



⑫ A **Terinzagelegging** ⑪ **8402497**

Nederland

⑲ NL

⑤④ **Voertuignavigatiesysteem voorzien van een adaptief traagheidsnavigatiesysteem gebaseerd op meting van de snelheid en de dwarsversnelling van het voertuig en voorzien van een correctie-eenheid voor het corrigeren van de gemeten waarden.**

⑤① Int.Cl⁴: G06F 15/50, G01C 21/12.

⑦① Aanvrager: N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.

⑦④ Gem.: Ir. P.J.P.G. Simons c.s.
Internationaal Octrooibureau B.V.
Prof. Holstlaan 6
5656 AA Eindhoven.

②① Aanvraag Nr. 8402497.

②② Ingediend 14 augustus 1984.

③② --

③③ --

③① --

⑥② --

④③ Ter inzage gelegd 3 maart 1986.

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.

N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven
Voertuignavigatiesysteem voorzien van een adaptief traagheidsnavigatie-
systeem gebaseerd op meting van de snelheid en de dwarsversnelling van
het voertuig en voorzien van een correctie-eenheid voor het corrigeren
van de gemeten waarden.

De uitvinding heeft betrekking op een voertuignavigatie-
systeem voor een voertuig geconstrueerd voor verplaatsing over wegen
te land, bevattende een meeteenheid die verbonden is met een centrale
eenheid waarop een communicatie-eenheid voor het invoeren van een
5 beginpositie en een eindbestemming en het weergeven van een rijroute
tussen beginpositie en eindbestemming is aangesloten, welke meeteenheid
een snelheidsmeter bevat, welke centrale eenheid een massageheugen
voor het opslaan van geografische gegevens van een wegennet, een be-
sturingseenheid en positiebepalingsmiddelen bevat die allen met een
10 gemeenschappelijke communicatiebus verbonden zijn, welke besturings-
eenheid een rijroutebepalingseenheid bevat voor het door gebruik te
maken van de geografische gegevens uit het massageheugen bepalen van
een rijroute tussen het beginpunt en de eindbestemming, welke positie-
bepalingsmiddelen een eerste ingang hebben die verbonden is met een
15 uitgang van de meeteenheid voor het ontvangen van meetgegevens en voor-
zien zijn om uit de meetgegevens opeenvolgende voertuigpositiecoördi-
naten en de rijrichting van het voertuig in beweging te bepalen na ont-
vangen van de beginpositie.

Een dergelijk voertuignavigatiesysteem is bekend uit het
20 artikel "Elektronischer Wegweiser, Ein Navigationssystem für Städte"
gepubliceerd in het tijdschrift Funkschau 23, 1983, pagina's 48-50.
Het daarin beschreven voertuignavigatiesysteem bevat een massageheugen
waarin de geografische gegevens van een wegennet, bijvoorbeeld dat
van een stad, zijn opgeslagen. De bestuurder van het voertuig maakt
25 via een communicatie-eenheid die bijvoorbeeld een toetsenbord bevat,
zijn beginpositie en zijn eindbestemming bekend aan het voertuignaviga-
tiesysteem. Onder controle van de besturingseenheid en door gebruik te
maken van de geografische gegevens van het wegennet wordt door de rij-
routebepalingseenheid een rijroute bepaald die de te volgen weg tussen
30 beginpositie en eindbestemming aangeeft. De positiebepalingsmiddelen
ontvangen van de meeteenheid de door de snelheidsmeter gemeten snelheid
van voertuig en de omwentelingssnelheden van de beide achterwielen ge-
meten door wielsensoren. De positiebepalingsmiddelen bepalen hieruit

8402497

telkens de voertuigpositiecoördinaten en de rijrichting uit het verschil in de omwentelingsnelheden. Door de voertuigpositiecoördinaten te vergelijken met de geografische gegevens die behoren bij de rijroute kan de progressie van het voertuig langs de rijroute worden gevolgd en
5 kunnen de juiste navigatie-instructies via de communicatie-eenheid aan de bestuurder worden aangeboden.

Een nadeel van het bekende voertuignavigatiesysteem is echter dat het bepalen van de voertuigpositiecoördinaten en de rijrichting wordt gerealiseerd door metingen gedaan met behulp van sensoren die aan de
10 beide achterwielen van het voertuig zijn bevestigd. Het bepalen van de rijrichting uit het verschil in omwentelingsnelheid van de achterwielen is onnauwkeurig omdat het van teveel factoren zoals bijvoorbeeld wiel-spin en ongelijke bandendruk afhankelijk is, en voor welke factoren er ook nauwelijks kan gecorrigeerd worden. Een andere manier om de rij-
15 richting te bepalen is gebruik te maken van een magnetisch kompas. Echter het plaatwerk van het voertuig en rijden langs voorwerpen die een grote hoeveelheid ijzer bevatten, desoriënteren het kompas.

De uitvinding beoogt een navigatiesysteem te ontwerpen, waar-
bij met de positiebepalingsmiddelen nauwkeurig de positie van het voer-
20 tuig kan worden bepaald zonder dat genoemde nadelen optreden.

Een navigatiesysteem volgens de uitvinding heeft daartoe het kenmerk, dat de meeteenheid een accelerometer bevat voor het meten van de dwarsversnelling van het voertuig en dat de positiebepalingsmiddelen
25 voorzien zijn om recurrent de opeenvolgende voertuigpositiecoördinaten en de rijrichting van het voertuig in beweging te genereren uit de gemeten dwarsversnelling en snelheid van het voertuig.

Een accelerometer kan eenvoudig worden uitgevoerd en bovendien is correctie op het gemeten signaal eenvoudig te bepalen aangezien het
30 gemeten versnellings signaal door berekenbare parameters wordt beïnvloed. Verder geeft het meten van de dwarsversnelling het voordeel dat hieruit relatief eenvoudig de rijrichting kan worden bepaald. Immers de dwars-
versnelling is een graadmeter voor de richtingsverandering van het voertuig.

35 Het gebruik van een accelerometer voor het bepalen van de dwarsversnelling van het voertuig en het daaruit afleiden van positie-coördinaten is op zich bekend uit het Amerikaanse octrooischrift nr. 4,254,465. Echter wordt in het daarin beschreven systeem geen ge-

8402497

bruik gemaakt van een massageheugen en is er geen rijroutebepalings-eenheid. De voertuigpositiecoördinaten worden niet alleen bepaald uit de gemeten snelheid en dwarsversnelling bij een systeem volgens dit Amerikaans octrooischrift.

5 De uitvinding heeft verder betrekking op een voertuignavigatiesysteem waarbij de centrale eenheid een op de communicatiebus aangesloten correctie-eenheid bevat voor het bepalen van correctievectoren die de afwijking tussen de met positiebepalingsmiddelen gegenereerde voertuigpositiecoördinaten en een corresponderende positie op een wegdeel
10 geeft en voor het corrigeren van de gegenereerde voertuigpositiecoördinaten.

De correctie-eenheid vergelijkt telkens de voertuigpositiecoördinaten met de geografische gegevens van de momentane positie langs de rijroute, want ten gevolge van allerhande foutenoorzaken zoals bijvoorbeeld
15 onnauwkeurigheid van het snelheidssignaal, drift in de electronica, kunnen soms grote afwijkingen ontstaan tussen de voertuigpositie zoals bepaald door de positiebepalingsmiddelen en werkelijke positie van het voertuig op de weg. De correctie-eenheid bepaalt correctievectoren die de afwijking geven tussen de voertuigpositiecoördinaten en een corresponderende positie op een wegdeel dat uit de geografische gegevens wordt
20 afgeleid. Deze correctievector wordt dan gebruikt voor het toepassen van een correctie op de voertuigbaancoördinaten.

Een voertuignavigatiesysteem volgens de uitvinding heeft als verder kenmerk, dat de geografische gegevens van het wegennet een
25 verzameling segmenten bevat waarbij elk segment een door twee knooppunten begrensd weggedeelte uit het wegennet representeert en ten minste de coördinaten van die twee knooppunten bevat, en welke correctie-eenheid van transpositiemiddelen is voorzien voor het onder besturing van een door de besturingseenheid gegenereerde eerste correctiesignaal
30 bepalen voor elk segment uit een groep van segmenten die zich binnen een gegeven straal rond een gegenereerde voertuigpositiecoördinaat bevinden van een transpositie van de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat naar positiecoördinaten die gelegen zijn in het betreffende segment en hieruit bepalen van de getransponeerde coördinaat welke transpositiemiddelen
35 verder voorzien zijn voor het genereren van de correctievector die de afstand tussen de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat en diens getransponeerde coördinaat weergeeft, welke correctie-eenheid verder van selectiemiddelen is voorzien voor het selecteren van die gegenereerde

8402497

correctievectoren die de kleinste afstand uit genoemde afstanden die behoren tot eenzelfde groep heeft, welke correctie geschiedt op basis van de geselecteerde correctievector.

Het rangschikken van de geografische gegevens, die betrekking hebben op het wegennet, in een verzameling segmenten en het toekennen van coördinaten aan die segmenten maakt het mogelijk om de gegenereerde voertuigpositiecoördinaten te vergelijken met coördinaten uit die segmenten. Dat vergelijken geschiedt door de transpositiemiddelen die de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat transponeren naar coördinaten uit een groep segmenten die nabij de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat gelegen zijn. Voor elk segment uit de groep wordt er een transpositie bepaald en bij elke transpositie wordt de afstand tussen de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat en diens getransponeerde bepaald. Die afstand geeft dan een correctievector die de correctie aangeeft waarmee de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat moet worden gecorrigeerd. Ten einde te bepalen tot welk der segmenten uit genoemde groep de gegenereerde voertuigpositiecoördinaten behoren, moet er een selectie worden gemaakt tussen de gegenereerde correctievectoren. Deze selectie geschiedt door de selectiemiddelen die de correctievector met de kleinste waarde kiezen. Zodoende is een correctie-eenheid gerealiseerd waarmee op betrekkelijk eenvoudige wijze en onder aanname dat het voertuig zich alleen over de weg kan verplaatsen, correcties op de gegenereerde voertuigpositiecoördinaten kunnen worden uitgevoerd. En verder doordat de voertuigpositiecoördinaten recurrent worden bepaald, kan worden gebruik gemaakt van de gecorrigeerde voertuigpositiecoördinaten bij de bepaling van een volgende voertuigpositiecoördinaat, zodanig dat cumulatieve fouteffecten worden geëlimineerd.

Een eerste voorkeursuitvoeringsvorm van een voertuignavigatiesysteem volgens de uitvinding heeft het kenmerk, dat segmenten waarvan het weggedeelte volgens een rechte lijn verloopt een eerste deelverzameling uit de verzameling segmenten vormen en waarbij het rechte weggedeelte door één lijnstuk is geparаметriseerd, en waarbij de transpositiemiddelen een transpositie uitvoeren door het bepalen van de loodrechte projectie van de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat op het lijnstuk van het betreffende segment, en de transpositie als geldig verklaart wanneer de getransponeerde coördinaat een punt van dat lijnstuk is.

Een tweede voorkeursuitvoeringsvorm van een voertuignavigatie-

systeem volgens de uitvinding heeft het kenmerk, dat segmenten waar-
van het weggedeelte volgens een gekromde lijn verloopt een tweede deel-
verzameling uit de verzameling segmenten vormen en waarbij het ge-
kromde weggedeelte door een aantal lijnstukken is geparаметriseerd,
5 waarbij de transpositiemiddelen een transpositie uitvoeren door het
bepalen van de loodrechte projectie van de gegenereerde voertuigpositie-
coördinaat op ten minste één lijnstuk uit genoemde aantal lijnstukken
en de transpositie als geldig verklaart wanneer de getransporteerde
coördinaat een punt van één der lijnstukken is.

10 De onderverdeling van de verzameling segmenten in een eerste deelver-
zameling bevattende de rechte weggedeeltes en een tweede deelverzame-
ling bevattende de gekromde weggedeeltes geeft een verfijning in de
verdeling waardoor het transponeren wordt vereenvoudigd. Immers door
het weggedeelte door één (rechte weg) of meer lijnstukken te parame-
15 triseren, kan een loodrechte projectie vanuit de gegenereerde voertuig-
positiecoördinaat op zo'n lijnstuk worden gerealiseerd. Het bepalen van
een loodrechte projectie op een lijnstuk is eenvoudig onder besturing
van een microprocessor te realiseren. De selectie om uit te maken tot
welk segment uit genoemde groep de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat
20 behoort, wordt hierdoor ook verbeterd, namelijk door na te gaan of de
loodlijn vanuit de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat inderdaad snijdt
in een punt behorende tot het lijnstuk en dat niet in het verlengde
daarvan is gelegen. Ligt het snijpunt namelijk in het verlengde van
het lijnstuk, dan is dit geen punt dat tot het weggedeelte behoort en
25 kan dit dus niet als een geldige getransponeerde coördinaat worden
gezien.

Een derde voorkeursuitvoeringsvorm van een voertuignavigatie-
systeem volgens de uitvinding heeft het kenmerk, dat het snijpunt van
twee opeenvolgende lijnstukken uit genoemde aantal een knikpunt vormt
30 en waarbij de transpositiemiddelen een transpositie uitvoeren door het
bepalen van de afstand tussen de gegenereerde voertuigpositiecoördinaten
en ten minste één knikpunt.

Dit biedt bij gekromde weggedeeltes een supplementaire mogelijkheid
voor het uitvoeren van de transpositie en verhoogt hierdoor de nauw-
keurigheid van het voertuignavigatiesysteem.

35

Een vierde voorkeursuitvoeringsvorm van een voertuignavigatie-
systeem volgens de uitvinding waarbij voor elk segment de as van het
bijbehorende weggedeelte middels ten minste één lijnstuk is geparame-

8402497

triseerd, heeft het kenmerk, dat de transpositiemiddelen een transpositie uitvoeren door het bepalen van de afgelegde weg tussen een referentiepunt uit het betreffende segment en de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat, en vervolgens deze afstand te transponeren op de lijnstukken van het betreffende segment waarbij genoemde referentiepunt als vertrekpunt is genomen.

Wanneer gebruik gemaakt wordt van een nauwkeurig gecalibreerde snelheidsmeter dan is de afgelegde weg nauwkeurig te bepalen. De nauwkeurig bepaalde afgelegde weg wordt dan op het weggedeelte getransponeerd wat dan eenvoudigweg de getransponeerde coördinaten geeft. Wanneer het voertuig van een gecalibreerde snelheidsmeter is voorzien, geeft dit systeem een zeer aantrekkelijke en eenvoudig te implementeren oplossing die bovendien nog een betrekkelijk grote nauwkeurigheid bezit.

Een vijfde voorkeursuitvoeringsvorm van een voertuignavigatiesysteem volgens de uitvinding heeft het kenmerk, dat de centrale eenheid met de positiebepalingsmiddelen verbonden detectiemiddelen bevat die voorzien zijn om uit de met de positiebepalingsmiddelen bepaalde rijrichting momentane grote veranderingen in de rijrichting van het voertuig vast te stellen en voor het genereren van een tweede correctiesignaal bij het vaststellen van een momentane grote verandering in de rijrichting, welke detectiemiddelen verbonden zijn met de rijroutebepalingseenheid en voorzien is om onder besturing van het tweede correctiesignaal momentane rijroute-coördinaten op te halen en na te gaan of die momentane rijroute-coördinaten de coördinaten van een knooppunt of een knikpunt bevatten en bij het vaststellen van coördinaten van een knooppunt of knikpunt een derde correctiesignaal te genereren, welke transpositiemiddelen voorzien zijn om onder besturing van een ontvangen derde correctiesignaal een correctievector te bepalen. Een momentane grote verandering in de rijrichting treedt op wanneer het voertuig een scherpe bocht (knikpunt) beschrijft of bij een knooppunt afslaat. Treedt zo'n grote verandering in de rijrichting op en bevindt het voertuig zich inderdaad in de nabijheid van een knikpunt of knooppunt wat op basis van de rijroute kan worden nagegaan, dan bevindt het voertuig zich inderdaad op dat knikpunt of dat knooppunt en is het dus mogelijk om hiermee de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat te corrigeren. De detectiemiddelen geven dus een supplementaire verbetering aan het voertuignavigatiesysteem en maken het dus betrouwbaarder.

8402497

Een zesde voorkeursuitvoeringsvorm van een voertuignavigatiesysteem volgens de uitvinding heeft het kenmerk, dat de correctie-eenheid een operatorgenerator bevat voor het uit de gemeten snelheid en dwarsversnelling van het voertuig en uit de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat genereren van een versnellingsoperator, welke correctie-eenheid verder een operatie-eenheid bevat die een eerste ingang heeft verbonden met de selectie-eenheid voor het ontvangen van de geselecteerde correctievector een tweede ingang verbonden met de operatorgenerator voor het ontvangen van de versnellingsoperator en een derde ingang verbonden met de besturingseenheid voor het ontvangen van een vierde correctiesignaal, welke operatie-eenheid voorzien is voor het laten opereren van de versnellingsoperator op de geselecteerde correctievector onder besturing van het vierde correctiesignaal en het hieruit genereren van een correctiewaarde voor gemeten versnelling.

De gegenereerde versnellingsoperator opereert op de geselecteerde correctievector en hieruit wordt dan een correctiewaarde voor de gemeten versnelling bepaald. Het bepalen van een correctiewaarde voor de gemeten versnelling maakt het mogelijk om meetfouten in de met de accelerometer gemeten versnelling te corrigeren en zodoende een nauwkeurigere waarde van de gemeten versnelling te produceren.

Een zevende voorkeursuitvoeringsvorm van een voertuignavigatiesysteem volgens de uitvinding heeft het kenmerk, dat de operatie-eenheid een uitgang heeft verbonden met de positiebepalingsmiddelen voor het afgeven van de correctiewaarde aan de positiebepalingsmiddelen die voorzien zijn om de aangeboden correctiewaarde op te nemen in de gemeten dwarsversnelling.

Aangezien de voertuigpositiecoördinaten worden gegenereerd uit de gemeten versnelling en snelheid zal wanneer een correctie, met behulp van de correctiewaarde, op de gemeten versnelling wordt toegepast, de versnelling nauwkeuriger zijn en zodoende zullen ook de voertuigbaancoördinaten met een grotere nauwkeurigheid worden bepaald.

Het is gunstig dat de centrale eenheid een niet-vluchtig geheugenelement bevat dat een sturingang bevat voor het ontvangen van een laadpuls gegenereerd bij het stopzetten van het voertuig en welk niet-vluchtig geheugen voorzien is voor het laden van de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat onder besturing van de laadpuls en het bewaren van de voertuigpositiecoördinaat bij stilstand van het voertuig. Aangezien meestal de eindbestemming van de ene reis het beginpunt van de

8402497.

volgende reis is, en daar de coördinaten van die eindbestemming met grote nauwkeurigheid zijn bepaald, biedt het voordeel om de voertuigpositiecoördinaten die bij nagenoeg het stopzetten van het voertuig zijn gegenereerd op te slaan in een niet-vluchtig geheugen. Zodoende worden
5 ze dan bij een volgende reis uit dat niet-vluchtig geheugen opgehaald en is meteen het beginpunt van die volgende reis bekend.

De uitvinding zal nu worden beschreven aan de hand van figuren in dewelke

10 figuur 1a een voertuig afbeeldt dat zich over een weg verplaatst;

figuur 1b de vectorontbinding van de versnellingsvector van het voertuig laat zien;

figuur 2 de voornaamste componenten van een voertuignavigatiesysteem volgens de uitvinding laat zien;

15 figuur 3 een wegnnet laat zien;

figuur 4 de verandering van de snelheidsvector en de versnellingsvector bij een rijdend voertuig afbeeldt;

figuur 5 een vectordiagram laat zien voor de bepaling van de afwijking tussen de werkelijke baan- en de voertuigpositiecoördinaten;

20 figuur 6a een stroomdiagram van een hoofdprogramma voor de operaties van de correctie-eenheid afbeeldt;

figuur 6b een stroomdiagram van de subroutine "bepaling segment" afbeeldt;

25 figuur 6c een stroomdiagram van de subroutine "bepaling \vec{e}, λ " afbeeldt;

figuur 6d een stroomdiagram van de subroutine "bepaling \vec{e} , knikpunten" afbeeldt;

figuur 6e een stroomdiagram van de correctiesubroutine afbeeldt;

30 figuur 7a de keuze uit verschillende wegen van een wegnnet voor het kiezen bij welke weg de berekende voertuigpositiecoördinaten behoren laat zien;

figuren 7b en 7c geldigheidscriteria voor de transpositie afbeelden;

35 figuur 8 de parametrisering van een weggedeelte voor het transponeren van de afgelegde weg laat zien;

figuur 9 een stroomdiagram van een subroutine "verandering rijrichting" laat zien;

8402497

figuren 10a en 10b twee standen van een voertuig illustreren;
 figuur 11a een voorbeeld van een hardware implementatie voor
 het bepalen van de correctiewaarden laat zien;

5 figuur 11b een stroomdiagram van een a-correctieprogramma
 voor het bepalen van een correctiewaarde op het versnellings signaal
 afbeeldt;

figuur 12 een voorbeeld van berekende baancorrecties door ge-
 bruik te maken van het programma uit figuur 11b laat zien;

10 Figuur 1(a) illustreert een voertuig V dat zich over een weg C
 verplaatst. De weg en het voertuig zijn in een referentiesignaal (in
 rust) met coördinaten x, y, z gelocaliseerd. Op elk moment bevindt
 het voertuig zich op een positie (x_V, y_V, z_V) in dat referentiestelsel.
 De startpositie van het voertuig wordt aangegeven met de coördinaten
 15 (x_P, y_P, z_P) van het startpunt P. Wanneer het voertuig zich verplaatst
 met een snelheid \vec{v} in voorwaartse richting ondervindt het tevens een
 versnelling \vec{a} . De versnellingsvector \vec{a} kan, zoals bekend voor vectoren,
 worden ontbonden in een parallelle component $\vec{a}_{//}$ en een component \vec{a}_{\perp}
 loodrecht op de baan van het voertuig. Figuur 1(b) laat deze vector-
 ontbinding zien. In de verdere beschrijving zal alleen de dwarsversnel-
 20 lingscomponent \vec{a}_{\perp} ($\vec{a}_{\perp} = a \vec{e}_{\perp}$) worden beschouwd en deze zal eenvoudig-
 heidshalve met \vec{a} worden aangeduid. Daar de dwarsversnelling altijd
 loodrecht staat op de baan van het voertuig, bevat de dwarsversnelling
 informatie over de rijrichting van het voertuig.

Bij een voertuignavigatiesysteem te land volgens de uitvinding,
 25 wordt voor het bepalen van de positie op dewelke het rijdende voertuig
 zich bevindt, gebruik gemaakt van de snelheid en de dwarsversnelling. De
 grootte van de snelheid v van het voertuig wordt op de bekende manier,
 bijvoorbeeld via de snelheidsmeter gemeten. Voor het meten van de sca-
 laire waarde a ^{van} de dwarsversnelling \vec{a} dient het voertuig van een
 30 accelerometer te worden voorzien. Het principe van een accelerometer
 is bijvoorbeeld beschreven in Proceedings IEE, Vol. 12b, No. 11R,
 November '79, IEE Reviews, p. 1043-1045. Een gecalibreerde snelheids-
 meter van een voertuig is redelijk betrouwbaar en voldoende nauwkeurig
 instrument. Een eenvoudige accelerometer is echter onvoldoende nauw-
 35 keurig zodat correcties op de gemeten waarde noodzakelijk zijn. Op deze
 correctie zal in de verdere beschrijving worden ingegaan.

Figuur 2 laat de voornaamste componenten zien van een voer-
 tuignavigatiesysteem voor een voertuig geconstrueerd voor verplaatsing

8402497

over wegen te land volgens de uitvinding. Het voertuignavigatiesysteem bevat een besturingseenheid 1, bijvoorbeeld een eerste microprocessor (Motorola 68000) die aangesloten is op een communicatiebus 4 voor het transport van data, adressen en stuursignalen. Aan die bus zijn verder
5 een werkgeheugen 2, bijvoorbeeld een RAM, alsook een massageheugen 3 verbonden. Het massageheugen 3 is gevormd door een Compact Disc plaat (CD-ROM) welke afspeelbaar is op de Compact Disc speler die bijvoorbeeld deel uitmaakt van de in het voertuig aangebrachte geluidsinstallatie. Op deze Compact Disc plaat zijn in de vorm van digitale data geografische
10 gegevens van het wegennet van een land of een deel daarvan alsook plattegronden van steden en bijbehorende straatnamen, bezienswaardigheden, hotels, etcetera, van dat land opgeslagen. Het navigatiesysteem bevat verder een meeteenheid 16 voorzien van een accelerometer 6 en een
15 snelheidsmeter 7 (c.q. eventueel een odometer) die met een respectievelijke ingang van een analoog-digitaalomzetter 5 zijn verbonden. De analoog-digitaalomzetter 5 is op zijn beurt met een tweede microprocessor 8 verbonden. De analoog-digitaalomzetter 5 en de tweede microprocessor 8 vormen tezamen de positiebepalingsmiddelen 12 van het voertuignavigatiesysteem. De positiebepalingsmiddelen vormen een gegist bestek
20 dataverwerkingssysteem (dead-reckoning). Deze tweede microprocessor berekent onder meer de positiecoördinaten van het voertuig uit op basis van de snelheid v en de dwarsversnelling a gemeten door de snelheidsmeter 7 en accelerometer 6. De tweede microprocessor 8 is ook met de bus 4 verbonden. Met de bus 4 is verder nog een communicatie-eenheid 18
25 verbonden die een toetsenbord en/of datatablet 9 bevat. Door middel van dit toetsenbord en/of datatablet introduceert de gebruiker gegevens in het navigatiesysteem. Deze gegevens zijn bijvoorbeeld, de beginpositie, de eindbestemming en eventuele voorkeuren zoals een route via een
30 autosnelweg of een toeristische weg enzovoorts. De communicatie-eenheid 18 bevat verder een luidspreker 10 die via een spraakgenerator 14 met de bus 4 verbonden is, en verder een beeldgenerator 15 waarop een beeldweergave-inrichting 11 is aangesloten. De luidspreker 10 mag deel uitmaken van de in het voertuig aanwezige geluidsinstallatie. Via de luidspreker en/of de beeldweergave-inrichting wordt er informatie over de
35 te volgen weg voor het bereiken van de eindbestemming aan de gebruiker overgebracht. Het is niet noodzakelijk dat het navigatiesysteem zowel de luidspreker als de beeldweergave-inrichting bevat, één van beide is voldoende. Het is ook mogelijk om de digitale uitgang van de auto-

radio 13 met de bus 4 te verbinden. Dit is met name gunstig wanneer de autoradio voorzien is om digitale verkeersinformatie bijvoorbeeld volgens het RDS (Radio Data System) te ontvangen. Deze verkeersinformatie wordt dan opgenomen in het navigatiesysteem en aldaar verwerkt. Zodoende kan er bij het bepalen van de te volgen weg rekening worden gehouden met eventuele files, of kan worden gewaarschuwd voor gevaarlijke situaties zoals bijvoorbeeld een spookrijder of een gladde weg. RDS is een systeem waarbij digitale verkeersinformatie kan worden uitgezonden rond een hulpdraaggolf (57 kHz) voor het stereo radiosignaal zonder interferentie met deze laatste.

Een alternatief voor het toetsenbord en/of datatablet 9 is bijvoorbeeld een microfoon gekoppeld met een spraakherkenner om zodoende de informatie mondeling aan te bieden aan het navigatiesysteem.

De besturingseenheid 1, het massageheugen 3, het werkgeheugen 2 en de positiebepalingsmiddelen 12 vormen de centrale eenheid 17 van het voertuignavigatiesysteem.

Alvorens verder in te gaan op de werking van het navigatiesysteem volgens figuur 2 is het noodzakelijk de geografische gegevens opgeslagen in de Compact Disc plaat nader toe te lichten.

Figuur 3 illustreert een gedeelte uit een wegennet 20. Bij het vertalen van de gegevens van de weg is uitgegaan van de as van de weg die door rechte lijnstukken is geparаметriseerd. Elk lijnstuk heeft een begin- en een eindpunt. Bij elk begin- en eindpunt behoren coördinaten, die de coördinaten (x, y, z) van een vector ten opzichte van een oorsprong van een referentiestelsel representeren. Elk lijnstuk kan ook als een vector in dat referentiestelsel worden beschreven. Twee of meer wegen snijden elkaar op een knooppunt 21 dat eveneens door middel van een vector wordt gerepresenteerd. De verzameling vectoren behorende bij eenzelfde weggedeelte wordt als segment aangeduid. Een segment is altijd begrensd door twee knooppunten. Een wegennet bevat dus een verzameling segmenten. Wanneer de weg een rechte weg (23) is, dan bevat het segment slechts één vector, die tevens begrensd is door de twee knooppunten van het segment. Wanneer daarentegen de weg niet volgens een gekromde lijn verloopt, dan bevat een segment tevens een aantal knikpunten. Een knikpunt 22 representeert een beginpunt van een volgende vector die de gekromde weg beschrijft. De rechte wegen vormen een eerste deelverzameling van de verzameling segmenten en de gekromde wegen een tweede deelverzameling.

8402497

Bij een segment behoort ook een plaats- en straatnaam, of een wegnummer afhankelijk van de locatie van dat segment, die mede op de Compact Disc schijf worden opgeslagen. Hierdoor is het zoeken op basis van plaats- en straatnamen of wegnummers mogelijk. Algemeen wordt zo'n segment door middel van een datablok in de Compact Disc plaat opge-

- 5 slagen. Het datablok bevat dan:
- de provincie of het district
 - de locatie (stad, dorp, enzovoorts)
 - straatnaam of wegnummer
 - 10 - coördinaten x, y , (en z wanneer drie-dimensionaal wordt gewerkt)
 - gewichtsfactor ϕ , die de aard van de weg kenmerkt. Zo wordt bijvoorbeeld aan een autosnelweg een lage gewichtsfactor toegekend en aan een winkelstraat een hoge gewichtsfactor;
 - de 2 knooppunten van het segment worden als zodanig gekenmerkt (bij-
 - 15 voorbeeld door middel van één of meer welbepaalde bitwaarden op welbepaalde posities in het datablok);
 - een aanduiding voor één- of tweerichtingsweg, met richtingsaanduiding voor éénrichtingsweg;
 - wegen die aansluiten op dat segment zijn door middel van codering en
 - 20 adressen die naar verdere geheugenplaatsen wijzen ook in het betreffende datablok opgenomen;
 - een verwijzing naar een locatie waar bijzondere informatie, zoals aanwezigheid van verkeerslichten, verkeersdrempels en andere topologische gegevens van het segment is opgeslagen.

25 In de Compact Disc schijf kan ook nog verdere informatie worden opgeslagen zoals bijvoorbeeld adressen (en telefoonnummers) van hotels, tankstations enzovoorts.

Het gebruik van een Compact Disc plaat als massageheugen voor een voertuignavigatiesysteem biedt veel voordelen, voornamelijk de grote

30 opslagcapaciteit (massageheugen: $4,4 \times 10^9$ bit) en de random access mogelijkheid waardoor het ophalen van data behoorlijk snel kan geschieden. Het gebruik van een Compact Disc speler in een voertuig onder meer voor navigatiedoeleinden is beschreven in het conferentieverlag van

35 SAE, Detroit, Michigan, February 27 - March 2, 1984 en getiteld "Application of the Compact Disc in Car Information and Navigation Systems" van M. Thoone en R. Breukers (Publicatienummer 840156).

Wanneer nu een bestuurder van een voertuig, dat voorzien is van een navigatiesysteem zoals afgebeeld in figuur 2, van dat navigatie-

8402497

systeem wenst gebruik te maken, dan zal hij beginnen met zijn beginpositie (district, locatie, straatnaam of wegnummer), alsook zijn bestemming aan het navigatiesysteem via het toetsenbord of datatablet 9 aan te bieden. De startpositie kan bijvoorbeeld ook worden opgehaald uit een daartoe bestemd niet-vluchtig geheugen, waarin de laatstbereikte positie van het voertuig zoals bepaald uit een voorgaande navigatieoperatie is opgeslagen. Het is mogelijk om het navigatiesysteem van een aantal opties te voorzien waarmee de bestuurder één of meerdere voorkeuren aan het navigatiesysteem kenbaar kan maken zoals bijvoorbeeld bij voorkeur een route via een autosnelweg, of via een rondweg in de plaats van dwars door de stad. Het kenbaar maken van voorkeuren geschiedt bijvoorbeeld door middel van een vraag- en antwoorddialoog tussen het navigatiesysteem en de bestuurder. Het navigatiesysteem vermeldt de mogelijke alternatieven bijvoorbeeld door middel van vragen afgebeeld op het beeldweergavescherm 11 en de bestuurder antwoordt via het toetsenbord 9. Bij de bepaling van de te volgen route houdt het navigatiesysteem dan rekening met de wensen van de gebruiker.

Nadat de bestuurder de noodzakelijke gegevens aan het navigatiesysteem heeft medegedeeld, wordt onder besturing van de besturingseenheid 1 een aantal segmenten uit het massageheugen 3 opgehaald en in het werkgeheugen 2 opgeslagen. Het werkgeheugen en de besturingseenheid vervullen tezamen de taak van rijroutebepalingseenheid. Dit aantal segmenten bevat de segmenten die noodzakelijk zijn voor het bepalen van de route. Het ophalen van dit aantal segmenten heeft tot doel om bij gebruik van een CD ROM als massageheugen, de Compact Disc speler slechts geringe tijd voor navigatiedoeleinden te gebruiken, zodanig dat de speler gedurende de verdere rit kan gebruikt worden voor het afspelen van geluidsplaten, en verder dient het ophalen om snel en automatisch de route te kunnen bepalen.

Het bepalen van de te volgende route en het geven van navigatie-informatie aan de bestuurder geschiedt op de bekende manier, bijvoorbeeld zoals beschreven in "Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 222, 1978" en uitgegeven door het Duits "Bundesminister für Verkehr" te Bonn.

Er zal nu nader worden ingegaan op de bepaling van de voertuigpositiecoördinaten tijdens de beweging van het voertuig over de weg. De initialisatie van het navigatiesysteem geschiedt nadat de bestuurder zijn beginpositie aan het navigatiesysteem kenbaar gemaakt heeft bij-

voorbeeld middels informatie (straatnaam) van een eerste knooppunt, en op het moment dat hij zich na te zijn weggereden met zijn voertuig op dat eerste knooppunt bevindt. Op dat moment initialiseert de bestuurder het navigatiesysteem bijvoorbeeld door het indrukken van een initialisatietoets. De coördinaten (x_0, y_0) behorend bij dat eerste kruispunt worden uit het massageheugen gelezen en beschouwd als de begincoördinaten van de route. De beginwaarde van de richtingshoek φ_0 bepaald ten opzichte van een referentierichting, bijvoorbeeld west-oost wordt bijvoorbeeld bepaald door te vragen aan de bestuurder in welke straat of op welke weg (wegnummer) hij zal gaan rijden na het oversteken van het kruispunt, of door middel van een eenvoudig kompas. Met de begincoördinaten (x_0, y_0) als vertrekpunt bepaalt de eerste microprocessor nu een adres voor een volgend uit het werkgeheugen op te halen vector die deel uitmaakt van een segment en die bij een verdere positie op de route behoort.

De baan over dewelke het voertuig rijdt, wordt berekend met behulp van de door de accelerometer 6 respectievelijk de snelheidsmeter 7 gemeten (dwars)versnelling, respectievelijk snelheid. De analoog-digitaalomzetter 5 vertaalt de analoog gemeten versnelling- en snelheidswaarde naar digitale waarden die vervolgens aan de tweede microprocessor 8 worden afgegeven. Uit deze digitale versnelling en snelheidswaarde berekenen de positiebepalingsmiddelen nu de baancoördinaten van het rijdende voertuig zoals hieronder zal worden beschreven.

Figuur 4 illustreert de verandering van de snelheidsvector en de versnellingsvector bij een rijdend voertuig. Het voertuig verplaatst zich over een weg 30 en ondervindt ten tijde t_1 op de plaats Q een snelheid \vec{v}_1 en een dwarsversnelling \vec{a}_1 . De weg wordt benaderd door een cirkelsegment met straal R ten opzichte van een middelpunt O te beschrijven.

Ten tijde t_2 bevindt het voertuig zich op plaats P en ondervindt nu een snelheid \vec{v}_2 en een dwarsversnelling \vec{a}_2 . In het tijdsinterval $dt = t_2 - t_1$, dat infinitesimaal klein is, heeft het voertuig dus een weg ds langs de baan (cirkelomtrek) afgelegd en is de richtingshoek van het voertuig met $d\varphi$ veranderd. In $\Delta OPQ'$ is $\angle P = 90^\circ$ aangezien $\vec{OP} \perp \vec{v}_2$, $\Delta OPQ'$ is dus een rechthoekige driehoek.

Nu is $d\varphi \ll 1$ rad zodanig dat Q en Q' nagenoeg samenvallen en $tg d\varphi \approx d\varphi$ (1)
 verder is $ds \approx v dt$ (2) en $ds \approx PQ'$ (3).

8402497

In $\triangle OPQ'$ geldt nu

$$\tan d\varphi = \frac{PQ'}{R} \quad (4)$$

(1), (2) en (3) in (4) invullen geeft

$$5 \quad d\varphi = \frac{v dt}{R}$$

of $R d\varphi = v dt \quad (5)$.

Verder ondervindt het voertuig: de centripetale kracht $F_{cp} = \frac{mv^2}{R} \quad (6)$ en is de derde wet van Newton $F_a = m \cdot a$. (7) geldig (m stelt de massa van het voertuig voor).

10 Daar het voertuig in evenwicht is op de baan geldt:

$$F_{cp} = F_a \rightarrow \frac{mv^2}{R} = ma$$

$$R = \frac{v^2}{a} \quad (8)$$

(8) invullen in (5) geeft nu:

$$15 \quad \left\{ \begin{array}{l} R d\varphi = v dt \\ R = \frac{v^2}{a} \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} \frac{v^2}{a} d\varphi = v dt \\ v \dot{\varphi} dt = a dt \end{array}$$

$$\dot{\varphi} = \frac{a}{v} \quad (9)$$

20 Uit de natuurkundige interpretatie van deze uitdrukking (9) leert men dat het quotient van dwarsversnelling en snelheidswaarde de verandering van de rijrichting aangeeft.

Met (x, y) als baancoördinaten van het voertuig en φ als rijrichting kan nu een volgend stelsel van differentiaalvergelijkingen worden opgesteld.

$$25 \quad \left\{ \begin{array}{l} \dot{\varphi} = \frac{a}{v} \\ \dot{x} = v \cos \varphi \\ \dot{y} = v \sin \varphi \end{array} \right. \quad (10)$$

Substitueer nu $c = \cos \varphi$ en $p = \sin \varphi$ dan is

$$\dot{c} = -p \dot{\varphi} \quad (11)$$

$$30 \quad \dot{p} = c \dot{\varphi}$$

(9) in (11) invullen geeft dan:

$$\dot{c} = \frac{-pa}{v}$$

$$\dot{p} = \frac{ca}{v}$$

35 Definieer nu de voertuigvector

$$\vec{z} = \begin{pmatrix} c \\ p \end{pmatrix}$$

Dan is

$$\dot{\vec{z}} = \begin{pmatrix} \dot{c} \\ \dot{p} \\ \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -ap \\ v \\ ac \\ v \\ vc \\ vp \end{pmatrix} \quad (12)$$

5

waarbij $\vec{f}(\vec{z}, t)$ het voertuigbaanalgorithmee geeft.

Het stelsel differentiaalvergelijking (12) wordt nu numeriek en periodiek met een periode $\tilde{\tau}$ ($\tilde{\tau} \approx 0,1s$) door de tweede microprocessor 8 opgelost. Hiertoe wordt met die periode $\tilde{\tau}$ en onder besturing van die tweede microprocessor bemonsterd voor de waarden van v en a gemeten door de snelheidsmeter en de accelerometer.

Discretisatie volgens de mid-point regel geeft dan bij een bemonsteringsperiode $\tilde{\tau}$ voor het voertuigbaanalgorithmee

$$\vec{f} \left[\frac{\vec{z}_{n+1} + \vec{z}_n}{2}, (n + \frac{1}{2})\tilde{\tau} \right] = \frac{\vec{z}_{n+1} - \vec{z}_n}{\tilde{\tau}}$$

waarbij \vec{z}_{n+1} en \vec{z}_n twee opeenvolgende waarden van de voertuigvector op de tijdstippen $(n+1)\tilde{\tau}$ en $n\tilde{\tau}$ representeren.

(13) invullen in (12) levert nu

20

$$\frac{1}{\tilde{\tau}} \begin{pmatrix} c_{n+1} \\ p_{n+1} \\ x_{n+1} \\ y_{n+1} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} c_n \\ p_n \\ x_n \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \left(\frac{a_{n+\frac{1}{2}}}{v_{n+\frac{1}{2}}} + \frac{p_{n+1} + p_n}{2} \right) \\ \left(\frac{a_{n+\frac{1}{2}}}{v_{n+\frac{1}{2}}} + \frac{c_{n+1} + c_n}{2} \right) \\ \left(v_{n+\frac{1}{2}} + \frac{c_{n+1} + c_n}{2} \right) \\ \left(v_{n+\frac{1}{2}} + \frac{p_{n+1} + p_n}{2} \right) \end{pmatrix} \quad (14)$$

25

30

Deze vergelijking 14 geeft een oplossing voor het voertuigbaanalgorithmee. De waarden $a_{n+\frac{1}{2}}$ respektievelijk $v_{n+\frac{1}{2}}$ geven de versnelling respektievelijk de snelheid zoals deze is bemonsterd op het tijdstip $(n+\frac{1}{2})\tilde{\tau}$. Het voertuigbaanalgorithmee bevat dus een stelsel van 4 vergelijkingen met 4 onbekenden (c_{n+1} , p_{n+1} , x_{n+1} , y_{n+1}). De waarden c_n , p_n , x_n en y_n , afgekort \vec{z}_n zijn bekend uit een voorafgaande oplossing van het algorithmee.

35

Bij een eerste oplossing van het algoritme wordt voor de waarde \vec{z}_n gebruik gemaakt van de begincoördinaten $c_0 = \cos \varphi_0$, $p_0 = \sin \varphi_0$, x_0 en y_0 gegenereerd bij de initialisatie van het navigatiesysteem.

Een oplossing \vec{z}_{n+1} van het voertuigbaanalgorithmestelt dus een voertuigvector voor. Het voertuigbaanalgorithmewordt recurrent opgelost, er wordt immers gebruikt gemaakt van \vec{z}_n voor het berekenen van \vec{z}_{n+1} .

Echter de aanwezigheid van fouten in de gemeten waarden van $v_{n+\frac{1}{2}}$ en voornamelijk van $a_{n+\frac{1}{2}}$ (onnauwkeurigheden ten gevolge van de meetinstrumenten), hebben tot gevolg dat er een afwijking optreedt tussen de berekende voertuigvector \vec{z}_{n+1} en de van de corresponderende werkelijke positie van het voertuig. Dit laatste is geïllustreerd in figuur 3 waarin de punten D_i de berekende coördinaten van de voertuigvector representeren. Doordat steeds gebruik wordt gemaakt van vorige berekende coördinaten van de voertuigvector treedt er een cumulatief effect op waardoor de afwijkingen ten opzichte van de werkelijke baan steeds groter wordt. Correctie op de berekende coördinaten van de voertuigvector is dus noodzakelijk. Als nu aangenomen wordt dat het voertuig zich alleen over de weg kan voortbewegen, kan de berekende baan regelmatig gecorrigeerd worden. Dit geschiedt door de gegenereerde voertuigbaancoördinaten te vergelijken met de coördinaten van het dichtstbijzijnde lijnstuk van de werkelijke baan zoals in het massageheugen opgeslagen. Een eerste methode voor het corrigeren van de berekende coördinaten van de voertuigvector bevat een transpositie waarbij een loodlijn vanuit de berekende coördinaten op de werkelijke baanvector wordt getrokken.

Een tweede methode bevat een andere transpositie waarbij de afgelegde weg wordt bepaald en deze langs de geparmetriseerde baan wordt afgepast.

De wathematiek waarop de eerste methode gebaseerd is, zal worden beschreven aan de hand van het vectordiagram afgebeeld in figuur 5. In die figuur 5 is een segment 30 geparmetriseerd door middel van een aantal lijnstukken s_{i-1} , s_i , s_{i+1} die door knikpunten zijn begrensd. Bij elk knikpunt behoort een vector \vec{k}_{i-1} , \vec{k}_i , \vec{k}_{i+1} . Het punt O stelt de oorsprong van het referentiestelsel voor.

Veronderstel nu dat tijdens het rijden van het voertuig over lijnstuk s_i van de weg 30, het punt D als baancoördinaat werd berekend op basis van het voertuigbaanalgorithmee en de gemeten waarden voor v en a . Het punt D behoort dus duidelijk niet tot het lijnstuk s_i ; zodanig dat correctie noodzakelijk is. Vanuit het punt D wordt een loodlijn op

8402497

s_i getrokken, die s_i snijdt in het punt M. De vector \vec{DM} wordt met \vec{e}_i aangeduid en geeft de afwijking (correctievector) tussen de berekende coördinaten van de voertuigvector en de werkelijke baan. De vector \vec{SD} wordt met \vec{h}_i aangeduid en \vec{OD} met \vec{z}_n . Er geldt nu:

$$\begin{aligned} \vec{s}_i &= \vec{k}_{i+1} - \vec{k}_i \\ \vec{h}_i &= \vec{z}_N - \vec{k}_i \end{aligned} \quad (20)$$

Het lijnstuk SM is een gedeelte van de vector \vec{s}_i zodanig dat SM kan worden aangeduid door $\lambda \vec{s}_i$ waarbij λ een scalar is en $0 \leq \lambda \leq 1$.

Ook geldt er: $\vec{e}_i = \lambda \vec{s}_i - \vec{h}_i$ (21).

Daar nu $\vec{DM} \perp \vec{s}_i$ geldt dat $\vec{e}_i \perp \vec{s}_i$ en dus dat het inproduct

$$(\vec{e}_i, \vec{s}_i) = 0 \quad (22)$$

Invullen van vergelijking (21) in (22) levert

$$(\vec{e}_i, \vec{s}_i) = (\lambda \vec{s}_i - \vec{h}_i, \vec{s}_i)$$

$$0 = \lambda (\vec{s}_i, \vec{s}_i) - (\vec{h}_i, \vec{s}_i)$$

$$\lambda = \frac{(\vec{h}_i, \vec{s}_i)}{(\vec{s}_i, \vec{s}_i)} \quad (23)$$

De waarde van λ kan nu worden berekend door de x- en y-waarden van de vector \vec{z}_N , \vec{k}_i en \vec{k}_{i+1} in te vullen in vergelijking (24) en de inproducten te berekenen.

Invullen van vergelijking (20) in (21) levert

$$\vec{e}_i = \lambda \vec{s}_i - \vec{h}_i \quad (25)$$

Uit vergelijking (25) en door invullen van de berekende waarde van λ kunnen \vec{e}_i en $|\vec{e}_i|$ worden bepaald.

Het corrigeren van de berekende coördinaten van de voertuigvector met behulp van de werkelijke coördinaten uit het gedigitaliseerde wegnnet kan op meerdere manieren worden uitgevoerd. Een eerste voorkeursuitvoering zal worden beschreven aan de hand van de stroomdiagrammen afgebeeld in de figuren 6a tot en met 6e. Het stroomdiagram afgebeeld in figuur 6a is dat van een hoofdprogramma dat onder besturing van de eerste microprocessor (1 uit figuur 2) van het voertuignavigatiesysteem wordt uitgevoerd. Het stroomdiagram afgebeeld in figuur 6b is dat van de subroutine "bepaling segment" die eveneens door de eerste microprocessor wordt uitgevoerd. De stroomdiagrammen afgebeeld in de figuren 6c en 6d zijn die van de subroutines "bepaling \vec{e} , λ " respectievelijk "bepaling \vec{e} , knikpunten", die bij voorkeur onder besturing van de tweede microprocessor worden uitgevoerd. Het stroomdiagram afgebeeld in figuur 6e is dat van de "correctie subroutine" die eveneens bij voorkeur door de tweede microprocessor wordt uitgevoerd. De besturings-

eenheid 1, het werkgeheugen 2, het massagegeheugen 3 en de positiebepalingsmiddelen 12 opereren dus als correctie-eenheid.

Het hoofdprogramma voor de operaties van de correctie-eenheid (figuur 6a) wordt ten minste één maal per segment uitgevoerd en verder bij segmenten die een grotere lengte (> 700 m) hebben, wordt het hoofdprogramma periodiek (periode 10 à 20 seconden) herhaald, afhankelijk van de nauwkeurigheid van positiebepalingsmiddelen.

Na het starten van het hoofdprogramma (140) wordt er een eerste correctiesignaal gegenereerd (141) voor het behandelen van de subroutine "bepaling segment". De behandeling van de subroutine "bepaling segment" impliceert ook de behandeling van de subroutine "bepaling $\vec{e} - \lambda$ " en "bepaling $\vec{e} - \text{knikpunten}$ " (142). Met het resultaat uit de vorige subroutine wordt dan vervolgens een "correctie subroutine" (143) afgewerkt. Deze correctie subroutine kan eventueel nog worden aangevuld met de subroutine "verandering rijrichting" (144). Het afsluiten van de subroutine "verandering rijrichting" betekent tevens het afsluiten (145) van het hoofdprogramma.

De subroutine "bepaling segment" (figuur 6b) wordt gestart (50) als onderdeel van het hoofdprogramma. Deze subroutine begint met een onderzoek (51) of het voertuig zich nog steeds op eenzelfde segment bevindt. Dit onderzoek geschiedt door bijvoorbeeld na te gaan op basis van de routebeschrijving, de resultaten van een vorige executie van de subroutine bepaling segment en de snelheid van het voertuig, of het segment dat werd bereiden bij de genoemde vorige executie reeds is afgelegd. Verder wordt hier ook nagegaan of het voertuig zich in de nabijheid van een knooppunt bevindt (in een straal van ± 300 m rond het knooppunt), in welk geval er een indicator wordt gezet.

Bevindt het voertuig zich nog op hetzelfde segment (Y) dan wordt er onmiddellijk naar stap 57 overgestapt om aldaar een sprongoperatie naar de subroutine "bepaling \vec{e}, λ " uit te voeren. Bevindt het voertuig zich daarentegen niet meer op eenzelfde segment (N), of als er een indicator is gezet, dan wordt er (52) een groep segmenten die zich binnen een gegeven straal (bijvoorbeeld 350 m) rond de gegenereerde voertuigbaancoördinaat bevinden geselecteerd. Deze selectie geschiedt door gebruik te maken van het datablok behorende bij het laatstbepaalde segment en rekening houdend met de verplaatsingsrichting van het voertuig, de datablokken van de aangrenzende segmenten te selecteren. Het aantal (X) segmenten uit genoemde groep wordt dan geteld (53) en er

8402497

wordt een eerste teller met die waarde γ geïnitieerd (54). Vervolgens wordt een eerste segment uit genoemde aangrenzende segmenten gekozen (55) en de eerste teller wordt met één stand verlaagd ($\gamma := \gamma - 1$) (56). Daarna wordt er een sprongoperatie naar de subroutine "bepaling \vec{e}, λ " uitgevoerd. Na executie van de subroutine "bepaling \vec{e}, λ " wordt de aldaar voor de correctievector (\vec{e}) bepaalde waarde met bijbehorend segmentnummer in een eerste tabel opgeslagen (58). Vervolgens wordt er (59) naar de subroutine "bepaling \vec{e} , knikpunten" gesprongen. Dan wordt er onderzocht (61) of de eerste teller de nulstand heeft bereikt ($\gamma = 0$?) met andere woorden er wordt nagegaan of de subroutine bepaling \vec{e}, λ en bepaling \vec{e} , knikpunten voor elk der genoemde segmenten uit die groep zijn uitgevoerd.

Heeft de eerste teller de nulstand bereikt (γ) dan wordt de kleinste \vec{e} -waarde $\vec{e}^{(kl)}$ geselecteerd (62) uit de in de eerste tabel opgeslagen \vec{e} -waarden. Deze kleinste \vec{e} -waarde $\vec{e}^{(kl)}$ met bijbehorend segmentnummer wordt in een eerste register opgeslagen. Hiermede is de subroutine bepaling segment dan beëindigd (63). Heeft de eerste teller de nulstand niet bereikt (N) dan wordt een volgend segment uit genoemde groep van segmenten gekozen (61) en de subroutine "bepaling segment" vanaf stap 56 hervat.

Het executeren van de subroutines 57 en 59 voor al de segmenten uit de groep is van belang voor het bepalen van welke weg het voertuig is gaan berijden nadat het knooppunt is gepasseerd, en om zodoende ook het relevante segment uit te zoeken ten opzichte van hetwelke correctieoperaties zullen worden uitgevoerd. Bij een situatie zoals afgebeeld in figuur 7a kan het voertuig dat zich op knooppunt 83 bevindt zowel de weg 80 als de weg 81 gaan berijden. Bij een transpositie gevormd door het loodrecht projecteren van het punt D op de lijnstukken \vec{s}_a of \vec{s}_b behorende bij weg 80, snijdt de loodlijn uit D (berekende coördinaten) de lijnstukken \vec{s}_a of \vec{s}_b telkens in hun verlengde. Dit heeft tot gevolg dat de waarde voor λ bij projectie op \vec{s}_a respectievelijk \vec{s}_b , groter is dan 1, respectievelijk kleiner is dan 0, dus $\lambda \notin [0,1]$ en de transpositie is bijgevolg ongeldig. Het segment 80 is dus duidelijk niet de weg waarover het voertuig zich verplaatst. De keuze van een andere weg en dus een ander segment is noodzakelijk. Het andere segment is bijvoorbeeld dat behorende bij weg 81 die in de nabijheid ligt van weg 80 en bovendien een knooppunt gemeen heeft met weg 80. De loodrechte projectie van D op \vec{s}_c zal nu een geldige waarde voor λ opleveren die tussen

0 en 1 ligt.

Het stroomdiagram afgebeeld in figuur 6c illustreert de verschillende stappen van de subroutine "bepaling \vec{e}, λ ". Met deze subroutine wordt een transpositie bepaald van de gegenereerde voertuigbaancoördinaat naar een lijnstuk uit een segment behorende tot genoemde groep alsook een waarde voor de correctievector \vec{e} bepaald.

De subroutine "bepaling \vec{e}, λ " wordt gestart (20) telkens als onderdeel van de subroutine "bepaling segment" (stap 57). De subroutine "bepaling \vec{e}, λ " begint (121) met de meest recente, door middel van het voertuigbaanalgorithm berekende voertuigcoördinaten \vec{z}_N op te halen. De voertuigbaancoördinaten zijn berekend onder besturing van de positiebepalingsmiddelen en bijvoorbeeld tijdelijk in het interne geheugen daarvan opgeslagen. Na het ophalen van de berekende voertuigbaancoördinaten \vec{z}_N wordt (122) een tweede teller gezet ($i = 1$) die het aantal lijnstukken dat het segment bevat, telt en verder worden de coördinaten van het eerste (s_i) tot dat segment behorende lijnstuk (\vec{k}_0, \vec{k}_1) bepaald. Met de waarde voor \vec{z}_N en de waarden voor \vec{s}_1 wordt nu (123) (zoals gegeven bij de uitdrukking 20 en 23) de waarde van λ bepaald en in een tweede tabel opgeslagen.

Vervolgens wordt er onderzocht (124) (λ -toets) of $0 \leq \lambda \leq 1$. Heeft λ inderdaad een geldige waarde gelegen tussen het getal 0 en het getal 1 (Y) dan wordt de vector \vec{e}_1 voor het lijnstuk s_1 bepaald (125) (zoals gegeven bij uitdrukking 25) alsook de lengte daarvan $|\vec{e}_1|$ die afstand tussen de berekende coördinaten van \vec{z}_N en de getransponeerde coördinaten van \vec{z}_N . Twee alternatieven zijn nu mogelijk voor de subroutine "bepaling \vec{e}, λ ".

Bij een eerste alternatief wordt onderzocht (126) of $|\vec{e}_1|$ kleiner is dan een gegeven afstand L. Hiervoor werd bijvoorbeeld bij stap 122 L = "Maximaal" gezet. Is \vec{e}_1 dan kleiner dan L (Y), en dat zal allicht wanneer L = Maximaal, dan wordt voor L de waarde van $|\vec{e}_1|$ gesubstitueerd (127). Door zodoende telkens de waarde van L te substitueren door een kleinere waarde $|\vec{e}_i|$ als $|\vec{e}_i| < L$ wordt, bereikt dat uiteindelijk voor dat segment de kleinste waarde van $|\vec{e}_i|$ wordt geselecteerd.

Bij een tweede alternatief worden de stappen 126 en 127 niet uitgevoerd maar wordt bij stap 125 de berekende waarde voor $|\vec{e}_i|$ direct in de eerste tabel opgeslagen en vervolgens onmiddellijk naar stap 128 overgestapt. Afhankelijk van de gewenste uitvoering kan één van beide

8402497

alternatieven gekozen worden.

Bij stap 128 wordt de tweede teller met één positie verhoogd ($i := i+1$) ten einde een volgend lijnstuk uit het segment te beschouwen. Daarna wordt onderzocht (129) of alle lijnstukken van het betreffende segment reeds zijn beschouwd ($i < m$?). Dit geschiedt door de stand van de tweede teller te vergelijken met het aantal lijnstukken van het betreffende segment. Zijn alle lijnstukken nog niet in rekening gebracht (N) dan wordt de subroutine hervat vanaf stap 123 voor een volgend lijnstuk (s_{i+1}).

Zijn daarentegen alle lijnstukken van het betreffende segment in rekening gebracht (Y) dan is de subroutine "bepaling $\vec{e} - \lambda$ " beëindigd voor het betreffende segment en wordt er opnieuw naar de subroutine "bepaling segment" overgestapt (130) om aldaar de berekende \vec{e} waarden in de eerste tabel op te slaan (58), wanneer het eerste alternatief werd gekozen.

De subroutine bepaling $\vec{e} - \lambda$ geeft een eerste mogelijkheid om één of meer waarden voor de correctievector \vec{e} te bepalen, door gebruik te maken van de λ -toets. Nu kan het zijn dat er uit de λ -toets voor de verschillende lijnstukken volgt dat er hetzij meerdere waarden van λ voldoen en dus meerdere \vec{e} waarden worden bepaald, hetzij geen enkele waarde van λ voldoet en dus geen geldige \vec{e} waarden worden bepaald. Een situatie waarbij meerdere waarden voor \vec{e}_i worden bepaald, is bijvoorbeeld afgebeeld in figuur 7b.

Verondersteld is dat punt D de coördinaten van de berekende voertuigbaanvector \vec{Z}_N representeert. Bij loodrechte projectie van D op s_d , snijdt de loodlijn vanuit D, s_d in M_1 , en bij loodrechte projectie van D op s_f , snijdt de loodlijn vanuit D, s_f in M_2 . Daar nu het getransponeerde punt M_1 een punt is dat behoort tot lijnstuk s_d en het getransponeerde punt M_2 een punt is dat behoort tot lijnstuk s_f is $\vec{AM}_1 = \lambda_1 \vec{s}_d$ $\vec{KM}_2 = \lambda_2 \vec{s}_f$ en is zowel $0 \leq \lambda_1 \leq 1$ als $0 \leq \lambda_2 \leq 1$.

Bij stap 124 van de subroutine bepaling \vec{e}, λ wordt dus vastgesteld dat zowel λ_1 als λ_2 aan het gestelde criterium (λ -toets) voldoen en zodoende wordt zowel $\vec{e}_1 = DM_1$ als $\vec{e}_2 = DM_2$ bepaald. In de eerste tabel staan er in dit geval twee waarden voor \vec{e}_i .

Een situatie waarbij geen enkele waarde voor \vec{e}_i wordt bepaald bij de behandeling van de subroutine bepaling \vec{e}, λ , is bijvoorbeeld afgebeeld in figuur 7c. Veronderstel opnieuw dat het punt D de coördinaten van de berekende voertuigbaanvector \vec{Z}_n representeert. Bij loodrechte

projectie van D op s_g , snijdt de loodlijn vanuit D de vector \vec{s}_g in het punt M_3 dat in het verlengde van s_g ligt. Evenzo snijdt de loodlijn vanuit D op s_h , s_h in zijn verlengde, namelijk in het punt M_4 . Nu is

$$\vec{AM}_3 = \lambda_3 \vec{s}_g$$

$$\vec{KM}_4 = \lambda_4 \vec{s}_h$$

waarbij $\lambda_3 > 1$ en $\lambda_4 < 0$.

Daar nu geen van beide waarden λ_3 , λ_4 voldoen aan het criterium ($0 \leq \lambda \leq 1$) gesteld bij het onderzoek van stap 124, worden er geen waarden voor \vec{e}_i bepaald.

- 10 Figuur 6d laat het stroomdiagram zien van de subroutine "bepaling \vec{e} , knikpunten". Deze subroutine wordt gestart (131) tijdens stap 59 van de subroutine "bepaling segment". De subroutine "bepaling \vec{e} , knikpunten" is in feite een aanvulling op de subroutine "bepaling \vec{e}, λ " en is dus een voorkeursuitvoeringsvorm van het functioneren van een
- 15 voertuignavigatiesysteem volgens de uitvinding. De subroutine "bepaling \vec{e} , knikpunten" begint (132) met het tellen van het aantal (β) knikpunten in het betreffende segment. De subroutine "bepaling \vec{e}, λ " en de subroutine "bepaling \vec{e} , knikpunten" worden steeds achtereenvolgens voor eenzelfde segment afgehandeld zoals ook blijkt
- 20 uit het stroomdiagram van de subroutine "bepaling segment" dat is afgebeeld in figuur 6b. Een derde teller wordt vervolgens (133) gepositioneerd in een stand β die het zojuist getelde aantal knikpunten weergeeft. De stand van de derde teller wordt vervolgens (134) onderzocht. Bedraagt deze stand
- 25 nul (Y) (alle knikpunten afgehandeld, of geen enkel knikpunt in dat segment omdat het een rechte weg is) dan is deze subroutine beëindigd en wordt er opnieuw naar subroutine bepaling segment gesprongen (139). Bedraagt de stand van de derde teller echter een van nul verschillende waarde (N) dan worden (135) de coördinaten van het door de tellerstand
- 30 van de derde teller aangegeven knikpunt K_β opgehaald ten einde daarna de afstand $d_\beta (D, K_\beta)$ tussen het punt D en het knikpunt K_β (zie figuur 7b en 7c) te bepalen 136. Deze afstand $d_\beta (D, K_\beta) = e_\beta$ levert een supplementaire waarde voor \vec{e} , namelijk $\vec{e}_\beta = \vec{z}_N - \vec{K}_\beta$, die dan in de eerste tabel tezamen met het segmentnummer wordt opgeslagen (137).
- 35 Daarna wordt de derde teller met één eenheid verlaagd (138) en wordt de subroutine "bepaling \vec{e} , knikpunten" hervat vanaf stap 134. Door gebruik te maken van de subroutines "bepaling \vec{e}, λ " en "bepaling \vec{e} , knikpunten" worden er een reeks waarden voor de correctie-

vector \vec{e} in de eerste tabel opgeslagen. Bij stap 62 van de subroutine bepaling segment wordt dan uit deze reeks waarden voor \vec{e} de kleinste waarde $\vec{e}^{(kl)}$ geselecteerd. Het segmentnummer dat behoort bij die kleinste waarde van \vec{e} wordt dan gebruikt ter identificatie van het segment waarop het voertuig zich momentaan bevindt.

5 De waarde $\vec{e}^{(kl)}$ wordt verder benut bij de behandeling van de correctie subroutine die in figuur 6e is afgebeeld. De correctie subroutine wordt gestart (70) op bevel van de eerste dataverwerkings-eenheid bij de behandeling van het hoofdprogramma (stap 143, figuur 6a).

10 Bij deze correctie subroutine wordt onderzocht (71) of die kleinste waarde $\vec{e}^{(kl)}$ kleiner dan een normwaarde, bijvoorbeeld $e_{norm} = 20$ m ($e^{(kl)} < e_{norm}$). Is die kleinste waarde $e_i^{(kl)}$ kleiner (Y) dan de normwaarde e_{norm} dan is correctie van de berekende baancoördinaten overbodig en is de correctie subroutine hiermede beëindigd. Is daarentegen

15 de kleinste waarde $e_i^{(kl)}$ groter dan e_{norm} (N) dan betekent dit dat de afwijking te groot is en dat er moet gecorrigeerd worden. De correctie geschiedt nu (72) door: $\vec{z}_N^{(M)} = \vec{z}_N + \vec{e}_i^{(kl)}$ met andere woorden door die kleinste waarde van $\vec{e}_i^{(kl)}$ vectoriëel op te tellen bij de berekende voertuigcoördinaat \vec{z}_N . De gecorrigeerde waarde $\vec{z}_N^{(M)}$ kan

20 nu gebruikt worden bij berekening van volgende voertuigbaancoördinaten door middel van het voertuigbaanalgorithm. Na de bepaling van die gecorrigeerde waarde $\vec{z}_N^{(M)}$ wordt er teruggestapt naar het hoofdprogramma.

Nog een andere methode voor het corrigeren van de berekende coördinaten van de voertuigvector is de "afpas-methode", die het

25 rekenen van de afgelegde weg en het af te passen daarvan langs de werkelijke baan bevat. Deze andere methode is geïllustreerd aan de hand van het voorbeeld in figuur 8. Het voertuig beweegt zich langs het weggedeelte 91 dat geparametriseerd is door het stelsel lijnstukken s_a, s_b, s_c en s_d en door de knikpunten K_1, K_2 en K_3 .

30 Veronderstel dat het knikpunt K_1 de baancoördinaten voorstelt welke werden verkregen bij een vorige correctieprocedure (of de begincoördinaten zijn). Nadat het voertuig een tijd Δt na de uitvoering van de vorige correctieprocedure heeft verder gereden, heeft het vanaf het referentiepunt K_1 , een afstand $l = v \Delta t$ (v is de gemiddelde snelheid van het voertuig in de tijd Δt) afgelegd en wordt op basis van het

35 voertuigalgorithm de coördinaten van het punt D bepaald. Daar het voertuig zich alleen over de weg 100 kan verplaatsen, moet er gelden dat

8402497

$$1 = \lambda_1 |\vec{s}_b| + \lambda_2 |\vec{s}_c| + \lambda_3 |\vec{s}_d| \quad (30)$$

$$0 \leq \lambda_i \leq 1 \quad i \in \{1, 2, 3\} \quad (31).$$

Ofschoon deze vergelijking (30) drie onbekende namelijk λ_1 , λ_2 en λ_3 bevat, zij toch oplosbaar wanneer rekening wordt gehouden met de

5 randvoorwaarden gegeven in (31) alsook hieronder:

$$\text{wanneer } 1 > |\vec{s}_b| \text{ dan moet } \lambda_1 = 1 \quad (32)$$

$$\text{wanneer } 1 > |\vec{s}_b| + |\vec{s}_c| \text{ dan moet } \lambda_1 = 1 \text{ en } \lambda_2 = 1 \quad (33).$$

Deze laatste twee randvoorwaarden zijn gebaseerd op het feit dat K_1 het beginpunt geeft vanaf hetwelke 1 langs de weg 90 moet worden gemeten

10 en dat het voertuig zich alleen over de weg kan verplaatsen. In het voorbeeld gegeven in figuur 8 is $1 > |\vec{s}_b|$ maar $1 < |\vec{s}_b| + |\vec{s}_c|$, zodanig dat $1 = |\vec{s}_b| + \lambda_2 |\vec{s}_c|$.

De getransponeerde coördinaten van de voertuigvector worden dus $\vec{K}_2 + \lambda_2 \vec{K}_3$.

15 Verder wordt ook nog de afstand $|\vec{e}|$ bepaald tussen het punt D en de getransponeerde baancoördinaat

$$\vec{e} = (\vec{K}_2 + \lambda_2 \vec{K}_3) - \vec{Z}$$

$$|\vec{e}| = |\vec{K}_2 + \lambda_2 \vec{K}_3 - \vec{Z}| \quad (34).$$

20 Met het bepalen van de waarde 1, de scalairen λ_i , de vectoren $\vec{K}_2 + \lambda_2 \vec{K}_3$, \vec{e} , en $|\vec{e}|$ geschiedt door middel van de eerste en/of de tweede micro-processor. Bij gebruik van deze afpas-methode is het natuurlijk ook mogelijk, zoals bij gebruik van loodrechte projectie beschreven, om de afgelegde weg 1 op meerdere nabijgelegen segmenten te transponeren en vervolgens hieruit de kleinste waarde van de correctievector te

25 kiezen.

Een aanvullende methode om de berekende voertuigbaancoördinaten te corrigeren, wordt bijvoorbeeld gegeven door de subroutine "verandering rijrichting" waarvan het stroomdiagram is afgebeeld in figuur 9. De subroutine "verandering rijrichting" wordt additioneel aan de correctie subroutine (figuur 6e) of aan de hiervoor beschreven

30 "afpas-methode" gebruikt. De subroutine "verandering rijrichting" is echter niet van wezenlijk belang voor het functioneren van een navigatiesysteem volgens de uitvinding, zodat in een eenvoudige uitvoering van een navigatiesysteem volgens de uitvinding deze eventueel achter-

35 wege kan blijven.

De subroutine "verandering rijrichting" wordt gestart (184) als onderdeel van het hoofdprogramma (stap 144), en wordt behandeld bij voorkeur onder besturing van de tweede microprocessor. De eerste

stap (85) welke in deze subroutine wordt afgehandeld bevat het ophalen van de momentane waarde van de richtingshoek φ zoals berekend uit het voertuigbaanalgorithm. Deze waarde van de richtingshoek wordt in een register tijdelijk opgeslagen. Daarna wordt gedetecteerd (86) of
 5 overeenkomstig de geparаметriseerde baan de momentane waarde van de richtingshoek aanzienlijk veranderd is ten opzichte van de voorafgaande waarde van de richtingshoek welke ook in dat register is opgeslagen. Een aanzienlijke verandering van de waarde van de richtingshoek kan onder omstandigheden inhouden dat er over een knooppunt of een knik-
 10 punt is gereden en het voertuig in een andere richting is gaan rijden. Is de waarde van de richtingshoek niet (N) aanzienlijk veranderd, dan wordt er naar stap 89 overgestapt en is hiermee de subroutine "verandering rijrichting" beëindigd. Is daarentegen de waarde van de richtingshoek wel (Y) aanzienlijk veranderd, dan (90) wordt een tweede correctie-
 15 signaal door de tweede microprocessor gegenereerd en worden er onder besturing daarvan momentane rijroute-coördinaten opgehaald uit het werkgeheugen. Deze rijroute-coördinaten bevatten gegevens over het wegennet in een straal (± 100 m) rond de laatstbepaalde voertuigbaan-coördinaat. Met behulp van deze rijroute-coördinaten wordt er nu onder-
 20 zocht (87) of het voertuig zich op een knooppunt of een knikpunt bevindt. Bevindt het voertuig zich inderdaad (Y) op een knooppunt of een knikpunt, dan wordt er een derde correctiesignaal gegenereerd (88) en worden onder besturing daarvan coördinaten van dat knooppunt of knik-
 25 punt gesubstitueerd (88) voor de berekende coördinaten van de voertuig-vector. Bevindt het voertuig zich echter niet op een knooppunt of knikpunt (87, N) dan wordt er na stap 87 rechtstreeks naar stap 89 overgestapt. Het zou ook mogelijk zijn om na stap 87 en in het geval het voertuig zich niet op een knooppunt bevindt, te onderzoeken of het voertuig rechtsonkeer heeft gemaakt. Deze laatste informatie zou dan
 30 ook kunnen worden verwerkt of gebruikt voor correctiedoeleinden.

De correctievector \vec{e} en diens lengte $|\vec{e}|$ die de afwijking tussen de berekende baancoördinaten en de getransponeerde coördinaten aangeeft en die volgens één der hiervoor gegeven methode is bepaald is ook bruikbaar om een correctie toe te passen op de gemeten waarde
 35 voor de dwarsversnelling a , zoals deze door de accelerometer werd bepaald.

Immers zoals reeds vermeld, leveren eenvoudige accelerometers een onvoldoende nauwkeurig meetresultaat, zodat correctie hierop nood-

8402497

zakelijk is. Een andere factor die de nauwkeurigheid van het meetresultaat van een eenvoudige accelerometer in een voertuig beïnvloedt, is het kantelen rond een evenwichtsstand van het voertuig, bijvoorbeeld ten gevolge van het instappen van een passagier of wanneer met hoge snelheid door een bocht wordt gereden. Figuur 10a laat een voertuig in evenwicht zien en figuur 10b laat een voertuig zien dat met een hoek ψ , kantelhoek genaamd, om evenwichtsstand is gekanteld (g stelt de zwaartekrachtversnelling voor). Ten gevolge van die kantelhoek zal een versnellingsfout ter grootte van $g \sin \psi$ gemeten worden. Hier-
 10 voor moet dan gecorrigeerd worden.

Het omzetten van de analoog gemeten snelheids- en versnellingswaarde naar een digitale waarde, het berekenen van het baanalgorithm, kortom het gehele voertuignavigatiesysteem maakt gebruik van elektronische componenten. De werking van elektronische componenten wordt door de grote temperatuurschommelingen en verschillen waaraan een voertuig is onderworpen (van nagenoeg -40°C tot $+70^{\circ}\text{C}$) beïnvloed. Ook hiervoor is correctie noodzakelijk.

Het bepalen van een correctiewaarde Δa op de gemeten dwarsversnelling zal worden beschreven aan de hand van de figuren 11a en 11b. Figuur 11a geeft een voorbeeld van een hardware implementatie van een
 20 deel van de correctie-eenheid, welk deel de correctiewaarde Δa genereert. De correctie-eenheid bevat een operatorgenerator 200 die ingangen heeft voor het ontvangen van de gemeten snelheid (v) en versnelling (a) alsook berekende voertuigpositiecoördinaat (\vec{z}_N). Deze
 25 operator genereert uit die ontvangen grootheden een versnellingsoperator \vec{g}_n op een manier die in de verdere beschrijving zal worden toegelicht. De versnellingsoperator wordt aangeboden aan een ingang van een operatie-eenheid 201, waaraan verder de correctievector $\vec{e}^{(kl)}$ en een
 30 wordt aangeboden. De operatie-eenheid 201 laat onder besturing van het vierde correctiesignaal de versnellingsoperator werken op de aangeboden correctievector en genereert hieruit een correctiewaarde Δa .

Het genereren van de versnellingsoperator \vec{g}_n en de correctiewaarde Δa zal nu nader worden toegelicht aan de hand van het in figuur 11b afgebeelde stroomdiagram van het a-correctieprogramma.
 35

Het a-correctieprogramma start (100) zodra het voertuignavigatiesysteem is geïnitialiseerd. Het a-correctieprogramma begint (101) met een vierde teller in een nulstand te zetten ($k = 0$) alsook met een

8402497

beginwaarde voor de correctiewaarde Δa_k (bijvoorbeeld $\Delta a_0 = 0$) in een tweede register op te slaan. Daarna wordt (102) een vijfde teller in een nulstand gezet ($n = 0$) en wordt in een derde register de beginwaarde van de richtingshoek ($\varphi = \varphi_0$) opgeslagen. Vervolgens worden (103) de snelheidsmeter en de accelerometer bemonsterd ten einde de waarde $v_{n+\frac{1}{2}}$ en $a_{n+\frac{1}{2}}$ (zie vergelijking 14) op te halen en in een vierde register van de operatorgenerator op te slaan. Op de gemeten waarde voor de versnelling wordt nu door de positiebepalingsmiddelen een correctie toegepast (104), namelijk $a_{n+\frac{1}{2}} - \Delta a_k$. Met deze gecorrigeerde waarde voor de versnelling wordt nu de voertuigvector \vec{z}_{n+1} berekend (105) door gebruik te maken van het voertuigbaanalgorithm 14. Het resultaat van de berekening \vec{z}_{n+1} wordt bijvoorbeeld in een intern geheugen van de tweede microprocesseer-eenheid opgeslagen. Na het berekenen van de voertuigvector \vec{z}_{n+1} wordt er nu een versnellingsoperator \vec{g}_n bepaald, welke versnellingsoperator \vec{g}_n de gevoeligheid van de voertuigvector voor fouten in het versnellings-signaal aangeeft. Voor \vec{g}_n geldt:

$$\vec{g}_n \Delta a_k \approx \vec{e}_n \quad (40) \text{ of } (\vec{g}_n)^{-1} \vec{e}_n = \Delta a_k$$

waarbij $(\vec{g}_n)^{-1}$ de inverse van de versnellingsoperator voorstelt en \vec{e}_n de correctievector is (zie formule 21). Dus $\vec{e}_n = \vec{z}_n - \vec{z}_n^{(M)}$ (41) waarbij $\vec{z}_n^{(M)}$ de getransponeerde coördinaten van het voertuig voorstellen zoals bepaald bij stap 73 van de correctie subroutine uit figuur 6e. Uitgaande van de beginwaarde van de voertuigvector \vec{z}_0 kan met behulp van het voertuigbaanalgorithm en de waarden $v_{\frac{1}{2}}$, $a_{\frac{1}{2}}$ de voertuigvector \vec{z}_1 worden bepaald

$$\vec{z}_1 = \vec{f}(\vec{z}_0, v_{\frac{1}{2}}, a_{\frac{1}{2}}) \quad (42)$$

waarbij f het voertuigbaanalgorithm voorstelt.

$$\text{Nu is} \quad a_{\frac{1}{2}} = a'_{\frac{1}{2}} + \Delta a_0 \quad (43)$$

waarbij $a'_{\frac{1}{2}}$ de werkelijke waarde van de versnelling voorstelt. Invullen van (43) in 42 levert nu

$$\vec{z}_1 = \vec{f}(\vec{z}_0, v_{\frac{1}{2}}, a'_{\frac{1}{2}} + \Delta a_0) \quad (44)$$

Als nu $\Delta a_0 \ll$ nominale waarde van de dwarsversnelling, bijvoorbeeld r.m.s. a dan kan voor formule 44 een 1st orde Taylorreeksbenadering worden geschreven

$$\vec{z}_1 = \vec{f}(\vec{z}_0, v_{\frac{1}{2}}, a'_{\frac{1}{2}}) + \left. \frac{\partial \vec{f}}{\partial a'} \right|_0 \cdot \Delta a_0 \quad (45)$$

35 waarbij $\left. \frac{\partial \vec{f}}{\partial a'} \right|_0$ de afgeleide van \vec{f} naar a' voor $n = 0$ voorstelt.

Als de snelheidsmeter voldoende betrouwbaar is dan is $v_{\frac{1}{2}}$ een betrouwbare waarde en is $\vec{f}(\vec{z}_0, v_{\frac{1}{2}}, a_{\frac{1}{2}}) = \vec{z}_1^{(M)}$ (46).

Definieer nu:
$$\vec{g}_0 = \left. \frac{\partial \vec{f}}{\partial \alpha'} \right|_0 \quad (47)$$

Invullen van (46) en (47) in (45) geeft

$$\vec{z}_1 = \vec{z}_1^{(M)} + \vec{g}_0 \cdot \Delta \alpha_0 \quad (48)$$

Gebruik makend van het voertuigbaanalgorithm en van de berekende voertuigvector \vec{z}_1 , wordt bij een volgende behandeling van stap 105 de voertuigvector \vec{z}_2 bepaald.

$$\vec{z}_2 = \vec{f}(\vec{z}_1, v_{1/2}, \alpha_{1/2}) \quad (49)$$

Vergelijking 49 kan ook geschreven worden als

$$\vec{z}_2 = \vec{f}(\vec{z}_1^{(M)} + (\vec{z}_1 - \vec{z}_1^{(M)}), v_{1/2}, \alpha_{1/2} + \Delta \alpha_0) \quad (50)$$

Taylorreeksontwikkeling hiervan geeft dan:

$$\vec{z}_2 = \vec{f}(\vec{z}_1^{(M)}, v_{1/2}, \alpha_{1/2}) + \left[\left. \frac{\partial \vec{f}}{\partial \vec{z}^{(M)}} \right|_1 (\vec{z}_1 - \vec{z}_1^{(M)}) + \left. \frac{\partial \vec{f}}{\partial \alpha} \right|_1 \Delta \alpha_0 \right] \quad (51)$$

15

Invullen van (48) in (51) en omschrijving van (51) geeft dan

$$\vec{z}_2 = \vec{z}_2^{(M)} + \left[\left. \frac{\partial \vec{f}}{\partial \vec{z}^{(M)}} \right|_1 \vec{g}_0 + \left. \frac{\partial \vec{f}}{\partial \alpha} \right|_1 \right] \Delta \alpha_0 \quad (52)$$

20 Definieer nu
$$\vec{g}_1 = \left. \frac{\partial \vec{f}}{\partial \vec{z}^{(M)}} \right|_1 \vec{g}_0 + \left. \frac{\partial \vec{f}}{\partial \alpha} \right|_1 \quad (53)$$

Dan is $\vec{z}_2 = \vec{z}_2^{(M)} + \vec{g}_1 \Delta \alpha_0$ (54)
Algemeen kan dus worden afgeleid dat voor de versnellingsoperator \vec{g}_n geldt

$$\vec{g}_n = \left. \frac{\partial \vec{f}}{\partial \vec{z}^{(M)}} \right|_n \vec{g}_{n-1} + \left. \frac{\partial \vec{f}}{\partial \alpha} \right|_n \quad (55)$$

25

Vergelijking (55) geeft dus een algemene uitdrukking voor het bepalen van \vec{g}_n .

Terugkerend naar het a-correctieprogramma (figuur 11b) wordt dan in stap 106 de waarde voor \vec{g}_n bepaald volgens vergelijking 55. Vervolgens wordt er onderzocht (107) of er reeds een nieuwe waarde voor de correctievector $\vec{e}_k^{(kl)}$ bekend is (de waarde $\vec{e}_k^{(kl)}$ wordt bepaald zoals hiervoor beschreven). Is er nog geen waarde voor $\vec{e}_k^{(kl)}$ bekend (N) dan wordt de vijfde teller met één positie verhoogd (108) en wordt het programma vanaf stap 103 herhaald. Is er daarentegen wel een nieuwe waarde voor $\vec{e}_k^{(kl)}$ bekend (Y), dan wordt deze uit het eerste register opgehaald (109) alsook de werkelijke coördinaten van het voertuig $\vec{z}^{(M)}$. Vervolgens (110) wordt er met behulp van de operatie-eenheid een waarde voor $\Delta \vec{a}_k$ bepaald uit

8402497

$$\vec{z}_n = \vec{z}_n^{(M)} + \vec{g}_n \Delta \vec{a}_k \quad (60)$$

of $(\vec{g}_n)^{-1}(\vec{z}_n - \vec{z}_n^{(M)}) = \Delta \vec{a}_k$

Deze nieuwe waarde voor $\Delta \vec{a}_k$ wordt nu in het tweede register opgeslagen
 5 (111) en vervangt de aldaar aanwezige waarde $\Delta \vec{a}_{k-1}$. ook wordt de
 vierde teller met één stand verhoogd. Met deze nieuwe waarde voor $\Delta \vec{a}_k$
 en met de vierde teller in een volgende stand wordt het a-correctie-
 programma dan vanaf stap 102 herhaald. Bij deze stap 102 wordt voor de
 richtingshoek de waarde $\varphi_N^{(M)}$ uit $\vec{z}_N^{(M)}$ bepaald en in het derde register-
 10 opgeslagen.

Door het toepassen van een correctiewaarde Δa_k op de gemeten
 versnellingswaarde worden constante en langzaam veranderende fouten
 in de gemeten dwarsversnelling wegeregeld. Een en ander biedt dus de
 mogelijkheid om een eenvoudige en dus relatief goedkope accelerometer
 15 te gebruiken in het voertuignavigatiesysteem volgens de uitvinding. Het
 corrigeren van de gemeten dwarsversnelling heeft positieve gevolgen
 voor het berekenen met de positiebepalingsmiddelen van de voertuigvec-
 tor \vec{z}_{n+1} . Wanneer nu in het baanvoertuigalgoritme $\vec{f}(\vec{z}_n, v_{n+\frac{1}{2}}, a_{n+\frac{1}{2}})$
 voor $a_{n+\frac{1}{2}}$ niet de gemeten waarde, maar de Δa_k gecorrigeerde waarde
 20 wordt ingevuld, dan neemt de fout op de berekende baancoördinaten aan-
 zienlijk af. Dit laatste is afgebeeld in een voorbeeld gegeven in
 figuur 12. In dat voorbeeld verplaatst het voertuig zich over een rechte
 weg die samenvalt met de x-as van het referentiestelsel. Het voertuig
 heeft een snelheid van 20 m/s en voor de correctiewaarde Δa_0 is gekozen
 25 $\Delta a_0 = 0,5 \text{ m/s}^2$ en het hoofdprogramma werd om de 30 seconden afgehan-
 deld. Het voertuig vertrekt vanaf de oorsprong. Bij een eerste bepaling
 van de correctievector $\vec{e}_k^{(kl)}$ heeft deze een lengte van 221,5 m. Door
 toepassing van de correctiefactor bepaald met het a-correctieprogramma
 is na een tweede bepaling, de afwijkingsvector $|\vec{e}_2| = 33 \text{ m}$, en vervol-
 30 gens na een derde respectievelijk vierde bepaling de afwijkingsvector
 $|\vec{e}_3| = 6,7 \text{ m}$ respectievelijk $|\vec{e}_4| = 1,5 \text{ m}$.

Door gebruik te maken van een voertuignavigatiesysteem volgens
 de uitvinding kunnen de voertuigpositiecoördinaten dus met een relatief
 grote nauwkeurigheid worden bepaald.
 35 Wanneer het voertuig nu wordt stopgezet, dan zijn in feite de laatst-
 bepaalde coördinaten de coördinaten van het beginpunt bij een volgende
 reis van het voertuig. Daar deze laatstbepaalde coördinaten nu
 nauwkeurig bekend zijn, kunnen zij zonder meer gebruikt worden als be-

8402497

ginpositie bij die volgende reis. Hiertoe is de centrale eenheid voor-
zien van een niet-vluchtig geheugen, bijvoorbeeld opgenomen in de
positiebepalingsmiddelen, in welk niet-vluchtig geheugen deze laatst-
bepaalde voertuigpositiecoördinaten worden opgeslagen. Het niet-
5 vluchtig geheugen wordt bijvoorbeeld gevoed door de accumulator van
het voertuig en het wordt geladen onder besturing van een laadpuls
gegenereerd door bij het stopzetten van het voertuig, bijvoorbeeld uit
uitschakelen van het contact.

10

15

20

25

30

35

8402497

Conclusies:

1. Voertuignavigatiesysteem voor een voertuig geconstrueerd voor verplaatsing over wegen te land, bevattende een meeteenheid die verbonden is met een centrale eenheid waarop een communicatie-eenheid voor het invoeren van een beginpositie en een eindbestemming en het weergeven van een rijroute tussen beginpositie en eindbestemming is aangesloten, welke meeteenheid een snelheidsmeter bevat, welke centrale eenheid een massageheugen voor het opslaan van geografische gegevens van een wegennet, een besturingseenheid en positiebepalingsmiddelen bevat die allen met een gemeenschappelijke communicatiebus verbonden zijn, welke besturingseenheid een rijroutebepalingseenheid bevat voor het door gebruik te maken van de geografische gegevens uit het massageheugen bepalen van een rijroute tussen het beginpunt en de eindbestemming, welke positiebepalingsmiddelen een eerste ingang hebben die verbonden is met een uitgang van de meeteenheid voor het ontvangen van meetgegevens en voorzien zijn om uit de meetgegevens opeenvolgende voertuigpositiecoördinaten en de rijrichting van het voertuig in beweging te bepalen na ontvangen van de beginpositie, met het kenmerk, dat de meeteenheid een accelerometer bevat voor het meten van de dwarsversnelling van het voertuig en dat de positiebepalingsmiddelen voorzien zijn om recurrent de opeenvolgende voertuigpositiecoördinaten en de rijrichting van het voertuig in beweging te genereren uit de gemeten dwarsversnelling en snelheid van het voertuig.
2. Voertuignavigatiesysteem volgens conclusie 1, waarbij de centrale eenheid een op de communicatiebus aangesloten correctie-eenheid bevat voor het bepalen van correctievectoren die de afwijking tussen de met de positiebepalingsmiddelen gegenereerde voertuigpositiecoördinaten en een corresponderende positie op een wegdeel geeft en voor het corrigeren van de gegenereerde voertuigpositiecoördinaten, met het kenmerk, dat de geografische gegevens van het wegennet een verzameling segmenten bevat waarbij elk segment een door twee knooppunten begrensd weggedeelte uit het wegennet representeert en ten minste de coördinaten van die twee knooppunten bevat, en welke correctie-eenheid van transpositiemiddelen is voorzien voor het onder besturing van een door de besturingseenheid gegenereerde eerste correctiesignaal bepalen voor elk segment uit een groep van segmenten die zich binnen een gegeven straal rond een gegenereerde voertuigpositiecoördinaat bevinden van een transpositie van de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat naar baan-coördinaten die gelegen zijn in het betreffende segment en hieruit be-

8402497

palen van de getransponeerde coördinaat welke transpositiemiddelen verder voorzien zijn voor het genereren van de correctievector die de afstand tussen de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat en diens getransponeerde coördinaat weergeeft, welke correctie-eenheid verder van selectiemiddelen is voorzien voor het selecteren van die gegenereerde correctievectoren die de kleinste afstand uit genoemde afstanden die behoren tot eenzelfde groep heeft, welke correctie geschiedt op basis van de geselecteerde correctievector.

5
10
15
3. Voertuignavigatiesysteem volgens conclusie 2, met het kenmerk, dat segmenten waarvan het weggedeelte volgens een rechte lijn verloopt een eerste deelverzameling uit de verzameling segmenten vormen en waarbij het rechte weggedeelte door één lijnstuk is geparametriseerd, en waarbij de transpositiemiddelen een transpositie uitvoeren door het bepalen van de loodrechte projectie van de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat op het lijnstuk van het betreffende segment, en de transpositie als geldig verklaart wanneer de getransponeerde coördinaat een punt van dat lijnstuk is.

20
25
4. Voertuignavigatiesysteem volgens conclusie 2, met het kenmerk, dat segmenten waarvan het weggedeelte volgens een gekromde lijn verloopt een tweede deelverzameling segmenten vormen en waarbij het gekromde weggedeelte door een aantal lijnstukken is geparametriseerd, waarbij de transpositiemiddelen een transpositie uitvoeren door het bepalen van de loodrechte projectie van de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat op ten minste één lijnstuk uit genoemde aantal lijnstukken en de transpositie als geldig verklaart wanneer de getransponeerde coördinaat een punt van één der lijnstukken is.

30
5. Voertuignavigatiesysteem volgens conclusie 4, met het kenmerk, dat het snijpunt van twee opeenvolgende lijnstukken uit genoemde aantal een knikpunt vormt en waarbij de transpositiemiddelen een transpositie uitvoeren door het bepalen van de afstand tussen de gegenereerde voertuigbaancoördinaten en ten minste één knikpunt.

35
6. Voertuignavigatiesysteem volgens conclusie 2, waarbij voor elk segment de as van het bijbehorende weggedeelte middels ten minste één lijnstuk is geparametriseerd, met het kenmerk, dat de transpositiemiddelen een transpositie uitvoeren door het bepalen van de afgelegde weg tussen een referentiepunt uit het betreffende segment en de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat, en vervolgens deze afstand te transponeren op de lijnstukken van het betreffende segment waarbij genoemde

8402497

referentiepunt als vertrekpunt is genomen.

5 7. Voertuignavigatiesysteem volgens één der conclusies 2, 3, 4, 5 of 6, met het kenmerk, dat de centrale eenheid met de positiebepalingsmiddelen verbonden detectiemiddelen bevat die voorzien zijn om uit de met de positiebepalingsmiddelen bepaalde rijrichting momentane grote veranderingen in de rijrichting van het voertuig vast te stellen en voor het genereren van een tweede correctiesignaal bij het vaststellen van een momentane grote verandering in de rijrichting, welke detectiemiddelen verbonden zijn met de rijroutebepalingseenheid en voorzien is 10 om onder besturing van het tweede correctiesignaal momentane rijroute-coördinaten op te halen en na te gaan of die momentane rijroute-coördinaten de coördinaten van een knooppunt of een knikpunt bevatten en bij het vaststellen van coördinaten van een knooppunt of knikpunt een derde correctiesignaal te genereren, welke transpositiemiddelen voorzien zijn 15 om onder besturing van een ontvangen derde correctiesignaal een correctievector te bepalen.

8. Voertuignavigatiesysteem volgens één der conclusies 2, 3, 4, 5, 6 of 7, met het kenmerk, dat de correctie-eenheid een operatorgenerator bevat voor het uit de gemeten snelheid en dwarversnelling van het voer- 20 tuig en uit de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat genereren van ^{een} versnellingsoperator, welke correctie-eenheid verder een operatie-eenheid bevat die een eerste ingang heeft verbonden met de selectie-eenheid voor het ontvangen van de geselecteerde correctievector, een tweede ingang verbonden met de operatorgenerator voor het ontvangen van de 25 versnellingsoperator en een derde ingang verbonden met de besturings-eenheid voor het ontvangen van een vierde correctiesignaal, welke operatie-eenheid voorzien is voor het laten opereren van de versnellingsoperator op de geselecteerde correctievector onder besturing van het vierde correctiesignaal en het hieruit genereren van een correctie- 30 waarde voor gemeten versnellingen.

9. Voertuignavigatiesysteem volgens conclusie 8, met het kenmerk, dat de operatie-eenheid een uitgang heeft verbonden met de positiebepalingsmiddelen voor het afgeven van de correctiewaarde aan de positiebepalingsmiddelen die voorzien zijn om de aangeboden correctiewaarde op 35 te nemen in de gemeten dwarsversnelling.

10. Voertuignavigatiesysteem volgens één der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de centrale eenheid een niet-vluchtig geheugenelement bevat dat een sturingang bevat voor het ontvangen van

een laadpuls gegenereerd bij het stopzetten van het voertuig en welk niet-vluchtig geheugen voorzien is voor het laden van de gegenereerde voertuigpositiecoördinaat onder besturing van de laadpuls en het bewaren van de voertuigpositiecoördinaat bij stilstand van het voertuig.

- 5 11. Voertuig voorzien van een voertuignavigatiesysteem volgens één der voorgaande conclusies.

10

15

20

25

30

35

8402497

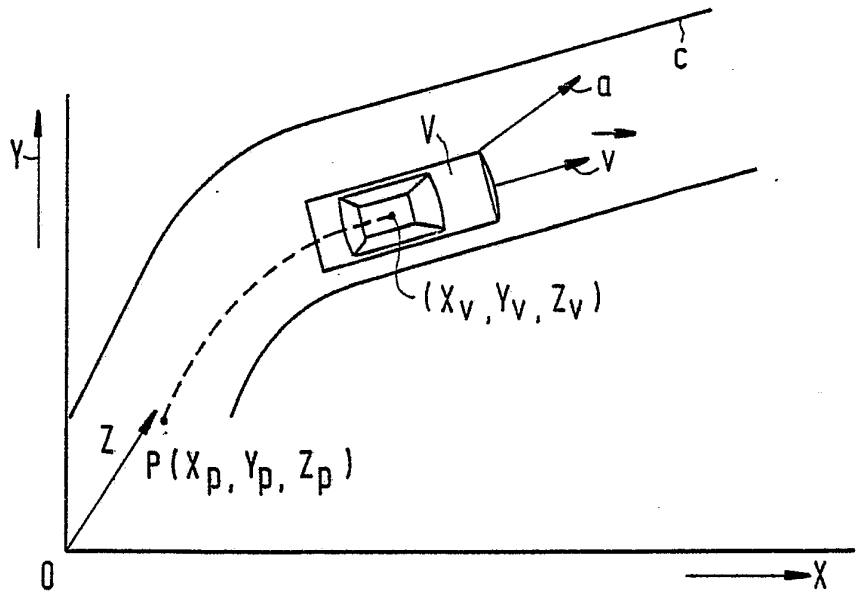


FIG. 1a

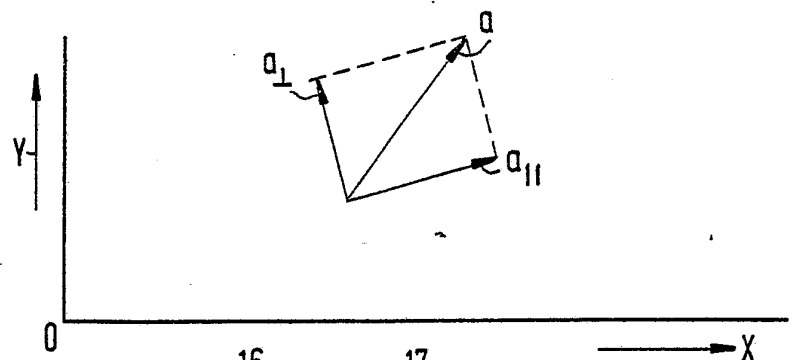


FIG. 1b

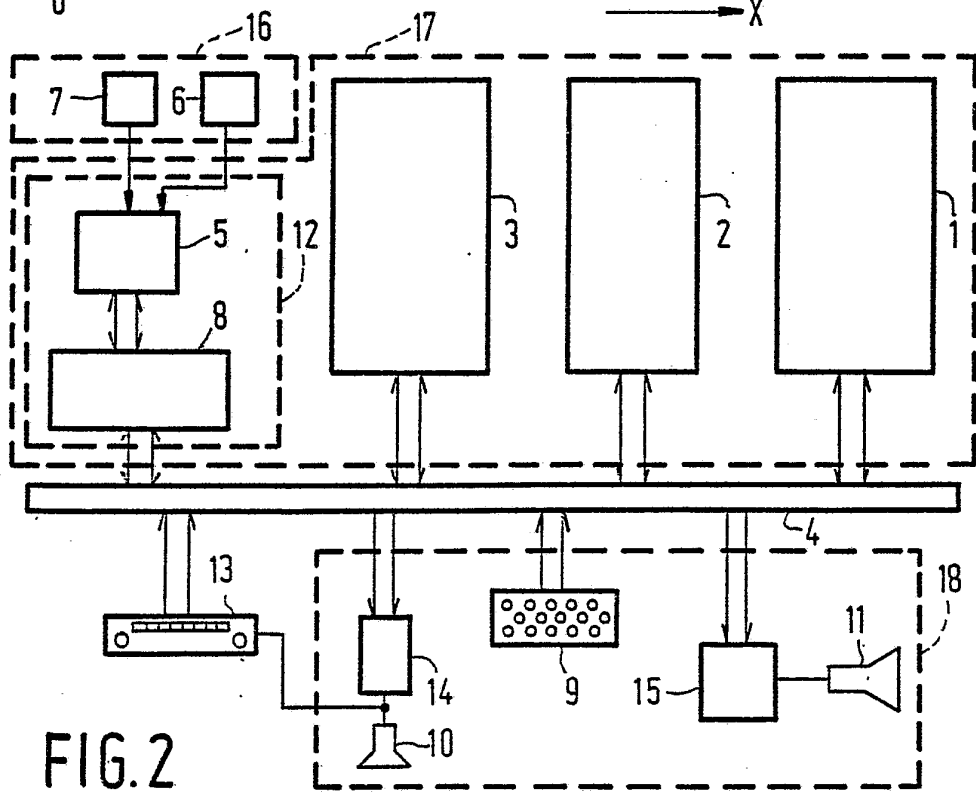


FIG. 2

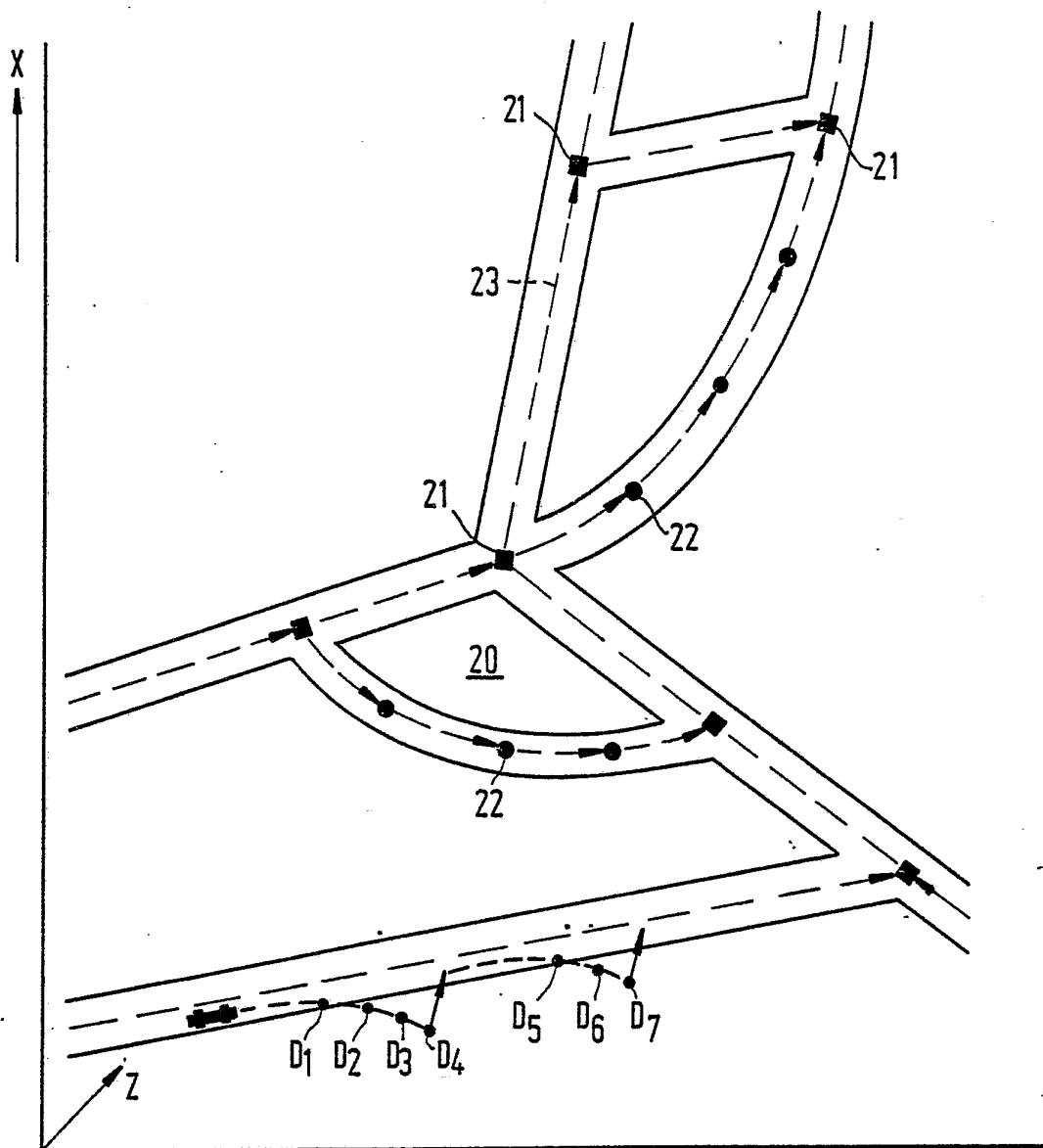


FIG. 3

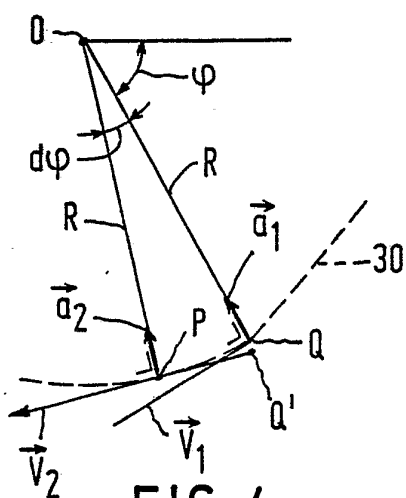


FIG. 4

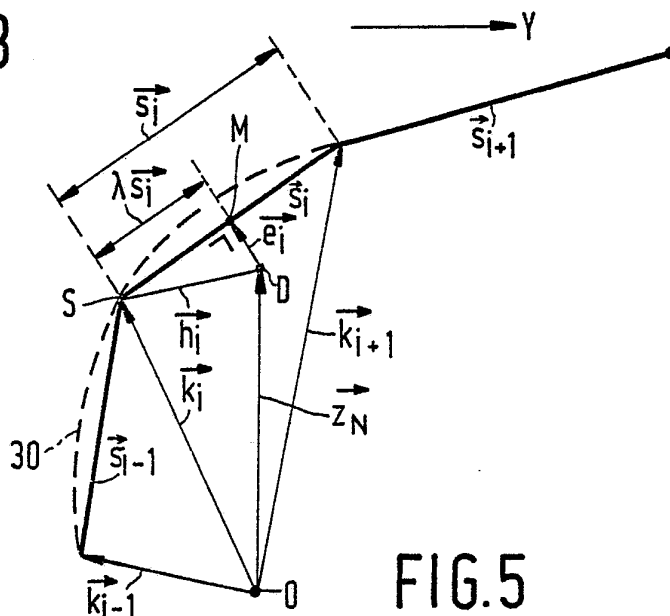


FIG. 5

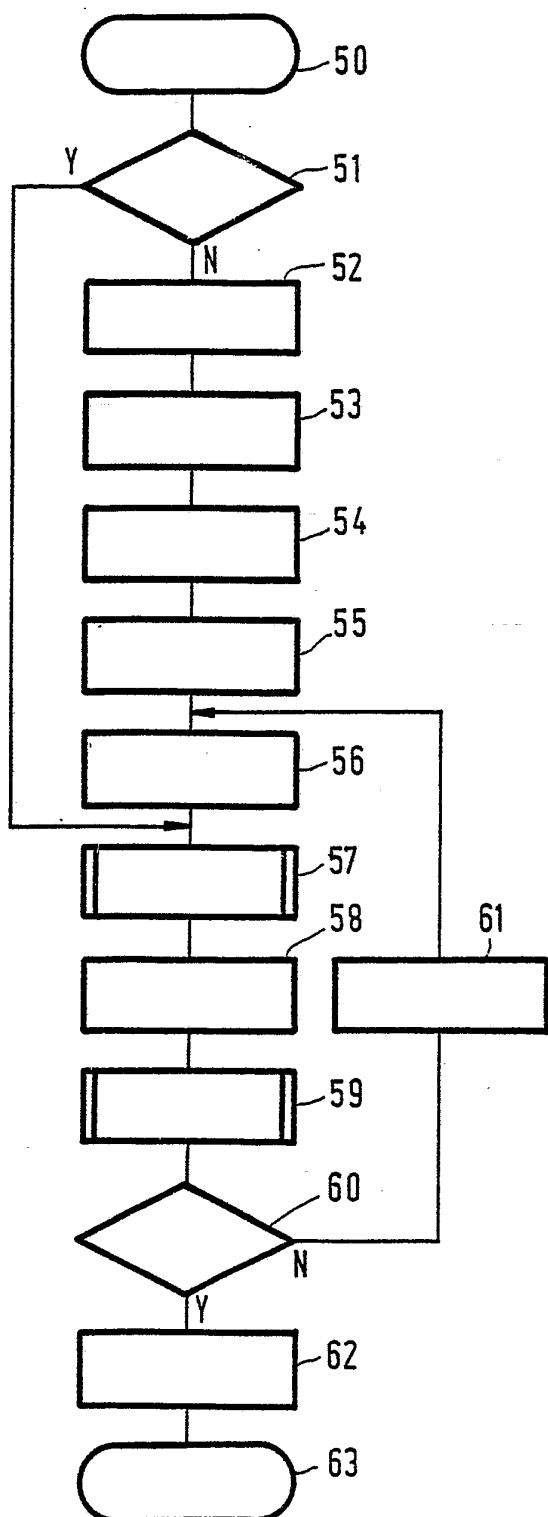


FIG. 6b

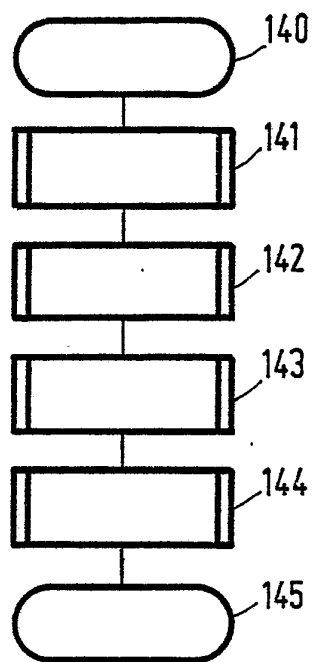


FIG. 6a

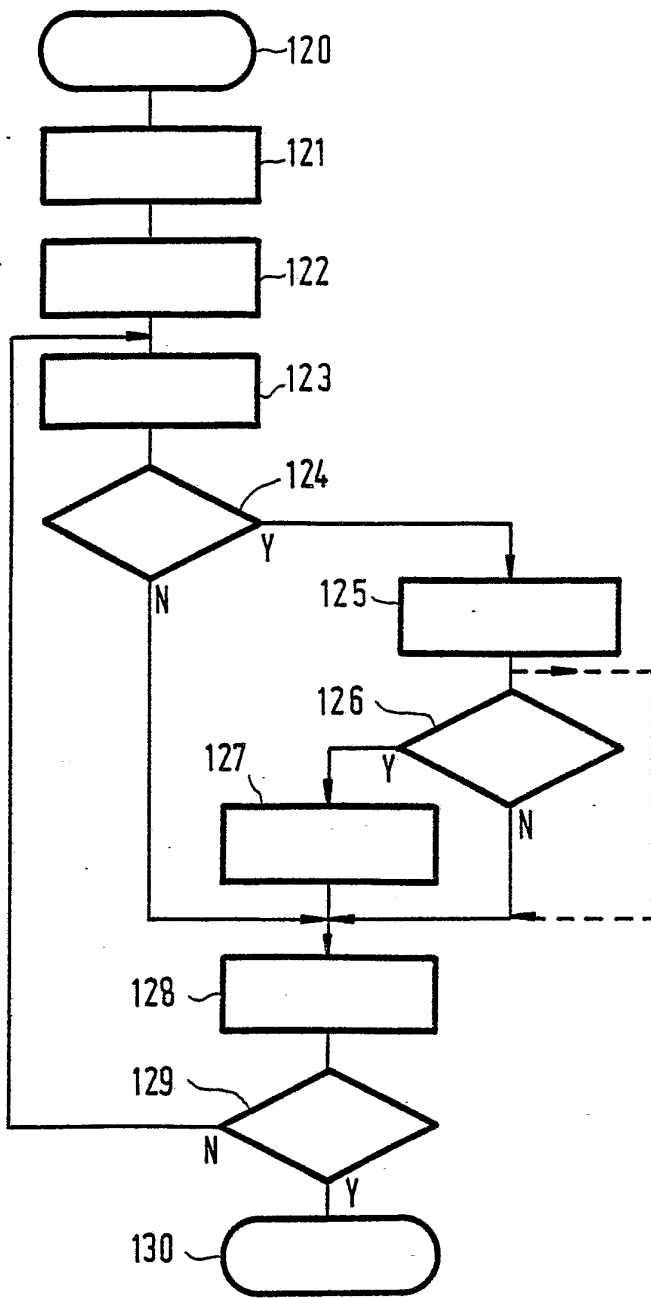


FIG. 6c

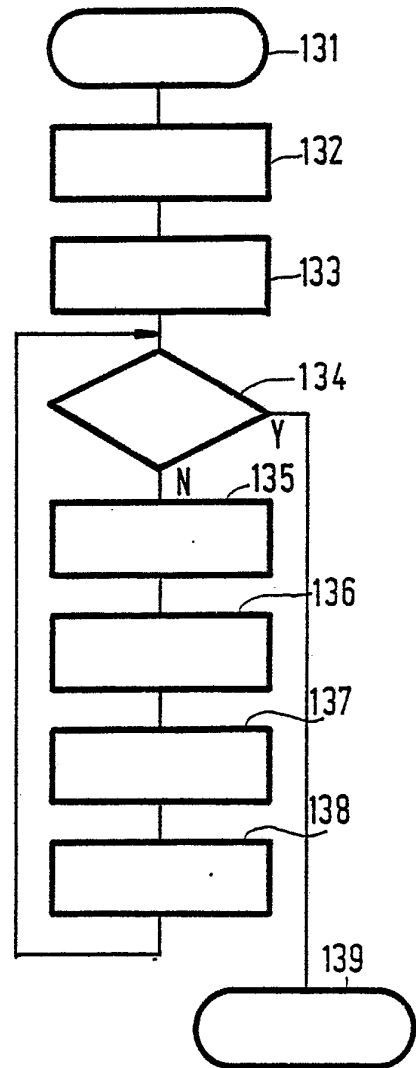


FIG. 6d

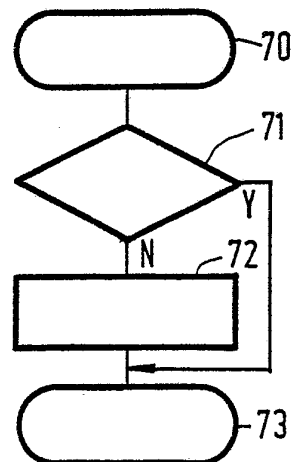
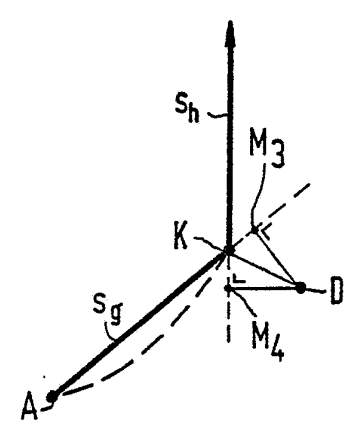
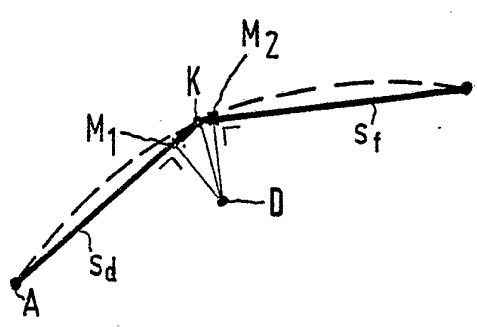
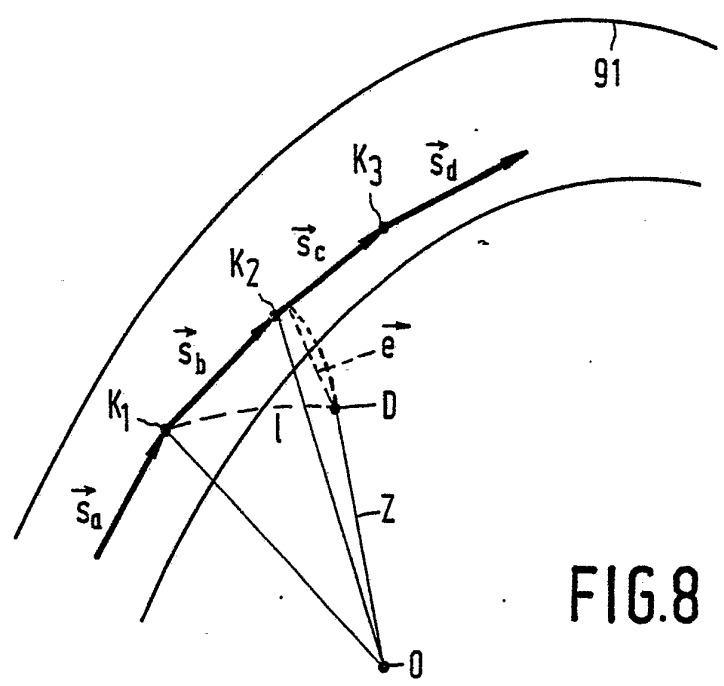
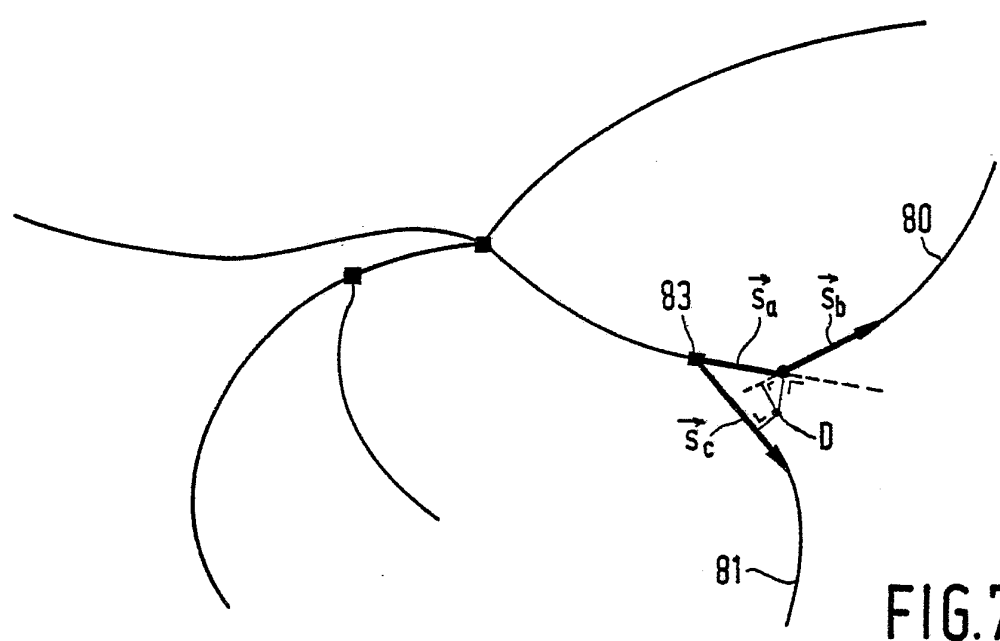
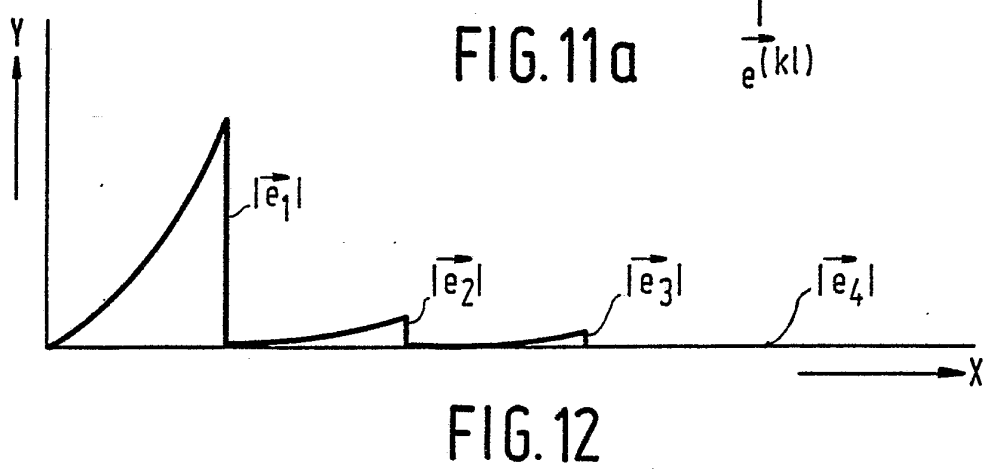
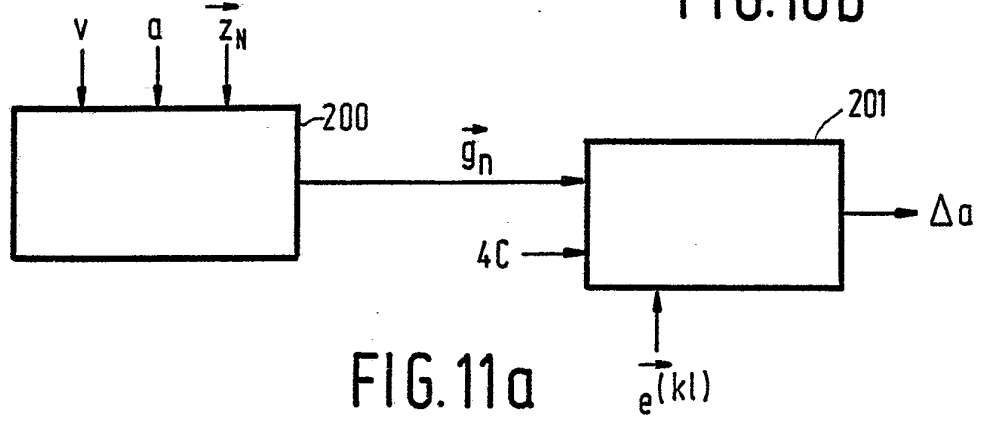
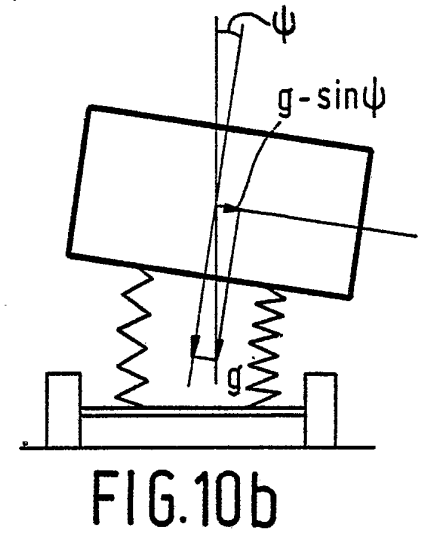
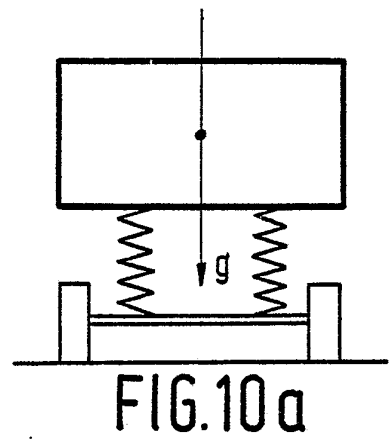
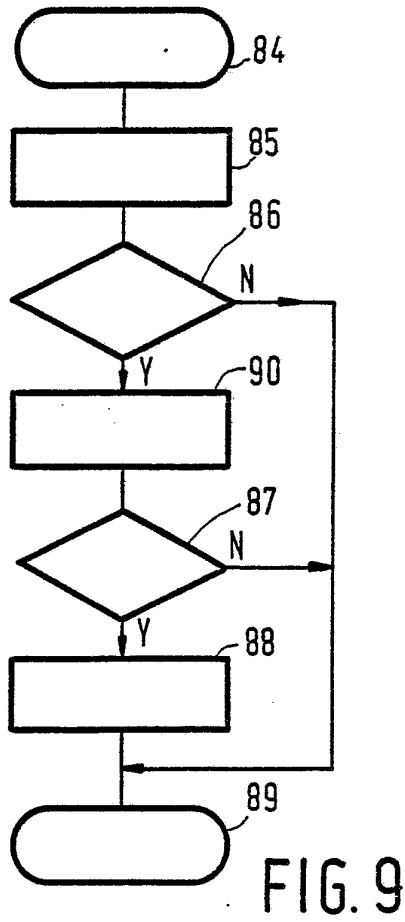


FIG. 6e





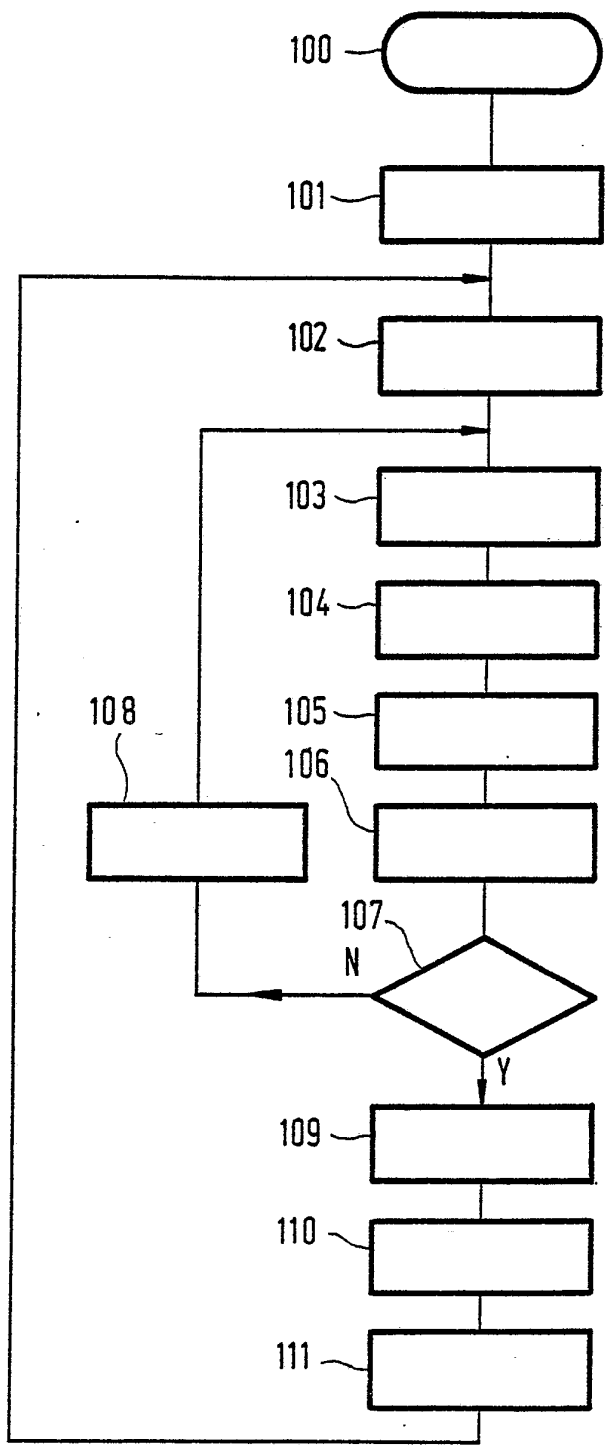


FIG.11b