

19



Octrooiraad
Nederland

11

Publikatienummer: **9302013**

12 A TERINZAGELEGGING

21

Aanvraagnummer: **9302013**

51

Int.Cl.⁶:
H03H 21/00, G10K 11/16

22

Indieningsdatum: **19.11.93**

43

Ter inzage gelegd:
16.06.95 I.E. 95/12

71

Aanvrager(s):
**Nederlandse Organisatie voor Toegepast-
Natuurwetenschappelijk Onderzoek TNO te Delft**

72

Uitvinder(s):
**Michiel Wilbert Rombout Maria van Overbeek
te Dordrecht**

74

Gemachtigde:
**Ir. L.C. de Bruijn c.s.
Nederlandsch Octrooibureau
Scheveningseweg 82
2517 KZ 's-Gravenhage**

54

Systeem voor snelle convergentie van een adaptief filter bij het genereren van een tijdvariant signaal ter opheffing van een primair signaal

57

Systeem voor het genereren van een secundair signaal ($Y_s(k)$) ter onderdrukking van een primair signaal ($Y_p(k)$) omvattend:

- middelen (8) voor het genereren van een referentiesignaal ($\varphi(k)$);
- een stuureenheid (1) met een digitaal filter voor het verschaffen van een ophefstuursignaal ($s(k)$);
- ophefgenereermiddelen (2) voor het genereren van het secundaire signaal ($Y_s(k)$);
- sensormiddelen (4) voor het verschaffen van een foutsignaal $\epsilon(k)$;
- actualiseringsmiddelen (5) voor het verschaffen van een actualiseringssignaal ($u_p(k)$);
- een aanpassingseenheid (7) voor het verschaffen van een gefilterd-x-signaal ($r(k)$) aan de actualiseringsmiddelen (5);
- middelen voor het actualiseren van filtercoëfficiënten ($\theta_{c,v}(k)$) van het filter in de stuureenheid (1) met behulp van het zogenaamde "projectie-algoritme" en
- een en ander zodanig dat de ingangscorrelatiematrix van het gefilterd-x-signaal ($r(k)$) een eigenwaardespreiding heeft die na zo min mogelijk stappen een waarde heeft van althans nagenoeg gelijk aan 1.

NL A 9302013

De aan dit blad gehechte afdruk van de beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekening(en) bevat afwijkingen ten opzichte van de oorspronkelijk ingediende stukken; deze laatste kunnen bij de Octrooiraad op verzoek worden ingezien.

Systeem voor snelle convergentie van een adaptief filter bij het genereren van een tijdvariant signaal ter opheffing van een primair signaal

De uitvinding heeft betrekking op een systeem voor het genereren van een geschat tijdvariant signaal ter onderdrukking van een primair signaal omvattend:

- middelen voor het genereren van tenminste één referentiesignaal;
- een stuur eenheid tenminste voorzien van een digitaal filter, een eerste ingang voor het ontvangen van het referentiesignaal, een tweede ingang voor het ontvangen van een actualiseringssignaal voor het actualiseren van coëfficiënten van het digitale filter en een uitgang voor het verschaffen van een ophefstuursignaal;

- ophefgenereermiddelen die zijn verbonden met de uitgang van de stuur eenheid voor het genereren van een ophefsignaal, dat is bestemd om na voortplanting langs een secundair overdrachtstraject met een secundaire trajectoverdrachtsfunctie als het geschatte tijdvariante signaal bij een optelpunt bij het primaire signaal te worden opgeteld ter verschaffing van een residusignaal,

- sensormiddelen voor het meten van het residusignaal bij het optelpunt en het verschaffen van een foutsignaal;

- actualiseringsmiddelen voorzien van een ingang die is verbonden met de sensormiddelen en een uitgang voor het verschaffen van het actualiseringssignaal.

Een dergelijk systeem is bekend uit het Amerikaanse octrooischrift 4.878.188.

Het bekende systeem kan onder meer worden gebruikt voor het opheffen van storende geluid (het primaire signaal) van een roterende machine en omvat middelen voor het genereren van een referentiesignaal, die bijvoorbeeld bestaan uit een tachometer van een roterende machine of een optische sensor voor het meten van het toerental van de roterende machine. Voorts omvat het bekende systeem een signaalverwerker voor het genereren van een ophefstuursignaal, dat wordt toegevoerd aan ophefsignaalgenereermiddelen voor het genereren van een ophefsignaal, dat het primaire signaal binnen een bepaald gebied zoveel mogelijk dient op te heffen. Het residusignaal in dat gebied wordt gemeten met geschikte sensormiddelen, waarvan het uitgangssignaal wordt toegevoerd aan actualiseringsmiddelen. Deze laatste middelen produceren een actualiseringssignaal voor de signaalverwerkingsmiddelen ten behoeve van het actualiseren van de filtercoëfficiënten van een daarin aanwezig adaptief filter. Het actualiseringssignaal is afgeleid van het residusignaal en kan bijvoor-

9302013

beeld worden bepaald met behulp van de Least Mean Square (LSM) methode en is er op gericht het residusignaal zo klein mogelijk te laten worden.

In het systeem volgens het genoemde Amerikaanse octrooischrift wordt, in het geval van een meerkanaalsuitvoering, het referentiesignaal
5 via n basisreferentiesignalen op n parallelle takken aan de signaalverwerkingsmiddelen aangeboden. Elk basisreferentiesignaal wordt toegevoerd aan een cosinusgenerator en een sinusgenerator. De cosinusgenerator produceert een basiscosinussignaal met een bepaalde basisfrequentie en aan aantal hogere harmonischen daarvan. De sinusgenerator produceert een
10 basissinussignaal met een bepaalde basisfrequentie en aan aantal hogere harmonischen daarvan. Alle cosinus- en sinussignalen worden vermenigvuldigd met geschikte filtercoëfficiënten van het adaptieve filter. Fase-middelen worden toegepast om er voor te zorgen dat het aanpassen van de filtercoëfficiënten zodanig geschiedt, dat de filterkarakteristieken
15 binnen 90° van het primaire signaal blijven. Een sommeereenheid tenslotte telt alle aldus gemodificeerde cosinus- en sinussignalen bij elkaar op om het ophefstuursignaal te genereren.

Voor verschillende soorten primaire signalen blijkt de convergentiesnelheid van de in de stand van de techniek toegepaste algoritmen
20 matig te zijn, bijvoorbeeld voor snel veranderende periodieke signalen, die bijvoorbeeld optreden in de uitlaat van een auto, en voor pulsachtige signalen. Met de convergentiesnelheid wordt hier bedoeld de snelheid waarmee een toegepast regelsysteem naar de toestand van zo volledig mogelijke geluidsonderdrukking gaat. Ook in meerkanaalssystemen blijkt
25 de convergentiesnelheid van de bekende algoritmen niet optimaal te zijn.

Een doelstelling van de uitvinding is om een systeem en een werkwijze te verschaffen waarmee de snelheid van convergentie van het toegepaste algoritme wordt vergroot ten opzichte van de stand van de techniek.

30 Daartoe heeft een systeem van de bij de aanvang genoemde soort het kenmerk, dat

- het systeem voorts een aanpassingseenheid omvat met een ingang voor het ontvangen van het tenminste ene referentiesignaal en een uitgang voor het verschaffen van een gefilterd-x-signaal, welke uitgang met
35 een verdere ingang van de actualiseringsmiddelen is verbonden;

- de aanpassingseenheid dezelfde overdrachtsfunctie heeft als de overdrachtsfunctie van het secundaire traject;

- middelen zijn voorzien voor het actualiseren van de filtercoëfficiënten met behulp van het zogenaamde "projectie-algoritme" en

40 - de middelen voor het genereren van het referentiesignaal het

genoemde referentiesignaal zodanig genereren, dat een als volgt gedefinieerde ingangscorrelatiematrix

$$\sum_{k=1}^n \frac{\bar{x}(k) \bar{x}^H(k)}{\bar{x}^H(k) \bar{x}(k)}$$

5 een eigenwaardespreiding heeft die na zo min mogelijk stappen een waarde heeft van althans nagenoeg gelijk aan 1.

Door het gebruik van een combinatie van een projectiealgoritme en het selecteren van het referentiesignaal op de hierboven gedefinieerde wijze wordt in de praktijk een snellere convergentie bereikt dan volgens
10 de stand van de techniek mogelijk is.

Bij voorkeur betreft het systeem volgens de uitvinding een meerkanalssysteem dat wil zeggen een systeem, waarin de ophefgenereermiddelen uit diverse ophefgenereereenheden bestaan en de sensormiddelen uit diverse sensoreenheden, waarbij de stureenheid is voorzien van middelen
15 voor het actualiseren van coëfficiënten van het digitale filter volgens de volgende recursieve betrekking:

$$\bar{\theta}_{c,v}(k) = \bar{\theta}_{c,v}(k-1) - \gamma [R_v(k) R_v^H(k)]^{-1} R_v(k) \bar{\varepsilon}(k)$$

met: $\bar{\theta}_{c,v}(k)$ een L-dimensionele filtercoëfficiëntenvector, als er L op-
20 hefsignaalgeneratoren aanwezig zijn;

γ = stapgrootteparameter;

$R_v(k)$ een LxM matrix die als elementen ingangssignalen $r_{v,1,m}(k)$ bevat, als er M sensoren aanwezig zijn;

$\bar{\varepsilon}(k)$ = foutsignaalvector met M elementen afkomstig van de M senso-
25 ren.

In een uitvoeringsvorm voor een enkelkanaalssysteem heeft het systeem volgens de uitvinding het kenmerk, dat

- de middelen voor het genereren van het referentiesignaal zijn ingericht voor het genereren van het volgende referentiesignaal:

30

$$\bar{\varphi}_r(k) = [\varphi_1(k) \varphi_2(k) \dots \varphi_I(k)]^T$$

met:

$$\varphi_v(k) = \exp(j2\pi f_v k \Delta t)$$

- de actualiseringseenheid is voorzien van middelen om het actuali-
5 seringssignaal als volgt te berekenen:

$$up_v(k) = \gamma \frac{r_v(k) \varepsilon(k)}{(\alpha' + r_v^*(k) r_v(k))}$$

met: γ = stapgrootte

α' = kleine constante ter vermijding van een deling door 0;

10 - de stuu eenheid is voorzien van middelen om de filtercoëffici-
enten als volgt te berekenen:

$$\theta_{c,v}(k) = \theta_{c,v}(k-1) - up_v(k)$$

Voorts kan het systeem volgens de uitvinding schattingsmiddelen
15 omvatten voor het schatten van de overdrachtsfunctie van het secundaire
traject die een ingang hebben verbonden met de sensormiddelen en een
uitgang hebben verbonden met de aanpassingseenheid voor het versturen
van een uitgangssignaal voor het actualiseren van de in de aanpassings-
eenheid gebruikte overdrachtsfunctie.

20 De stuu eenheid, de actualiseringsmiddelen en de aanpassingseenheid
en de eventueel toegepaste schattingsmiddelen kunnen tezamen in software
van een computer zijn geïmplementeerd.

De ophefgenereermiddelen kunnen zijn geselecteerd uit de volgende
middelen:

25 tenminste één luidspreker, tenminste één trillingsgenerator, ten-
minste één regelbare stromings-geïnduceerde geluidsbron of een combina-
tie daarvan en de sensormiddelen kunnen zijn geselecteerd uit de vol-
gende middelen:

30 tenminste één geluidsdruksensor, tenminste één trillingsopnemer of
een combinatie daarvan.

De uitvinding zal hierna nader worden toegelicht aan de hand van
enkele uitvoeringsvoorbeelden, die zijn bedoeld ter illustratie van het
principe van de uitvinding en niet ter beperking daarvan.

9302013

Figuur 1 toont een blokschema van een bekend anti-geluidssysteem;
 Figuur 2 toont een voorbeeld van blokschema van een anti-geluidssysteem volgens de uitvinding.

Uit de wiskunde is het volgende bekend. Stel er is een primaire
 5 functie $P(n)$:

$$P(n) = \sum_{i=1}^I a_i(n) \cdot f_i(x_n) \quad (1)$$

met: $a_i(n)$ = vermenigvuldigingscoëfficiënt

$f_i(x_n)$ = een bekende functie met een variabele x_n

10 $i = 1, 2, 3, \dots, I$, waarbij I een vooraf bepaalde waarde heeft

Wil men de diverse $a_i(n)$ berekenen uit een aantal metingen van x_n dan moet aan een aantal voorwaarden zijn voldaan. Ten eerste moet gelden: $I \leq n$ en ten tweede moeten de diverse $a_i(n)$ stationair zijn. Dan kunnen de diverse $a_i(n)$ worden berekend met de kleinste kwadraten methode. Daar-
 15 voor zijn evenveel stappen nodig als er coëfficiënten $a_i(n)$ zijn.

Is echter P vervuild met ruis, dan kan de kleinste kwadraten methode niet worden toegepast. Gelden de beide andere boven genoemde voorwaarden wel, dan kan de kleinste kwadraten foutmethode worden gebruikt. Voorts kunnen soms grote matrices in de berekeningen voorkomen, die de
 20 rekentijd van een gebruikte rekeneenheid zwaar belasten, en is de primaire functie $P(n)$ lang niet altijd beschikbaar, zoals in anti-geluidssystemen. Indien dit het geval is, zou de recursieve kleinste kwadraten foutmethode kunnen worden toegepast. Als de coëfficiënten $a_i(n)$ zelf niet tijd-invariant zijn kan de kleinste kwadraten methode in het geheel
 25 niet worden toegepast.

Mocht P vervuild zijn met ruis, in de berekening een bijzonder grote matrix voorkomen en mochten de coëfficiënten $a_i(n)$ zelf niet tijd-invariant zijn, dan kan, zoals op zich uit de wiskunde bekend is, met succes het zogenaamde "projectie-algoritme" worden toegepast. Door een
 30 projectie-algoritme tezamen met orthogonale functies te gebruiken kunnen de I coëfficiënten $a_i(n)$ zelfs in n stappen worden geschat. Een directe toepassing van een projectie-algoritme met orthogonale functies in een systeem voor het produceren van bijvoorbeeld anti-geluid is niet mogelijk zonder de nodige aanpassingen, omdat het door het anti-geluid afge-
 35 legde traject (het "secundaire traject") faseverschuivingen en tijdvertragingen introduceert. Bovendien worden in het algemeen geen orthogonale functies aan het systeem aangeboden. De noodzakelijke aanpassingen

van een projectie-algoritme met orthogonale functies voor bijvoorbeeld een anti-geluidstelsel zullen hieronder zullen worden toegelicht. Daaruit zal blijken, dat in de praktijk het definiëren van orthogonale functies vaak te veel rekentijd in beslag neemt en een benadering van de
 5 ideale toestand -d.w.z. het gebruik van een projectie-algoritme met orthogonale functies- de voorkeur verdient.

Figuur 1 toont een bekend model van een anti-geluidstelsel. Een referentiesignaal $\varphi(k)$ wordt opgewekt door een referentiesignaalgenerator 8 en wordt toegevoerd aan een stuureenheid 1, dat een ophefstuursignaal $s(k)$ berekent. Het ophefstuursignaal wordt via geschikte verbin-
 10 dingsmiddelen naar een ophefsignaalgenerator 2 geleid, die een ophefsignaal genereert, dat na passage door een secundaire traject met overdrachtsfunctie H als procesuitgangssignaal $y_s(k)$ in een bepaald gebied 3 aankomt, waar het door optelling een primair signaal $y_p(k)$ dient op te
 15 heffen. Het na de optelling ontstane signaal -het residusignaal $y_r(k)$ - wordt gedetekteerd met behulp van een sensor 4, die een uitgangssignaal $\varepsilon(k)$ toevoert aan actualiseringsmiddelen 5. De actualiseringsmiddelen 5 ontvangen tevens het referentiesignaal $\varphi(k)$ en produceren een actualiseringsignaal $u_p(k)$, dat wordt toegevoerd aan de stuureenheid 1 en aldaar
 20 wordt gebruikt om de filtercoëfficiënten van een toegepast filter te actualiseren.

In een meerkanaalssysteem zijn er diverse ophefsignaalgeneratoren 2 en diverse sensoren 4 aanwezig.

Het primaire signaal $y_p(k)$ kan worden gemodelleerd als een afgelei-
 25 de van het referentiesignaal $\varphi(k)$, waarbij dit laatste signaal een primair traject met primaire overdrachtsfunctie H_p doorloopt. Stel dat het referentiesignaal $\varphi(k)$ met voldoende nauwkeurigheid kan worden weergegeven door N frequentiecomponenten, dan kan $\varphi(k)$ als enkelvoudig referentiesignaal in het complexe vlak als volgt worden weergegeven:

30

$$\varphi(k) = \sum_{v=1}^N \exp(j2\pi f_v k \Delta t) \quad (2)$$

met: $\varphi(k)$ = referentiesignaal op tijdstip $k\Delta t$

f_v = een frequentiecomponent

Het primaire signaal $y_p(k)$ zal het primaire traject hebben doorlo-
 35 pen alvorens bij punt 3 te zijn aangekomen. Indien nu voor een bij het primaire traject behorend primair proces en voor de stuureenheid 1 een eindige impulsresponsie van lengte I kan worden gebruikt, dan kunnen

zowel het primaire signaal $y_p(k)$ als het ophefstuursignaal $s(k)$ als lineaire combinaties van opeenvolgende signalen $\varphi(k)$, $\varphi(k-1)$... $\varphi(k-I+1)$ worden weergegeven. De ingangselementen kunnen worden verzameld in een tijdvector $\overline{\varphi}_t(k)$:

$$\overline{\varphi}_t(k) = [\varphi(k) \ \varphi(k-1) \ \dots \ \varphi(k-I+1)]^T \quad (3)$$

5

Het filter dat in de stuureenheid 1 wordt toegepast gebaseerd op een eindige impulsresponsie wordt meestal een transversaal filter genoemd.

De referentiesignalen kunnen ook anders worden gedefinieerd. Er kunnen namelijk onafhankelijke golfvormgeneratoren worden toegepast om diverse referentiesignalen te genereren. De ingangssignalen voor het primaire proces met overdrachtsfunctie H_p en de stuureenheid zijn dan meerdimensioneel. Stel dat het primaire signaal I frequentiecomponenten $v = 1, \dots, I$ omvat, dan bevatten het primaire signaal $y_p(k)$ en het ophefstuursignaal $s(k)$ een lineaire combinatie met complexe coëfficiënten van de volgende tijdfuncties in het complexe vlak:

$$\varphi_v(k) = \exp(j2\pi f_v k \Delta t) \quad (4)$$

hetgeen de functies zijn waarop een Fourier-transformatie kan worden gebaseerd. De genoemde complexe coëfficiënten zijn dan Fourier-coëfficiënten. Aldus kunnen de ingangselementen ook worden gemodelleerd als een "Fourier-vector":

$$\overline{\varphi}_f(k) = [\varphi_1(k) \ \varphi_2(k) \ \dots \ \varphi_I(k)]^T \quad (5)$$

Een stuureenheid die op formule (5) is gebaseerd kan een Fourier-stuureenheid worden genoemd.

Wil het eerder genoemde projectiealgoritme met orthogonale functies toepasbaar zijn, dan zullen twee opeenvolgende referentievectoren volgens formule (3) of (5) (dus voor bijvoorbeeld $k=j$ en $k=j+1$) steeds orthogonaal moeten zijn. Voor een algoritme dat is gebaseerd op referentiesignalen die zijn gedefinieerd volgens formule (3) is het bijna nooit mogelijk om opeenvolgende tijdvectoren $\overline{\varphi}_t(k)$ orthogonaal te maken. Voor twee opeenvolgende Fourier-vectoren $\overline{\varphi}_f(k)$ zoals gedefinieerd in formule (5) is dit in principe wel mogelijk. Dit kost in de praktijk echter zeer veel rekentijd en zou het doel van snelle convergentie niet dienen. Dit

laatste geldt in het bijzonder wanneer het orthogonaliseren wordt gedaan in het bekende "gefilterde-x" Least Mean Square algoritme (zie voor details daarvan: B. Widrow en S.D. Stearns, "Adaptive Signal Processing", Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1985; S.J. Elliott, I.M. Stothers en P.A. Nelson, "A multiple error LMS algorithm and its application to the active control of sound and vibration", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, Vol. ASSP 35, pp. 1423-1434, Oct. 1987; en L.J. Eriksson, M.C. Allie en R.A. Greiner, "The selection and application of an IIR adaptive filter for use in active sound attenuation", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, Vol. ASSP 35, pp. 433-437, April 1987).

Het probleem van te veel rekentijd kan worden vermeden door de referentievectoren zodanig te kiezen of modificeren, dat de eigenwaardespreiding van een ingangscorrelatiematrix voor de actualiseringsmidde-
 15 len 5 na zo min mogelijk stappen, die nodig zijn voor het berekenen van de filtercoëfficiënten van het in de stuureenheid aanwezige filter, althans nagenoeg gelijk aan 1 is geworden, ook al zal dat in meer stappen gebeuren dan bij een orthogonaal stelsel referentievectoren. Dit zal hieronder nader worden toegelicht.

20 Bij een reeks referentievectoren $\bar{\varphi}_t(k)$ ($k = 1, 2, \dots$), zoals gedefinieerd in formule (3), blijkt een dergelijke eigenwaardespreiding meestal verre van optimaal te zijn. Dat geldt vaak zelfs nog na duizenden stappen van het toegepaste algoritme. Het blijkt echter dat, indien wordt uitgegaan van formule (5) en de reeks referentievectoren $\bar{\varphi}_r(k)$ (k
 25 $= 1, 2, \dots$) zoals gedefinieerd in formule (4), de eigenwaardespreiding van de autocorrelatiematrix na 1 periode van het signaal reeds gelijk aan is 1.

Nu zal het voorkeursalgoritme worden afgeleid voor een enkel kanaals-anti-geluidstelsel en onder de voorwaarden, dat zowel het primaire
 30 proces als het secundaire proces lineair is.

Het ophefstuursignaal $s(k)$ ($k = 1, 2, \dots, n$) kan worden geschreven als:

$$s(k) = \bar{\varphi}^H(k) \bar{\theta}_c(k-1) \quad (6)$$

35 waarin "^H" duidt op de getransponeerde van de geconjugeerde van de complexe vector, $\bar{\varphi}^H(k)$ de vector is die de ingangswaarden voor de stuureenheid 1 omvat en $\bar{\theta}_c(k-1)$ de vector is die de meest recente filtercoëfficiënten van de stuureenheid 1 omvat.

Neem aan dat het tijdinvariante secundaire proces kan worden gemodelleerd als een eindige impulsresponsie (FIR) met coëfficiënten h_j , dan kan het uitgangssignaal $y_s(k)$ van het secundaire proces worden geschreven als een convolutie van het ophefstuursignaal $s(k)$ en de eindige impulsresponsie h_j :

$$y_s(k) = \sum_{j=0}^{J-1} h_j s(k-j) \quad (7)$$

Voor een ideale sensor 4 geldt: de gemeten fout $\varepsilon(k) = y_p(k) + y_s(k)$, zodat voor een tijdvertragingstuureenheid de fout $\varepsilon(k)$ kan worden geschreven als:

$$\varepsilon(k) = y_p(k) + \sum_{j=0}^{J-1} h_j \sum_{i=0}^{I-1} \varphi^*(k-j-i) \theta_{c,i}(k-j-1) \quad (8)$$

Hierin duidt "*" op de complexe geconjugeerde van de betreffende vector. Voor een op vergelijking (5) gebaseerde Fourier-stuureenheid kan de fout $\varepsilon(k)$ worden geschreven als:

$$\varepsilon(k) = y_p(k) + \sum_{j=0}^{J-1} h_j \sum_{v=1}^N \varphi_v^*(k-j) \theta_{c,v}(k-j-1) \quad (9)$$

Om het schattingsproces te vereenvoudigen wordt gebruik gemaakt van de eerder genoemde, op zich zelf bekende gefilterde-x-configuratie. Daarbij wordt er van uit gegaan, dat indien de stapgrootteparameter γ klein wordt gekozen, de verandering in de geschatte filtercoëfficiënten gering is gedurende de lengte van de eindige impulsresponsie (gedurende J monsters). Dan geldt met andere woorden:

$$\theta_{c,i}(k-1-j) \approx \theta_{c,i}(k-1) \text{ voor } j=0, \dots, J-1 \quad (10)$$

25

Uitgaande van formule (10) kan de fout $\varepsilon(k)$ bij gebruik van een tijdvertragingstuureenheid worden geschreven als:

30 en bij gebruik van een Fourier-stuureenheid:

9302013

$$\varepsilon(k) \approx y_p(k) + \sum_{i=0}^{I-1} \theta_{c,i}(k-1) \sum_{j=0}^{J-1} h_j \varphi^*(k-j-i) \quad (11)$$

$$\varepsilon(k) \approx y_p(k) + \sum_{v=1}^N \theta_{c,v}(k-1) \sum_{j=0}^{J-1} h_j \varphi_v^*(k-j) \quad (12)$$

Vergelijkingen (11) en (12) kunnen ook worden geschreven in de volgende vectornotatie:

$$\varepsilon(k) \approx y_p(k) + \bar{r}^H(k) \bar{\theta}_c(k-1) \quad (13)$$

5

waarin de componenten van de vector $\bar{r}^H(k)$ voor het geval van een tijdvertragingstuureenheid gelijk zijn aan de waarde gedefinieerd in formule (14) en in het geval van een Fourier-stuureenheid aan de waarde gedefinieerd in formule (15):

10

$$r_i(k) = \sum_{j=0}^{J-1} h_j^* \varphi(k-j-i) \quad (14)$$

$$r_v(k) = \sum_{j=0}^{J-1} h_j^* \varphi_v(k-j) \quad (15)$$

De vector $\bar{r}^H(k)$ wordt het gefilterde-x-signaal genoemd.

15 Indien het secundaire pad bekend is, wordt het actualiseren van de filtercoëfficiënten bij kleine stapgrootteparameters gereduceerd tot een algemeen lineaire besturingsconfiguratie. Indien nu het op zich zelf bekende projectiealgoritme wordt toegepast op de bovengenoemde gefilterde-x-configuratie kan het volgende algoritme voor het actualiseren van
20 de filtercoëfficiënten worden afgeleid:

$$\bar{\theta}_c(k) = \bar{\theta}_c(k-1) - \gamma \frac{\bar{r}^H(k) \varepsilon(k)}{\alpha + \bar{r}^H(k) \bar{r}(k)} \quad (16)$$

met: $\bar{\theta}_c(k)$ = filtercoëfficiëntenvector op "tijdstip" k
 γ = stapgrootteparameter

α = een kleine reële constante om deling door 0 te vermijden

Het actualiseren van de filtercoëfficiënten met behulp van algoritme (16) kan worden geïmplementeerd met behulp van het in figuur 2 weergegeven schema. In figuur 2 verwijzen dezelfde verwijzingscijfers naar dezelfde elementen als in figuur 1. In plaats van een referentiesignaal $\phi(k)$ is direct verwezen naar een referentiesignaalvector $\phi(k)$, zoals gedefinieerd in ofwel formule (3) ofwel formule (5). Voorts is in plaats van een enkel actualiseringssignaal $up(k)$ een actualiseringsvector $\overline{up}(k)$ weergegeven, waarin alle actualiseringssignalen voor alle filtercoëfficiënten van de stureenheid 1 zijn opgenomen. Tussen het referentiesignaal $\phi^*(k)$ en de ingang van de actualiseringseenheid 5 is een aanpassingseenheid 7 toegevoegd. De aanpassingseenheid 7 past het aan de actualiseringseenheid 5 toegevoerde referentiesignaal $\phi^*(k)$ aan volgens de bewerking van formule (14), respectievelijk (15), afhankelijk daarvan of het referentiesignaal is gedefinieerd volgens formule (3), respectievelijk (5). Het aan de actualiseringseenheid toegevoerde signaal is het gefilterde-x-signaal $\overline{r}^*(k)$. Aan de hand van dit gefilterde-x-signaal $\overline{r}^*(k)$ berekent de actualiseringseenheid een actualiseringssignaal $\overline{up}(k)$ volgens de volgende formule:

20

$$\overline{up}(k) = \gamma \frac{\overline{r}^*(k) \varepsilon(k)}{\alpha + \overline{r}^H(k) \overline{r}^*(k)} \quad (16')$$

De genormaliseerde ingangscorrelatiematrix in deze gefilterde-x-configuratie is gelijk aan ($k = 1, 2, \dots, n$):

$$\sum_{k=1}^n \frac{\overline{r}^*(k) \overline{r}^H(k)}{\overline{r}^H(k) \overline{r}^*(k)} \quad (17)$$

25

Nu blijkt dat de eigenwaardespreiding van deze autocorrelatiematrix nog sterk afhangt van de ingangsvectoren. Voor een tijdvertragingseenheid is optimalisatie in het algemeen lastig. Voor een Fourier-stureenheid kan de matrix volgens formule (17) echter eenvoudig worden geoptimaliseerd, indien de matrix een diagonaalmatrix zou zijn, dus indien alle niet op de diagonaal liggende elementen van de matrix klein zouden zijn ten opzichte van de diagonaalelementen. Aan deze voorwaarde wordt voldaan indien twee willekeurige componenten van de ingangsvector steeds onafhankelijk zijn. Het is aannemelijk dat voor een Fourier-stureenheid

na enkele stappen van de berekening de niet op de diagonaal liggende elementen van de matrix (17) verwaarloosbaar klein zijn geworden ten opzichte van de diagonaalelementen, zodat in dat geval de matrix (17) in goede benadering een diagonaalmatrix is. De eigenwaardespreiding van de matrix (17) zal dan althans nagenoeg gelijk zijn aan 1, als de componenten $\theta_{c,v}(k)$ van de vector $\bar{\theta}_c(k)$ in het actualiseringsalgoritme volgens formule (16) worden geschaald met de volgende factor:

$$\frac{r_v^*(k) r_v(k)}{\sum_{v=1}^N r_v^*(k) r_v(k)} \quad (18)$$

10 Gebruik van formule (18) resulteert in de volgende recursieve betrekking voor het berekenen van de filtercoëfficiënten $\theta_{c,v}(k)$:

$$\theta_{c,v}(k) = \theta_{c,v}(k-1) - \gamma \frac{r_v(k) \varepsilon(k)}{(\alpha' + r_v^*(k) r_v(k))} \quad (19)$$

waarin: α' een kleine constante is ter vermindering van deling door 0.

15 Bij implementatie van het algoritme volgens formule (19) dient het reële deel te worden gescheiden van het imaginaire deel. Indien slechts één filtercoëfficiënt $\theta_c(k)$ zou hoeven te worden berekend, wordt algoritme (19) gereduceerd tot:

$$\begin{pmatrix} \text{Re}[\theta_c(k)] \\ \text{Im}[\theta_c(k)] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Re}[\theta_c(k-1)] \\ \text{Im}[\theta_c(k-1)] \end{pmatrix} - \gamma \frac{\begin{pmatrix} \text{Re}[r(k)] \\ \text{Im}[r(k)] \end{pmatrix} \varepsilon(k)}{\alpha + \text{Re}[r(k)]^2 + \text{Im}[r(k)]^2} \quad (20)$$

20

Bij meerdere ingangssignalen geldt algoritme (20) voor alle $\theta_{c,v}(k)$.

Voor meerkanaalssystemen, dat wil zeggen systemen waarin diverse ophefsignaalgeneratoren 2 en diverse sensoren 4 worden toegepast, kan een soortgelijk algoritme worden afgeleid voor het actualiseren van de filtercoëfficiënten in de stuureenheid 1. Voor een meerkanaalssysteem kan de volgende recursieve betrekking voor de filtercoëfficiënten $\bar{\theta}_{c,v}(k)$ worden afgeleid:

30

9302013

$$\overline{\theta}_{c,v}(k) = \overline{\theta}_{c,v}(k-1) - \gamma [R_v(k) R_v^H(k)]^{-1} R_v(k) \bar{\epsilon}(k) \quad (21)$$

met: $\overline{\theta}_{c,v}(k)$ een L-dimensionele filtercoëfficiëntenvector, als er L ophefsignaalgeneratoren 2 aanwezig zijn;

γ = stapgrootteparameter;

$R_v(k)$ een LxM matrix die als elementen ingangssignalen $r_{v,1,m}(k)$ bevat, als er M sensoren 4 aanwezig zijn;

5 $\bar{\epsilon}(k)$ = foutsignaalvector met M elementen afkomstig van de M sensoren 4.

Er kan worden aangetoond dat ook voor het meerkanaalsalgoritme volgens formule (21) de convergentiesnelheid optimaal is en niet afhangt
10 van de positie van de diverse ophefsignaalgeneratoren 2 en de diverse sensoren 4.

In het bovenstaande is er van uit gegaan, dat de overdrachtsfunctie H van het secundaire traject bekend en stationair is. In werkelijkheid is het secundaire traject lang niet altijd stationair, hetgeen met zich
15 mee brengt, dat de componenten h_j van de overdrachtsfunctie H, zoals gebruikt in de aanpassingseenheid 7, niet stationair zijn. Het is mogelijk om middelen 6 voor het schatten van de overdrachtsfunctie op het moment van actualiseren van de filtercoëfficiënten in het schema op te nemen. Deze schattingsmiddelen 6 kunnen worden aangebracht zoals weergegeven in figuur 2, namelijk met een ingang verbonden met de sensor 4 en
20 een uitgang verbonden met de aanpassingseenheid 7 voor het actualiseren van de componenten h_j van de overdrachtsfunctie H. Zulke middelen zijn aan de deskundige bekend en behoeven hier geen nadere toelichting (zie bijvoorbeeld het Amerikaanse octrooischrift 4.878.188).

25 Het zal aan een deskundige duidelijk zijn, dat de stuureenheid 1, de actualiseringseenheid 5, de schattingseenheid 6 (indien toegepast) en de aanpassingseenheid 7 tezamen in software van een computer kunnen zijn geïmplementeerd.

Conclusies

1. Systeem voor het genereren van een geschat tijdvariant signaal ($y_s(k)$) ter onderdrukking van een primair signaal ($y_p(k)$) omvattend:
- 5 - middelen (8) voor het genereren van tenminste één referentiesignaal ($\bar{\varphi}(k)$);
- een stuu eenheid (1) tenminste voorzien van een digitaal filter, een eerste ingang voor het ontvangen van het referentiesignaal ($\bar{\varphi}(k)$), een tweede ingang voor het ontvangen van een actualiseringssignaal
- 10 ($\bar{u}_p(k)$) voor het actualiseren van coëfficiënten ($\theta_{c,v}(k)$) van het digitale filter en een uitgang voor het verschaffen van een ophefstuursignaal ($s(k)$);
- ophefgenereermiddelen (2) die zijn verbonden met de uitgang van de stuu eenheid (1) voor het genereren van een ophefsignaal, dat is
- 15 bestemd om na voortplanting langs een secundair overdrachtstraject met een secundaire trajectoverdrachtsfunctie (H) als het geschatte tijdvariante signaal ($y_s(k)$) bij een optelpunt (3) bij het primaire signaal ($y_p(k)$) te worden opgeteld ter verschaffing van een residusignaal ($y_r(t)$),
- 20 - sensormiddelen (4) voor het meten van het residusignaal ($y_r(t)$) bij het optelpunt (3) en het verschaffen van een foutsignaal $\varepsilon(k)$;
- actualiseringsmiddelen (5) voorzien van een ingang die is verbonden met de sensormiddelen (4) en een uitgang voor het verschaffen van het actualiseringssignaal ($\bar{u}_p(k)$),
- 25 met het kenmerk, dat
- het systeem voorts een aanpassingseenheid (7) omvat met een ingang voor het ontvangen van het tenminste ene referentiesignaal ($\bar{\varphi}(k)$) en een uitgang voor het verschaffen van een gefilterd-x-signaal ($\bar{r}(k)$), welke uitgang met een verdere ingang van de actualiseringsmiddelen (5)
- 30 is verbonden;
- de aanpassingseenheid (7) dezelfde overdrachtsfunctie (H) heeft als de overdrachtsfunctie (H) van het secundaire traject;
- middelen zijn voorzien voor het actualiseren van de filtercoëfficiënten ($\theta_{c,v}(k)$) met behulp van het zogenaamde "projectie-algoritme" en
- 35 - de middelen (8) voor het genereren van het referentiesignaal ($\bar{\varphi}(k)$) het genoemde referentiesignaal zodanig genereren, dat een als volgt gedefinieerde ingangscorrelatiematrix

9302013

$$\sum_{k=1}^n \frac{\bar{r}(k) \bar{r}^H(k)}{\bar{r}^H(k) \bar{r}(k)}$$

een eigenwaardespreiding heeft die na zo min mogelijk stappen een waarde heeft van althans nagenoeg gelijk aan 1.

- 5 2. Systeem volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de ophefgene-
reermiddelen (2) uit diverse ophefgeneratoren bestaan en de sensormidde-
len (4) uit diverse sensoren, waarbij de stuureenheid (1) is voorzien
van middelen voor het actualiseren van coëfficiënten van het digitale
filter volgens de volgende recursieve betrekking:

10

$$\bar{\theta}_{c,v}(k) = \bar{\theta}_{c,v}(k-1) - \gamma [R_v(k) R_v^H(k)]^{-1} R_v(k) \bar{\varepsilon}(k)$$

met: $\bar{\theta}_{c,v}(k)$ een L-dimensionele filtercoëfficiëntenvector, als er L op-
hefsignaalgeneratoren (2) aanwezig zijn;

γ = stapgrootteparameter;

- 15 $R_v(k)$ een LxM matrix die als elementen ingangssignalen $r_{v,1,m}(k)$
bevat, als er M sensoren (4) aanwezig zijn;
 $\bar{\varepsilon}(k)$ = foutsignaalvector met M elementen afkomstig van de M senso-
ren (4).

- 20 3. Systeem volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat
- de middelen voor het genereren van het referentiesignaal ($\bar{\varphi}(k)$)
zijn ingericht voor het genereren van het volgende referentiesignaal
($\bar{\varphi}(k)$):

$$\bar{\varphi}_f(k) = [\varphi_1(k) \varphi_2(k) \dots \varphi_r(k)]^T$$

25

met:

$$\varphi_v(k) = \exp(j2\pi f_v k \Delta t)$$

- de actualiseringseenheid (5) is voorzien van middelen om het
30 actualiseringssignaal ($u_{p,v}(k)$) als volgt te berekenen:

9302013

$$u_{p_v}(k) = \gamma \frac{r_v(k) \varepsilon(k)}{(\alpha' + r_v^*(k) r_v(k))}$$

met: γ = stapgrootte

α' = kleine constante ter vermindering van een deling door 0;

- de stuur-eenheid (1) is voorzien van middelen om de filtercoëfficiënten ($\theta_{c,v}(k)$) als volgt te berekenen:

$$\theta_{c,v}(k) = \theta_{c,v}(k-1) - u_{p_v}(k)$$

4. Systeem volgens conclusie 1, 2 of 3, met het kenmerk, dat het systeem voorts schattingsmiddelen (6) omvat voor het schatten van de overdrachtsfunctie (H) van het secundaire traject die een ingang hebben verbonden met de sensormiddelen (4) en een uitgang hebben verbonden met de aanpassingseenheid (7) voor het versturen van een uitgangssignaal voor het actualiseren van de in de aanpassingseenheid (7) gebruikte overdrachtsfunctie (H).

15

5. Systeem volgens een van de voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de stuur-eenheid (1), de actualiseringsmiddelen (5) en de aanpassingseenheid (7) tezamen in software van een computer zijn geïmplementeerd.

20

6. Systeem volgens conclusie 4, met het kenmerk, dat de stuur-eenheid (1), de actualiseringsmiddelen (5), de schattingsmiddelen (6) en de aanpassingseenheid (7) tezamen in software van een computer zijn geïmplementeerd.

25

7. Systeem volgens een van de voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de ophefgenereermiddelen (2) zijn geselecteerd uit de volgende middelen:

tenminste één luidspreker, tenminste één trillingsgenerator, tenminste één regelbare stromings-geïnduceerde geluidsbron of een combinatie daarvan en dat de sensormiddelen (4) zijn geselecteerd uit de volgende middelen:

tenminste één geluidsdruksensor, tenminste één trillingsopnemer of een combinatie daarvan.

35

fig-1

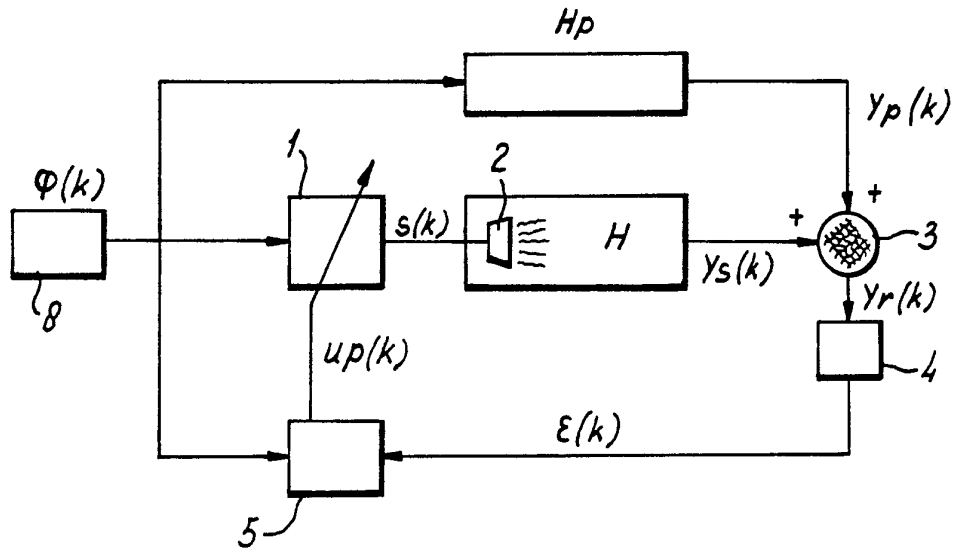


fig-2

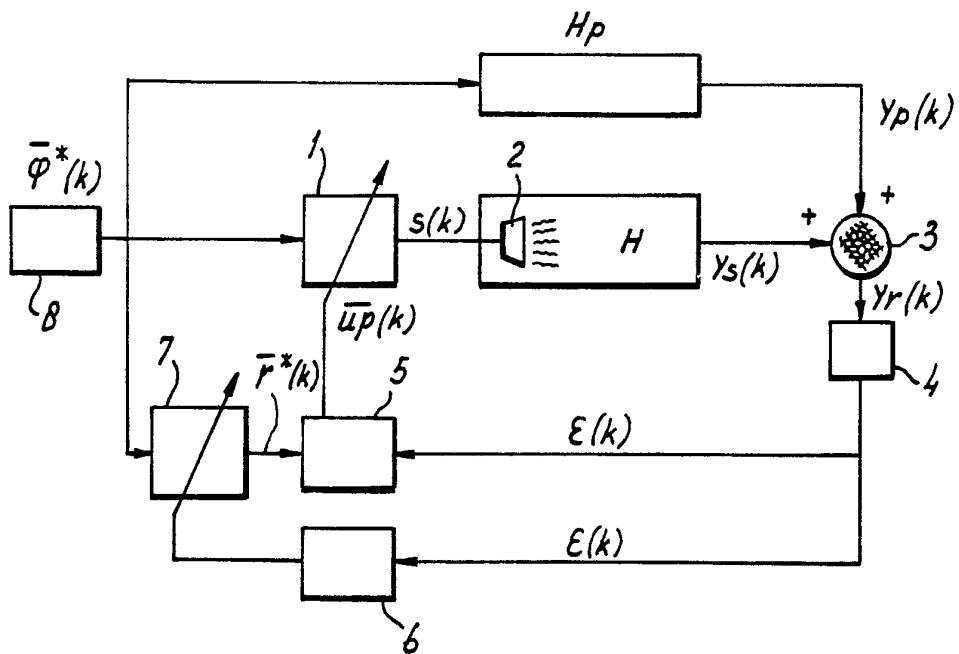


fig-2

