

19



Octrooiraad
Nederland

11 9401767

12 A TERINZAGELEGGING

21 Aanvraag om octrooi: 9401767

51 Int.Cl.⁶
G01S13/50

22 Ingediend: 25.10.94

43 Ter inzage gelegd:
03.06.96 I.E. 96/06

71 Aanvrager(s):
Hollandse Signaalapparaten B.V. te Hengelo.

72 Uitvinder(s):
Pieter van Genderen te Haaksbergen
Wietze Jan Hendrik Meijer te Enschede

74 Gemachtigde:
Geen

54 Radarapparaat.

57 De uitvinding heeft betrekking op een radarapparaat voorzien van een doppler filterbank en een detector waarin eerst de uit verschillende bursts verkregen doelsecho's worden gecombineerd en daarna de gecombineerde doelsecho's worden gedrempeld. Om de hoeveelheid rekenwerk te beperken worden vooraf de bekende doelen en de sterke doelen op conventionele wijze verwerkt en verwijderd.

NL A 9401767

De aan dit blad gehechte stukken zijn een afdruk van de oorspronkelijk ingediende beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekening(en).

Radarapparaat

- De uitvinding heeft betrekking op een radarapparaat
omvattende antennemiddelen, op de antenne aangesloten
5 zendermiddelen voor het genereren van bursts van
radarzendpulsen, op de antennemiddelen aangesloten
ontvangermiddelen en een daarop aangesloten doppler
filterbank voor het per burst genereren van een range-
doppler matrix van echosterkten representerende range-
10 doppler elementen, combinatiemiddelen voor het combineren
van de per burst verkregen range-doppler matrices en
drempelmiddelen voor de drempeling van de gekombineerde
range-doppler matrices.
- 15 Een dergelijk radarapparaat is bekend uit IEEE Transactions
on Aerospace and Electronic Systems, vol. 26, no. 5,
September 1990, pages 754-766; K. Gerlach and G.A. Andrews:
"Cascaded detector for multiple high-PRF pulse doppler
radars". Het daar beschreven radarapparaat maakt gebruik
20 van bursts van radarzendpulsen met een hoge PRF, waardoor
er dubbelzinnigheid in de range van een doel optreedt, maar
niet in de dopplersnelheid van het doel. Men kan dan door
de ontvangen echo's voor verschillende bursts te combineren
en daarna te drempelen, de range van een doel ondubbel-
25 zinnig bepalen en bovendien een goede detectiekans
realiseren. De methode is echter slechts bruikbaar voor
radarapparaten met een hoge PRF.

De hierboven geschetste bekende methode is met enige
30 aanpassingen natuurlijk ook bruikbaar voor lage PRF radars,
die geen dubbelzinnigheid in range, maar wel dubbelzinnig-
heid in dopplersnelheid geven. Lage PRF radars zijn van
weinig praktische betekenis, omdat ze veelal onvoldoende
clutteronderdrukking kunnen realiseren.

- Bij moderne rondzoekradars is het doorgaans niet mogelijk uitzendingen te beperken tot die van het hoge PRF of het lage PRF type. Dat betekent dat dubbelzinnigheid in range en in dopplersnelheid zal optreden. De onderhavige
5 uitvinding stelt zich ten doel in deze situatie de voor verschillende bursts ontvangen echo's te combineren en vervolgens te drempelen. Ze heeft daartoe als kenmerk, dat de kombinatiemiddelen zijn ingericht voor het combineren van de uit de bursts verkregen in range en in doppler
10 dubbelzinnige range-doppler matrices tot een gekombineerde ondubbelzinnige range-doppler matrix en dat de drempelmiddelen een drempeling van de gekombineerde range-doppler matrix omvat.
- 15 Opeenvolgende bursts van radarzendpulsen worden doorgaans uitgezonden met verschillende PRF's, omdat op die wijze de dubbelzinnigheid in range en in dopplersnelheid van een doel kan worden opgelost. Dit heeft tot gevolg dat de afmetingen van de range dopplermatrices zullen variëren en
20 dat een doel bij opeenvolgend verkregen range-doppler matrices niet steeds bij eenzelfde range-doppler element hoort. Bij voorkeur wordt ook de radarzendfrequentie per burst veranderd, omdat dit het effect van fading vermindert en het radarapparaat ongevoeliger maakt voor jamming. Dit
25 betekent dat de onderlinge faze van echo's van opeenvolgend uitgezonden pulsbursts niet gecorreleerd zijn en samenvoeging van die echo's dus incoherent, bijvoorbeeld op basis van de optelling van moduli van echo's dient plaats te vinden.
- 30 Volgens een gunstige uitvoeringsvorm van de uitvinding vormt niet de modulus van de echosterkte het range-doppler element maar een genormaliseerde echosterkte. Hiertoe wordt per range-dopplerelement de achtergrond geschat, bijvoor-
35 beeld met een in het vakgebied welbekende snelle drempel-

9401767

schakeling. De genormaliseerde echosterkte verkrijgt men dan door de echosterkte te delen door de achtergrond, en hiervan het kwadraat te nemen. Het voordeel van de genormaliseerde echosterkte is dat een meting met een goed
 5 contrast, dus met een goede verhouding tussen de gemeten echosterkte en de geschatte achtergrond, automatisch zwaarder meeweegt in de verdere processing dan een sterk doel in een clutteromgeving. Verder kan de per range-dopplerelement geschatte achtergrond met voordeel worden
 10 bewaard in een achtergrond matrix, om er ten behoeve van de drempeling een drempelwaarde van af te leiden.

Overeenkomstig de uitvinding zijn de kombinatiemiddelen ingericht voor het in twee dimensies uitvouwen en
 15 combineren van de dubbelzinnige range-doppler matrices tot ondubbelzinnige range-doppler matrices. Hoe vaak de range-doppler matrices in de range richting worden uitgevouwen hangt af van de door de PRF bepaalde maximum ondubbelzinnige range en de voor het radarapparaat gespecificeerde
 20 maximum range. Hoe vaak de range-doppler matrices in doppler richting worden uitgevouwen hangt af van de door de PRF en de radarzendfrequentie bepaalde maximum unambiguous speed en de voor het radarapparaat gespecificeerde maximum dopplersnelheid.

25 Een uit een burst voortkomende uitgevouwen range-doppler matrix bestaat uit een aantal aaneengeplakte identieke range-doppler matrices en bestrijkt op die wijze het hele gespecificeerde range-doppler bereik. Een doel verschijnt
 30 dan meermaals in de uitgevouwen range doppler matrix, precies een keer per oorspronkelijke range-doppler matrix. Een ervan is het ware doel, de anderen zijn door aliasing verkregen ghosts. Door nu de uit verschillende bursts verkregen uitgevouwen range-doppler matrices elementsgewijs
 35 op basis van de genormaliseerde echosterkte te sommeren

9 4 0 1 7 6 7

verkrijgt men de gekombineerde range-doppler matrix. Voor het ware doel zal dan een sommatie van de bij dat doel behorende range-doppler elementen optreden, terwijl de ghosts, die op steeds wisselende plaatsen opdoemen,
 5 nagenoeg nooit sommeren. Na combinatie zal het ware doel dan ook een grotere amplitude hebben dan de niet-sommerende ghosts.

In een verdere voordelige uitvoeringsvorm van de uitvinding
 10 worden ook de achtergrond matrices uitgevouwen en vervolgens de geschatte achtergronden elementsgewijs gesommeerd ter verkrijging van drempelwaarden voor de gekombineerde range-doppler matrix.

15 Voor een sterk doel kunnen naast het ware doel ook de individuele ghosts incidenteel de drempeling passeren. Een verdere gunstige uitvoeringsvorm van het radarapparaat heeft daarom als kenmerk, dat de drempeling verder omvat een beslissingscircuit voor het per gekombineerd range-
 20 doppler element waarvoor de drempel wordt overschreden bepalen van de unambiguous doelsafstand en doelssnelheid en voor het vervolgens uit de gekombineerde range-doppler matrix verwijderen van de bij dat doel horende ghost targets.

25

Omdat steeds de som van de genormaliseerde echosterkten van het gekombineerde ware doel groter is dan de sommen van de genormaliseerde echosterkten van gekombineerde ghosts, kan men het ware doel bepalen op basis van de grootste som en
 30 vervolgens de erbij horende ghosts berekenen en verwijderen.

Om de hoeveelheid rekenwerk voor het beslissingscircuit te minimaliseren is het van voordeel bekende doelen uit de
 35 range-doppler matrix te verwijderen voordat wordt

9 4 0 1 7 6 7

uitgevouwen. Dit voorkomt dat ghosts ontstaan die naderhand weer moeten worden opgeruimd.

Verder geldt dat het combineren van echosterkten en het
 5 daarna drempelen van de gekombineerde echosterkte feitelijk
 alleen zinvol is voor zwakke echo's die vóór combinatie een
 onvoldoende detectiekans bezitten. Daarom kan de inrichting
 met voordeel worden voorzien van een preselector, die op
 basis van opeenvolgend gegenereerde range-doppler matrices
 10 op een in het vakgebied bekende wijze sterke echo's
 combineert tot echo's met unambiguous bepaalde doelsafstand
 en doelssnelheid en vervolgens deze echo's uit de range-
 doppler matrices verwijdt voordat deze worden uitge-
 vouwen. Hierdoor wordt de hoeveelheid rekenwerk voor het
 15 beslissingscircuit verder beperkt.

Het radarapparaat volgens de uitvinding zal nu worden
 beschreven aan de hand van Fig. 1, die een blokschema van
 een radarapparaat volgens de uitvinding weergeeft.

20

Fig. 1 toont een blokschema van een radarapparaat volgens
 de uitvinding. Zendermiddelen 1 genereren bursts van
 radarzendpulsen die via antennemiddelen 2 worden uitge-
 zonden. Op de antennemiddelen 2 aangesloten ontvanger-
 25 middelen 3 ontvangen echosignalen en leiden deze naar een
 N-punts doppler filterbank 4, bijvoorbeeld een 16 punts FFT
 eenheid, die de echosignalen per burst verwerkt en toevoert
 aan snelle drempelschakelingen $5.1, \dots, 5.N$. Snelle
 drempelschakeling $5.i$ schat op een op zich bekende wijze de
 30 achtergrond van elke rangequant, bijvoorbeeld aan de hand
 van de echosterkten in naburige rangequanten. Uit de
 echosterkte in een rangequant en de bij deze rangequant
 behorende achtergrond wordt vervolgens een genormaliseerde
 echosterkte afgeleid bijvoorbeeld door de echosterkte te
 35 delen door de achtergrond en hiervan vervolgens het

9401767

kwadraat te nemen. De zo verkregen genormaliseerde echo
sterkten worden vervolgens opgeborgen in de vorm van een
range-doppler matrix in range-doppler geheugen 6. De bij-
behorende achtergronden worden eveneens gekwadraterd en in
5 de vorm van een achtergrondmatrix opgeborgen in achter-
grondgeheugen 7. Op deze wijze worden van een aantal in één
richting uitgezonden bursts, die doorgaans elk een
verschillende PRF hebben en op verschillende radarzend-
frequenties worden uitgezonden, de bijbehorende range-
10 doppler matrices en de achtergrond-matrices opgeborgen.

De snelle drempelschakelingen 5.1,...,5.N kunnen verder
worden gebruikt voor het vooraf drempelen van de in range-
doppler geheugen 6 op te bergen echosterkten. Hierbij
15 drempelt men een echosterkte met de bijbehorende achter-
grond plus een additionele drempelwaarde en schrijft men
een nul in range-doppler geheugen 6 als de drempel niet
wordt overschreden. Een voordeel van deze pre-threshold is
dat veel range-doppler elementen nul zullen zijn, wat de
20 hoeveelheid rekenwerk beperkt. Een nadeel is dat een van de
additionele drempelwaarde afhankelijk detectieverlies zal
optreden.

Zendermiddelen 1, antennemiddelen 2 en ontvangermiddelen 3
25 zijn bij voorkeur geïntegreerd in de vorm van een phased
array systeem, maar ook meer konventionele radar-inrich-
tingen kunnen van de uitvinding gebruik maken, mits het
mogelijk is per richting meerdere bursts van radarzend-
pulsen uit te zenden.

30

Volgens de inventieve gedachte van de uitvinding is het
voordelig, althans voor zwakke doelen, de uit verschillende
bursts afkomstige echo's van een doel eerst te combineren
en pas dan te drempelen ter verkrijging van een mogelijke
35 detectie. Dit proces, cluster before detect, brengt veel

9401767

rekenwerk met zich mee. Het is daarom voordelig eerst de bekende echo's, bijvoorbeeld bekend uit een track proces, uit de range-doppler matrices te verwijderen. Dit vindt plaats in een in het vakgebied op zich bekende doelen-
 5 generator 8 en is gebaseerd op het principe dat voor een doel de doelssterkte, de afstand en de dopplersnelheid weinig veranderen ten opzichte van eerdere metingen en dat die veranderingen bovendien in hoge mate voorspelbaar zijn. De bekende doelengenerator geeft dus voor een track proces
 10 de nieuwe doelssterkte, afstand en doppler af en verwijdert bovendien de met dat doel samenhangende echo's uit de range-doppler matrices.

Verder kunnen voor sterke echo's met een grote genormali-
 15 seerde echosterkte de ondubbelzinnige afstand en doppler direct, op een op zich bekende wijze uit de beschikbare range-doppler matrices worden bepaald in sterke doelen-generator 9. Hierbij wordt dus het cluster before detect principe niet toegepast maar worden individuele range-
 20 doppler matrices gedrempeld onder toepassing van de bijbehorende in achtergrondgeheugen 7 opgeslagen achtergrondmatrices plus een additionele drempelwaarde en de voldoende sterke echo's vervolgens gekombineerd ter verkrijging van de ondubbelzinnige afstand en doppler van
 25 de bijbehorende doelen. Deze worden afgegeven ten behoeve van verdere, op het radarapparaat aan te sluiten processing waarna de bijbehorende echo's uit de range-doppler matrices worden verwijderd. Uiteindelijk zullen in deze matrices uitsluitend zwakke echo's van mogelijke doelen overblijven.

30

Ten behoeve van het cluster before detect proces wordt een range-doppler matrix in range en in doppler uitgevouwen tot een ondubbelzinnige range-doppler matrix, waarin een doel met zekerheid ondubbelzinnig aanwezig is samen met een
 35 aantal zogenaamde ghost targets of ghosts. Hoe vaak wordt

9401767

- uitgevouwen hangt af van de PRF, de radarzendfrequentie en de gespecificeerde maximum range en maximum dopplersnelheid. Als bijvoorbeeld de PRF 5 KHz bedraagt is de dubbelzinnige range 30 km. Als de gespecificeerde maximum range 150 km bedraagt, moet in range dus vijf keer uitgevouwen worden. Met deze PRF kan een dopplerfrequentie van 0-5 KHz worden bemonsterd, wat bij een radarzendfrequentie van bijvoorbeeld 10 GHz neerkomt op een snelheid van 75 m/sec. Voor een gespecificeerd snelheidsgebied van -600m/sec tot 600 m/sec moet in doppler dus 16 keer worden uitgevouwen. De uitgevouwen range-doppler matrix bevat dan voor elk doel één echt doel en 47 ghost doelen, allen met dezelfde genormaliseerde echosterkte.
- De uitgevouwen range-doppler matrices worden in een geheugenveld in eerste kombinatiemiddelen 10 geschreven, waarbij ze bovendien achtereenvolgens voor alle te combineren bursts worden gesommeerd. Hierbij geldt dat voor echte doelen, die althans voor kleine veranderingen van de PRF en voor kleine veranderingen van de radarzendfrequentie steeds op dezelfde plaats in elke uitgevouwen range-doppler matrix verschijnen, de genormaliseerde echosterkten worden gesommeerd. Ghosts daarentegen verschijnen voor verschillende burst op verschillende plaatsen en zullen dus alleen bij hoge uitzondering sommeren. Op deze wijze zullen door het sommeren de echosterkten van ware doelen toenemen en van ghosts nagenoeg niet. De in eerste kombinatiemiddelen 10 gegenereerde gekombineerde range-doppler matrix wordt vervolgens samen met een op geheel vergelijkbare wijze in tweede kombinatiemiddelen 11 gegenereerde uitgevouwen en gekombineerde achtergrondmatrix aangeboden aan drempeling 12, die bij een drempeloverschrijding een detectie genereert. De drempeloverschrijding wordt aan zwakke doelengenerator 13 toegevoerd, die ten behoeve van verdere processing de doelssterkte, doelsafstand en doppler van het

9 4 0 1 7 6 7

bijbehorende doel genereert en bovendien het doel plus de
 bijbehorende ghosts uit de gekombineerde range-doppler
 matrix verwijdt. Op deze wijze kan men, door met de
 sterkste echo in de gekombineerde range-doppler matrix te
 5 beginnen, alle doelen opsporen.

Als de PRF of de radarzendfrequentie significant gaat
 variëren, dan is het zonder additionele maatregelen niet
 mogelijk de verschillende uitgevouwen range-doppler
 10 matrices verliesvrij te sommeren, omdat de schaal althans
 in dopplerrichting verschilt. Nemen we als voorbeeld een
 radarapparaat werkend met bursts van 16 pulsen met een PRF
 van 5 Khz en een radarzendfrequentie van 10 Ghz. De range-
 doppler matrix heeft dan dopplerquanten van 75/16 m/sec.
 15 Verlaagt men de PRF tot 4 Khz, dan worden de dopplerquanten
 60/16 m/sec. Een doel met een bepaalde snelheid zal daarom
 bij verschillende range-doppler matrices in verschillende
 kolommen verschijnen. Dit probleem kan elegant worden
 opgelost door de radarzendfrequentie en de PRF evenredig te
 20 variëren, waarbij zoals bekend de grootte van de doppler-
 quanten niet verandert. Is dit niet mogelijk, of ongewenst,
 dan is één of andere vorm van interpolatie nodig voordat de
 uitgevouwen range-doppler matrices kunnen worden gekombi-
 neerd. Men kan bijvoorbeeld de uitgevouwen range-doppler
 25 matrix afbeelden op een standaard matrix, die in range
 dezelfde rangequanten kent als de range-doppler matrices
 maar in doppler dopplerquanten kent die kleiner zijn. De
 standaardmatrix is dan onderdeel van eerste combinatie-
 middelen 10 en wordt gevuld met behulp van de uitgevouwen
 30 range-doppler matrices, waarbij elk matrixelement van de
 standaardmatrix wordt gevuld met behulp van het meest
 nabijgelegen matrixelement uit de uitgevouwen range-
 dopplermatrix of uit een interpolatie van de meest nabij-
 gelegen matrixelementen.

35

9401767

Verder geldt dat tengevolge van de in doppler filterbank 4 noodzakelijk toegepaste weging doorgaans doppler straddling zal optreden, waardoor een doel in enkele aaneengesloten filteruitgangen zichtbaar is, wat de interpolatie weinig
5 kritisch maakt.

Het is mogelijk dat in één enkele range-doppler matrix een sterke stoorpuls optreedt, die zonder verdere maatregelen na uitvouwen en combineren de drempeling zou passeren. Om
10 stoorpulsen te onderdrukken wordt daarom nagegaan dat een echo in tenminste N uit M oorspronkelijke dubbelzinnige range-doppler matrices aanwezig was, welke matrices in range-doppler geheugen 6 beschikbaar zijn. Hoe N en M worden gekozen hangt af van het aantal bursts dat is
15 gekombineerd in de gekombineerde range-doppler matrix, van het overeenkomstige element in de additionele matrix en van de gewenste false alarm rate en detectiekans. Voldoet de echo aan het N uit M criterium, dan wordt hij voor verdere verwerking afgegeven.

20

De doelengenerators 8, 9, 13, de kombinatiemiddelen 10, 11 en de drempeling 12 kunnen met voordeel worden gerealiseerd als geschikt geprogrammeerde digitale signaalprocessors (DSP's), werkend op één geheugenveld waarin range-doppler
25 geheugen 6, achtergrondgeheugen 7 en de geheugen velden van eerste kombinatiemiddelen 10 en tweede kombinatiemiddelen 11 zijn ondergebracht.

9401767

Conclusies:

1. Radarapparaat omvattende antennemiddelen, op de antennemiddelen aangesloten zendermiddelen voor het
5 genereren van bursts van radarzendpulsen, op de antennemiddelen aangesloten ontvangermiddelen en een daarop aangesloten doppler filterbank voor het per burst genereren van een range-doppler matrix van echosterkten representerende range-doppler elementen, kombinatiemiddelen voor
10 het combineren van de per burst verkregen range-doppler matrices en drempelmiddelen voor de drempeling van de gekombineerde range-doppler matrices, met het kenmerk, dat de kombinatiemiddelen zijn ingericht voor het combineren van de uit de bursts verkregen in range en in dopplersnelheid dubbelzinnige range-doppler matrices tot een
15 gekombineerde ondubbelzinnige range-doppler matrix en dat de drempelmiddelen een drempeling van de gekombineerde range-doppler matrix omvat.
- 20 2. Radarapparaat volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat het aantal radarzendpulsen in een burst althans in hoofdzaak overeenkomt met het aantal kanalen van de doppler filterbank.
- 25 3. Radarapparaat volgens conclusie 1 of 2, met het kenmerk, dat voor de verschillende bursts de PRF verschilt.
4. Radarapparaat volgens conclusie 3, met het kenmerk, dat voor de verschillende bursts de radarzendfrequentie
30 verschilt.
5. Radarapparaat volgens conclusie 4, met het kenmerk, dat de range-doppler elementen genormaliseerde echosterkten representeren.

6. Radarapparaat volgens conclusie 5, met het kenmerk, dat per range-doppler matrix is voorzien in een achtergrond matrix, waarbij een matrixelement de geschatte achtergrond van het bijbehorende range-doppler element representeert.
- 5
7. Radarapparaat volgens conclusie 6, met het kenmerk, dat de kombinatiemiddelen zijn ingericht voor het in twee dimensies uitvouwen van de dubbelzinnige range-doppler matrices tot ondubbelzinnige range-doppler matrices.
- 10
8. Radarapparaat volgens conclusie 7, met het kenmerk, dat de kombinatiemiddelen zijn ingericht voor het elementsgewijs sommeren van de ondubbelzinnige range-doppler matrices tot de gekombineerde range-doppler matrix.
- 15
9. Radarapparaat volgens conclusie 8, met het kenmerk, dat de kombinatiemiddelen zijn ingericht voor het in twee dimensies uitvouwen van de achtergrondmatrices en voor het elementsgewijs sommeren van de geschatte achtergronden ter
- 20 verkrijging van drempelwaarden voor de gekombineerde range-doppler matrix.
10. Radarapparaat volgens conclusie 9, met het kenmerk, dat de drempeling verder omvat een beslissingscircuit voor
- 25 het per gekombineerd range-doppler element waarvoor de drempel wordt overschreden bepalen van de unambiguous doelsafstand en doelssnelheid en voor het uit de gekombineerde range-doppler matrix verwijderen van de bij dat doel horende ghost targets.

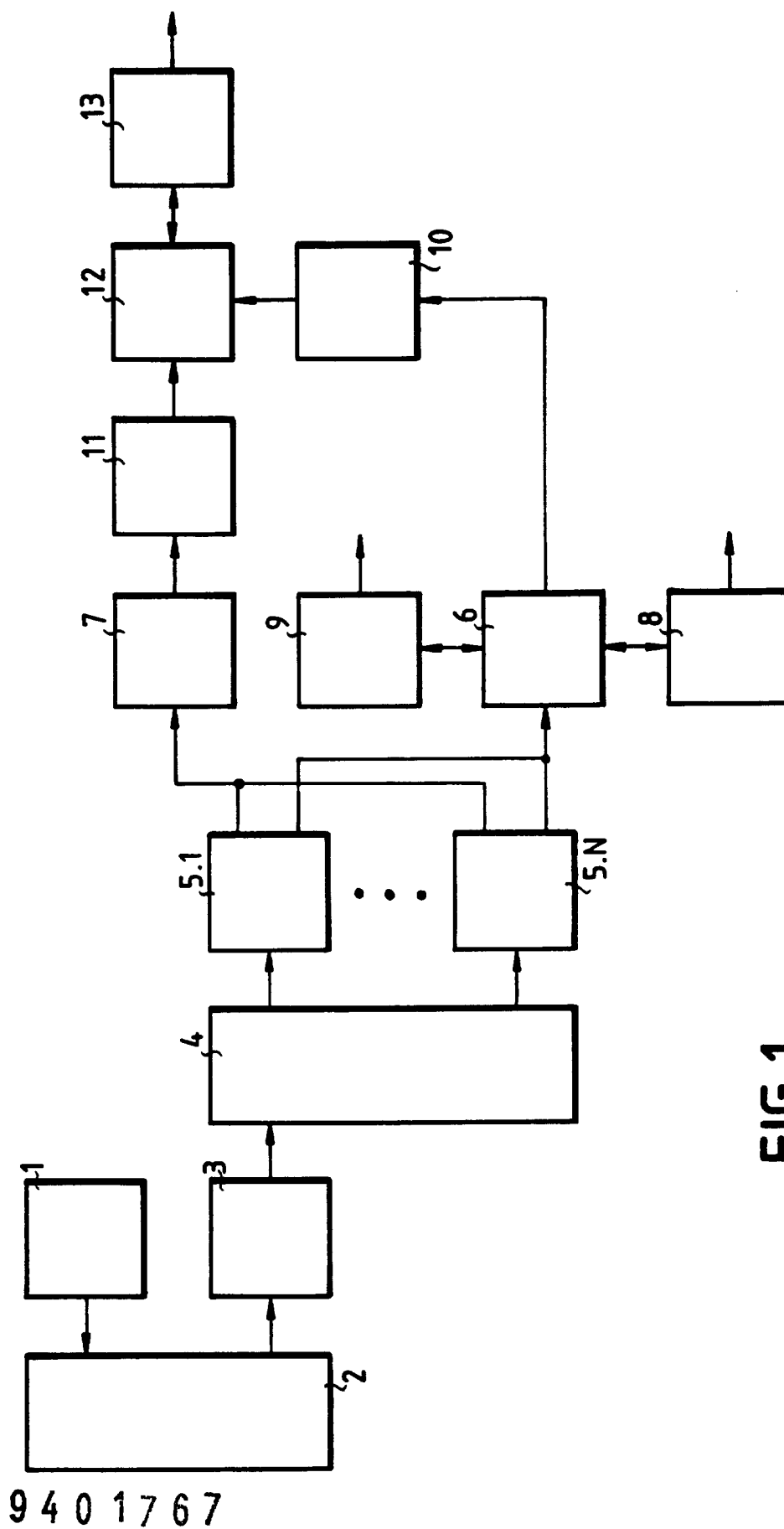


FIG.1

9 4 0 1 7 6 7