

**KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

TECHNISCHE RAPPORTEN

T.R. - 76

J.J.M. van Gorp en H.M. van der Kolk

Foutencontrole bij meteorologische metingen.

De Bilt, 1985

Publikatienummer: K.N.M.I. T.R. 76 (Insa IO)

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
Instrumentele afdeling
Postbus 201
3730 AE De Bilt
Nederland

© KNMI, De Bilt. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotocopie, microfilm, of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het KNMI.

U.D.C. : 551.501

ISSN : 0169-1708

Inhoudsopgave

SAMENVATTING	5
HOOFDSTUK 1 INLEIDING	
1.0. Inleiding	6
1.1. De probleemstelling	8
1.2. De aanpak	9
HOOFDSTUK 2 HET BEGRIP CONTROLE	
2.0. Wat is controle ?	11
2.1. De techniek van de patroonherkenning	14
2.2. Evaluatie van de methode	16
HOOFDSTUK 3 INVENTARISATIE VAN DE MEETMETHODEN	
3.0. Inleiding	18
3.1. Algemeen meetproces	19
3.2. Ontwerpcriteria	20
HOOFDSTUK 4 INVENTARISATIE VAN DE ONDERDELEN VAN HET MEETSISTEEM	
4.0. De methode	25
4.1. De primaire omzetter	26
4.2. Analoo digitaal omzetter	30
4.2.1. Een voorbeeld: de windrichting	43
4.2.2. Een voorbeeld: de windsnelheid	46
4.2.3. Defecten en testsysteem analoo digitaal omzeters	48
4.3. Transmissies	49

HOOFDSTUK 5 TOEPASSING VAN DE PATROONHERKENNING

5.0.	Foutencontrole op basis van het meetsignaal	52
5.1.	Bepaling van de klassen E_i	54
5.2.	Het bepalen van de kenmerken	54
5.3.	Het beslissingscriterium	60
5.4.	De implementatie	65

HOOFDSTUK 6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.0.	Conclusies	67
6.1.	Aanbevelingen	68

nawoord	68
---------	----

LITERATUUR	69
------------	----

SAMENVATTING

In het kader van het automatiseren van metingen van meteorologische grootheden is een automatische controle gewenst. Met het oog op toekomstige ontwikkelingen zoekt men naar methoden die defecten en storingen kunnen signaleren. Een methode daarvoor is de patroonherkenning. Naast de methoden die vooral instrumenteel te werk gaan, wordt hier een methode voorgesteld die geheel in de rekenmachine kan plaatsvinden. Onder een aantal voorwaarden kan men op basis van het bemonsterde meetsignaal patroonherkenning toepassen voor het detecteren van defecten. Op grond van bepaalde kenmerken van het meetsignaal kan men toestanden detecteren die zich onderscheiden van de toestand waarin het meetsysteem volgens verwachting functioneert. Om deze kenmerken te vinden wordt de analyse van het spectrum voorgesteld. Dit spectrum kan worden geschat door gebruik te maken van de berekening van het discrete spectrum via snelle fouriertransformatie.

HOOFDSTUK 1. Inleiding

1.0 Inleiding

Bij het zoeken naar voorspellingen voor fysische processen neemt meten een belangrijke plaats in. Sinds de oprichting van het KNMI in 1854 vindt onderzoek plaats naar verschijnselen in de atmosfeer. Een uitgebreid meetnet is sindsdien opgebouwd. De meetapparatuur heeft ook een hele verandering doorgemaakt. Uit de allereerste mechanische toestellen ontstonden er door de invloed van de elektrotechniek elektronisch registrerende systemen. Deze systemen, die ook nu nog worden gebruikt, registreren 24 uur per dag variabelen zoals temperatuur, windrichting, windsnelheid, druk, neerslag enz.. Een nieuwe ontwikkeling is het gebruik van minicomputers in het meetproces. Nu is elke vernieuwing van een meetproces niet eenvoudig in te voeren. Het is denkbaar dat het vertrouwen in de meting geschaad wordt, als zou blijken dat er na een verandering in het meetproces het klimaat veranderd is. Zover zal het wel niet komen, maar de gedachte kenschetst wel een van de vele consequenties die de invoering van nieuwe technieken met zich meebrengt.

Automatisering heeft vooral verwachtingen ten aanzien van de rationaliteit van het meetproces. Centraal hierbij staat de rol van de waarnemer. De waarnemer berekent en bepaalt nu de meetwaarden aan de hand van schrijverregistraties. Voor het bepalen van bijvoorbeeld het windsnelheidsgemiddelde bestaat een methode die snel is uit te voeren, maar waarvan het resultaat moeilijk te toetsen is op betrouwbaarheid, reproduceerbaarheid en nauwkeurigheid. Het bepalen van een gemiddelde aan de hand van een aantal bemonsteringen is voor een digitale rekenmachine een koud kunstje, waarvan de nauwkeurigheid gegarandeerd en gecontroleerd kan worden. Door het automatiseren van het bepalen van de meetwaarden staan de specificaties en nauwkeurigheden weer volop in de

belangstelling.

Een tweede aspect van de rol van de waarnemer is de intuïtieve controle die plaatsvindt tijdens het aflezen van de registraties. Er bestaan bepaalde verwachtingen voor bepaalde eigenschappen van de meetsignalen. Onregelmatigheden worden gemeld, waardoor men de storingen kan verhelpen. Bij automatisering komt deze vorm van controle te vervallen, daardoor neemt het vertrouwen in de meetwaarde aan de gebruikerszijde af. Een verantwoorde automatisering voorziet in deze vraag naar controle.

1.1. De probleemstelling

Het probleemgebied is algemeen: 'automatische foutencontrole bij meteorologische metingen'. Een eerste beperking van dit gebied is dat we zullen zoeken naar een methode die slechts een gedeelte van het totale meetproces controleert. We denken bijvoorbeeld aan de automatisering van controles die nu nog door mensen verricht worden. Als voorbeeld het uittrekken van stroken. Bij het verzamelen van windgegevens beoordeelt de waarnemer de stroken en meldt niet normale situaties. Bij automatisering zal deze controle vervallen. Daarmee verdwijnt het toezicht van de waarnemer op de meetwaarden. Dit is slechts een voorbeeld en duidt op de vraag naar automatische foutencontrole.

De vele meteorologische metingen zijn onderling sterk verschillend. De meetinstrumenten verschillen sterk b.v. mechanische windsnelheidsmeter en elektronische temperatuurmeting. Verder verschilt de aard van de variabele sterk. Temperatuur is een grootte die nogal traag varieert, windsnelheid is vaak bijzonder onrustig. In het kader van automatisering zijn algemene methodes waardevol. In het uiterste geval is een vorm van controle gewenst die voor elk meetinstrument toepasbaar is. Een algemene aanpak van dit probleem is daarom de beste basis voor het vinden van algemene methodes.

Zoals bij lezing van dit rapport zal blijken is het gebied van studie nogal uitgebreid. Daarom zullen bepaalde onderwerpen niet diepgaand onderzocht kunnen worden. We zullen ons vooral beperken tot de volgende onderwerpen:

Een afschatting van de fouten in de uiteindelijke meetwaarde ten gevolge van een aantal algemeen voorkomende fouten in een analoog digitaalomzetter. Een algemene theoretische beschouwing zal worden geïllustreerd met een praktische toepassing. Hiervoor is de windmeting, windsnelheid en windrichting gekozen.

Het aangeven van methoden die een aantal standaard storingen in het meetsignaal kunnen herkennen en hun effect op de meetwaarde bepalen. Daarbij gelet op de consequenties van de methoden op het meetsysteem, bijvoorbeeld welke mate van informatieverlies is toegestaan en de consequenties van het meetsysteem voor de methoden, in hoeverre is de methode toepasbaar bij andere metingen?.

1.2. De aanpak

Een algemene aanpak van het probleem: het vinden van automatische controles is als volgt te formuleren. Uitgaande van een omschrijving en vastlegging van het begrip controle de mogelijkheden van dat gebied aangeven. De gedachte is dat uit bestudering van het meetproces, opgesplitst in onderdelen de specificaties geschat en gecontroleerd kunnen worden. Tevens leidt deze beschrijving van onderdelen naar inzicht in het optreden van storingen en defecten. In het algemeen veranderingen in het meetsysteem die voor controle van belang zijn.

Samengevat: Omschrijf het begrip controle. Dit moet dan leiden tot de antwoorden op de volgende vragen;

- Welke mogelijke controles zijn te automatiseren ?
- Welke techniek wordt hiervoor toegepast ?

HOOFDSTUK 2 Het begrip controle

2.0. Wat is controle ?

Bij de nu volgende beschouwing gaan we uit van een systeem dat voor een bepaalde taak is ontworpen. In ons geval is dat een systeem dat meetwaarden levert. Hoe goed of hoe slecht het systeem erin slaagt deze taak uit te voeren wordt weergegeven door een aantal specificaties. Hoe deze specificaties of ontwerpcriteria tot stand komen zullen we in een volgend hoofdstuk zien.

Vanuit deze gedachte kunnen we het begrip controle omschrijven als:

Controle is het signaleren van veranderingen van de specificaties naar aanleiding waarvan het systeem zijn taak, waarvoor het ontworpen is niet meer naar behoren kan vervullen. Daarnaast houdt controle in dat er naar aanleiding van het signaleren van een verandering bepaalde handelingen, acties worden ondernomen zodat het systeem zo snel mogelijk weer aan de verwachtingen kan voldoen.

Wanneer het meetsysteem operationeel is kunnen de volgende gebeurtenissen plaatsvinden:

Defect : Dit is een bepaalde toestand gekarakteriseerd door bepaalde veranderingen in het systeem, elektrisch, mechanisch waardoor het systeem zijn taak niet meer naar behoren kan vervullen.

Een andere 'gebeurtenis' die veranderingen in het systeem tot gevolg heeft is:

Verval: Sinds het moment van ingebruikname slijten

onderdelen. Op den duur lopen de nauwkeurigheden gevaar. Evengoed zijn plotselinge aanslagen van de omgeving op het systeem hierop van toepassing.

Tengevolge van de veranderingen die teweeggebracht worden door bovengenoemde gebeurtenissen treden er een aantal 'defect toestanden' op z.g.n. failures modes. Deze zullen we in het vervolg aanduiden met:

$$\{ E_i \mid i=0 \dots N-1 \}$$

Hierin is E_0 de toestand van het systeem wanneer de specificaties worden gehaald. De andere toestanden worden bereikt wanneer door het optreden van combinaties van defecten en verval de specificaties niet meer gehaald worden.

In het algemeen kan het proces dat plaatsvindt rond deze failure modes worden aangegeven door de volgende processen:

- Bewaken** Het bewaken van de conditie van het systeem. Dat kan via metingen van een test systeem, het vergelijken van de metingen met de specificaties.
- Diagnose** Teneinde een toestand E_i aan te wijzen of het defect te localiseren moet er een diagnose plaatsvinden. Hieronder valt de verwerking van signalen e.d..
- Localiseren** Als er sprake is van een toestand E_i $i=1 \dots N-1$ kan de plaats van het defect worden gelocaliseerd.
- detecteren** Dit houdt in het identificeren van de aan- of afwezigheid van een gespecificeerde toestand.

Analyseren Dit proces verwerkt alle informatie die in het verleden verkregen is van het systeem of onderdelen daarvan. Hieruit komt kennis van het ontstaan van defecten en de gevolgen daarvan.

Nadat een bepaalde toestand E_j is gevonden kunnen er acties worden ondernomen. Hieronder een lijst van mogelijkheden.

- Het geven van een alarm in geval er een ernstig defect is opgetreden
- Het aanvragen van onderhoud.
- Het aanpassen van de hardware; het inschakelen van reserve onderdelen of sensoren.
- Het opstarten van bepaalde software routines, die bijvoorbeeld de bemonsterfrequentie verhogen, verlagen.
- Het aanpassen van het ontwerp, wanneer zou blijken dat een bepaald onderdeel steeds defecten veroorzaakt.
- Het schrappen, veranderen van meetwaarden.

We hebben nu gezien wat de mogelijkheden zijn van controle en hoever deze zich uitstrekken. De processen die daarbij een belangrijke rol spelen, en die we uiteraard willen automatiseren, zijn ook omschreven. Evenals de informatie die we voor de controle gebruiken.

Voordat we aangeven welke processen geautomatiseerd

kunnen worden en op welke manier we de controle uitvoeren is het nodig aandacht te besteden aan het succes van het controleproces.

Net als ieder ander proces kunnen hier ook fouten optreden. Dit wordt tot uitdrukking gebracht door de volgende foutenkansen. Deze kunnen voor elke toestand E_i bepaald worden.

1. **Incorrecte diagnose** :Er wordt een diagnose van een verkeerde toestand uitgevoerd.
2. **Misser** :Het niet detecteren en handelen wanneer de toestand $E \in \{E_i | i=1..N\}$
3. **Vals alarm** :Het detecteren van $E \in \{E_i | i=1..N\}$ terwijl de echte toestand E_0 is.
4. **Correcte detectie** :Het detecteren van de echte toestand en correct handelen.

2.1. De techniek van de patroonherkenning

Het proces dat we in de vorige paragraaf hebben leren kennen, heeft veel overeenkomst met het gebied van de patroonherkenning. De patronen die herkend moeten worden komen overeen met de defect toestanden E_i . Patroonherkenning is een automatisch proces dat met een minicomputer uitgevoerd kan worden. We zullen nu de stappen van dat proces doorlopen en het verband met de vorige paragraaf aangeven.

STAP 1 Patroonmeting

De patroonmeting houdt in dat er zoveel mogelijk informatie verzameld wordt die de toestand van het systeem zo goed mogelijk beschrijft. In de eerste plaats denken we aan

signalen. Bijvoorbeeld het meetsignaal zelf, op een of meer plaatsen in het meetproces. Verder signalen die afkomstig zijn van een test systeem. Naast signalen bestaat de informatie uit waarden van parameters, specificaties e.d., of misschien zelfs de datum van het laatste onderhoud.

Op basis van dit gemeten patroon moet er een beslissing worden genomen tot welke klasse E_i het patroon behoort. Over het algemeen bevat het patroon zeer veel informatie. De verwerking hiervan is meestal niet binnen een korte tijd mogelijk. Het is daarom van belang dat er bepaalde vorm van datareductie op het patroon wordt toegepast. Dit levert een aantal kenmerken op, op grond waarvan de beslissing kan worden genomen.

STAP 2. Het bepalen van de kenmerken

Het gemeten patroon wordt verwerkt, na een aantal rekenoperaties komen de kenmerken tevoorschijn. Nadat de kenmerken zijn berekend wordt de beslissing genomen.

STAP 3. Het bepalen van de toestand E_i

Deze stap is te vergelijken met het bewaken en detecteren. De laatste stap in het proces bestaat uit het opsporen van het defect. Dit kan gebeuren aan de hand van een automatisch diagnose. Hierbij wordt bijvoorbeeld afhankelijk van de gedetecteerde toestand een software routine opgestart die het systeem op bepaalde onderdelen controleert. Evengoed is het mogelijk dat bepaalde klassen E_i overeenkomen met bepaalde defecten.

STAP 4. Het ondernemen van acties

Hier kunnen we weer de lijst geven die we in de vorige paragraaf al gezien hebben.

Het succes van de patroonherkenning kan op dezelfde manier beschreven worden als het controle proces in de vorige paragraaf. De verschillende kansen kunnen in de praktijk berekend worden wanneer de conditionele kansdichtheidsfuncties $p(X|E_i)$ en de kansen op een bepaalde toestand $P(E_i)$ bepaald zijn. Hierin bevat X de kenmerken van het patroon. De beslissingsprocedure wordt zodanig bepaald dat een of ander optimaliseringscriterium gehaald wordt. Hiervoor kan bijvoorbeeld een minimale kans op een misser of een maximale kans op een correcte detectie genomen worden. Men kan ook aan het optreden van de vier gebeurtenissen: niet correcte diagnose, misser, vals alarm, correcte detectie, kostenfuncties verbinden. Het optimaliseringscriterium is dan minimale kosten.

2.2. Evaluatie van de methode

Een belangrijke begrenzing van de patroonherkenning wordt gevormd door de observeerbaarheid van het systeem. Bij het optreden van ernstige defecten ergens in het meetproces wordt aan deze voorwaarde niet meer voldaan. Evenals het uitvallen van het testsysteem maakt het onmogelijk de toestand van het systeem te weten te komen op basis van de actuele metingen. Een tweede begrenzing vormen de tijdafhankelijke variaties in het systeem. Deze zijn vaak niet of nauwelijks te beschrijven. In praktijk houdt dat in dat onderdelen voor een bepaalde tijd gegarandeerd moeten worden.

Van de processen die een belangrijke rol spelen bij controle kunnen via de patroonherkenning geautomatiseerd worden:

- Bewaken
- Detecteren
- Diagnose
- Localiseren

Het analyseproces moeten we in de regel zelf uitvoeren.
Deze analyse moet de volgende informatie opleveren:

1. Specificaties van de toestand E_0 met kenmerken, nauwkeurigheden e.d.
2. Bepaalde keuze van klassen E_i met hun kenmerken.
3. Het uitvoeren van de patroonmeting, mogelijkheden voor de diverse onderdelen.
4. Mogelijkheden voor het test systeem.

Vervolgens kan het proces van de patroonherkenning toegepast worden. Hierbij staan nog de volgende punten open:

1. Waaruit bestaat het patroon dat we meten ?
2. Op welke manier berekenen we de kenmerken van de toestanden E_i uit het patroon ?
3. Welk optimaliseringscriterium gebruiken we ?
4. Wat is ons beslissingscriterium ?

HOOFDSTUK 3 Inventarisatie van de meetmethoden

3.0. Inleiding

Naar aanleiding van de beschouwing over controle en de band met de patroonherkenning hebben we gezien dat bestudering van de meetmethoden de volgende resultaten moet opleveren:

- Specificaties van het meetproces die weergeven hoe het systeem functioneert onder bepaalde omstandigheden, in het bijzonder de toestand E_0 .
- Aangeven van de mogelijkheden die er bestaan voor het verkrijgen van informatie over het systeem, ten bate van de patroonmeting en testsysteem.
- Inzicht in het optreden van defecten en hun uitwerking op het systeem en de uiteindelijke meetwaarden.
- Aangeven van klassen E_i en hun kenmerken.

De methode die gevolgd wordt bestaat in het opsplitsen van het meetproces in onderdelen. Deze onderdelen zullen we in het algemeen omzeters noemen. Een omzetter zet een grootte aan de ingang om in een of andere grootte aan de uitgang. Onder bepaalde voorwaarden kunnen we zo'n omzetter door middel van in- uitgang relaties beschrijven. Naast de methoden die op dit gebied voor deterministische signalen gebruikt worden, zoals Fourier en Laplace gebruiken we ook methoden uit de stochastische signaaltheorie. Dat komt omdat de gebruikers vaak geïnteresseerd zijn in een of andere stochastische grootte. Het meetsysteem is dan zo ontworpen dat deze bedoelde grootte met een bepaalde nauwkeurigheid

gemeten kan worden.

3.1. Algemeen meetproces

In het algemeen kan men een automatisch meetproces weergeven als in figuur 3.1.1.

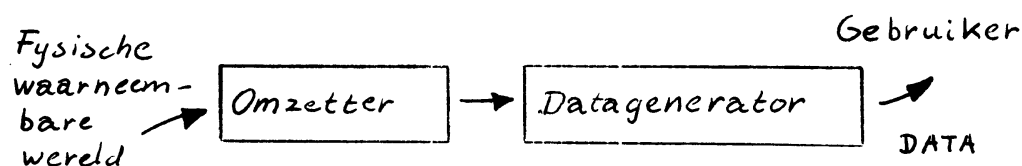


fig. 3.1.1. Automatisch meetproces.

Aan de linkerkant bevindt zich de fysisch waarneembare wereld, aan de rechterkant de waarnemer. Doel van dit proces is de waarnemer eenduidige waarden van het gemeten verschijnsel te leveren. Op de weg van verschijnsel naar meetwaarde zijn allereerst twee onderdelen te onderscheiden. Omdat de meeste meetmethoden elektrisch werken onderscheiden we eerst de omzetting van fysisch verschijnsel naar elektrisch signaal. Deze spanning of stroom is nog geen meetwaarde! De bewerkingen op dit signaal die nodig zijn voordat er van een meetwaarde kan worden gesproken vinden plaats in het blok dat we datagenerator zullen noemen. In de praktijk wordt een digitale rekenmachine gebruikt voor het afbeelden van signaalwaarden op een ijkcurve en het berekenen van de meetwaarden.

Voor wat een verdere bestudering betreft zullen we ons alleen bezighouden met de eerste omzetting: van fysisch verschijnsel naar elektrisch signaal. Dat wil zeggen : we controleren de rekenmachine niet. Eerder is al opgemerkt dat bij uitval van bijvoorbeeld de rekenmachine de controle

wegvalt. Dit is niet zo'n ernstige situatie omdat deze waarneembaar is voor systemen of waarnemers. De machine zendt bijvoorbeeld geen berichten meer uit. Een andere situatie is ernstiger, namelijk het optreden van storingen in de interfaces. Deze zou men in principe bij het controleproces kunnen betrekken, dat doen we hier niet. We beperken ons tot het meetsysteem tot aan de datagenerator.

3.2. Ontwerpcriteria

Uiteindelijk stelt de gebruiker de eisen aan de meetwaarden. We zullen hier de belangrijkste ontwerpcriteria noemen die ook voor de controle van het meten van belang zijn.

1. Een belangrijk aspect is het definiëren van het verschijnsel dat gemeten moet worden. Dit bepaalt de keuze van de sensor, het eigenlijke meetinstrument. In praktijk komt de omgekeerde redenering ook voor!
2. Hoewel de meeste grootheden continue in de tijd variëren zijn de gebruikers slechts geïnteresseerd in bijvoorbeeld een gemiddelde over een bepaalde periode, een maximum waarde in een periode e.d.. Het ontwerp is zodanig dat deze waarden met een bepaalde nauwkeurigheid kunnen worden gemeten.
3. Daarmee komen we tot een van de belangrijkste criteria, de nauwkeurigheid van de meetwaarde. Dit kan op zeer veel manieren gespecificeerd worden, maximale fout, relatieve fout, een RMS waarde.
4. Van bijzondere interesse bij automatische meetmethoden is de continuïteit van de meting. Dit zou men kunnen uitdrukken in een percentage uitval. Het is zinvol dit nader te specificeren door percentages voor

verschillende situaties te geven. Wanneer het systeem uitvalt tijdens een stabiele weersituatie kunnen de ontbrekende waarden aangevuld worden door de waarden van nabijgelegen stations of door interpolatie van de waarden voor uitval. Het is niet zo erg wanneer er een aantal uren gemist worden met onveranderlijk weer. Instabiele weersituaties zoals het passeren van fronten e.d. zijn meteorologisch interessanter. Dit zijn vaak wel extreme omstandigheden voor de meetinstrumenten, grotere temperatuursverschillen en windstoten.

Deze vier punten geven in grote lijnen de ontwerpcriteria aan. Omdat de nauwkeurigheden zo belangrijk zijn voor het ontwerp zullen we nog even stilstaan bij deze materie.

Een groot probleem met betrekking tot de nauwkeurigheid is het feit dat tijdens het ontwerp de uiteindelijke specificaties onder bedrijfsomstandigheden moeilijk te schatten zijn. De nauwkeurigheid wordt vastgesteld onder laboratoriumomstandigheden. Vaak wordt dan alleen het stationaire geval bekeken. Dat wil zeggen konstante meetsignalen. De ijking zelf wordt voor een bepaalde periode gegarandeerd. Dit is gebaseerd op de ervaring met het meetinstrument na een lange periode van gebruik meestal meer dan een jaar.

In verband met de bruikbaarheid van bepaalde meetreeksen zijn er richtlijnen voor de diverse variabelen. We geven hier de internationale voorstellen van de CIMO (WMO).

Variabele	formele eis	minimum eis
Temperatuur	$\pm 0,1^{\circ}$	$\pm 0,3^{\circ}$
vochtigheid < 50 % r.v.	± 5 % r.v.	± 10 % r.v.
> 50 % r.v.	± 2 % r.v.	± 5 % r.v.
druk	$\pm 0,3$ hPa	$\pm 0,3$ hPa
windrichting	$\pm 5^{\circ}$	$\pm 10^{\circ}$
windsnelheid < 20 kt.	± 1 kt.	± 10 %
> 20 kt.	± 5 %	± 10 %
regenval < 10 mm.	$\pm 0,2$ mm.	± 10 %
> 10 mm.	± 2 %	± 10 %
zicht	± 10 %	± 10 %
wolkenhoogte	± 10 %	± 10 %

tabel 3.2.1. Nauwkeurigheidseisen CIMO 1983.(r.v.
=relatieve vochtigheid. kt. \approx 0,5 m/s)

Als vergelijk met tabel 3.2.1. geven we de nauwkeurigheden zoals die door het ijklab, INSA bepaald worden, d.d. juni 1985.

Instrument	nauwkeurigheid	ijktermijn
maximumthermometer	0,1 °C	2 jaar
minimumthermometer	0,1 °C	2 jaar
stationsthermometer	0,1 °C	2 jaar
zeewaterthermometer	0,1 °C	2 jaar
koelhuisthermometer	0,1 °C	2 jaar
grondthermometer	0,1 °C	2 jaar
psychrothermometer	0,1 °C	2 jaar
thermograaf	0,5 °C	1 jaar
grondthermograaf	0,5 °C	1 jaar
hygrograaf	6 % r.v.	1 jaar
elektrische haarhygrometer	6 % r.v.	1 jaar
barograaf	1,0 mBar	2 jaar
kwikbarometer	0,2 mBar	3 jaar
aneroïdebarometer	0,5 mBar	2 jaar
digitale aneroïdebarometer	0,3 mBar	1 jaar
platina weerstand	0,1 °C	3 jaar
cup-anemometer (windsnelheid)	0,5 m/s	1 jaar
windvaan (windrichting)	3 °	1 jaar
digitale windvaan	1 %	2 jaar
propeller / vaan (snelheid)	0,2 m/s	1/2 jaar
(richting)	0,5 °	
regenmeter	0,3 mm.	1 jaar
rotronic vochtsensor	3 % r.v.	1/2 jaar
solarimeter (straling)	1 %	2 jaar

tabel 3.2.2. Nauwkeurigheden van de meetinstrumenten, (r.v.=relatieve vochtigheid) bepaald door het ijklab.

De opgegeven nauwkeurigheden betreffen alleen het instrument zelf. Dit is dus niet de nauwkeurigheid van het totale meetsysteem. Fouten veroorzaakt door de opstelling, zoals bijvoorbeeld de invloed van temperatuur, cosinus van de hoek van inval bij straling, regen bij wind, versterkers, filters, a/d omzettingen bij de metingen kunnen vele malen groter zijn.

Direct na ijking is de nauwkeurigheid van het instrument minimaal tweemaal beter dan de opgegeven nauwkeurigheid. De ijktermijnen zijn zo vastgesteld dat aan het eind van de ijktermijn het instrument nog aan de specificatie voldoet. Op deze manier kunnen we dus een bepaalde nauwkeurigheid garanderen. We hebben eerder gezien dat dit een noodzakelijke voorwaarde is voor controle van het meetproces.

**HOOFDSTUK 4 Inventarisatie van de onderdelen van het meet-
systeem**

4.0. De methode

De omzetting van fysisch verschijnsel naar een elektrisch, meestal digitaal signaal, bestaat vaak uit meerdere omzettingen. Om een idee te krijgen van de diverse omzeters zie figuur 4.0.1..

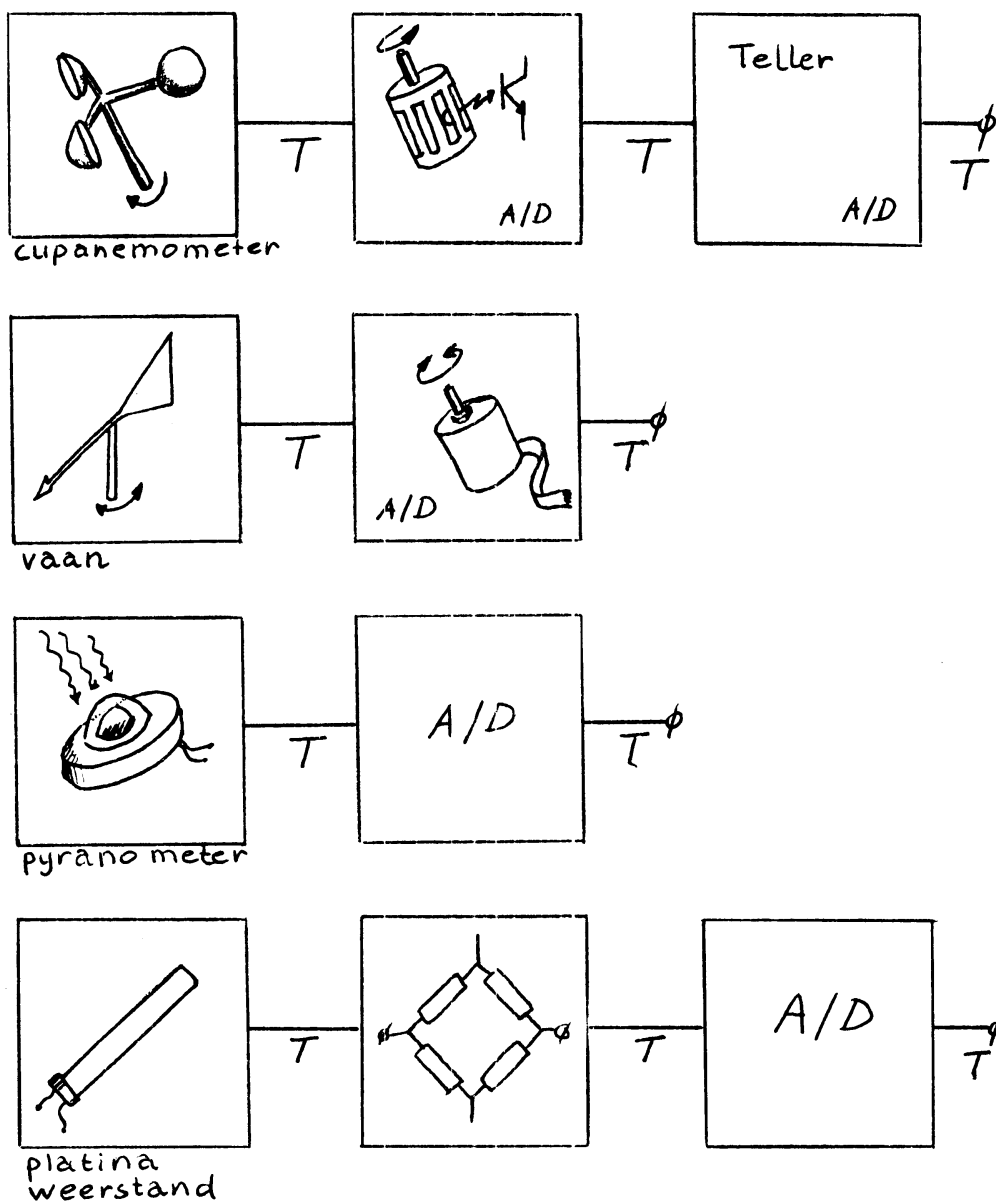


fig. 4.0.1. Voorbeelden van de omzeters voor respectievelijk windsnelheid, windrichting, straling, temperatuur, met transmissies (T).

De kop van de meetketen bestaat uit de primaire omzetter of sensor. Deze zet het fysische verschijnsel om in een elektrisch signaal of in een of andere grootte die makkelijk in een elektrisch signaal kan worden omgezet. Na de primaire omzetter vinden we analoog/digitaal omzetter en transmissies. Deze transmissies kunnen elektrisch zijn of mechanisch zoals bij de vaan. Deze indeling zullen we gebruiken om de onderdelen te bestuderen. Bij elke omzetter gaat onze interesse uit naar:

- Beschrijving (in- uitgang relaties)
- Invloed op de meetwaarde
- Optreden van defecten en hun kenmerken ten behoeve van de patroonherkenning
- Mogelijkheden voor het testsysteem c.q. de patroonmeting.

4.1. De primaire omzetter

Deze omzetter aan de kop van het meetsysteem is vaak de moeilijkste. Een eenvoudige analyse is vaak niet mogelijk omdat:

1. Meerdere ingangen, een uitgang

Naast de primaire afhankelijkheid van de uitgang en het te meten verschijnsel, komen ook secundaire invloeden voor. Bijvoorbeeld de invloed van temperatuur en andere invloeden uit de omgeving.

2. Niet lineariteit

Het primaire verband tussen in en uitgang is vaak niet lineair. Omdat de grootheden in de tijd veranderen worden deze omzetter vaak door niet lineaire differentiaalvergelijkingen beschreven. Daardoor is het vaak alleen mogelijk bij benadering

de responsie op een bepaald ingangsignaal te berekenen.

3. Verval

Het verband tussen in en uitgang verandert in de loop van de tijd. Dit tengevolge van de slijtage tijdens bedrijf. Vandaar het nut van de ijktermijnen voor deze omzetter.

- Beschrijving -

Als voorbeeld nemen we de anemometer. Dit is een toestel om de gemiddelde horizontale windsnelheid te meten. Het bestaat uit een as waaraan een aantal halve bollen, z.g.n. cups zijn bevestigd.

Het gedrag van de anemometer wordt in principe beschreven door:

$$\left. \begin{array}{l} I = \text{traagheidsmoment} \\ S = \text{baansnelheid midden van de cups} \\ T = \text{koppel} \\ t = \text{tijd} \\ r = \text{straal as tot midden van de cups} \end{array} \right\} I/r \, dS/dt = T$$

De grootheden zijn gemiddeld over een omwenteling. Het koppel is in principe afhankelijk van U, W en S.

U = horizontale windcomponent

W = verticale windcomponent

S = hoeksnelheid van de as

Wanneer we het koppel beschrijven met een tweede orde Taylorreeks rond een evenwichtssituatie U_0, W_0, S_0 krijgen we een goede beschrijving van het instrument. De variaties rond

deze evenwichtssituatie zijn:

u = variatie horizontale component

w = variatie vertical component

s = variatie hoeksnelheid van de as

Een goede benadering is dat $W=0$ en de verticale variaties te beschrijven door $w=wU_0$. Onder deze voorwaarden geldt:

$$T = S_0 \frac{dT}{dS} \Big|_s + U_0 \frac{dT}{dU} \Big|_u - U_0 \frac{dT}{dW} \Big|_w + 1/2 S_0 \frac{d^2T}{dS^2} \Big|_s s^2 + 1/2 U_0 \frac{d^2T}{dU^2} \Big|_u u^2$$

$$+ U_0 \frac{d^2T}{dW^2} \Big|_w w^2 + S_0 U_0 \frac{d^2T}{dSdU} \Big|_{us} us + U_0^2 \frac{d^2T}{dUdW} \Big|_{uw} uw + U_0^2 \frac{d^2T}{dSdW} \Big|_{sw} sw$$

Dit leidt tot de volgende bewegingsvergelijking:

$$s + t_0 dt/ds = a_1 u - a_2 w - a_3 s^2 - a_4 u^2$$

$$- a_5 w^2 - a_6 us - a_7 uw - a_8 sw$$

De tweede orde benadering blijkt een goede beschrijving om het gedrag van de anemometer te bestuderen [7]. Dit geldt met name voor het zogenaamde 'overspeeding' effect. Dit effect komt er op neer dat de meter een toename van de windsnelheid beter volgt dan een afname van de windsnelheid. Hierdoor ontstaat een hoger gemiddelde vooral bij windvlagen.

- Nauwkeurigheid -

Omdat het model vaak moeilijk is te controleren, is het niet eenvoudig om de echte nauwkeurigheid vast te stellen. In praktijk wordt bij de anemometer de volgende relatie tussen

n: omwentelingen per seconde en U: windsnelheid toegepast.

$$dn/dt = -C_1 \cdot U \cdot n + C_2 \cdot U^2$$

In het stationaire geval : $dn/dt=0$ geldt: $U = C_1/C_2 \cdot n$

deze factor C_1/C_2 kan in de windtunnel worden bepaald.

Wanneer we de echte nauwkeurigheid zouden willen bepalen kunnen we dit eenvoudige model vergelijken met het eerdergenoemde. Dit is stof voor een speciale studie, nu stappen we daar overheen.

- Defecten en kenmerken -

Nemen we weer het voorbeeld van de anemometer dan kunnen er aan dit mechanische instrument de volgende defecten optreden:

- Afbreken van cups, dit komt relatief weinig voor.
Kenmerk: 'afwijkend gedrag van meetsignaal t.o.v. normale situatie '.
- Vastlopen of vastzitten van de as.
Kenmerk: langere of korte tijd eenzelfde hoekstand, dus meetsignaal constant.

Deze kenmerken zijn algemeen voor mechanische sensoren. Enerzijds wordt de beweging heviger, anderzijds is er totaal geen beweging meer meetbaar.

Kenmerk van de toestand E_0 :

Uit stromingsonderzoek [7] en uit resultaten van Dhr. J. Wieringa blijkt dat het quotient van windsnelheidsgemiddelde

en variantie in het geval van stabiele situatie ongeveer constant is. Dergelijke verbanden moeten we ook zien te vinden voor bijvoorbeeld temperatuur en straling enz. Bij de toepassing van de patroonherkenning komen we hier nog op terug.

- testsysteem -

Mechanische toestellen kunnen we uitrusten met extra sensoren die het afbreken van onderdelen kunnen signaleren. Voor draaiende onderdelen levert dit problemen op van constructietechnische aard. Toevoeren van een excitatie is ook mogelijk. Bijvoorbeeld voor de vaan een motortje dat de vaan een bepaalde hoek laat innemen. Deze inrichtingen zijn even complex of zelfs nog complexer dan ons instrument al is en daarom niet verantwoord. We gaan er immers van uit dat ons testsysteem bij de toepassing van de patroonherkenning niet defect is! Bij bijvoorbeeld temperatuur kunnen we wel eenvoudig de sensor een bepaalde min of meer bekende temperatuur opdrukken, zodat we de werking kunnen nagaan.

4.2. Analooq digitaal omzetter

Een belangrijke omzetter die in een automatisch meetproces te vinden is, is de analooq digitaal omzetter. Analoge signalen worden zo bruikbaar gemaakt voor verwerking in een digitale rekenmachine.

- Beschrijving -

In een analooq/digitaal omzetter vinden twee processen plaats die onafhankelijk van elkaar kunnen worden behandeld.

1. Bemonsteren, dit proces is lineair en kan beschreven worden door Fourier, Laplace of Z-transformatie.
2. Discretiseren, dit proces is niet lineair.

Bemonsteren

We gaan uit van een elektrisch analogoos signaal $x(t)$. Het bemonsteren zelf kan worden voorgesteld door $x(t)$ te vermenigvuldigen met een signaal $s(t)$, een schakelfunctie.

$$\text{bemonsterd signaal } x^*(t) = s(t).x(t)$$

In het ideale geval bestaat dit signaal $s(t)$ uit een aantal delta-pulsen met frequentie f_s . In praktijk lijkt deze schakelfunctie meer op afbeelding b van figuur 4.2.1..

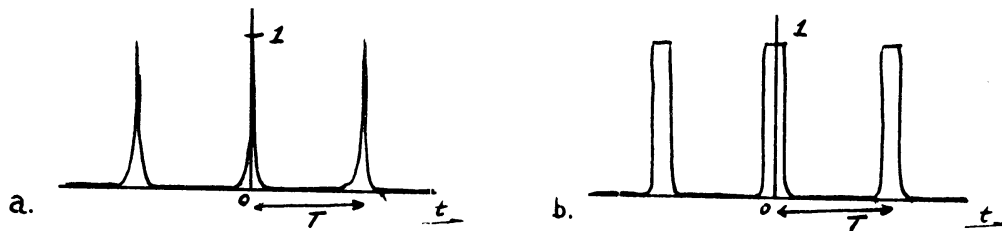


fig. 4.2.1. Schakelfuncties $s(t)$, $f_s=1/T$.

Omdat we toch telkens een waarde van het signaal op het bemonstertijdstip inlezen in de rekenmachine kunnen we de ideale schakelfunctie voor onze beschouwing gebruiken. Het bemonsterde signaal is nu:

$$x^*(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot \delta(t-k.T) \quad (1)$$

Deze δ -functie heeft hier de eigenschap dat: $\delta(t)=0 \quad t \neq 0$
 $\delta(t)=1 \quad t=0$

Het signaal $x(t)$ is in de regel onbekend. Het is mogelijk (1) uit te rekenen wanneer men een of andere beschrijving van $x(t)$ in het tijddomein aanneemt. Naast de methode die we nu zullen noemen kan men dit probleem ook stochastisch aanpakken.

Bijzonder waardevol is de analyse in het frequentiedomein. Elk signaal kan beschreven worden in dit domein via:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-j2\pi f t} dt \quad (2)$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) \cdot e^{j2\pi f t} df \quad (3)$$

Hierbij is $X(f)$ een complexe functie, met een reeel deel $RE\{X(f)\}$ en een imaginair deel $IM\{X(f)\}$. Het frequentiedomein heeft als voordeel dat een grote groep van signalen kunnen worden aangeduid met zeer weinig aannamen. Vaak worden systemen gedimensioneerd door alleen gebruik te maken van eigenschappen zoals, begrensde amplitude en begrensde bandbreedte.

Discretiseren

Een signaal dat varieert over een bepaald bereik B wordt gediscretiseerd in een Q aantal niveau's met waarden Q_i . Dit proces is vergelijkbaar met het aflezen van een meetlat, een analoge voltmeter e.d.. We beschouwen hier het geval van Q equidistante niveau's, zie fig 4.2.2.

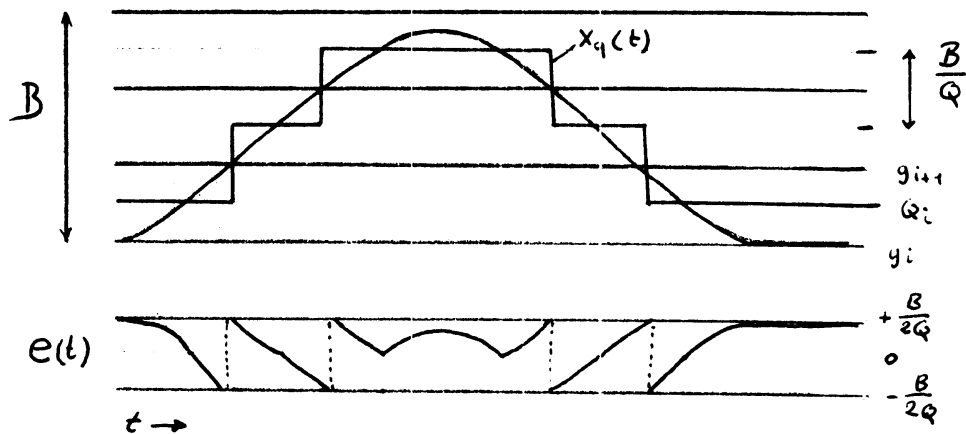


fig. 4.2.2. Discretisatie van een signaal $x(t)$ en de daarbij optredende discretisatiefout $e(t)$.

Het gediscretiseerde signaal noemen we $x_q(t)$, hiervoor geldt:

$$x_q(t) = Q_i \text{ als } g_i < x(t) < g_{i+1}$$

Hierin zijn de g_i 's de grenzen van de segmenten. Er geldt: $Q_i = 1/2(g_i + g_{i+1})$. Dit is een veel gebruikte methode, en wordt afronden genoemd. Er ontstaat nu een fout:

$$e(t) = x_q(t) - x(t)$$

Met het voorgaande geldt, zie ook figuur 4.2.2. dat:

$$e_q(t) \leq |B/2Q|$$

We kunnen een gemiddelde fout $\overline{e(t)}$ en $\overline{e^2(t)}$ berekenen wanneer we een bepaalde aanname doen voor $x(t)$ of $e(t)$. We nemen nu aan dat e homogeen verdeeld is over het interval $[-B/2Q, B/2Q]$. Dat komt erop neer dat het signaal geen bepaalde voorkeur heeft voor een bepaalde stand in het segment.

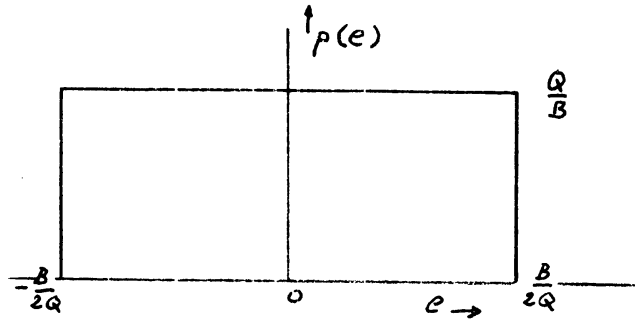


fig. 4.2.3. Kansdichtheidsverdeling $p(e)$

$$\text{Nu is } e(t) = \int_{-B/2Q}^{B/2Q} e \cdot p(e) \, de = \int_{-B/2Q}^{B/2Q} e \cdot \frac{Q}{B} \, de = 0$$

$$e^2(t) = \int_{-B/2Q}^{B/2Q} e^2 \cdot p(e) \, de = \int_{-B/2Q}^{B/2Q} e^2 \cdot \frac{Q}{B} \, de = \frac{B^2}{12} \cdot Q^2$$

De keuze van de discretisatie levert onder de voorwaarde dat er geen bepaalde voorkeur voor de stand in het segment bestaat een gemiddelde fout nul op. Het tweede moment van de fout is niet gelijk aan nul. Dit wordt discretisatieruis genoemd.

- Nauwkeurigheid -

We zullen nu de nauwkeurigheid nagaan van de analoog digitaal omzetting. Dit zullen we toelichten met twee voorbeelden uit de praktijk, de windsnelheid en de windrichting.

Bemonsteren

Omdat er vaak gemiddelden en eventueel varianties van het meetsignaal worden gemeten zijn we geïnteresseerd in de

nauwkeurigheid van deze grootheden. We nemen eerst de beschrijving in het tijddomein. Dit is in feite een statistische beschouwing.

Bij de statistische aanpak beschouwen we een signaal in een periode T. We willen het gemiddelde weten van dit signaal in deze periode. Het nemen van samples komt dan overeen met het nemen van een steekproef van N waarden van het signaal uit die periode waaruit we het gemiddelde en eventueel de standaarddeviatie bepalen. Men spreekt in dit verband van parameterschatting. We doen nu de volgende aanname:

Het signaal wordt in de beschouwde periode beschreven als een stochastische variabele met een normale verdeling, geparameteriseerd door een gemiddelde m en een standaarddeviatie σ^2 .

uit de N monsters met waarden x_i worden berekend:

$$\hat{m} = 1/N \sum_{i=1}^N x_i$$
$$\hat{\sigma}^2 = 1/N \sum_{i=1}^N (x_i - m)^2$$

De nauwkeurigheid is in dit geval te interpreteren als volgt. Nemen we vele malen N samples en berekenen we m en σ dan wordt N bepaald door de keuze van een te kiezen betrouwbaarheid. Deze betrouwbaarheid is de kans dat de berekende waarden in een bepaald interval liggen, het betrouwbaarheidsinterval.

We beschouwen nu het geval dat we een gemiddelde willen berekenen en de σ van de verdeling waaruit de monsters worden genomen bekend is. Het gemiddelde is, wanneer we vaak N monsters nemen, zelf een stochastische variabele ook normaalverdeeld met gemiddelde m en $\sigma^2 = \sigma^2/N$

$$p(\hat{m} / m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi N} \sigma} e^{-\frac{(m-\hat{m})^2}{2\sigma^2/N}}$$

Nu is met een betrouwbaarheid van 95 %

$$P\left(m - \frac{2\sigma}{\sqrt{N}} < \hat{m} < m + \frac{2\sigma}{\sqrt{N}}\right) = \int_{m-2\sigma/\sqrt{N}}^{m+2\sigma/\sqrt{N}} p(\hat{m}|m) dm = .95$$

Door verwisseling van \hat{m} en m in de laatste integraal volgt:

$$P\left(\hat{m} - \frac{2\sigma}{\sqrt{N}} < m < \hat{m} + \frac{2\sigma}{\sqrt{N}}\right) = .95$$

Eenzelfde redenering is te geven voor het geval we een gemiddelde en een standaarddeviatie willen schatten wanneer het gemiddelde en standaarddeviatie niet bekend zijn [1].

De statistische aanpak heeft de volgende 'onvolkomenheden'. De aanname dat de signaalwaarden normaal verdeeld zijn is niet reeel. Ten eerste omdat onze signaalwaarden altijd in een bepaald bereik voorkomen. Tweede punt is dat de signaalwaarden statistisch niet gecorreleerd zijn. In werkelijkheid is dit niet zo. Ten derde wordt ons bemonsterproces beschreven door het nemen van een N-tal monsters waarbij de volgorde er niet toe doet evenals de tijd tussen de samples. In werkelijkheid bemonsteren we het signaal op zeer bepaalde tijdstippen in een speciale volgorde. Voordeel van deze methode is wel dat we door de aannamen wel in staat zijn de afhankelijkheid tussen de nauwkeurigheid en N te geven.

signaaltechnische aanpak

We beschouwen ons meetsignaal $x(t)$ in een periode T waarvan we de grootheden m en v willen bepalen. De grootte m is

een gemiddelde waarde, de grootheid v is een soort variantie te vergelijken met de σ^2 uit de stochastische beschrijving.

$$m = 1/T \int_0^T x(t) dt$$

$$v = 1/T \int_0^T (x(t) - m)^2 dt = 1/T \int_0^T x^2(t) dt - m^2$$

Voor de representatie van $x(t)$ in het frequentiedomein geldt:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

In deze uitdrukking is f een constante. Nemen we $f=0$ dan krijgen we:

$$X(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) dt = \int_0^T x(t) dt = T \cdot \overline{x(t)}$$

Dus voor het gemiddelde van het signaal is alleen de frequentiecomponent 0 van belang.

We berekenen nu de weergave van $x(t) \cdot x(t)$ in het frequentiedomein dit noemen we $XX(f)$:

$$XX(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot x(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

nu geldt met:

$$F\{ x(t) \cdot x(t) \} = X(f) * X(f) \quad \text{convolutiestelling}$$

dat:

$$XX(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(u) \cdot X(f-u) du$$

In de laatste integraal is f weer een constante. Nemen we $f=0$ dan volgt:

$$XX(0) = \int_0^T x(t)^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} X(u) \cdot X(-u) du = \int_{-\infty}^{+\infty} |X(f)|^2 df$$

Zodat $v = 1/T XX(0) - m^2$

We hebben nu twee uitdrukkingen gekregen die het verband aangeven tussen het spectrum en de waarden die we willen bereken: een gemiddelde en een standaarddeviatie. Aan de hand van het spectrum kunnen we dus zien wat het gemiddelde en de standaarddeviatie is.

In praktijk worden deze m en v berekend op de hieronder gegeven methode. Hier zijn de x_i 's de waarden van het signaal op tijdstippen $k.T_s$, de bemonsterfrequentie $f_s = 1/T_s$.

$$\hat{m} = 1/N \sum_{i=1}^N x_i$$

$$\hat{v} = 1/N \sum_{i=1}^N x_i^2 - m^2$$

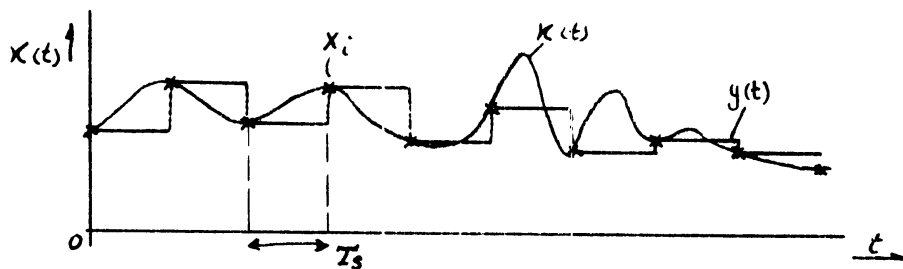


fig. 4.2.4. continu en bemonsterd signaal.

De vraag is nu onder welke voorwaarden \hat{m}, m en \hat{v}, v overeenkomen. Uit figuur 4.2.4. blijkt dat \hat{m} overeenkomt

met:

$$\hat{m} = 1/T \int_0^T y(t) dt$$

en:

$$\hat{v} = 1/T \int_0^T y^2(t) dt - m^2$$

Dit signaal $y(t)$ is het signaal dat ontstaat wanneer we een bemonsterd signaal door een nulde orde houd circuit (engels: zero order hold z.o.h.) sturen. Zie figuur 4.2.5.

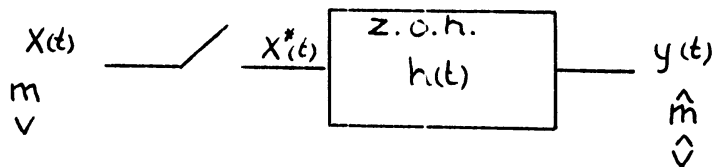


fig. 4.2.5. Model van de bewerking voor m en v .

We beschouwen nu de paren :

$x(t)$	$X(f)$: ingangssignaal
$x^*(t)$	$X^*(f)$: bemonsterd signaal
$h(t)$	$H(f)$: impulsresponsie z.o.h.
$y(t)$	$Y(f)$: uitgangssignaal

Er geldt: $Y(f) = H(f) \cdot X^*(f)$

$$X^*(f) \text{ volgt uit } F\{x^*(t)\} = f_s \sum_{n=-\infty}^{+\infty} X(f - n \cdot f_s)$$

$$H(f) \text{ volgt uit } F\{h(t)\} = 1/f_s \left(\frac{\sin \pi f / f_s}{\pi f / f_s} \right) e^{-j\pi f / f_s}$$

en $Y(f)$:

$$Y(f) = 1/f_s \left(\frac{\sin \pi f / f_s}{\pi f / f_s} \right) e^{-j\pi f / f_s} \cdot f_s \sum_{n=-\infty}^{+\infty} X(f - n f_s)$$

nu is $Y(0)$:

$$Y(0) = X(0) + \sum_{n=1}^{+\infty} X(\pm n f_s)$$

Met het eerder gevonden verband tussen gemiddelde en spectrum volgt nu dat $m=m$ wanneer $\sum_n X(\pm n f_s) = 0$ $n=1 \dots \infty$. Hetgeen ondermeer het geval is wanneer $X(f)=0$ voor frequenties hoger dan f_s ; bandbegrensd met hoogste frequentie f_s . Wanneer we dus de bemonsterfrequentie in de buurt van de hoogste frequentie in het signaal kiezen krijgen we een betrouwbaar gemiddelde m .

De grootheid v hangt op de volgende wijze samen met het spectrum:

$$v \approx \int_{-\infty}^{+\infty} Y(f)^2 df - m^2$$

vullen we de eerdergevonden uitdrukking voor $Y(f)$ hier in dan volgt:

$$v \approx \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\frac{\sin \pi f / f_s}{\pi f / f_s} \right)^2 \left(\sum_{n=-\infty}^{+\infty} X(f - n f_s) \right)^2 df - m^2$$

Deze integraal is tamelijk complex. Bestudering van figuur 4.2.6. geeft te zien wat er gebeurt.

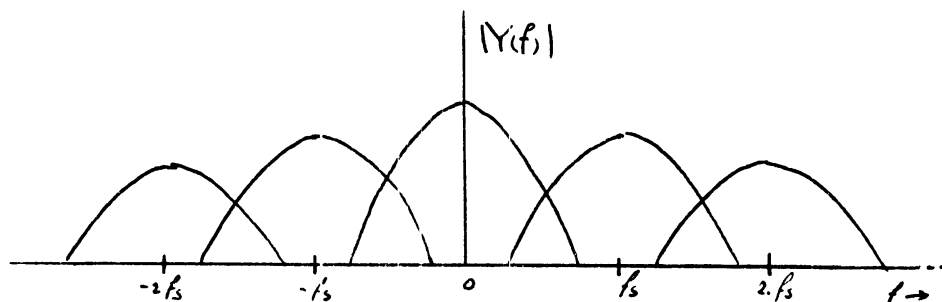


fig. 4.2.6. Amplitude spectrum van $Y(f)$.

We zien dat bij een bemonsterfrequentie lager dan de hoogste frequentie van het signaal overlap gaat optreden bij de component $f=0$ in het spectrum. Dat wil zeggen dat m kan veranderen. Dit kunnen we voorkomen door weer de bemonsterfrequentie in de buurt van de hoogste frequentie in het signaal te kiezen. Op deze manier is \hat{v} dus weer een goede maat voor v . In principe kan de integraal berekend worden wanneer we weten hoe het spectrum er werkelijk uitziet [8].

We hebben nu gezien op welke wijze een gemiddelde \hat{m} en een soort variantie \hat{v} samenhangen met het spectrum. Een goede keuze van de bemonsterfrequentie is deze gelijk te kiezen aan de hoogste frequentie in het signaal $x(t)$.

$$\hat{m} \approx X(0)$$
$$\hat{v} \approx \int_{-\infty}^{+\infty} X(f)^2 df - m^2$$

Voor causale signalen $x(t)$, dat wil zeggen $x(t)=0$ voor $t<0$, geldt dat $m^2 \approx X^2(f=0)$. Deze eigenschappen zullen we later bij de toepassing van de patroonherkenning nog eens tegenkomen.

- Discretiseren -

De belangrijkste fouten bij het discretiseren van een signaal $x(t)$ ontstaan doordat:

- 1) De grenzen van de segmenten niet meer equidistant zijn.
- 2) Er niet meer geldt dat $Q_i = 1/2(g_i + g_{i+1})$.

Wat er dan met de discretisatiefout gebeurt kunnen we zien aan de hand van figuur 4.2.7.

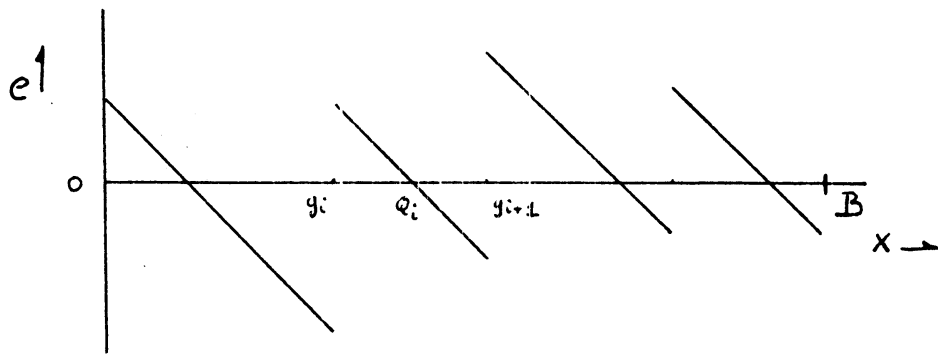


fig. 4.2.7. Discretisatiefout als functie van x , in het geval van fouten door 1) en 2).

Wanneer we nu \bar{e} of $\overline{e^2}$ willen berekenen moeten we de kansverdeling $p(e)$ weten. We kunnen nu uitgaan van een bepaalde kansdichtheid $p_x(x)$ en door het verband $e = x_q - x$ de kansdichtheid van $p_e(e)$ berekenen. Dat gaat op de volgende manier.

In het geval dat e en x eenduidig zijn, bij elke waarde van e hoort een en slechts een waarde van x en vice versa, geldt:

$$p_e(e) de = p_x(x) dx$$

$$\text{en } p_e(e) = p_x(x=x_Q-e) \cdot |dx/de|$$

Voorbeeld: Stel dat x homogeen verdeeld is in elk interval met de kansdichtheid $p_x(x) = 1/(g_{i+1} - g_i)$

$$g_i < x < g_{i+1}$$

$$p_e(e) \text{ is dan gelijk aan } p_x(x=Q_i-e) dx/de = 1/(g_{i+1} - g_i)$$

$$\bar{e} = \int_{e(g_i)}^{e(g_{i+1})} 1/(g_{i+1} - g_i) de = Q_i - 1/2(g_i + g_{i+1})$$

Dit is een resultaat dat laat zien dat $\bar{e} = 0$ wanneer

$Q_i = 1/2(g_i + g_{i+1})$. Wanneer dit niet geldt krijgen we dus een afwijking in de bepaling van het gemiddelde. Want:

$$x(t) = x_q(t) - e(t)$$

$$E\{ x(t) \} = E\{ x_q(t) \} - \overline{e}$$

Het bovenstaande geval gaat er van uit dat alle segmenten gelijk zijn. Is dat niet het geval dan moeten we voor elk segment een \overline{e}_i of e_i^2 berekenen en daarna een soort verwachting van de totale e berekenen.

4.2.1. Een voorbeeld: de windrichting

We bespreken nu de nauwkeurigheid van de discretisatie met behulp van een praktijkgeval, de digitale windvaan. Het hart van dit toestel is een klein codeschijfje met een diameter van circa 2 cm. Op dit schijfje bevinden zich een aantal concentrische code banen, die op bepaalde plaatsen licht doorlaten en op andere niet. Aan de bovenkant van het schijfje bevindt zich een array lichtuitzende diodes aan de onderkant een soortgelijk array met lichtgevoelige transistoren. Deze diodes en transistoren werken in het infrarode bereik. De stand van de as kan nu worden bepaald door deze directe analoog digitaal omzetting. De lengte van de arrays bedraagt acht diodes overeenkomend met acht bits analoog digitaal omzetting.

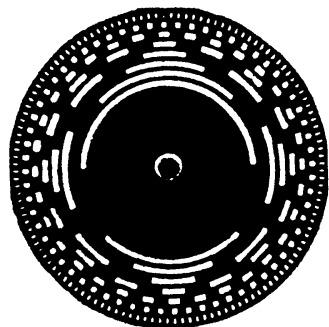


fig. 4.2.1.1. Gray-code schijf

De acht infrarode diodes en transistoren geven de stand van de vaan in een digitale code door overgangen te detecteren van de ronddraaiende schijf. Zie figuur 4.2.1.2.

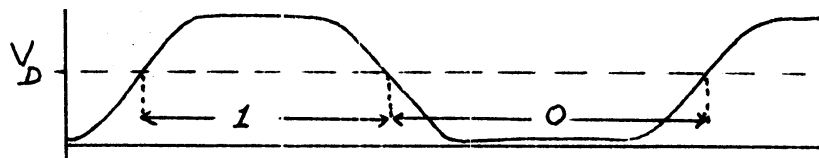


fig. 4.2.1.2. Het detecteren van overgangen

Nu blijkt het detectiecircuit afhankelijk van de temperatuur. De drempel blijft op hetzelfde niveau maar de lichtopbrengst van de diodes neemt af en dus ook de detectiespanning. Daardoor worden de codegebieden '1' kleiner en '0' groter. Dit effect is op het binnenste kanaal het grootst, zie fig 4.2.1.3. Het dalen van de signaalspanning ten opzichte van de drempelspanning V_D is in de figuur weergegeven door een stijging van de drempel.

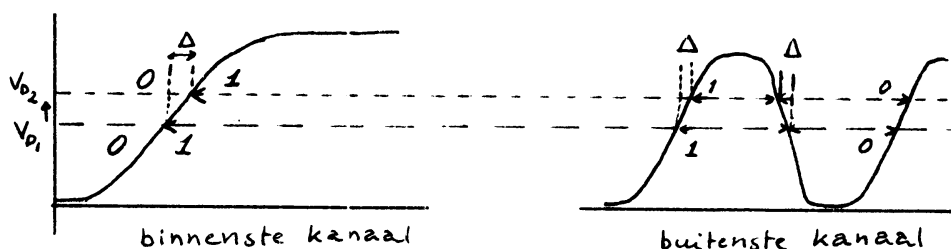


fig 4.2.1.3. Toe en afname van de codes '1' en '0'.

Ons model van de discretisatie is nu: in plaats van equidistante grenzen hebben we nu paarsgewijs verschoven grenzen. Een andere afwijking ontstaat doordat het bereik niet goed op de grenzen past. Hiervoor moet de ijking van het toestel zorgen. Beide afwijking zijn aangebracht in de onderstaande figuur.

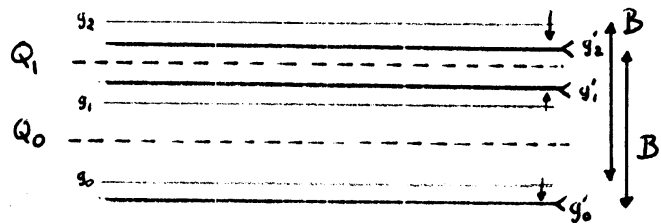


fig. 4.2.1.4. Het model met afwijkingen; grenzen en plaats van het bereik. Voor het binnenste kanaal slechts twee segmenten.

Elk kanaal kan nu worden weergegeven door het model uit figuur 4.2.1.4. De grenzen zijn niet meer equidistant, toch geldt dat $Q_i = 1/2(g_i + g_{i+1})$. Men kan nu wel voor elk van de acht kanalen een fout e_i bepalen maar daarmee weten we nog niet de fout die optreedt! Dat komt omdat een bit van de Gray-code niet zoals bij de standaard binaire code een bepaald gewicht heeft. Bekijken we het probleem van de andere kant, we maken een model van de uiteindelijke code volgens figuur 4.2.1.5., dan is het bijzonder moeilijk om de lengte van de segmenten te weten te komen ten gevolge van de optredende fouten in de acht kanalen. In praktijk neemt men een normale verdeling van de lengte van de segmenten waar.

Wanneer we dat in ons model verwerken krijgen we waarschijnlijk een situatie die niet meer overeenkomt met de praktijk. Dit omdat zeer bepaalde codesegmenten altijd groter worden en andere kleiner de volgorde is duidelijk van belang ! Daarmee is dit probleem nog onopgelost.

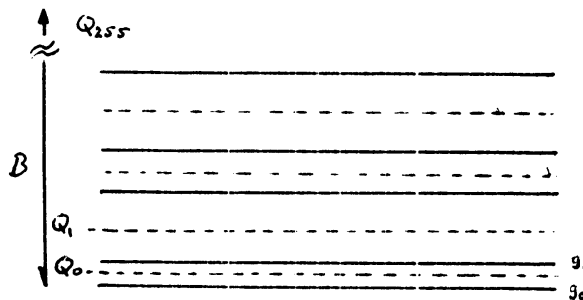


fig 4.2.1.5. Model van de discretisatie.

4.2.2. Een voorbeeld: de windsnelheid

Een ander voorbeeld van de nauwkeurigheid bij digitalisering is de windsnelheidsmeting. De draaiing van een as wordt hier gemeten door het tellen van pulsen die afkomstig zijn van een reed-relay of zoals we hier zullen gebruiken een kooitje met tralies die een bundeltje licht van een diode onderbreken. De breedte van de lichtspleten is gelijk aan de breedte tussen de openingen en bedraagt D . De straal van het kooitje is r .

De omwentelingsfrequentie $d\theta/dt$ wordt omgezet in een aantal pulsen, dit lijkt veel op PPM (puls position modulation). Gedurende een periode T worden deze pulsen geteld. Het quotient van pulsen en periode T is een maat voor de gemiddelde omwentelingsfrequentie van de as van de anemometer.

Het aantal pulsen wordt geteld door de opgaande flanken te tellen. Zo komt elke flank overeen met een draaiing van de as van de anemometer over een hoek:

$$\phi = 2.D / 2\pi r \cdot 2\pi$$

Het tellen van de opgaande flanken van de pulsen in een periode T komt overeen met hoe vaak de cylinderas over een hoek ϕ is verdergedraaid.

$$w(t) = d\phi/dt \quad w(t) dt = d\phi$$

$$\bar{w}.T = \int_T w(t) dt = \int_{\phi_0}^{\phi_1} d\phi = \phi_1 - \phi_0 = \Delta\phi$$

We zien dus dat we een gemiddelde hoeksnelheid meten door het bepalen van een verschil $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_0$

De code is een waarde van 0 tot en met 255, dus 8 bits.

$\Delta \bar{\phi}$ wordt afgebeeld op het bereik: $0 < \Delta \bar{\phi} < \bar{\phi}_{\max}$
 waarbij $\bar{\phi}_{\max}$ volgt uit de maximale windsnelheid die we willen bepalen, dit is 50 m/s.

Het model ziet er nu als volgt uit:

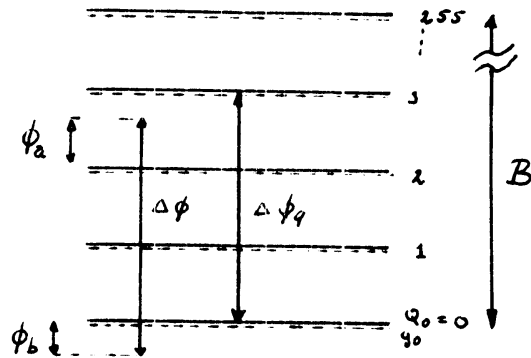


fig. 4.2.2.2. Model voor de discretisatie van $\Delta \bar{\phi}$.

In onze terminologie van dit model zijn de grenzen g_i het aantal pulsen. De discretisatie is te beschrijven als:

$$\Delta \bar{\phi} = n \cdot 2d/r \quad g_i < n < g_{i+1}$$

De grenzen zijn equidistant, echter $Q_i \neq 1/2(g_i + g_{i+1})$ maar $Q_i = g_i$.

Ten gevolge van deze discretisatie creedt er een fout e op.

$$\Delta \bar{\phi} = \Delta \bar{\phi}_q + e$$

Uit de figuur blijkt dat $e = 2D/r - \bar{\phi}_a - \bar{\phi}_b$ met $0 < \bar{\phi}_a < 2D/r$
 $0 < \bar{\phi}_b < 2D/r$

De fout voor de gemiddelde hoeksnelheid \bar{w} volgt dan uit:

$$\bar{w} = (\Delta \bar{\phi} + e)/T$$

Omdat geldt dat $-2D/r < e < 2D/r$ kan men de fout in w beschrijven door een maximale absolute fout y met $y \ll |2D/r|$

$$\bar{w} = n \cdot 2D/T + y/T$$

4.2.3. Defecten en testsysteem analoog digitaal omzeters

In de voorgaande paragrafen zijn een aantal afwijkingen zoals die in de praktijk voorkomen behandeld. Dit zijn eigenlijk systematische onvolkomenheden van de meetmethode. In praktijk kunnen we deze aanvullen tot:

- Uitvallen van detectie systeem.

Kenmerk: Een bepaalde code komt voor b.v. alleen '0'.

- Storingen die de grenzen van de segmenten veranderen.

Kenmerk: Slechts na lange tijd meetbaar, of alleen vast te stellen bij ijking.

Kenmerk: Bij plotselinge veranderingen uitschieters. Het signaal lijkt onrustig .

- Verloop van het bereik t.o.v. de grenzen

Kenmerk: Slechts meetbaar bij ijking.

Veel van bovenstaande storingen zijn niet af te leiden zonder de a/d omzetter te testen door een bepaald ingangssignaal toe te voeren. De voorbeelden die we gezien hebben van de a/d omzeters bij de windrichting en de windsnelheid laten dat moeilijk toe. De mogelijkheden voor een betrouwbaar en simpel testsysteem zijn hiervoor niet zo groot. Heel anders ligt dat bij de a/d omzetter voor bijvoorbeeld een analoge spanning. Hier kunnen we eenvoudig een spanning toevoeren bijvoorbeeld een sinusvormig signaal

dat het hele bereik doorloopt.

4.3. Transmissies

In het schema van paragraaf 4.0. komen nogal wat transmissies voor. De meeste zijn elektrische transmissies van analoge of digitale signalen. De problemen die hier optreden zijn vooral:

- Uitvallen van de transmissie door kabelbreuken, bij analoge transmissies meten we aan het uiteinde een constante spanning 0, of de impedantie van de lijn is hoog. Bij digitale transmissies ziet het apparaat aan het uiteinde een of andere code allemaal '0' of '1'.

- Optreden van stoorpulsen. Bij analoge transmissies betekent dit dat het meetsignaal 'onrustiger' lijkt. Bij digitale transmissies treedt er verminking van de codes op. Men kan digitale transmissies onder een protocol laten verlopen bijvoorbeeld door het uitvoeren van terugmeldlijnen. Deze aanpak is bij de huidige sensoren nog niet algemeen gebruik. Dit omdat aan weerszijden van het kanaal dan extra apparatuur nodig is, terwijl men streeft naar een zo eenvoudig mogelijk systeem.

Naast de elektrische transmissies vinden we ook in het schema van 4.0. een mechanische transmissie. De koppeling tussen de vaan en de hoekopnemer van de codeschijf bestaat uit een meenemer, zie figuur 4.3.1.

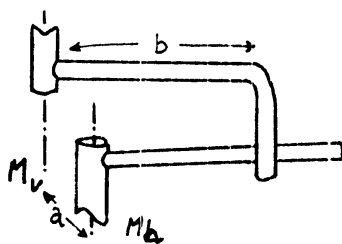


fig. 4.3.1. Principe van de overbrenging meenemer.

In het ideale geval is M_v as van de vaan gelijk aan de M_h as van de hoekopnemer. De transmissie $O_h(O_v)$ is geometrisch te beschrijven, zie figuur 4.3.2.

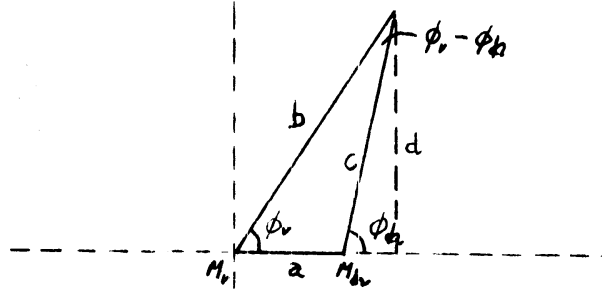


fig. 4.3.2. Geometrisch model van de overbrenging.

Het verband tussen $\phi_h(t)$ en $\phi_v(t)$ is:

- a : afstand tussen M_v en M_h
- b : lengte van de arm van de meenemer
- er geldt $b > a$

Uit figuur 4.3.2. volgt dat:

$$\sin \phi_v = d/b \quad \text{en} \quad \sin \phi_h = d/c \quad \text{zodat:}$$

$$\sin \phi_h = b/c \cdot \sin \phi_v \quad \text{met} \quad c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \phi_v}$$

We vinden nu de niet lineaire relatie tussen de hoek van de vaan $\phi_v(t)$ en de hoek van de as van de hoekopnemer $\phi_h(t)$.

$$\frac{\sin \phi_h(t)}{\sin \phi_v(t)} = \frac{b}{\sqrt{b^2 + a^2 - 2ab \cos \phi_v(t)}}$$

Het is bijzonder moeilijk om deze fout bijvoorbeeld in het meetsignaal te herkennen aan de hand van bestudering van het signaal bijvoorbeeld in het frequentiedomein. De fout wordt bij ijking wel waargenomen. Draait men de vaan over 360 graden dan ziet men dat de codeschijf deze excitatie volgt

als in figuur 4.3.3.. Door deze fout zien we in ons meetsignaal andere frequentiecomponenten verschijnen. Een andere illustratie hiervan zien we in figuur 4.3.4.. Deze figuur is het resultaat van een automatische ijking van een vaan met codeschijf. Horizontaal staan hier uit de 256 segmenten van de codeschijf. In de afwijking die verticaal is uitgezet zien we weer de sinusfunctie. De variaties rond deze curve ontstaan voornamelijk doordat de codesegmenten van de codeschijf niet allemaal even groot zijn.

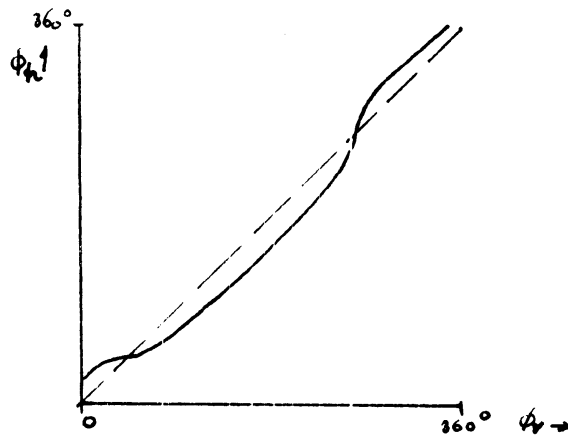


fig. 4.3.3. Excitatie vaan en responsie hoekopnemer.

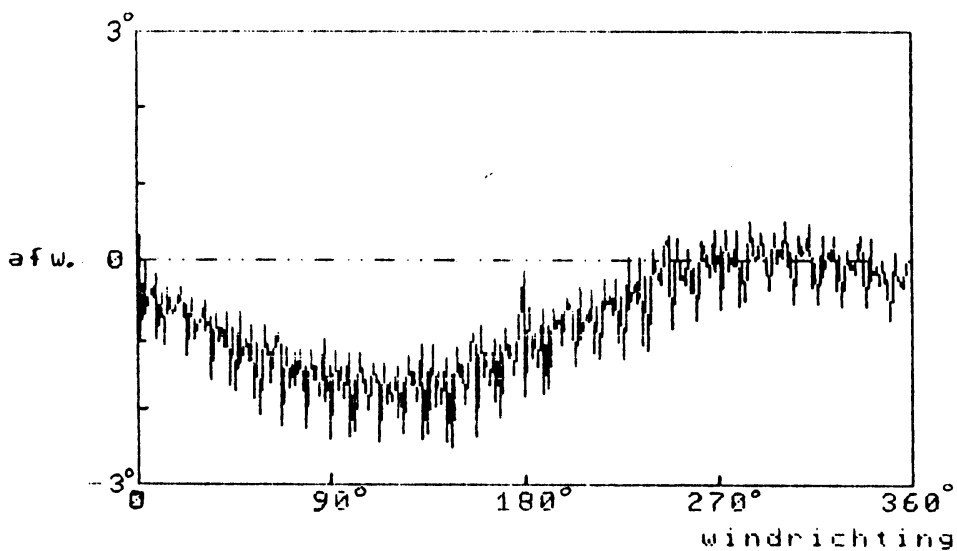


fig. 3.4.4. Afwijking tussen ingestelde hoek en gemeten hoek bepaald bij automatische ijking.

HOOFDSTUK 5 Toepassing van de patroonherkenning

5.0. Foutencontrole op basis van het meetsignaal

Met de kennis die is opgedaan door bestudering van de meetmethoden willen we nu een toepassing van een automatisch controleproces door middel van de patroonherkenning laten zien. Voor alle duidelijkheid vatten we de bevindingen uit hoofdstuk 4 even samen.

- primaire sensor -

E_0 : Nauwkeurigheden alleen bekend onder stabiele omstandigheden via ijkingen met constante excitaties. Kenmerk in speciaal geval bekend bijvoorbeeld de windsnelheid. Bij andere omzetter of andere omstandigheden moeten we ook dergelijke kenmerken zien te vinden.

testsysteem: Bij mechanische toestellen niet verantwoorde extra complexiteit. Bij speciale gevallen bijvoorbeeld de platina weerstand voor temperatuurmetingen wel mogelijk.

E_i : Mechanische defecten leiden tot onrustiger meetsignalen of constante waarden.

- a/d omzetter -

E_0 : Nauwkeurigheden bepaald door ijking. Kenmerken van deze toestand blijven die van de sensor. Daarbij komt extra discretisatieruis en een eventuele offset door verkeerde ijking van bereik t.o.v. de grenzen.

teststelsysteem: Bij mechanische toestellen weer moeilijk te verantwoorden. Bij elektrische a/d omzetting toevoeren van signaal mogelijk.

E_1 : Storingen geven uitschieters, dat wil zeggen onrustiger signaal, of constante code bij uitval.

- transmissies -

E_0 : Nauwkeurigheid, kans op fouten in transmissie alleen mogelijk bij bekende excitaties. Bij fouten in de transmissie van codes uitschieters, onrustiger meetsignaal. Mechanische transmissies alleen waarneembaar bij ijking.

teststelsysteem: Mechanisch weer niet aan te bevelen, elektrische controle wel mogelijk.

E_1 : Storingen geven uitschieters, onrustiger signaal. Bij uitval een bepaalde code.

Deze samenvatting laat duidelijk zien dat het meetsignaal nogal veel eigenschappen kan vertonen die we kunnen herleiden tot een bepaalde storing. Enerzijds verwachten we dat het signaal vaak 'onrustiger' wordt door bepaalde defecten, anderzijds kunnen er defecten optreden die leiden tot een 'constant' signaal. We zullen nu een algemene behandeling geven van de controle alleen aan de hand van het meetsignaal zoals het de datagenerator aangeboden wordt.

We merken met betrekking tot dit laatste op dat in het geval van een digitale meetmethode het meestal zo is dat alle codes van de a/d omzetter gebruikt worden voor het bereik van het te meten verschijnsel weer te geven. Voor het detecteren van storingen zoals uitval a/d omzetter, uitval transmissie kan het heel handig zijn de codes die hierbij optreden eenduidig het defect te laten aanwijzen. Men moet

in de regel dan niet het hele bereik van de a/d omzetter gebruiken maar slechts een gedeelte, bijvoorbeeld de uiterste waarden niet gebruiken.

5.1. Bepaling van de klassen E_1

Uit de eerder gegeven samenvatting van de defecten kunnen we zinvolle klassen aangeven die we onderling zouden kunnen onderscheiden aan de hand van de eigenschappen van het signaal.

E_0 : Triviaal, de toestand waarin er geen defect bestaat.

Kenmerk: Maat voor de 'variatie' van het signaal.

E_1 : Toestand met een onrustiger/constant signaal.

Kenmerk: Maat voor de 'variatie' van het signaal.

De toestanden E_1 geeft de omstandigheden van het systeem weer wanneer er een aantal defecten kunnen optreden. Deze indeling is dan ook meer gebaseerd op de effecten van de storingen op het meetsignaal dan op het voorkomen van speciale storingen.

5.2. Het bepalen van de kenmerken

De patroonmeting bestaat nu uit het verzamelen van de digitale codes die de rekenmachine worden aangeboden. In deze paragraaf zullen we een methode aangeven die de kenmerken berekent uitgaande van deze waarden. Deze waarden komen direct overeen met de waarden die voor de berekening van de meetwaarden worden gebruikt. De kenmerken die we

zoeken hebben betrekking op de variaties van het signaal.

We gaan uit van N waarden x_i $i=0..N-1$

alternatieven: tijddomein $\overline{(x_i - \bar{x})^2}$

$$\overline{x_i - x_{i+1}}$$

frequentiedomein $X(f_i)$

De bestudering van het spectrum is algemeen nuttig, het levert veel meer informatie dan alleen een variantie. Aan de hand van het spectrum kunnen we ook de 'vorm' van het spectrum bestuderen. Een aanwijzing hiervoor is het kenmerk van de windsnelheid.

Door gebruik te maken van de techniek van snelle fourier transformatie behoort bepaling van het spectrum met behulp van een rekenmachine tot de mogelijkheden. Deze werkwijze zullen we nu bespreken.

We willen nu het spectrum $X^*(f)$ van het signaal $x^*(t)$ schatten. In feite is het spectrum een continue functie van f . Onze schatting zal een discreet spectrum $X_d(nf)$ opleveren. Even ter herhaling:

$$x^*(t) = \sum_{k=0}^{N-1} x(t) \delta(t - kT)$$

We nemen dus een N aantal samples van het signaal $x(t)$ met samplefrequentie $f_s = 1/T$.

$$X^*(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \sum_{k=0}^{N-1} x(t) \delta(t - kT) e^{-j2\pi f t} dt$$

$$X^*(f) = \sum_{k=0}^{N-1} x(kT) e^{-j2\pi k f / f_s}$$

Nu is $X^*(f)$ periodiek met f_s , $X^*(f + f_s) = X^*(f)$.

Daarom bemonsteren we het spectrum op een periode f_s volgens:

$$f = f_s k/N \quad \text{met } k=0\dots N-1$$

Men kan aantonen dat uitgaande van een rij waarden $x(kT)$ met $k=0\dots N-1$ het discrete spectrum $X_d(n)$ $n=0\dots N-1$ berekend kan worden volgens:

$$X_d(nf) = \sum_{k=0}^{N-1} x(kT) e^{-j2\pi Tnk/N}$$

We noemen $X_d(n)$ de N punts discrete fourier transform van $x(k)$. De terugtransformatie is dan ook mogelijk via:

$$x(kT) = 1/N \sum_{n=0}^{N-1} X_d(nf) e^{j2\pi Tnk/N}$$

Deze berekening kan men uitvoeren door gebruik te maken van algorithmen die bekend zijn onder de naam F.F.T. vrij vertaald de snelle fourier transformatie. De invoer van zo'n algoritme is dan een array $X[0:N-1]$ gevuld met samplewaarden. De uitvoer zijn in de regel twee arrays, het spectrum is complex, reele deel $R[0:N-1]$ en imaginaire deel $I[0:N-1]$. Voor causale signalen $x(t)$ dat wil zeggen ingangssignaal heeft alleen reele waarden, ons geval, gelden er enkele eigenschappen voor deze arrays.

$$\begin{aligned} R[N-i] &= R[i] \quad i=0\dots N-1 \\ I[N-i] &= -I[i] \end{aligned}$$

Voor het amplitude spectrum geldt dan:

$$A[i] = \sqrt{R^2[i] + I^2[i]}$$

$$A[N-i] = A[i]$$

Dit is weergegeven in figuur 5.2.1.

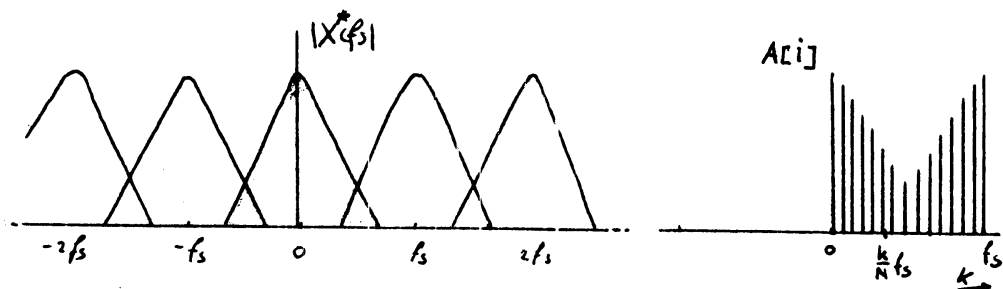


fig 5.2.1. Overeenkomst spectrum en discreet spectrum in array $A[i]$. In feite is een helft $(0..1/2 N)$ van het array voldoende

We wijzen er hier nog maar eens op dat wanneer de bemonsterfrequentie vrij laag is ten opzichte van tweemaal de hoogste frequentie in het signaal, de banden naar $f=0$ verschuiven. Er treedt een vertroebeling op van het spectrum in de band van het oorspronkelijk signaal. Het is niet zo dat deze banden bij het overelkaar heenschuiven allemaal optellen, er ontstaat iets wat heel vreemd kan uitzien. Vandaar de naam aliasing voor dit verschijnsel.

De keuze van N moet minstens gelijk zijn aan het aantal samples dat we hebben van het signaal $x(t)$. We mogen er dus ook meer nemen om het spectrum te bepalen. We nemen bijvoorbeeld een waarde $x(k)$ een aantal maal. Wat we dan doen is dat we eigenlijk het signaal $x^*(t)$ nemen nadat we het door een denkbeeldig nulde orde houd circuit hebben gestuurd en daarna het signaal bemonsteren met een bemonsterfrequentie die hetzelfde aantal maal hoger is.

Ter afsluiting zullen we nog een probleem aanstippen dat met de keuze van N te maken heeft. Dit probleem heeft te maken met het tijdbegrenzen van signalen. De waarden die we gebruiken om het spectrum te schatten van een in feite continu signaal verkrijgen we door een venster te leggen op de continu reeks van samplewaarden. We geven dit venster

weer door een functie $w(kT)$ die nul is voor $k < 0$ en $k > N-1$ en 1 is voor $0 < k < N-1$.

$$x(kT) = x_0(kT) \cdot w(kT)$$

Hierin is met $x_0(k)$ de reeks weergegeven van $k=0 \dots \infty$. Voor het spectrum van $x(kT)$ geldt:

$$X(f) = X_0(f) * W(f)$$

Dit is een convolutie integraal. Deze convolutie heeft tot gevolg dat het spectrum van $X(f)$ een uitgesmeerde versie is van $X_0(f)$. Zie figuur 5.2.2.

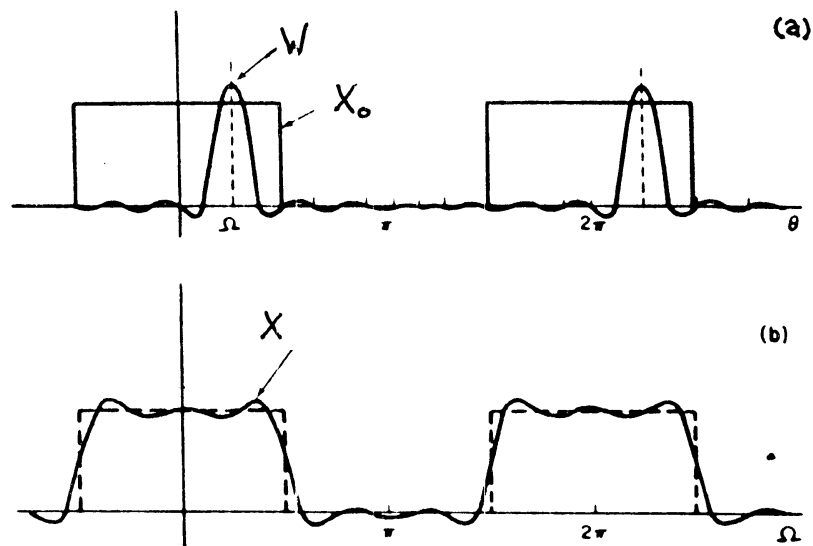


fig. 5.2.2. Resultaat van de convolutie

Een rechthoekig venster heeft de volgende $W(f)$:

$$W(f) = \frac{\sin 2\pi f T N/2}{\sin 2\pi f T} e^{-j2\pi f T (n-1)/2}$$

In de figuur 5.2.3. is het eerste deel van de functie weergegeven. We zien een hoofdlob en een aantal zijlobben.

Wanneer we nu de convolutie uitvoeren, dat wil zeggen schuif figuur 5.2.3. over het spectrum en integreer het resultaat, dan zien we dat ideaal is wanneer we een smalle hoofdlob hebben en zo laag mogelijke zijlobben. De hoofdlob is smaller te maken door N te verhogen. De zijlobben blijven dan evenhoog zie figuur 5.2.4.. Deze zijlobben zijn te verlagen door een ander venster toe te passen zoals bijvoorbeeld Hanning, Hamming of Blackman venster.

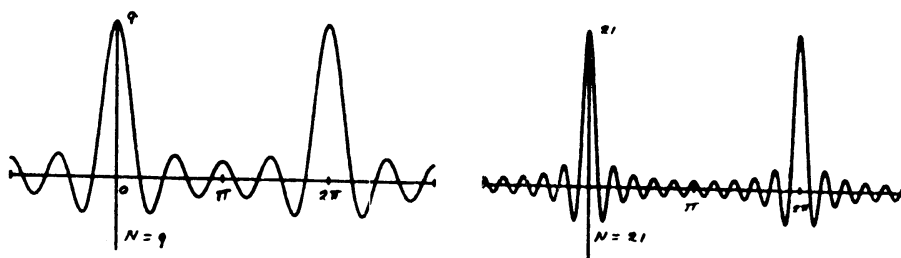


fig. 5.2.3. Hoofdlob en zijlobben voor N=9 en N=21.

Door het toepassen van een dergelijk venster moeten we dus elke waarde $X[i]$ uit ons array vermenigvuldigen met de vensterfunctie. Of het toepassen van een venster nodig is voor de verdere verwerking is nog maar de vraag.

Na deze beknopte beschrijving van het schatten van het spectrum van het signaal in een bepaalde periode aan de hand van een N tal meetwaarden, kunnen we ons gaan bezighouden met het berekenen van de kenmerken. In dit geval de verdere verwerking van het spectrum gegeven in de arrays $R[i]$, $I[i]$ en $A[i]$ $i=0..N-1$.

Wanneer we $A^2[i]$ berekenen hebben we het vermogensspectrum van het signaal. Zinnvolle kenmerken zijn:

$$\text{vermogen in een bepaalde band: } B_k = \sum_{i=0}^k A^2[i]$$

$$\text{vorm van het spectrum} \quad : V = B_j / B_1 \pm B_k$$

Denken we even aan het spectrum $X(f)$ dan is:

$$m \approx X(0) \approx X(0)^2 \approx A^2[0]$$

$$\sigma^2 \approx \int |X(f)|^2 df \approx \sum A^2[i]$$

Dit is nog eens weergegeven in figuur 5.2.4.

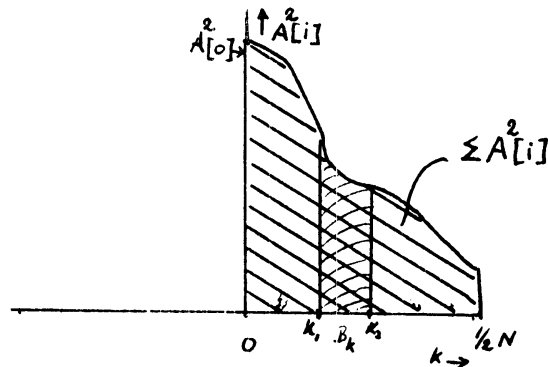


fig. 5.2.4. Enkele zinvolle kenmerken.

5.3. Het beslissingscriterium

Nadat we een goede set van kenmerken hebben bepaald van de klassen E_i kunnen we ons gaan bezighouden met de 'classifier' zoals deze in de vakliteratuur van de patroonherkenning wordt genoemd. In de statistische patroonherkenning komt dit overeen met het testen van hypothesen. Deze aanpak veronderstelt dat de kansen op de klassen E_i $P(E_i)$ en de conditionele kansdichtheden $p(X | E_i)$ bekend zijn. In het geval we meerdere kenmerken gebruiken is dit een meerdimensionale conditionele kansdichtheid. Wanneer we aannemen dat de kansdichtheden normaalverdeeld zijn kunnen we deze bepalen door de μ en σ van deze verdeling te schatten. Aan de hand van een N aantal voorbeeldpatronen voor elke klasse E_i kunnen we dan deze parameters met een bepaalde betrouwbaarheid schatten. Deze betrouwbaarheid b.v. 95 % geeft dan aan hoeveel voorbeeldpatronen we voor de

schatting gebruiken. De bepaling van de kansen $P(E_i)$ kan gebeuren door een verzameling patronen van bijvoorbeeld een jaar metingen te gebruiken.

We zullen nu laten zien hoe een beslissingscriterium tot stand komt wanneer $p(X|E_i)$ en $P(E_i)$ bekend zijn. We behandelen hier de klassieke Bayes classifier die de kans op een foute beslissing minimaliseert. Ons voorbeeld heeft twee klassen E_0 en E_1 en een aantal kenmerken weergegeven met X .

Een beslissingscriterium is:

$$\begin{aligned} &\text{als } P(E_1|X) > P(E_0|X) \text{ kies dan } E_1 \\ &\text{als } P(E_1|X) < P(E_0|X) \text{ kies dan } E_0 \end{aligned}$$

In het vervolg zullen we alleen de regel voor E_1 geven, de regel voor E_0 is de ontkenning van de eerste.

Volgens de regel van Bayes geldt:

$$P(E_i|X) = p(X|E_i) P(E_i) / p(X)$$

Vullen we dit in de regel voor E_1 in dan volgt:

$$\text{als } p(X|E_1) P(E_1) > p(X|E_0) P(E_0) \text{ kies } E_1$$

of:

$$\text{als } l(X) = p(X|E_1)/p(X|E_0) > P(E_0)/P(E_1) \text{ kies } E_1$$

Deze $l(X)$ is nu de classifier. Als deze groter is dan de 'threshold waarde' aan de rechterzijde van de laatste vergelijking besluiten we dat het patroon gegeven door X tot E_1 behoort. Vaak wordt de waarde $\ln l(X)$ als classifier gebruikt. Het nut hiervan zien we meteen bij normale verdelingen.

Een eendimensionaal voorbeeld: $p(X|E_0)$ met μ_0 en σ_0
 $p(X|E_1)$ met μ_1 en σ_1

$$l(X) = \frac{\frac{1}{\sigma_1 2\pi} e^{-\frac{(X - m_1)^2}{2\sigma_1}}}{\frac{1}{\sigma_0 2\pi} e^{-\frac{(X - m_0)^2}{2\sigma_0}}} = \frac{\sigma_0}{\sigma_1} e^{-\frac{(X - m_1)^2}{2\sigma_1} + \frac{(X - m_0)^2}{2\sigma_0}}$$

$$\ln l(X) = \frac{-(X - m_1)^2}{2\sigma_1} + \frac{(X - m_0)^2}{2\sigma_0} + \ln \sigma_0 - \ln \sigma_1$$

In het meerdimensionale geval is $l(X)$:

$$\begin{aligned} \ln l(X) &= 1/2 (X - M_1)^T \Sigma_1^{-1} (X - M_1) \\ &\quad - 1/2 (X - M_0)^T \Sigma_0^{-1} (X - M_0) \\ &\quad + 1/2 \ln \Sigma_1 \quad - 1/2 \ln \Sigma_0 \end{aligned}$$

Hierin is $M_i = E\{ X \}$

$$\Sigma_i = E\{ (X - M_i)(X - M_i)^T \}$$

Omdat de regel geen perfecte beslissing kan nemen berekenen we de foutenkans $P(e)$.

Zij B_1 waarbij $X \in B_1$ kies E_1 en
 B_0 waarbij $X \in B_0$ kies E_0

dan is $P(e) = P(e|E_1) P(E_1) + P(e|E_0) P(E_0)$

nu is $P(e|E_1)$ de kans dat $X \in B_0$ gegeven E_1 dus:

$$P(e) = P(E_1) \int_{B_0} p(X|E_1) dX + P(E_0) \int_{B_1} p(X|E_0) dX$$

De eerdergegeven regel van Bayes minimaliseert deze fout.

Als illustratie fig 5.3.1..

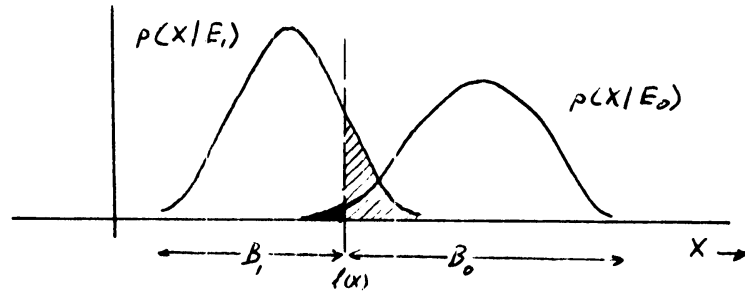


fig. 5.3.1. Foutenkans in het eendimensionale geval. De foutenkans is de som van de aangegeven oppervlakken onder beide curven.

Het is veel leuker om de mogelijke vier uitkomsten van de beslissing kostenfuncties te verbinden. Het leuke is dat er een soortgelijk beslissingscriterium als eerder tevoorschijn komt.

Zij:	kosten	beslissing	werkelijk
	K_{11}	$X = E_1$	E_1 goed
	K_{10}	$X = E_1$	E_0 fout
	K_{01}	$X = E_0$	E_1 fout
	K_{00}	$X = E_0$	E_0 goed

We nemen $K_{10} > K_{11}$ en $K_{01} > K_{00}$. We werken weer met B_1 en B_0 die we zo moeten kiezen dat de kosten geminimaliseerd worden. De verwachting van de kosten $E\{K\}$:

$$\begin{aligned}
 E\{K\} = & \int_{B_1} K_{11} P(E_1|X) p(X) dX + \\
 & \int_{B_0} K_{10} P(E_1|X) p(X) dX + \\
 & \int_{B_1} K_{01} P(E_0|X) p(X) dX + \\
 & \int_{B_0} K_{00} P(E_0|X) p(X) dX
 \end{aligned}$$

met de eigenschap $\int_{B_1} p(X|E_1) dX = 1 - \int_{B_0} p(X|E_0) dX$

en de regel van Bayes leidt verdere uitwerking tot:

$$E\{K\} = K_{10} P(E_1) + K_{00} P(E_0) +$$

$$\int_{B_1} \{ -(K_{10} - K_{11}) P(E_1) p(X|E_1) + (K_{01} - K_{00}) P(E_0) p(X|E_0) \} dX$$

Nu is $K_{10} > K_{11}$ en $K_{01} > K_{00}$. Het linkerdeel van de integrand is negatief het rechterdeel is positief. Wanneer voor een bepaalde X de integrand negatief is kunnen we de kosten minimaliseren door die X aan B_1 toe te voegen. Wanneer voor een bepaalde X de integrand positief is kunnen we de kosten verminderen door deze X aan B_0 toe te voegen. Minimale kosten ontstaan dus door X e B_1 wanneer de integrand negatief is, dus als:

$$(K_{10} - K_{11}) P(E_1) p(X|E_1) > (K_{01} - K_{00}) P(E_0) p(X|E_0)$$

kies E_1

of:

$$l(X) = p(X|E_1)/p(X|E_0) > (K_{01} - K_{00}) P(E_0)/(K_{10} - K_{11}) P(E_1)$$

Dit is op de kostenfuncties na eenzelfde criterium als eerder. Het introduceren van kostenfuncties kan gezien worden als het manipuleren van de kansen op E_1 .

We hebben nu een eenvoudig beslissingscriterium tot stand zien komen. In de literatuur is een overvloed aan dergelijke beschouwingen te vinden. Een opsomming zou hier te voeren. De methode die hier is gepresenteerd kan eenvoudig in praktijk worden gebracht eveneens is uitgelegd wat er

gebeurt als we de kansen op een bepaald patroon gaan manipuleren.

5.3. De implementatie

Er is in dit laatste hoofdstuk een methode aangereikt die bepaalde kenmerken van een signaal in een getal kan uitdrukken. Deze techniek van de fast fourier transform afgekort F.F.T. is nogal rekenintensief. Daarnaast moet de classificier berekend worden. In het geval we meerdere kenmerken gebruiken zijn matrixvermenigvuldigingen vereist. Dit stelt bepaalde eisen aan de reken capaciteit van het automatisch meetstation. Voor een snelle verwerking zijn daarom speciale rekenprocessoren gewenst. Men kan natuurlijk de controle iets afzwakken door niet continu elke reeks te gaan bewerken maar bijvoorbeeld een maal per uur het patroon te evalueren. Let wel dat we de F.F.T methode geïntroduceerd hebben als een algemene methode voor het vinden van de kenmerken. Evengoed kan men ook beginnen met de σ en de μ die ook als meetwaarden worden berekend.

Met betrekking tot de implementatie op stations met een aantal sensoren kunnen we de programma's procedurematig implementeren dit heeft verscheidene voordelen:

- De controle van een bepaalde meting kan op dezelfde manier plaatsvinden, de procedures werken alleen met andere parameters.
- Het testen van de diverse procedures kan apart gebeuren. We kunnen de algorithmen 'droog' oefenen op een minicomputer waarbij we gebruik maken van een bestand meetwaarden op schijf.
- Het aanbrengen van veranderingen in de programmatuur van een bepaald station vindt plaats door routines uit te wisselen.

Bij het toepassen van deze vorm van controle is een multitasking omgeving haast wel vereist. Ten eerste omdat de ontwikkeling van de controle procedures zeer bemoeilijkt zal worden als tevens de hierbij eventueel optredende tijdproblemen opgelost dienen te worden op machineniveau. Door een multitasking opzet van het meetstation verdwijnen deze problemen naar een ander niveau. Daartoe zal een programmeertaal moeten worden gekozen die dit principe verwezenlijkt. Daarbij is het heel verstandig een taal te kiezen die we ook op een minicomputer kunnen gebruiken zodat we een goede mogelijkheid krijgen om de afzonderlijke algoritmen te testen. En daarnaast het totale programma makkelijk kunnen testen. Dit zijn aspecten waarmee terdege rekening moet worden gehouden wanneer men de voorgestelde vorm van controle wil gaan toepassen.

HOOFDSTUK 6 Conclusies en aanbevelingen

6.0. Conclusies

Er is een algemene methode gepresenteerd die mogelijke storingen kan detecteren aan de hand van de kennis van het signaal. Uit de bestudering van het meetproces is deze methode aannemelijk gemaakt. Het is meerdere malen gebleken dat het effect van een bepaalde fout of storing vaak niet exact te bepalen is. Het exacte gevolg van een bepaalde storing op het spectrum kan vaak niet worden berekend omdat storingen vaak niet lineair zijn. Desondanks staat wel vast dat ze het spectrum zoals dat bestaat zonder storingen terdege veranderen .

De nauwkeurigheden kunnen we zonder testsysteem niet of nauwelijks bewaken, evenals de tijdafhankelijke variaties van het meetproces. De ijkperiodes dienen derhalve gerespecteerd te worden.

Het succes van deze vorm van controle door het toepassen van de patroonherkenning op basis van het signaal is verder aannemelijk omdat er door de ervaring van de mensen die bij de afdeling KD er wel degelijk defecten kunnen worden geconstateerd op basis van het signaal. Het moet daarom een uitdaging zijn de resultaten van dit werk om te zetten in een operationele controle die een verantwoorde automatisering al een stap dichterbij brengt. In dit kader wijzen we op het werk van ir. J.J.M. van Gorp [9] "Automatisering waarnemingen; een samenspel tussen sensor en algoritme".

6.1. Aanbevelingen

Teneinde tot een operationele controle zoals die hier is voorgesteld te komen, kunnen we de volgende stappen onderscheiden:

- De kennis van de signalen dient te worden uitgebreid. Een houvast hiervoor is de windsnelheid. De signalen kunnen worden bestudeerd door het evalueren van de resultaten van de F.F.T.. Daartoe kan men bijvoorbeeld een minicomputer gebruiken. Tevens kan men dan al verschillende classificiers uittesten. Als invoer gebruiken we dan meetwaarden die bijvoorbeeld op een magnetisch schijfje kunnen worden bewaard. Deze meetwaarden moeten op een of andere manier verzameld worden van de stations waar de controle moet worden toegepast.

- Wanneer deze fase succesvol is beëindigd moet de ontwikkelde programmatuur makkelijk overdraagbaar zijn naar een operationeel station. Hieronder verstaan we in eerste instantie een station dat nog door mensen gecontroleerd wordt.

Nawoord

Dit technisch rapport is verschenen naar aanleiding van de na-kandidaatsstage die plaatsvond bij de afdeling INSA, IO van 1 augustus t/m 24 oktober 1985. Met betrekking tot deze stage is ook een tussentijds rapport verschenen [10].

Gaarne zou ik hierbij alle medewerkers van het KNMI voor hun interesse en hulp willen bedanken. In het bijzonder drs. R.A. Hoenson, drs. C.W. van Scherpenzeel en M.A. van den Oudenrijn. Tenslotte wil ik mijn waardering uitspreken voor de bijdrage van Jhr. ir. P.J. Six van Vromade en stagebegeleider ir. J.J.M. van Gorp.

LITERATUUR

- [1] Introduction to statistical pattern recognition
Keinosuke Fukunaga
Academic Press, New York and London 1972

- [2] Applications of pattern recognition
K. S. Fu
CRC Press Inc.
Boca Raton Florida 1982

- [3] Digital waveform processing and recognition
C. H. Chen
CRC Press, Inc.
Boca Raton Florida 1982

- [4] Communication systems
A. Bruce Carlson
McGraw-Hill international book company
Auckland 1975

- [5] Syllabus van het college Signalen III
G. Verkroost
Diktaat van de T.H. Eindhoven nr:5.625.1- 1984.

- [6] Stochastische Signaaltheorie
P. Eykhoff
Diktaat van de T.H. Eindhoven nr: 5510 - 1982.

- [7] An examination of cup anemometer overspeeding
P.A. Coppin Hannover
Meteorologische Rundschau 35, 1982, p.1-12.

- [8] De invloed van meetsystemen op de waarneming van gemiddelden, standaarddeviaties en maxima
A.C.M. Beljaars
Wetenschappelijk rapport 83 - 2
KNMI de Bilt 1983

- [9] Automatisering waarnemingen; een samenspel tussen sensor en algoritme
J.J.M. van Gorp
Technisch rapport (ter perse nov '85)
KNMI de Bilt 1985
- [10] Automatische foutcontrole bij meteorologische metingen
H.M. van der Kolk
(Intern memorandum) (Not published)
KNMI de Bilt 1985