen van de coëfficiënten van de verschillende fractionele digitale filters (F), die ingericht zijn om de verschillende gemeten effectieve tijdsverschillen te compenseren, en middelen voor het toepassen van de verschillende compensatiefilters (F), om het vormen van een reeks vanaf de referentietijd (t_s) heringestelde gedigitaliseerde monsters mogelijk te maken.

16. Inrichting volgens een van de conclusies 12 tot en met 15, **met het kenmerk**, dat de inrichting in elke verwervingseenheid middelen voor het combineren van de uitgezonden signalen en de heringestelde signalen omvat.

FIG.2

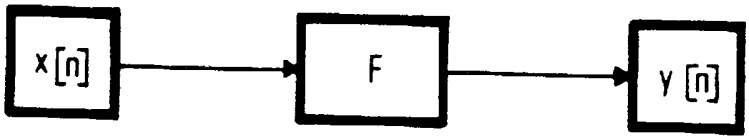


FIG.1

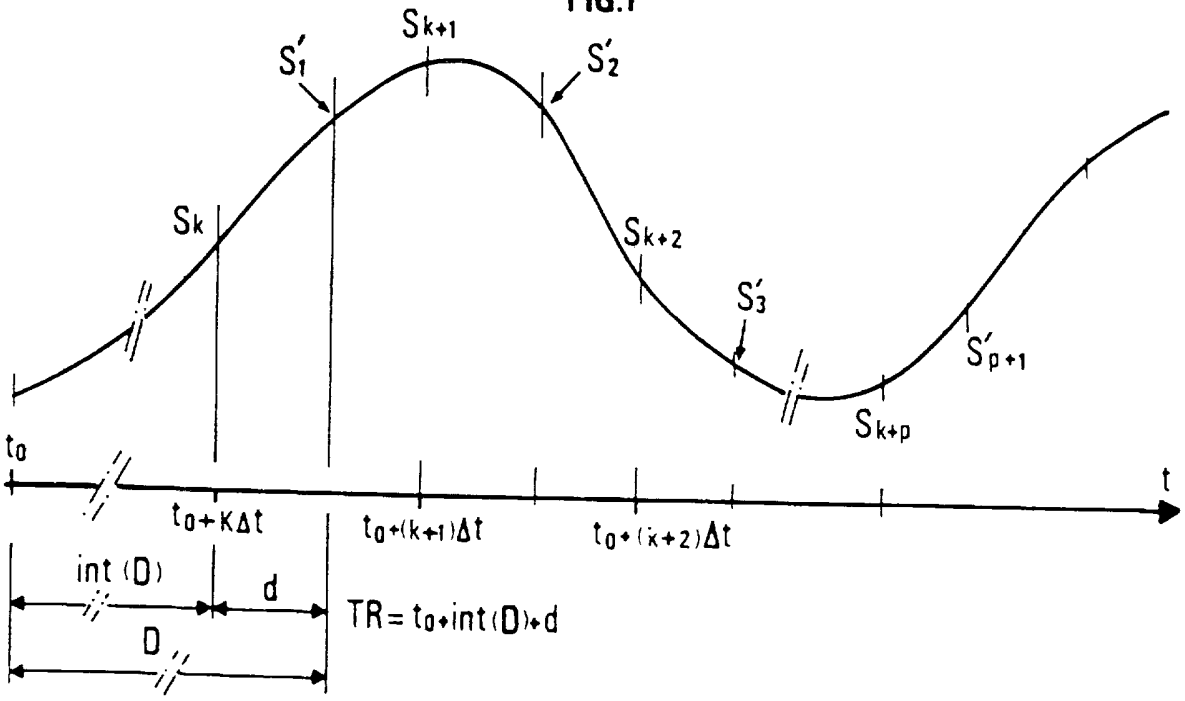


FIG.3

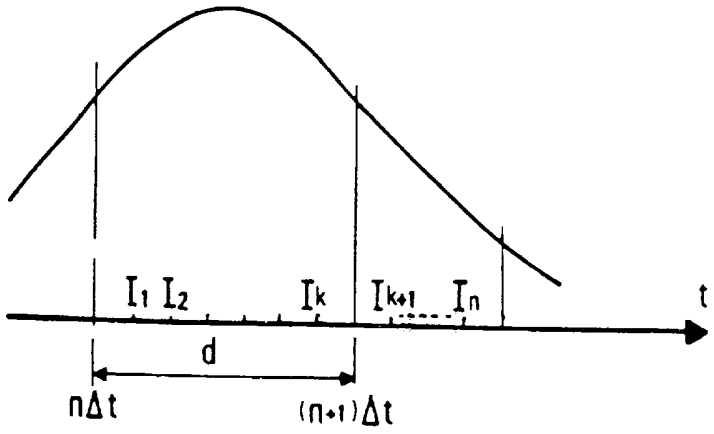
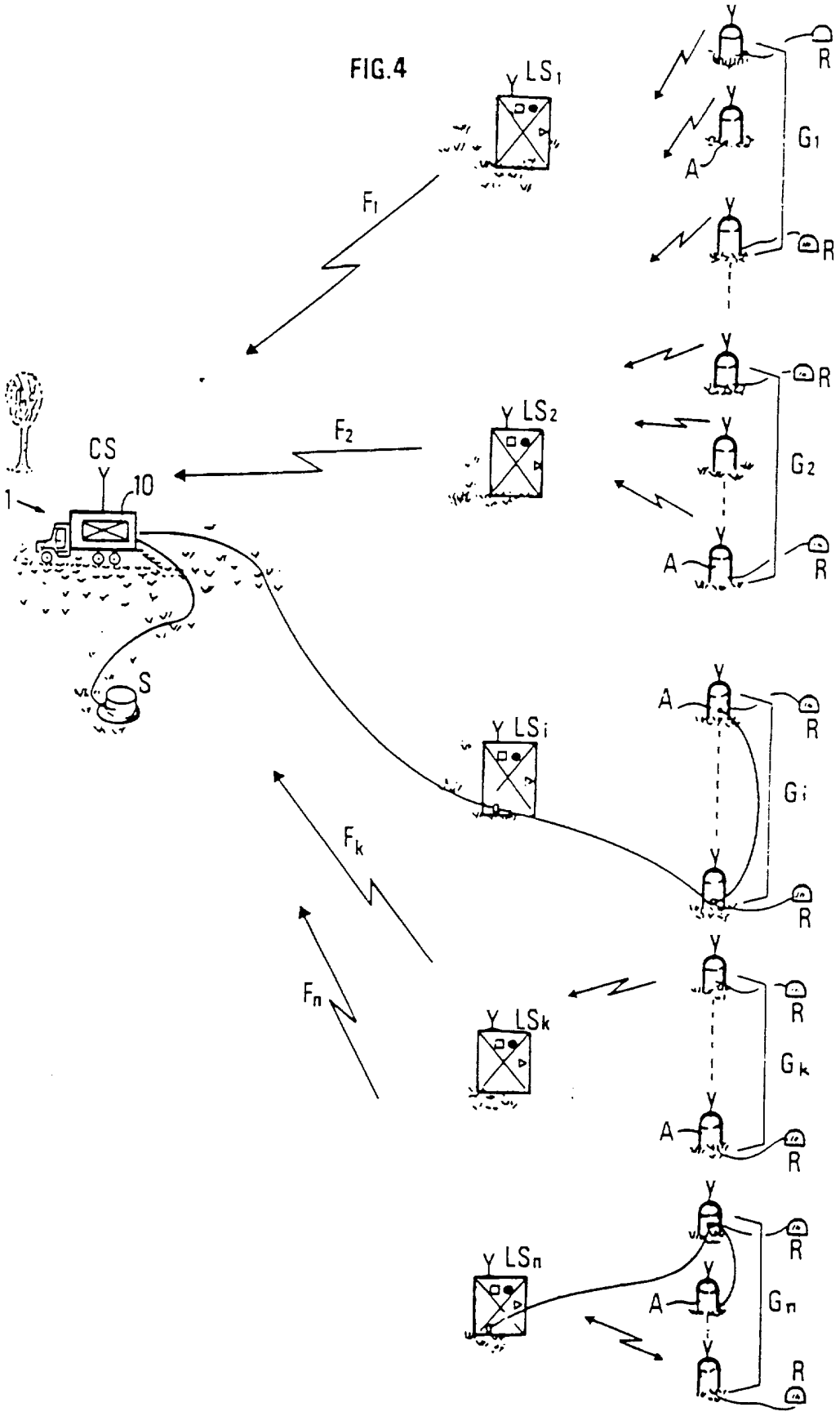


FIG.4


LS1
F1
R
G1
A
R
LS2
F2
R
G2
CS
10
1
A
R
S
LSi
A
R
Gi
Fk
R
Fn
LSk
R
Gk
A
R
LSn
R
A
Gn
R

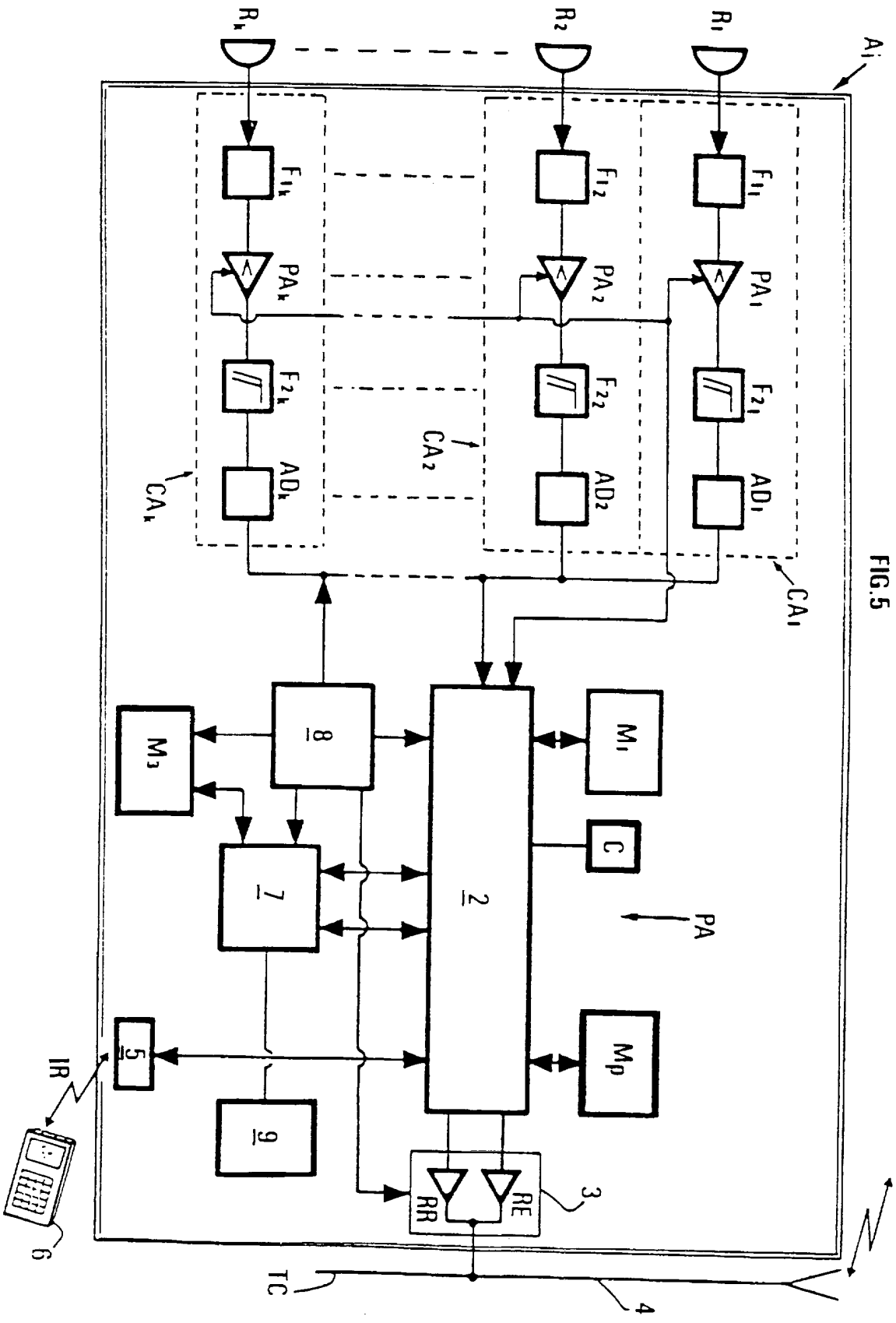

R1
R2
Rk
Ai
F11
F12
F1k
PA1
PA2
PAk
F21
F22
F2k
AD1
AD2
ADk
CA1
CA2
CAk
M1
M3
8
7
2
C
PA
Mp
5
9
IR
6
RE
RR
3
TC
4

FIG.5

FIG.6

filter orde	fractionele vertr.	gemaakte fout
35	0.5	$1.5*10^{-5}$
40	0.5	$1.7*10^{-5}$
42	0.5	$1*10^{-5}$
43	0.5	$6.2*10^{-5}$
44	0.5	$3.1*10^{-5}$
45	0.1	$3.25*10^{-7}$
	0.2	$6.1*10^{-7}$
	0.3	$9*10^{-7}$
	0.4	$1*10^{-6}$
	0.5	$1.3*10^{-6}$
50	0.1	$4.2*10^{-6}$
	0.2	$8*10^{-6}$
	0.3	$1.2*10^{-6}$
	0.4	$1.4*10^{-6}$
	0.5	$1.45*10^{-6}$
60	0.1	$4*10^{-6}$
	0.2	$7*10^{-8}$
	0.3	$1*10^{-7}$
	0.4	$1.2*10^{-7}$
	0.5	$1.25*10^{-7}$
	0.6	$1.25*10^{-7}$
	0.7	$1*10^{-7}$
	0.8	$7*10^{-8}$
	0.9	$4*10^{-6}$
80	0.1	$8*10^{-10}$

1013812

FIG.7

interpolatie type (orde v.d. interpolatiepolynoom)	verschil tussen twee opeenvolgende voorber. vertrag.	orde van de gemaakte max. tijdsfout
lineair	0.01	$2*10^{-5}$
	0.005	$1.2*10^{-5}$
	0.001	$2*10^{-7}$
	0.0001	$3.1*10^{-9}$
van de 2e orde	0.05	$1.25*10^{-5}$
	0.025	$2*10^{-6}$
	0.02	$8*10^{-7}$
	0.001	$2*10^{-8}$
van de 3e orde	0.025	$5*10^{-8}$
	0.05	10^{-7}
van de 4e orde	0.05	$2*10^{-4}$
	0.1	10^{-4}
van de 5e orde	0.1	$2*10^{-4}$

REPUBLIQUE FRANÇAISE

1013912

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRELIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national

FA 565874
FR 9815792

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	US 4 748 578 A (LAGADEC ROGER ET AL) 31 mai 1988 (1988-05-31) * colonne 11, ligne 34 - colonne 13, ligne 5; figures 10-13 * ---	1-3,8,10
A	EP 0 741 472 A (NOKIA TECHNOLOGY GMBH) 6 novembre 1996 (1996-11-06) * page 4, ligne 13 - ligne 38 * ---	1-4
D,A	US 5 245 647 A (THIERRY GERARD ET AL) 14 septembre 1993 (1993-09-14) ---	
D,A	LAAKSO T I ET AL: "SPLITTING THE UNIT DELAY" IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, vol. 13, no. 1, 1 janvier 1996 (1996-01-01), pages 30-60, XP002050526 ISSN: 1053-587X -----	

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)

G01V

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
9 septembre 1999	Swartjes, H

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X particulièrement pertinent à lui seul
Y particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général
O divulgation non-écrite
P document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 03.82 (P04C13)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRELIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO.

FA 565874
FR 9815792

La presente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche preliminaire visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnes a titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office europeen des brevets, ni de l'Administration française

09-09-1999

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4748578 A	31-05-1988	AT 14358 T	15-08-1985
		CA 1186751 A	07-05-1985
		EP 0052847 A	02-06-1982
		JP 1647512 C	13-03-1992
		JP 3009644 B	08-02-1991
		JP 57115015 A	17-07-1982
EP 0741472 A	06-11-1996	FI 952186 A	06-11-1996
		US 5812608 A	22-09-1998
US 5245647 A	14-09-1993	FR 2666946 A	20-03-1992
		CA 2051296 A	18-03-1992
		DE 69102113 D	30-06-1994
		DE 69102113 T	01-09-1994
		EP 0477077 A	25-03-1992
		JP 6237177 A	23-08-1994
		NO 302726 B	14-04-1998