

MACHINALE EN VISUELE DETECTIE
VAN
ECHTE EN NAGEMAAKTE
NEDERLANDSE BANKBILJETTEN

Het verschil tussen meten en patroonherkenning

dr ir P. Koeze
De Nederlandsche Bank NV, Amsterdam

26 maart 1991
Gedigitaliseerd januari 2007

Samenvatting

De voordracht valt in twee delen uiteen. Het eerste deel beschrijft de circulatie van bankbiljetten in Nederland. Het behoort tot de taak van de Nederlandsche Bank de circulatie in stand te houden. Daartoe worden enerzijds voortdurend nieuwe bankbiljetten ontworpen en gedrukt en anderzijds sorteermachines ontwikkeld en ingezet om de gecirculeerde bankbiljetten te scheiden in ‘echt’ en ‘namaak’ en ‘schoon’ en ‘vuil’.

Het tweede deel van de voordracht gaat in op de grote rol die patroonherkenning speelt voor beide sorteerprocessen, zowel voor echt/-namaak als voor schoon/vuil. Het blijkt dat patroonherkenning verschilt van alleen meten doordat het menselijk oordeel in het algemeen niet eenduidig verwijst naar een technische meting van een goed te definiëren fysisch attribuut.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	De circulatie van bankbiljetten in Nederland	3
2.1	De circulatie als proces	3
2.1.1	Levensloop	3
2.1.2	Machinale sortering	4
2.1.3	Continuïteitsvergelijking	4
2.1.4	Industrieel proces	5
2.1.5	Industrieel produkt	5
2.2	Vier groepen van gebruikers	5
3	Sorteermachines bij de Nederlandsche Bank	6
3.1	Taken	6
3.2	Kengetallen	7
4	De detectie van nagemaakte biljetten	7
4.1	Visuele namaakdetectie	7
4.1.1	Produktietechnieken	7
4.1.2	Echtheidskenmerken	8
4.1.3	Vormgeving evenwaardig aan techniek	9
4.2	Machinale namaakdetectie	9
4.2.1	Eisen	9
4.2.2	Mogelijke meetmethoden	11
4.2.3	Nederlandse keuze	12
4.2.4	Fysisch principe van de optische reliëfmeting	12
5	De detectie van gawe en defecte bankbiljetten	13
5.1	Visuele gaaf/defect-detectie	13
5.2	Machinale gaaf/defect-detectie	14
5.2.1	Fysisch principe	14
5.2.2	Features van vijf defecten	15
5.2.3	Vervuiling en schrift	16
5.2.4	Invloed van de opaciteit	17
6	Het verschil tussen meten en patroonherkennen	18

1 Inleiding

Als u een sensationeel verhaal zou verwachten, moet ik u teleurstellen. Het detecteren van echte en nagemaakte Nederlandse bankbiljetten is wel interessant maar niet sensationeel.

De voordracht zal in twee delen van ieder twee hoofdstukken uiteenvallen. Na deze inleiding zal ik in het eerste, meer algemene deel de organisatie van de bankbiljettencirculatie in Nederland beschrijven. Ik zal het hebben over de circulatie als proces en over de verschillende groepen van gebruikers die een rol spelen in de circulatie. Ik zal een korte beschrijving geven van de sorteermachines die bij de Nederlandsche Bank in gebruik zijn. Ik ga er daarbij van uit dat het onderwerp de Nederlandse bankbiljettencirculatie nieuw voor u is.

In het tweede, meer technische deel van de voordracht zal ik komen te spreken over de visuele en machinale namaak- en gaaf/defect-detectie en over de rol die patroonherkennen daarin speelt.

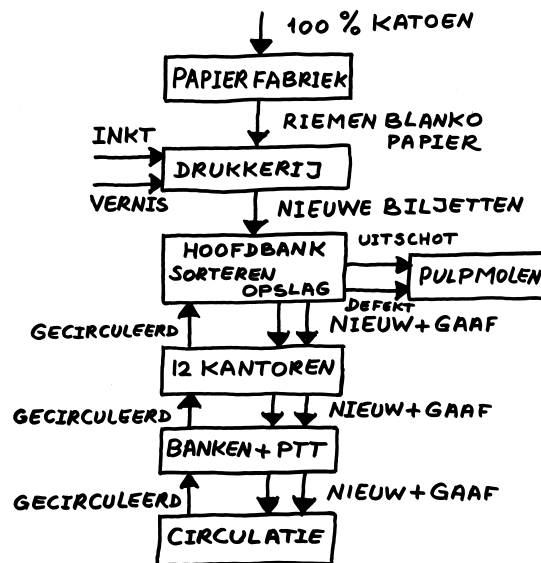
Ik zal besluiten met enige principieel getinte opmerkingen over het verschil tussen meten en patroonherkennen.

2 De circulatie van bankbiljetten in Nederland

2.1 De circulatie als proces

2.1.1 Levensloop

In figuur 1 is de bankbiljettenomloop in Nederland geschetst. De levensloop van een serie bankbiljetten begint in de papierfabriek VHP te Ugchelen. Daar wordt het Nederlandse bankpapier gemaakt uit 100% katoen en wordt het watermerk in het papier aangebracht. Vervolgens gaat het blanco papier naar de drukkerij Joh. Enschedé en Zonen te Haarlem, waar het wordt bedrukt en gevernist. De nieuwe bankbiljetten gaan tenslotte naar de Nederlandsche Bank te Amsterdam en worden daar in de kluizen opgeborgen. Naar gelang de behoefte bij het publiek geven de kantoren van de Bank de nieuwe bankbiljetten uit. Vanuit 12 kantoren, die verspreid staan over het hele land, en de Hoofdbank te Amsterdam worden dagelijks biljetten verzonden naar de kantoren van de handelsbanken en de PTT. 's Morgens vroeg rijden de geldauto's van de geldtransporteurs uit en brengen de bankbiljetten die naar schatting die dag nodig zijn, van de Nederlandsche Bank naar de bankkantoren. De bankkantoren geven deze biljetten in de loop van de dag uit aan het publiek. 's Middags halen deze zelfde geldauto's de overgeschoten en de gedurende de dag ontvangen bankbiljetten weer op bij de bankkantoren en brengen ze terug naar de Nederlandsche Bank. Dit is een dagelijks terugkerend ritueel. Op deze manier is het mogelijk een constante stroom bankbiljetten van de circulatie af te tappen en door de



Figuur 1: De levensloop van een serie bankbiljetten.

Nederlandsche Bank te leiden. Uiteindelijk keren alle gecirculeerde bankbiljetten weer terug in de Hoofdbank te Amsterdam, tenzij ze verloren gaan door brand of een ander ongeluk.

2.1.2 Machinale sortering

In de Hoofdbank worden alle ontvangen bankbiljetten verzameld en machinaal gesorteerd naar twee criteria:

- zijn de biljetten echt?
- zijn de biljetten geschikt voor recirculatie, of zijn zij vuil en versleten en moeten zij vernietigd worden?

De versleten biljetten eindigen in een pulpmolen, die ze vermaalt tot snippers; deze worden uiteindelijk verbrand. Nieuwe biljetten uit de voorraad vervangen de versleten biljetten naar gelang de behoefte vanuit het publiek. Het resultaat is dat de circulatie op peil en schoon blijft.

2.1.3 Continuïteitsvergelijking

Voor elke cel in figuur 1 moet een continuïteitsvergelijking gelden. Alle bankbiljetten die een cel van het proces binnentreden, moeten er ook weer op reguliere wijze uittreden. Door voortdurend en overal te tellen is het

mogelijk een eventuele onbalans tussen input en output van een cel vast te stellen en fraude te signaleren. De zwakke punten zijn dan natuurlijk de drie uiteinden van het proces, waarvoor geen continuïteitsvergelijking geldt.

2.1.4 Industrieel proces

Om een indruk te geven van de massaliteit van deze industriële processen: de circulatie omvat thans ongeveer 350 miljoen biljetten; per jaar worden ongeveer 950 miljoen biljetten machinaal gesorteerd of per dag ongeveer 4 miljoen biljetten. Dit betekent dat de biljetten gemiddeld 2,5 keer per jaar bij de Nederlandsche Bank terugkomen, of eens in de 145 dagen. Van de gesorteerde biljetten wordt circa 1/4 afgekeurd en door nieuwe vervangen. Dat wil zeggen dat ieder jaar ongeveer 70% van de circulatie wordt vervangen en dat de gemiddelde levensduur 1,5 jaar is. De totale oplage van een model van een coupure is vaak extreem groot; oplagen van meer dan 1 miljard stuks zijn niet ongewoon in Nederland.

2.1.5 Industrieel produkt

In feite is het moderne bankbiljet ondanks alle mystiek die er omheen hangt, een industrieel produkt dat in zeer grote aantallen wordt geproduceerd en verwerkt. Het moderne bankbiljet is vergelijkbaar met andere massagoederen, zoals geneesmiddelen, die eveneens in zeer grote aantallen en met zeer veel zorg worden gefabriceerd. De produktie- en sorteerprocessen lijken op de produktieprocessen die te vinden zijn in andere, wat men noemt, mono-produktindustrieën. Een zeer beperkt aantal verschillende produkten wordt verwerkt met inzet van dure, nauwkeurige produktiemiddelen. Tenslotte is het bankbiljet ook te karakteriseren als een consumentenartikel: de belangrijkste groep van gebruikers is het gewone publiek dat geen bijzondere kennis over bankbiljetten bezit.

2.2 Vier groepen van gebruikers

Tijdens de circulatie hanteren allerlei gebruikers de bankbiljetten. Wij onderscheiden 4 groepen van gebruikers:

- het algemene publiek,
- de handelsbanken, PTT, Spoorwegen en andere professionele gebruikers van bankbiljetten, die samengevat worden onder de verzamelnaam ‘kassiers’,
- uitgifte-, wissel- en verkoopautomaten, en tenslotte
- de Nederlandsche Bank zelf.

Het zal u duidelijk zijn dat deze verschillende groepen gebruikers verschillende eisen aan de bankbiljetten stellen, die sterk uiteen kunnen lopen. Een eerste verschil is gelegen in de methode of de techniek die een gebruiker toepast. Wordt een bankbiljet visueel ‘gelezen’ door een mens of machinaal ‘gelezen’ door een automaat? Een tweede verschil is gelegen in de doelstelling waarmee gelezen wordt, de taak. Moeten nagemaakte biljetten tussen de echte biljetten opgespoord en verwijderd worden? Of moet een stroom bankbiljetten worden gesplitst in twee deelstromen: één met biljetten die geschikt zijn voor recirculatie, in ons jargon ‘gave’ biljetten, en één met biljetten die versleten zijn, in ons jargon ‘defecte’ biljetten? Zoals gebruikelijk in het geval van twee zulke dichotomieën kunnen beide met elkaar in verband worden gebracht in een 2 x 2-matrix, zoals in de volgende tabel. In de cellen van de matrix heb ik aangegeven welke van de vier gebruikersgroepen werkzaam zijn in de betreffende cel. In alle vier cellen van de matrix speelt een of andere vorm van meten of patroonherkenning een rol.

Taak	Techniek	
	Visueel	Machinaal
Detectie echt/namaak	Publiek Kassiers DNB	Automaten DNB
Sorteren gaaf/defect	DNB	DNB

Tabel 1: Vier vormen van meten en patroonherkennen en de betrokken groepen van gebruikers

3 Sorteermachines bij de Nederlandsche Bank

3.1 Taken

De sorteermachines van de Nederlandsche Bank, die opgesteld staan in de Hoofdbank te Amsterdam, sorteren dagelijks de stroom binnenkomende bankbiljetten. Zij hebben vier hoofdtaken:

- het zeer nauwkeurig tellen van de biljetten.
De bewezen nauwkeurigheid is 10^{-8} , de nagestreefde nauwkeurigheid is 10^{-9} . Dat wil zeggen dat eens per jaar een bankbiljet wordt misgeteld.
- het detecteren van echte en nagemaakte biljetten.
Dit gebeurt met een oneindige nauwkeurigheid. Sinds de Bank machi-

naal is gaan sorteren in 1975, heeft de Bank nog nooit een nagemaakt biljet heruitgegeven.

— het detecteren van gave en defecte biljetten.

Ik vertelde u reeds dat circa 25% van de stroom te sorteren bankbiljetten wordt afgekeurd.

— het lezen van de bankbiljetnummers.

Alle nummers worden tijdens het sorteren gelezen en in een databestand bijgehouden. Het hoofddoel is namaakdetectie, maar economisch gezien is het meten van de levensduur veel belangrijker. Het aantal rejets is 10^{-3} , het aantal leesfouten 10^{-11} .

De sorteermachines zijn ontwikkeld onder directie van de Bank met inschakeling van circa 20 toeleveranciers, onder andere Technisch Fysische Dienst TPD-TNO in Delft. Op de sorteermachines zijn een aantal detectoren geplaatst voor de machinale echt/namaak-detectie en voor de gaaf/defect-detectie, die door deze TNO-instelling in onze opdracht zijn ontwikkeld. In totaal gebruiken wij vijf detectoren op onze sorteermachines.

3.2 Kengetallen

Enkele kengetallen die voor de detectoren van belang zijn:

— lineaire snelheid biljetten	4 m/s
— repetitiefrequentie biljetten	14 bankbiljetten/s
— maximaal beschikbare detectietijd	70 ms
— geëiste detectietijd	<25 ms
— transportrichting biljetten	evenwijdig aan lange zijde
— aantal sorteermachines	33 stuks

4 De detectie van nagemaakte biljetten

Hiermee ben ik gekomen bij de kern van mijn voordracht. Ik wilde nu de vier cellen in tabel 1 een voor een langslopen en u een beschrijving geven welke rol patroonherkenning speelt.

4.1 Visuele namaakdetectie

4.1.1 Produktietechnieken

In onze bankbiljetten worden zes produktietechnieken toegepast:

— papiermaken,

— plaatdruk,

— offset-druk,

- boekdruk,
- vernissen, en
- snijden.

De produktiemachines die nodig zijn om bankbiljetten in deze technieken te produceren, zijn duur en eisen bediening door vakbekwaam personeel. Nu is iemand die bankbiljetten namaakt, in feite een ondernemer en zoals elke ondernemer zal hij streven naar winstmaximalisatie. De winst is evenredig met het verschil tussen de verkoopprijs en kostprijs van nagemaakte biljetten. De verkoopprijs ligt min of meer vast en is maximaal de nominale waarde van het biljet. Een namaker zal daarom trachten de kostprijs te minimaliseren. Dit kan hij doen door terug te grijpen op eenvoudiger en goedkoper technieken dan de originele produktietechnieken. Bovendien zijn de originele produktiemachines voor bankbiljetten niet op de vrije markt te koop, ook niet tweedehands. Het resultaat is dat nagemaakte biljetten in de praktijk dan ook altijd imitaties van echte bankbiljetten zijn, gerealiseerd in min of meer verwante technieken. Nagemaakte biljetten wijken altijd af van echte en vertonen daardoor altijd meerdere technische tekortkomingen en eigenaardigheden.

4.1.2 Echtheidskenmerken

De opzet is nu om in elk van de originele technieken een of meer echtheidskenmerken te realiseren die op pregnante wijze de karakteristieke eigenschappen van deze techniek tot uiting brengen en daarom moeilijk te imiteren zijn in een andere techniek. De echtheidskenmerken die thans in de biljetten worden aangebracht ten behoeve van de visuele namaakdetectie door het algemene publiek zijn:

- schaduwwatermerk met lichte en donkere tinten,
- plaatdrukpatroon met voelbaar reliëf,
- doorzichtregister met perfect register tussen voor- en keerzijde,
- microtekst met kleine lettertjes met een hoogte van 0,3 mm.

Verder hebben we nog ten behoeve van de visuele namaakdetectie door professionele ‘kassiers’:

- ultraviolet-fluorescerende vezeltjes in het niet-fluorescerende papier,
- metameer kleurenpaar,
- microtekst met lettertjes van 0,2 mm hoog, zodat de spatiële frequentie ligt boven de afbreekfrequentie van reproductieapparatuur, en

— snijranden.

In de Bank worden bij visuele inspectie van een verdacht biljet deze zelfde acht kenmerken gebruikt.

Het is goed er met nadruk op te wijzen dat we met een duidelijk doel voor ogen de verschillende echtheidskenmerken ontwerpen. Wij zijn goed op de hoogte met de karakteristieken en tekortkomingen van onze eigen machines en die van de reproductie-apparatuur op de markt en gebruiken die kennis in het ontwerp van de echtheidskenmerken. Wij weten dus van tevoren waar een nagemaakt biljet tekort kan schieten. Niet alle nagemaakte biljetten gaan aan dezelfde echtheidskenmerken mank, maar wel allemaal aan de kenmerken die wij doelbewust ontworpen hebben. In de praktijk vormt het voor iemand met een goed gezichtsvermogen die goed op de hoogte is met de bankbiljetten, geen probleem om echt van namaak te onderscheiden.

4.1.3 Vormgeving evenwaardig aan techniek

Het algemene publiek heeft echter weinig belangstelling voor bankbiljetten, kent daardoor de echtheidskenmerken slecht en weet dus ook niet waarop te letten. De opgave ligt dan ook niet zozeer in de techniek, maar in de vormgeving. De opgave is de echtheidskenmerken zodanig vorm te geven dat zij opvallen en moeiteloos te onthouden zijn. Het publiek moet nagemaakte biljetten zonder hulpmiddelen en zonder vergelijkingsmateriaal, dus kwalitatief in tegenstelling met kwantitatief, kunnen herkennen. Uit eigen onderzoek en uit de literatuur blijkt dat men slechts een zeer beperkt aantal losse feiten kan onthouden: ongeveer zes. Het heeft dus geen zin een groot aantal echtheidskenmerken in de biljetten onder te brengen en te publiceren. Die worden toch weer vergeten. Het heeft wel zin een beperkt aantal kenmerken te publiceren en deze een vormgeving en betekenis te geven die samenhangen met het thema, de kleur en het hoofdonderwerp van het biljet.

Als voorbeeld noem ik u het *f* 250-biljet, waar alle echtheidskenmerken te maken hebben met het thema ‘Nederlandse Noordzeekust’. Verder noem ik het nieuwe *f* 25-biljet, waar alleen de echtheidskenmerken een reële en dus benoembare afbeelding vertonen, die te maken heeft met het thema ‘25 en rood’, en alle andere elementen non-figuratief en dus onbenoembaar zijn.

4.2 Machinale namaakdetectie

4.2.1 Eisen

In tegenstelling met visuele namaakdetectie is machinale namaakdetectie kwantitatief en niet kwalitatief. Zoals ik al zei, zijn nagemaakte biljetten altijd een imitatie van echte. Zij lijken visueel wel min of meer op echte biljetten, maar wijken in de details sterk af, omdat de gebruikte produktietechnieken andere zijn. Vanuit technisch oogpunt is machinale namaakdetectie

dan ook goed te realiseren. Elke voorstelbare meting is doeltreffend. De twee gebruikersgroepen, de Bank en de geldautomaten, stellen natuurlijk wel verschillende eisen aan de toe te passen detectoren. Wat betreft de Nederlandsche Bank moeten de metingen

- gevoelig,
- reproduceerbaar en
- snel (sneller dan 25 ms)

zijn, terwijl

- het rejectpercentage laag (kleiner dan 0,1%) is en
- nagemaakte biljetten niet geaccepteerd

worden. Als de laatste twee eisen in een matrix voorgesteld worden, ontstaat het beeld van tabel 2.

Output detector	Input biljet	
	Echt	Namaak
Echt	0,999	0,000
Namaak	0,001	1,000
Som	1,000	1,000

Tabel 2: Fracties van acceptatie door een detector van DNB bij aanbod van een echt of nagemaakt biljet

Wat betreft de geldautomaten gelden andere normen:

- niet duur (NLG 10.000 of minder),
- betrekkelijk langzaam (5 s of sneller),
- hoog rejectpercentage (10% of minder),
- geringe acceptatie van nagemaakte biljetten.

De laatste twee eisen leiden in dit geval tot de matrix in tabel 3. De gerealiseerde specificaties lopen echter sterk uiteen tussen de verschillende merken geldautomaten die op de markt verkrijgbaar zijn.

Output detector	Input biljet	
	Echt	Namaak
Echt	1-0,90	0-0,20 ?
Namaak	0-0,10	1-0,80 ?
Som	1,00	1,00

Tabel 3: Fracties van acceptatie door een detector van een geldautomaat bij aanbod van een echt of nagemaakt biljet

4.2.2 Mogelijke meetmethoden

Eigenlijk is elke denkbare fysische eigenschap van een bankbiljet wel geschikt om met een speciaal ontworpen instrument echt van namaak te onderscheiden. Iedere technicus die nieuw in dit vak komt, begint dan ook zijn eigen detector voor te stellen. Het gevolg is een overvloed aan methoden die in de praktijk bewezen hebben te werken. Een bloemlezing uit de mogelijkheden is:

- optische spectraalmetingen,
- optische densiteitsmeting,
- de afwezigheid van fluorescentie,
- de aanwezigheid van fluorescentie,
- röntgen-fluorescentie,
- laser-raman-spectroscopie,
- ferromagnetisme,
- mössbauer-spectroscopie,
- electron-spin-resonantie,
- impedantiemeting in een EM-trilholte,
- elektrische capaciteitsmeting,
- warmtecapaciteitsmeting,
- optische reliëfmeting van de plaatdruk,
- mechanische reliëfmeting van de plaatdruk,
- optische of mechanische meting van het biljetformaat,

— mechanische diktemeting,

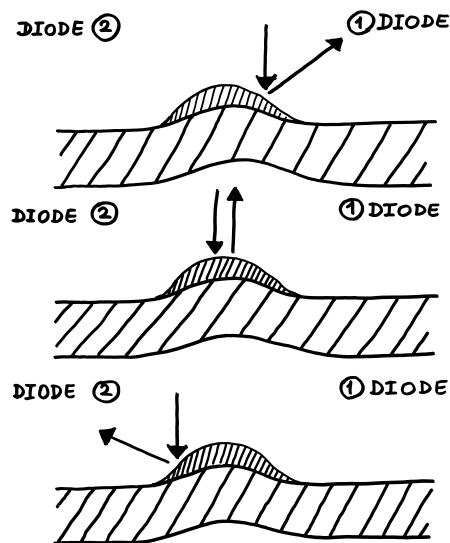
— nummervergelijking,

etcetera, etcetera.

4.2.3 Nederlandse keuze

Wij zelf passen optische densiteitsmeting, optische reliëfmeting van de plaatdruk en nummervergelijking toe. Misschien was het u niet opgevallen, maar de nieuwe *f* 25 is het eerste biljet ter wereld met een streepcode. Streepcodes worden tegenwoordig uiteraard op alle produkten toegepast, maar die streepcodes zijn onveranderlijk. Het uitzonderlijke van de streepcode op onze bankbiljetten is dat de streepcode veranderlijk is. Elk biljet heeft zijn eigen streepcode, zodat elk biljet traceerbaar is aan het nummer.

4.2.4 Fysisch principe van de optische reliëfmeting



Figuur 2: Doorsnede door een bankbiljet ter plaatse van een plaatdruklijn.

In figuur 2 ziet u een doorsnede door een bankbiljet, waarop een lijn in plaatdruk is gedrukt. Plaatdruk vervormt het papier zodat aan de keerzijde van het papier een moet ontstaat. Het reliëf aan de voorzijde is de som van de vervorming van het papier zelf en de dikte van het laagje inkt. Het reliëf kan nu gemeten worden door verticaal op het biljet een lichtbundel te laten vallen, in dit geval is dat een laserbundel. Als het biljet van links naar rechts beweegt, zal eerst het papier het licht reflecteren en verstrooien.

Zodra het licht de plaatdruklijn treft, wordt het gereflecteerd, eerst op de rechterhelling, vervolgens op het midden en tenslotte op de linkerhelling. De gereflecteerde lichtbundel maakt dus een zwiep van rechts naar links. Symmetrisch ten opzichte van de verticaal zijn links en rechts van de invalende bundel twee dioden geplaatst die het gereflecteerde licht omzetten in een elektrische stroom. De output van de dioden zal bestaan uit een wisselstroom als gevolg van twee effecten. Het verschil in absorptie tussen papier en inkt zal de intensiteit moduleren, het reliëf zal de richting van de gereflecteerde bundel doen oscilleren. Ten gevolge van het laatste effect zullen beide wisselstromen niet in fase zijn in het geval van echte plaatdruk. Als een nagemaakt biljet passeert, waarop reliëf ontbreekt, zullen beide wisselstromen wel in fase zijn. Dit laatste geldt voor de meeste nagemaakte biljetten, die gedrukt zijn in offset. Fotokopieën vertonen soms wel een reliëf maar veel minder dan echte biljetten. Zij veroorzaken vrijwel zonder uitzondering een kleiner faseverschil dan echte biljetten. Door patroonherkenning toe te passen zijn de verschillende druk- en reproductietechnieken te onderscheiden en dus ook echt van namaak.

De detector werkt vrijwel zonder storingen en met weinig rejects. Zelfs de aanwezigheid van kreukels in het papier werkt niet storend, omdat kreukels een lagere spatiële frequentie hebben dan het gedrukte patroon en elektronisch uitgefilterd kunnen worden. TPD, onder directie van de Bank, voerde deze succesvolle ontwikkeling uit. Octrooien op deze detector zijn verkregen.

5 De detectie van gave en defecte bankbiljetten

5.1 Visuele gaaf/defect-detectie

Voordat de sorteermachines bij de Bank waren opgesteld, werden de biljetten met de hand gesorteerd. Ook nu nog gebeurt dat bij andere centrale banken in het buitenland. U moet zich daarbij zalen vol mensen voorstellen die dag in dag uit de bankbiljetten verdelen in twee stapeltjes: één voor gave biljetten en één voor defecte biljetten. Het is moeilijk te onderzoeken waar een mens precies op let als hij of zij biljetten sorteert op gaaf en defect. Er is weinig concreets over te zeggen. Alleen speculaties zijn mogelijk.

Kwalitatief gesproken spelen de volgende variabelen of attributen waarschijnlijk een rol:

- de optische densiteit gemiddeld over het hele oppervlak,
- de aanwezigheid van lokale vlekken en schrift,
- de aanwezigheid van scheuren en gaten,
- de aanwezigheid van plakband.

Verder lijkt het erop dat ook

— de gekreukeldheid van het papier

het menselijk oordeel beïnvloedt. Het ligt voor de hand dat hoe hoger de gemiddelde optische densiteit, hoe meer vlekken en schrift en hoe meer kreukels, hoe groter de kans is dat een mens het biljet als ongeschikt of defect beoordeelt. Het is echter tot nu toe onmogelijk gebleken de invloed van deze attributen op het menselijk oordeel te kwantificeren. Een probleem is dat de variabelen of attributen niet onafhankelijk van elkaar lijken te zijn. En bovendien verstoort het aanwezige drukbeeld het menselijk oordeel. Het is ook niet zeker of er misschien nog meer attributen een rol spelen. Voor één attribuut bestaat dat probleem niet. Plakband is eenvoudig niet toegestaan. Alle biljetten die plakband vertonen, moeten worden afgekeurd.

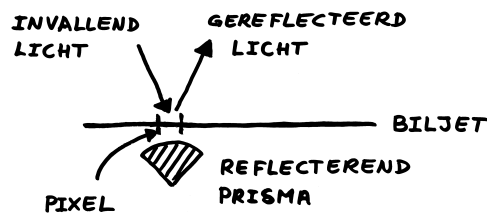
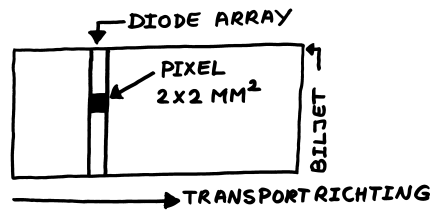
5.2 Machinale gaaf/defect-detectie

De moeilijkheden die ondervonden worden met de karakterisering van de visuele gaaf/defect-detectie, hebben hun weerslag op de machinale gaaf/defect-detectie. Uiteindelijk is het doel toch dat de machine de mens in dit opzicht imiteert. De vijf variabelen of attributen die we hebben kunnen identificeren voor de visuele gaaf/defect-detectie, worden daartoe zo goed mogelijk gemeten met behulp van een speciaal ontwikkelde detector.

5.2.1 Fysisch principe

Het fysisch principe van de detector is geïllustreerd in figuur 3. Ieder biljet wordt over de volle hoogte verlicht in het zichtbare deel van het spectrum. De lichtinval is bijna loodrecht. Het biljet wordt vervolgens afgebeeld op een lijnvormige diode-array. De optische as van het ontvangende stelsel kijkt naar het gereflecteerde licht in de speculaire richting. Onder het biljet is een reflecterend prisma aangebracht, dat bij afwezigheid van een biljet het invallende licht precies in het ontvangende stelsel spiegelt.

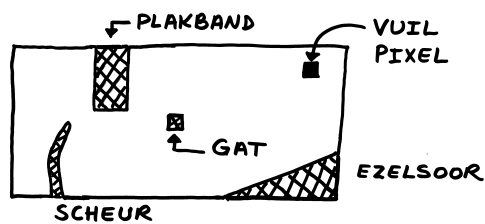
De output van de diode-array wordt gedigitaliseerd en tijdelijk opgeslagen in een geheugen om berekeningen op uit te kunnen voeren. Als nu een biljet door de verlichtingsbundel wordt getransporteerd, ontstaat in het geheugen een digitale afbeelding van het biljet. De afbeeldingsmaatstaf is zodanig gekozen dat de pixel-grootte ongeveer $2 \times 2 \text{ mm}^2$ is. Normaal zal de gemeten intensiteit per pixel een waarde aannemen, die een functie is van het drukbeeld en de vervuiling van het biljet ter plaatse van het pixel. Ook kreukels verlagen de gereflecteerde lichtintensiteit, omdat het ontvangende optische stelsel in de speculaire richting kijkt en vlakjes papier tussen kreukels in door hun schuine stand het licht enigszins verstrooien. Als het biljet echter beschadigd is of geplakt met plakband, neemt het pixel de maximale waarde aan. Het reflecterende prisma onder het biljet zal door een gat het invallende licht weerkaatsen en deze intensiteit is hoger dan



Figuur 3: Machinale detectie van gave en defecte bankbiljetten.

het maximum, zodat de diode-array overstraald wordt. Als een biljet gerepareerd is met plakband, treedt hetzelfde effect op, omdat het plakband dat in Nederland toegepast wordt, meestal spiegelt. Door middel van een piekdetectie-algoritme kunnen de overstraalde pixels opgespoord worden.

5.2.2 Features van vijf defecten



Figuur 4: Features van vijf defecten.

De defecten kunnen van elkaar onderscheiden worden, doordat de features iets van elkaar verschillen, zoals geïllustreerd in figuur 4. In het geval van een gat zijn een of meer overstraalde pixels omringd door lage-intensiteitspixels. In het geval van een scheur is een aaneengesloten gebied van overstraalde

pixels verbonden met één rand. In het geval van een ezelsoor is zo'n hoge-intensiteitsgebied verbonden met twee elkaar snijdende randen. In het geval van plakband is het gebied omringd door lage intensiteit, zoals bij een gat, of verbonden met één of twee randen, zoals bij een scheur. In ons geval zijn gaten, scheuren en plakband niet toegestaan maar relatief kleine ezelsoren wel. Kleine ezelsoren kunnen gedefinieerd worden door middel van de afstand langs de randen uitgedrukt in lineaire millimeters of het totale oppervlak uitgedrukt in vierkante millimeters. Deze vijf defecten zijn eenduidig te definiëren in absolute eenheden. In de praktijk blijkt onze detector dan ook goed te functioneren ten aanzien van deze defecten.

5.2.3 Vervuiling en schrift

Anders is het gesteld met de defecten vervuiling en schrift. Er ontstaan problemen als geprobeerd wordt vervuiling en schrift uit te drukken in de variabelen optische densiteit gemiddeld over het hele oppervlak van een biljet en optische densiteit plaatselijk per pixel. Het is duidelijk dat de gemeten lichtintensiteit per pixel een functie is van de densiteit ter plekke van een pixel, die weer afhangt van het drukbeeld en de vervuiling. Men kan nu een vervuild biljet definiëren als een biljet waarvan de gemiddelde intensiteit per pixel beneden een vooraf ingestelde waarde zakt. Een gevlekt of een beschreven biljet is dan een biljet waarvan een klein aantal pixels beneden een andere, vooraf ingestelde waarde zakken. In de praktijk blijkt echter dat de correlatie tussen de visuele beoordeling en de automatische detectie de gebruikers van de sorteermachines niet bevredigt.

Als zowel een menselijke waarnemer als een sorteermachine een hoeveelheid bankbiljetten sorteert in gave en defecte biljetten, ontstaan vier stapeltjes bankbiljetten met aantallen A , B , C en D zoals in de volgende tabel.

Detector	Mens		Som
	Gaaf	Defect	
Gaaf	A	B	A+B
Defect	C	D	C+D
Som	A+C	B+D	A+B+C+D

Tabel 4: Aantallen biljetten A , B , C en D na sorteren door een mens en een detector.

Het is gebruikelijk de correlatie-coëfficiënt tussen mens en detector dan te definiëren als

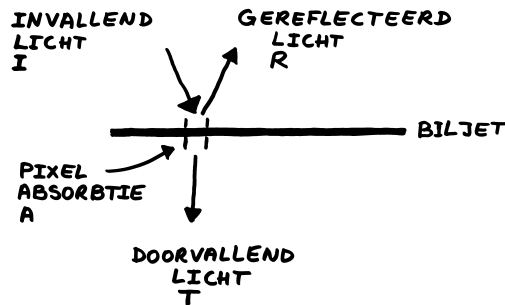
$$\frac{AD - BC}{\{(A + B)(C + D)(A + C)(B + D)\}^{1/2}}$$

Voor de correlatiecoëfficiënt tussen mens en detector wordt een getal gevonden in orde van 0,55. De gebruiker vindt dat een lage correlatie. Bij nadere

analyse van de oorzaak van deze lage correlatie blijkt dat de correlatie tussen twee mensen niet veel hoger ligt, ongeveer 0,60. Twee verschillende detectoren correleren beter, ongeveer 0,70. De reproduceerbaarheid van een detector, de correlatie van een detector met zichzelf, is eigenlijk verrassend goed, namelijk 0,85 tot 0,95. Uit de laatste getallen moet men concluderen dat het onbevredigende keuren op gaaf en defect niet zit in de detector op zich maar in de keuze van de variabelen die de detector meet. De detector meet in technische zin wel goed, maar de mens let kennelijk op nog andere variabelen dan optische densiteit en verwaarloost variabelen die de detector wel meeneemt. Om een uitdrukking te ontleen aan de psychologie en de psychologische testleer: de meting van de optische densiteit is weliswaar zeer nauwkeurig maar niet valide als enige maat voor de vervuiling.

5.2.4 Invloed van de opaciteit

Er zijn aanwijzingen dat ook de opaciteit van het bankpapier een rol speelt. Het lijkt erop alsof de mens automatisch, min of meer onbewust, de reflectie corrigeert voor wisselingen in de opaciteit van het papier van biljet tot biljet. De schijnbare densiteit zoals gemeten door de huidige detector volgens het fysisch principe van paragraaf 5.2.1 is echter een functie van de opaciteit. Hoe opaquer het papier, hoe hoger de reflectie R . Daarentegen is de som



Figuur 5: Configuratie voor een detector met een ontvanger boven en een onder het biljet, die R en T meet.

van de reflectie R en de transmissie T in eerste orde onafhankelijk van de opaciteit, en dus ook de absorptie A , want

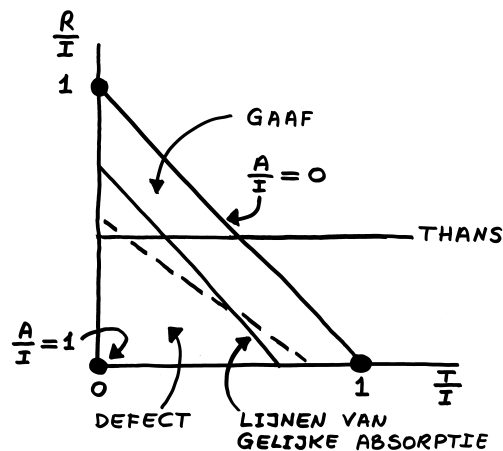
$$A = I - (R + T).$$

Met behulp van twee ontvangers in de detector, een boven het biljet en een onder het biljet volgens de configuratie van figuur 5, kunnen R en T worden gemeten. In een scattergram waarin R/I tegen T/I wordt uitgezet, zoals figuur 6, kan ieder biljet dan worden voorgesteld door een punt. Biljetten

met gelijke absorptie groeperen zich langs rechte lijnen onder 45° met de beide assen gegeven door

$$\frac{A}{I} = 1 - \left(\frac{R}{I} + \frac{T}{I} \right).$$

Als de hypothese juist is dat de mens de invloed van de opaciteit van het papier negeert voor het onderscheid tussen gave en defecte biljetten, zou een lijn onder een hoek tussen 0° en 45° , zoals de gestippelde lijn in figuur 6, of twee elkaar snijdende lijnen een goede discriminatie tussen gaaf en defect moeten kunnen bieden. Met de huidige detector voorzien van een



Figuur 6: Scattergram van de biljetten met horizontaal de relatieve transmissie en verticaal de relatieve absorptie.

enkelvoudige detector wordt alleen R gemeten en vallen alle biljetten langs de verticale as. Gave en defecte biljetten kunnen daarom thans alleen door een horizontale lijn van elkaar worden onderscheiden. De nieuwe detector wordt wel aanzienlijk duurder dan de oude, omdat twee ontvangers gebouwd zullen moeten worden. De software wordt ingewikkelder, omdat waarschijnlijk geprobeerd zal worden beide ontvangers synchroon te laten werken, zodat de pixels boven en onder het biljet samenvallen.

6 Het verschil tussen meten en patroonherkennen

Ik heb nu vier vormen van meten en patroonherkennen besproken. Soms heb ik de nadruk meer gelegd op meten en soms meer op patroonherkennen, zonder duidelijk de verschillen tussen beide aan te geven. Ook in de literatuur wordt vaak nauwelijks een onderscheid tussen beide gemaakt. Wat is eigenlijk het verschil tussen meten enerzijds en patroonherkennen anderzijds?

Een tweedimensionaal patroon dat bedoeld is om visueel te worden waargenomen, wordt fysisch gekarakteriseerd door

- spatiële frequentie,
- optische densiteit,
- kleur, en mogelijk
- symmetrie.

De eerste drie variabelen kunnen worden bepaald door middel van metingen. Symmetrie is een grensgeval. Ik ben er niet zeker van dat je symmetrie kunt meten of dat er een symmetriemeter bestaat. Patroonherkennen voegt aan deze vier variabelen nog een vijfde toe:

- betekenis.

De betekenis van een patroon is een aparte, vijfde variabele en geen onderdeel van de eerste vier. De betekenis verwijst naar een ander patroon, een afbeelding of een tekst, in een ander domein dan het beschouwde patroon. Patroonherkennen voegt een extra dimensie toe aan het pure meten.

Het verschil tussen meten en patroonherkennen valt ook nog op een andere, meer algemeen geldige manier te benaderen. De kwaliteit van een meting wordt traditioneel in de fenomenologische natuurkunde gekarakteriseerd door drie grootheden:

- gevoeligheid.

Dit is een relatieve grootheid die de orde van grootte van de *meetenschap* op een interval- of ratioschaal bepaalt.

- nauwkeurigheid.

Dit is een absolute grootheid die het *nulpunt* op een interval- of ratioschaal bepaalt.

- reproduceerbaarheid.

Dit is wederom een relatieve grootheid.

Traditioneel houdt de karakterisering van een meting hiermee op. Elk instrument of apparaat is zo te maken dat er altijd wel meetwaarden uit komen met een acceptabele gevoeligheid, nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid. De vraag die overblijft, is dan: is de meting betekenisvol? Meet het apparaat wel het fenomeen dat bedoeld is door de mens en geen artefact? Het is daarom nodig een vierde grootheid

- validiteit

te introduceren, die op een kwantitatieve manier uitdrukt of het juiste fenomeen gemeten wordt. Dit is de taak van patroonherkennen. Patroonherkennen plaatst een meting in zijn context.

In de fenomenologische natuurkunde komt de validiteit van een meting vrijwel nooit ter sprake. In de psychologie daarentegen speelt het begrip validiteit een belangrijke rol bij het afnemen van testen. Daar is het soms moeilijk vast te stellen of een bepaalde psychologische test wel de gewenste eigenschap meet of een andere, niet-relevante eigenschap. Een test kan gevoelig, nauwkeurig en reproduceerbaar zijn en toch niet de beoogde eigenschap meten.

Het merkwaardige is nu dat een mens liever en gemakkelijker patronen herkent dan metingen verricht. Patronen herkennen gebeurt van jongs af aan spontaan maar metingen verrichten, dat wil zeggen grootheden kwantitatief schatten, moet op latere leeftijd geleerd worden. Als men het goed wil doen, heeft men er zelfs een universitaire studie voor nodig. Het grote probleem is dat de mens meestal patronen gebruikt zonder deze exact te definiëren.

In het geval van namaakdetectie aan bankbiljetten heb ik betoogd dat namaakdetectie zowel machinaal als visueel met 100% zekerheid mogelijk is door alleen te meten. Echter, om het publiek tot visuele namaakdetectie te bewegen moet aan de natuurlijke neiging tot patroonherkennen tegemoet gekomen worden. Wij bereiken dat door aan elk van de echtheidskenmerken een op zichzelf overbodig patroon toe te voegen, dat past in een groot thema gekozen voor het gehele biljet.

Ook in het geval van visuele gaaf/defect-detectie maakt de mens kennelijk gebruik van een bepaalde vorm van patroonherkennen. De patronen die gehanteerd worden, zijn echter niet geëxpliciteerd. Onze gaaf/defect-detector echter meet alleen maar, herkent geen patronen. Daarom faalt hij vaak in de ogen van een menselijke waarnemer. Om de visuele gaaf/defect-detectie met succes te kunnen imiteren moet de machinale gaaf/defect-detector meer doen dan alleen meten en uitgebreid worden met een patroonherkenner. Helaas kennen wij de juiste patronen niet en kunnen ze dus ook niet definiëren.

Ik wilde deze voordracht besluiten met een variant op het oude adagium van Simon Stevin: door meten via patroonherkennen tot weten.

Noot

Dr ir Peter Koeze hield deze voordracht tweemaal: op 8 april 1991 voor het Bataafsch Genootschap der Proefondervindelijk Wijsbegeerte te Rotterdam en op 14 mei 1991 voor het Natuurkundig Genootschap te Utrecht. Voor deze digitale versie, die in januari 2007 werd samengesteld, is de tekst zoals uitgesproken opnieuw geredigeerd.

Dr ir Peter Koeze was directie-adviseur van De Nederlandsche Bank te Amsterdam en is in 2004 gepensioneerd.

E-mail: p.koeze@pkoeze.nl

Lijst van publicaties: <http://www.pkoeze.nl/ListOfPublications.pdf>

Curriculum vitae: <http://www.pkoeze.nl/CurriculumVitae.pdf>

De Nederlandsche Bank N.V.

Postbus 98

1000 AB Amsterdam

Website: <http://www.dnb.nl/>