Anonieme bitten en verborgen signalen

TU/e technische universiteit eindhoven

Intreerede
17 januari 2003

prof.dr. A.A.C.M. Kalker

anonieme bitten
en verborgen signalen

/ faculteit wiskunde en informatica

Intreerede

Uitgesproken op 17 januari 2003
aan de Technische Universiteit Eindhoven

anonieme bitten
en verborgen signalen

prof.dr. A.A.C.M. Kalker

Inleiding

Meneer de Rector Magnificus, collega's en vrienden, dames en heren,
Toen ik zes jaar oud was, een dreumes van niet meer dan 1 meter, kwam er eens een nicht op bezoek. Nu kwam ze wel vaker, maar het speciale van dit bezoek was dat ze net haar eerste week op de middelbare school achter de rug had. Ze vertelde over de lessen die ze gevolgd had, en in het bijzonder over de wiskundelessen. Ze vertelde van een diepe wijsheid die ze had moeten leren: a + b = c. Wat ze nog meer vertelde heb ik niet meer gehoord, want ik was gefascineerd door deze magische formule. Ik wist dat 1 plus 1 gelijk was aan 2, maar wat waren nu die 'a', 'b' en 'c'? Letters kon je toch niet bij elkaar optellen? Op die dag heb ik het besluit genomen om wiskunde te gaan studeren. Het eigenaardige van die dag is dat hij me nog steeds helder voor de geest stond op het moment dat ik mijn eerste college lineaire algebra volgde. En nu vele jaren later, al meer dan 17 jaar na het verkrijgen van de doctorstitel, is dat niet anders.

Ik verkeer in de gelukkige omstandigheid dat ik mijn kinderdroom tot mijn vak heb kunnen maken. Ik had voldoende aanleg om wiskunde te kunnen studeren en ik werd daartoe, dankzij mijn ouders, ook in de gelegenheid gesteld.
Mijn fascinatie voor wiskunde is nooit verdwenen. Er zijn natuurlijk wel dingen veranderd. Vroeger gruwelde ik bijvoorbeeld van elke praktische toepassing van wiskunde; tegenwoordig waardeer ik de interactie tussen praktijk en abstractie zeer.

Vandaag is een bijzondere dag, omdat ik u iets kan vertellen over de praktische betekenis van wiskunde in mijn huidige vakgebied, het bewerken van signalen ten behoeve van de bescherming van gegevens. Of zoals een collega het een tijdje geleden formuleerde: ik heb 45 minuten zendtijd om u iets te vertellen over 'anonieme bitten en verborgen signalen'.

Als ik het heel kort zou moeten formuleren, dan zou ik moeten zeggen dat ik bezig ben met het *creëren en detecteren* van audiovisuele signalen die wij mensen niet kunnen horen of zien. Op het eerste gezicht lijkt

dat soort signalen volkomen zinloos. Als we ze niet kunnen horen of zien, waarom bestuderen we ze dan? U zult zich waarschijnlijk afvragen waarom een mens zich met dergelijke signalen zou moeten inlaten. En of een hooggeleerde op de universiteit geen betere dingen te doen heeft. In de tijd die mij vandaag gegeven is, zal ik u proberen duidelijk te maken dat het bestuderen van dit soort onhoorbare en onzichtbare signalen wel degelijk zin heeft.

In mijn verhaal zal ik u eerst bekend proberen te maken met de maatschappelijke relevantie van 'anonieme bitten en verborgen signalen'.

Eenieder die wel eens achter een computer plaatsneemt en op het

Het Napster-fenomeen

internet surft, is ongetwijfeld de naam Napster tegengekomen en heeft er waarschijnlijk ook mee gewerkt ☺. Voor de enkelen die niet weten wie of wat Napster is, geef ik een korte uitleg. Napster is, of beter *was*, een service op het internet die het mogelijk maakte dat gewone mensen met gewone PC's computerbestanden *(files)* met elkaar konden delen. Napster maakte dit mogelijk door op een centrale computer een lijst bij te houden van alle data die men als Napster-gebruiker beschikbaar wilde maken voor *sharing*. In de praktijk was er echter maar één type file dat gebruikers met elkaar wilden delen, namelijk MP3 files. MP3 files zijn, zoals u waarschijnlijk weet, files die op een compacte manier geluidsinformatie bevatten. MP3 files worden veelal gemaakt met behulp van zogenaamde *rippers*, programma's die de geluidsinformatie van een CD kunnen lezen en in gecomprimeerde vorm op de harde schijf van de gebruiker opslaan. Alhoewel de geluidskwaliteit van MP3 files iets minder is dan de oorspronkelijke CD-kwaliteit, is voor het overgrote deel van de mensheid het verschil tussen CD en MP3 niet waarneembaar. Doordat MP3 files ongeveer tien keer kleiner zijn dan CD files, is het mogelijk om met een harde schijf met een beperkte grootte een grote hoeveelheid muziek op te slaan, of om op een enkele CD-R het equivalent van tien originele CD's te branden.
Het rippen van CD's is wettelijk alleen toegestaan als de *consumptie* van die muziek voor eigen gebruik is. Echter, dankzij Napster werd het voor een willekeurige gebruiker mogelijk om op een efficiënte manier muziek op andermans PC te vinden en, dankzij de beperkte bestandsgrootte, te *downloaden*.
Terugkijkend kunnen we op dit moment rustig stellen dat het Napster-fenomeen voor een ommekeer in de muziekindustrie heeft gezorgd. Was er voor Napster eigenlijk alleen maar de mogelijkheid om muziek te verkrijgen door een CD aan te schaffen, nu, na Napster, kan willekeurig wat voor soort muziek *voor niets* (afgezien van de kosten van telefoontikken of een internet-abonnement) verkregen worden door een simpele zoekopdracht in te typen op een van de vele opvolgers van Napster, zoals KaZaa, WinMX en Gnutella.
Het moge duidelijk zijn dat deze vorm van muziekuitwisseling door

de muziekindustrie met argusogen wordt bekeken. Niet in de laatste plaats omdat muziekuitwisseling via deze zogenaamde Peer-to-Peer- (P2P-)netwerken een derving van inkomsten voor de muziekindustrie betekent. Er verschijnen dan ook regelmatig berichten in de pers over dalende CD-verkopen, nieuwe wetgeving en rechtszaken tegen Napster, KaZaa en andere muziekuitwisseldiensten. In een aantal gevallen is de harde aanpak van de muziekindustrie succesvol, getuige bijvoorbeeld het feit dat Napster niet meer operationeel is na een uitspraak van een Amerikaanse rechtbank.
Het hierboven geschetste probleem van schending van copyright (goed

Copyright en de digitale revolutie

Nederlands voor auteursrecht) is slechts een van de vele voorbeelden die het gevolg zijn van de digitale revolutie. Schending van copyright is natuurlijk geen nieuwe fenomeen en heeft altijd al bestaan, maar met de introductie van digitale formaten, in het bijzonder de CD, heeft de schending van copyright een nieuwe wending gekregen.

In het verleden werd content (een veel gebruikte verzamelterm voor muziek en al dan niet bewegende beelden) op een analoge manier verspreid. Bekende voorbeelden zijn cassettetapes en vinyl speelplaten voor muziek, en videobanden voor film en video. Het illegaal kopiëren van content was in dit tijdperk extreem moeilijk (bijvoorbeeld in het geval van vinyl afspeelplaten), was tijdrovend (denk aan de videobanden) en ging gepaard met aanzienlijk kwaliteitsverlies. Dit laatste kan eenieder die wel eens muziek van een cassette heeft gekopieerd onmiddellijk beamen. Een derdegeneratiekopie van een muziekcassette resulteerde meestal in een duidelijk verminderde audiokwaliteit. Een andere beperkende factor in de schending van copyright was in de ‘good old days’ het fysieke aspect. Om een kopie te maken moesten er fysieke apparaten bediend worden waarbij fysieke opnamemedia gebruikt moesten worden. Deze fysieke media moesten vervolgens weer te paard, per fiets en wat dies meer zij verder gedistribueerd worden. Al met al was de schending van copyright enkele decennia geleden een moeizaam en weinig lonend proces vanwege een moeilijk te vermijden kwaliteitsverlies, het arbeidsintensieve kopieerproces en het ontbreken van een efficiënt distributienetwerk.

De genoemde belemmerende factoren zijn met de komst van de digitale revolutie zo goed als verdwenen. Audiovisuele signalen worden niet langer op een analoge manier gerepresenteerd, maar door een grote verzameling van nullen en enen (de zogenaamde bitten) voorgesteld. Deze digitale representatie heeft een groot aantal voordelen.
Ten eerste is in het algemeen de kwaliteit van een digitaal gerepresenteerd signaal aantoonbaar beter dan dat van een analoog gerepresenteerd signaal (alhoewel er nog steeds een kleine minderheid

bestaat die claimt dat digitale muziek op een CD inferieur is aan het geluid afkomstig van een klassieke LP). Doorgaans wordt de komst van de CD en de DVD echter gezien als een enorme vooruitgang in 'consumer experience'. Geen tikken meer zoals bij het afspelen van een plaat, geen storende ruis zoals bij het afspelen van een cassetteband en geen rare kleurvervormingen zoals bij het afspelen van een VHS videoband.
Een tweede voordeel van een digitaal formaat is de toegenomen handzaamheid en compactheid van de bijbehorende apparatuur. We hoeven hierbij alleen maar te denken aan de moderne digitale foto- en videocamera's.
Een derde voordeel is een toename van het aantal mogelijkheden om content te bewerken. Op elke moderne PC met een goede geluidskaart kan eenieder die maar wil muziek versnellen, echo-effecten toevoegen, nummers in elkaar laten overvloeien en nog veel meer. In het domein van de digitale fotografie is het verwijderen van rode oogjes allang geen taak meer van de professionele fotograaf.

Tegenover deze genoemde voordelen staat een aantal eigenschappen die niet universeel als voordeel gezien worden, namelijk het gemak waarmee digitale content gekopieerd en gedistribueerd kan worden. In tegenstelling tot analoge kopieën zijn digitale kopieën exact. Het verschil tussen de data op een originele CD zoals gekocht in de winkel en een kopie op een CD-R-schijfje is nul. Bovendien is met de komst van het internet het distribueren van content een kwestie van een druk op de knop geworden. In luttele seconden kan de gecomprimeerde inhoud van een CD van de ene kant van de aarde naar de andere kant getransporteerd worden.
Het zijn deze laatste twee eigenschappen, de mogelijkheid van verliesvrij kopiëren en het gemak van distributie over het internet, die het grote verschil met het analoge verleden vormen. De inherente obstakels uit het analoge verleden die copyrightschendingen in toom hielden zijn in het digitale tijdperk volledig verdwenen.

Deze observatie heeft ertoe geleid, dat er een actieve gemeenschap is ontstaan op het gebied Digital Rights Management (DRM). In algemene zin houdt DRM zich bezig met het bestuderen en implementeren van methoden en technieken om rechten van digitale content te regelen ('te managen'). De rechten waarover gesproken wordt kunnen variëren

van het recht van de contenteigenaar op een verbod om late-night movies de volgende ochtend te bekijken, tot het recht van de consument op het maken van een kopie voor eigen gebruik.

Er zijn veel middelen om auteursrechten, performancerechten,

Bescherming van copyright

mechanische rechten en copyright in het algemeen te regelen. De meest krachtige methoden hebben helemaal niets met techniek te maken maar bevinden zich op het terrein van de wetgeving, zowel strafrechtelijk als patentrechtelijk.
Een bekend recent voorbeeld is de Digital Millennium Copyright Act (DMCA) die enkele jaren geleden in de Verenigde Staten geratificeerd is. Deze omvangrijke wetgeving kent vele aspecten, maar kort samengevat komt de DCMA erop neer dat het omzeilen van kopieerbeveiligingen en andere DRM-technieken strafbaar is. Een dergelijke wetgeving is ook in de Europese Gemeenschap in de maak. Het maken van muziek-uitwisseldiensten zoals KaZaa, wordt dan ook strafbaar. Althans, dat is de claim van de muziekindustrie. Ook is het verspreiden van het programma DeCSS, dat de kopieerbeveiliging van DVD-Video omzeilt, strafbaar. En het moet gezegd: niets stopt de 'illegale activiteiten' zo effectief als een advocaat van een grote contentindustrie die op je deur klopt. In die zin zijn advocaten wel degelijk hun geld waard.

Het grote probleem met wetgeving is dat ze niet universeel is. En hoewel sommige landen dat graag anders zouden zien, is lokale wetgeving over de grens meestal niet toepasbaar en rechtsgeldig. Er zijn dus naast wettelijke methoden ook andere, meer technische methoden nodig om Digital Rights Management te effectueren.
Een van oudsher bekende techniek is de cryptografie. Cryptografie is de kunst van het verdoezelen van de betekenis van data voor niet geautoriseerde gebruikers en apparaten. De cryptografische methode heeft de digitale wereld als haar voornaamste werkterrein. Met behulp van cryptografie is het mogelijk een veilige verbinding met de bank te maken (om financiële zaken te regelen zonder dat anderen kunnen meeluisteren). Met behulp van cryptografie kunnen paswoorden veilig op computers bewaard worden. Met behulp van cryptografie kunnen de nullen en de énen (de bitten) op een DVD-Videoschijf zodanig 'verknoeid' worden dat alleen gecertificeerde apparaten in staat zijn om de oorspronkelijke informatie te herstellen en de opgeslagen film te tonen. Met behulp van cryptografie is het mogelijk om digitale verbindingen tussen apparaten zodanig te beveiligen, dat een 'hacker' niet stiekem een digitale kopie kan maken.
De wetenschap van de cryptografie is tot grote hoogten gestegen, en onze huidige samenleving zonder cryptografie is al nauwelijks meer voorstelbaar.

Cryptografie is een belangrijk hulpmiddel bij het bouwen van een DRM-systeem, maar het is geen afdoende middel. Een van de belangrijkste redenen dat cryptografie alleen niet voldoet is het feit dat een mens geen 'digitale interfaces' heeft. Willen wij mensen iets kunnen waarnemen, dan zullen de bitten van een digitale representatie eerst moeten worden omgezet in fysische verschijnselen die betekenis hebben voor onze zintuigen. De bitten op een Audio-CD moeten via DA-convertors eerst worden omgezet in analoge elektrische stroompjes, vervolgens in trillingen van de conus van een luidspreker en ten slotte in luchttrillingen. Deze luchttrillingen kunnen wij dan via onze auditieve zintuigen als geluid waarnemen. Een gelijke observatie geldt voor digitale foto's en digitaal filmmateriaal. Eerst moeten de bitten worden omgezet in lichtstralen, voordat wij ervan kunnen genieten. Elke keer dat een omzetting van digitaal naar analoog plaatsvindt, verliest elke cryptografische bescherming haar betekenis. En zolang er geen wetgeving bestaat die bepaalt dat wij alleen van muziek of film mogen genieten via een decryptiechip ingebouwd in onze hersenen, zal een omzetting van digitaal naar analoog nodig blijven.

Analoge signalen kunnen natuurlijk weer naar hartelust gekopieerd en bewerkt worden; alle cryptografische digitale DRM-methoden staan hier machteloos. Ter illustratie: om een kopie van Harry Potter en 'De Geheime Kamer' te maken is het niet nodig om de cryptografische beschermingen op het zilveren schijfje te kraken. Het is voldoende om de schijf in een willekeurige DVD-speler af te spelen. Door het analoge videosignaal af te vangen via een standaard video *capture card* kan elke moderne PC de analoge videodata omzetten naar een digitale DIVX-videofile. Deze DIVX-file is ongetwijfeld van iets mindere kwaliteit dan het oorspronkelijke DVD-materiaal, maar is voor de meeste gebruikers goed genoeg. Zeker gezien het feit dat de DIVX-file gratis is, terwijl het originele schijfje gemiddeld meer dan 30 Euro kost. Dit zogenoemde analoge lek is natuurlijk bekend in de wereld van de film en muziek, en de zoektocht naar middelen om dit lek te stoppen is al een flink aantal

jaren aan de gang.

De twee gereedschappen die op dit moment het meest veelbelovend lijken om de bescherming van content naar het analoge domein door te trekken zijn *digitale watermerken* en *fingerprinting*. Dit zijn tevens de twee technieken die het hoofdbestanddeel vormen van mijn onderzoeksterrein op de Technische Universiteit Eindhoven.
Een digitaal watermerk is een *robuust* en *niet-waarneembaar* signaal

Digitale watermerken

dat verborgen wordt in audiovisuele content. Een digitaal watermerk is te vergelijken met een watermerk in een bankbiljet. Het is niet waarneembaar, tenzij het bankbiljet tegen het licht gehouden wordt. Het is ook robuust: het verwijderen van een papieren watermerk zal slechts lukken als het bankbiljet volledig vernield wordt. Een digitaal watermerk heeft dezelfde eigenschappen. Een goed digitaal watermerk in bijvoorbeeld een audiosignaal is niet hoorbaar en kan slechts met speciale programmatuur en/of apparaten waargenomen worden. Een goed digitaal watermerk is eveneens robuust, omdat elke poging om het watermerk te verwijderen leidt tot volledige vernieling van de muziek.

Om de gedachten te leiden: u kunt denken aan een watermerk als boodschap die heel lichtjes op een gekleurd stuk papier is geschreven, waarbij de kleur van het papier staat voor de specifieke film of muziek, meer in het algemeen voor de content. De kunst van het watermerken is het zo onzichtbaar mogelijk schrijven van de boodschap, maar wel zo dat deze met een speciale lamp nog wel gelezen kan worden. De inkt moet bovendien onuitwisbaar zijn.

Een digitaal watermerk kan op verschillende manieren worden ingezet om de bescherming van copyright te ondersteunen. De meest voor de hand liggende manier is het gebruik als een *copy bit*, dat wil zeggen als een indicator dat content niet gekopieerd mag worden. Dit gebruik van een watermerk is in een aantal fora onderzocht, onder andere in een club die onder de naam *Copy Protection Technical Workgroup* (CPTWG) door het leven gaat. Deze laatstgenoemde club heeft een poging gedaan om een standaard te zetten voor watermerken in DVD-Video. De aanwezigheid van zo'n anti-kopieer watermerk in een film is een indicatie voor een digitale recorder dat de film niet gekopieerd mag worden (kopieerbeveiliging). In toekomstige afspeelapparatuur moet het watermerk ook voorkomen dat *copyrighted* Hollywood-films afgespeeld worden vanaf *recordable* DVD-schijfjes (afspeelbeveiliging).
Als deelnemer aan dit CPTWG-circus heb ik van nabij kunnen ervaren aan welke bijna tegenstrijdige eisen zo'n DVD-Videowatermerk moet

voldoen. De eerste en meest belangrijke eis is dat de signaalverstoring die wordt aangebracht door het toevoegen van een watermerk geen enkele zichtbare verstoring mag veroorzaken. Deze eis heeft geen betrekking op de kwaliteit van de film zoals u deze op uw TV ziet, maar op de kwaliteit zoals de *golden eyes* van Hollywood die hanteren. En ik kan u verzekeren op basis van eigen ervaringen dat deze golden eyes bijzonder kritisch zijn. Een tweede belangrijke eis is dat het watermerk robuust is, dat wil zeggen dat een slechte kopie van een gewatermerkte film nog steeds het watermerk moet bevatten.
Ik hoop dat u aanvoelt dat deze eisen, onzichtbaarheid en extreme robuustheid, tegenstrijdige eisen zijn, en dat het ontwerpen van een geschikt watermerk een hele klus is. Zeker als u bedenkt dat de genoemde eisen de eisen van de filmindustrie zijn. De consumentenindustrie, denk aan Philips, heeft er belang bij dat de watermerkoplossing goedkoop is. De reclameslogan 'koop een Philips DVD-recorder met ingebouwde kopieerbeveiliging' zal de meeste consumenten toch al niet aanspreken, laat staan als de DVD-recorder ook nog eens 100 Euro duurder is.
Het ontwerpen van een goedkoop, onzichtbaar en robuust watermerksysteem voor DVD-Video is dan ook een onderneming die niet licht opgevat moet worden. Het heeft niet voor niets vier jaar geduurd voordat er een bevredigend systeem klaar lag. Dat wil niet zeggen dat er nu geen ruimte voor verbetering meer is, wel dat het huidige voorstel in ieder geval aan de basiseisen voldoet.
Op dit moment is er nog slechts een 'klein probleempje' voordat dit DVD-Video copy protection-systeem in de markt gezet kan worden: politieke onenigheid tussen de filmindustrie, de consumentenindustrie en de computerindustrie. Het lijkt erop dat deze politieke problemen vele malen moeilijker zijn op te lossen dan de technische problemen. Het zal de gemiddelde consument waarschijnlijk wel goed uitkomen – want wie zit er te wachten op kopieerbeveiliging? –, maar op den lange duur is een volledig en eerlijk DRM-systeem voor DVD-Video onontbeerlijk en onontkoombaar.

In mijn onderzoek op de TU/e, en ook bij mijn andere werkgever Philips Research, houd ik me bezig met het ontwerpen en bouwen van watermerksystemen voor zowel audio als video. Een aantal vragen staat in dit onderzoek centraal:

1. Wat is de meest efficiënte manier om een watermerk aan te brengen? Dat wil zeggen: hoe kunnen we met zo weinig mogelijk verstoring een zo veilig en robuust mogelijk watermerk maken?
2. Hoe kunnen we de eigenschappen van watermerksystemen meten? Dat wil zeggen: hoe kunnen we objectief controleren dat een watermerksysteem aan de gestelde eisen qua waarneembaarheid, robuustheid, complexiteit en veiligheid voldoet?
3. Hoe zijn watermerksystemen veilig te maken? Dat wil zeggen: hoe moeilijk is het voor een kwaadwillende hacker om een watermerk te verwijderen of te veranderen?
4. Hoe kunnen we watermerken laten samenwerken met andere signaalbewerkingsmodules, zoals bijvoorbeeld MP3-compressie? In het bijzonder rijst hier de vraag hoe we de afzonderlijke modulen zo kunnen laten werken dat ze elkaar helpen en niet tegenwerken, zoals nu nog vaak het geval is.

Bij elk van deze vragen hoort een uitgebreide toelichting, zowel wat betreft de detaillering als de voorgestelde oplossingen. In deze 45 minuten wil ik u daarmee niet lastig vallen. Ik volsta met de opmerking dat sinds een tweetal jaren het initiële heuristisch karakter van watermerken langzaamaan plaatsmaakt voor een meer fundamentele aanpak. In het bijzonder hebben gereedschappen uit de informatietheorie en speltheorie (u kent deze wellicht wel van de film 'A Beautiful Mind') een prominente plaats gekregen. Deze theoretische bijdragen hebben tot een enorme verbetering geleid, maar zijn nog niet altijd tot de praktijk doorgedrongen. Het praktisch maken van deze nieuwe theorieën is een van de belangrijkste uitdagingen voor de watermerkgemeenschap en mijn onderzoek in het bijzonder.
Ik wil u een gevoel geven voor de problematiek waarmee we te maken

Een voorbeeld

hebben als we een watermerk willen aanbrengen in een audiovisueel signaal. Het meest efficiënt zou dat kunnen aan de hand van een aantal wiskundige formules, maar ik denk dat ik velen van u daarmee in dit kader geen plezier zou doen. Ik zal het daarom proberen te doen aan de hand van een analogie.
In deze analogie wordt het watermerk voorgesteld door twee gekleurde ballen die elk rood of groen kunnen zijn. Persoon A kent de kleur van deze ballen en moet deze kleuren aan persoon B meedelen. Persoon A modelleert de filmregisseur, en persoon B de DVD-recorder die aan de hand van de kleur van de ballen kan vaststellen of een film al dan niet gekopieerd kan worden. De film zelf stellen we voor door drie broers, X , Y en Z die als boodschapper zullen fungeren tussen persoon A (de regisseur) en persoon B (de DVD-recorder). Het aanbrengen van een watermerk wordt gemodelleerd door de regisseur de mogelijkheid te geven aan de drie broers de kleur van de ballen te vertellen. De DVD-recorder (B) kan de kleur van de ballen achterhalen door dit aan de drie broers X, Y en Z te vragen. Er zijn echter beperkingen aan wat A kan vertellen aan de drie broers: de drie broers zijn namelijk nogal dom, en kunnen niet meer dan de kleur van één enkele bal onthouden. Dus A zal bijvoorbeeld tegen X zeggen dat bal 1 rood is, tegen Y dat bal 2 groen is, en ten slotte nog eens tegenover Z herhalen dat bal 1 rood is. De domheid van de broers modelleert het feit dat het aanbrengen van een watermerk erg moeilijk is als we een niet al te grote verstoring willen aanbrengen in het oorspronkelijke audiovisuele signaal. Om het nog erger te maken, kan het ook nog zo zijn dat (ten hoogste) een van de drie broers X, Y of Z kan liegen. De vraag die relevant is voor de complexiteit van het aanbrengen en lezen van een watermerk is nu: hoe vaak moet de *transmissie* 'A vertelt aan X, Y en Z; B vraagt aan X, Y en Z' doorlopen worden voordat B de kleuren van de twee ballen weet?
In dit geval is minder beter. Het zal eenieder duidelijk zijn dat het antwoord 'één transmissie' is als we in de gelukkige omstandigheid verkeren dat geen van X, Y en Z liegt en dat zowel A als B weet dat geen van drieën liegt. En zelfs als X, Y of Z liegt, maar zowel A als B weten wie er liegt, dan hoeft de cirkel maar een keer doorlopen te worden.

Bijvoorbeeld, als A en B beide weten dat Z liegt, dan kan A aan X de kleur van bal 1 vertellen en aan Y de kleur van bal 2. B zal niet naar Z luisteren, en van X de kleur van bal 1 vernemen en van Y de kleur van bal 2. Echter, in de praktijk zal B niet weten wie van de drie broers liegt. Die kennis zou overeenkomen met het feit dat B de beschikking zou hebben over de niet-gewatermerkte DVD-film, en dat is nu net iets wat de regisseur (A) niet graag ziet. De praktische situatie is dus dat A weet wie van de drie broers liegt, en hoe, en dat B dat niet weet. De enige kennis die B heeft is dat (1) er ten hoogste één broer liegt en (2) dat A weet wie er liegt en hoe. Hoeveel transmissies zijn er in dit geval nodig?

Als we hier even over nadenken, komen we tot de conclusie dat er twee transmissies nodig zijn, en dat het niet met minder kan. Bijvoorbeeld, in de eerste transmissie vertelt A aan alle drie de broers de kleur van de eerste bal, en in de tweede transmissie de kleur van de tweede bal. In beide transmissies kan B de kleur van de desbetreffende bal achterhalen door vast te stellen welke kleur het meest voorkomt in de antwoorden. Als geen van de drie broers liegt zal B drie keer hetzelfde antwoord krijgen, als een van de drie liegt zal B een afwijkende kleur te horen krijgen. In het laatste geval weet B niet alleen de kleur van de bal, maar hij weet bovendien wie van de drie broers liegt.

De relevante vraag is of het mogelijk is om met slechts een enkele transmissie de twee kleuren over te brengen. Om deze vraag op te lossen worden we geholpen door een tak van wiskundige computerkunde die we 'informatietheorie' noemen. In de context van deze theorie observeren we twee feiten. Ten eerste, zoals eerder genoemd, dat B iets weet over A, namelijk dat A weet wie van X, Y of Z liegt en hoe. Ten tweede, dat in het vorige schema B meer te weten komt dan strikt noodzakelijk is om een kleur te bepalen, namelijk welke van de drie broers liegt. Op grond hiervan kan men theoretisch afleiden dat een enkele transmissie zou moeten volstaan om de kleur van de ballen aan B mede te delen, en dat in die slim gekozen transmissie B niet kan achterhalen wie van de drie broers gelogen heeft. We kunnen als het ware nutteloze informatie ('wie liegt er') uitwisselen voor zinvolle informatie ('wat is de kleur van de ballen').

In dit specifieke geval kunnen we efficiënte communicatie

bewerkstelligen door in zekere zin A te laten liegen. Een wiskundig meer correcte terminologie voor deze efficiënte communicatie is codering. In deze *codering* maken A en een B een afspraak over hoe antwoorden van X, Y en Z te interpreteren. In dit geval kan de afspraak het best gekozen worden als aangegeven in de volgende tabel:

figuur 1

	XYZ	XYZ
RR	RRR	GGG
RG	RRG	GGR
GR	RGG	GRR
GG	GRG	RGR

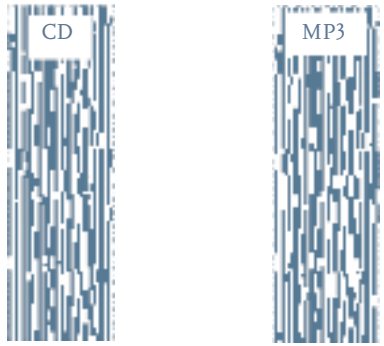
Om de transmissiemethode toe te lichten beschouwen we het voorbeeld dat A twee rode ballen heeft. Ook nemen we aan dat A weet dat Z zal liegen door aan B te vertellen dat de desbetreffende bal groen is. In dat geval kiest A uit de eerste rij (de rij die correspondeert met twee rode ballen voor A) het drietal kleuren uit de tweede of derde kolom die past bij de leugen die Z gaat vertellen. In dit geval zal A het drietal uit de derde kolom kiezen en aan X, Y en Z respectievelijk de kleuren groen, groen en groen vertellen. Wanneer B de kleuren van de drie broers verneemt, zal B concluderen (door in dezelfde tabel te kijken) dat A twee rode ballen moet hebben. Let op dat in dit geval B niet kan achterhalen of een van de drie broers gelogen heeft, en zeker niet welke van de drie broers gelogen heeft.

U zult nu misschien zeggen 'leuk verhaaltje, professor Kalker, maar hebben we hier wat aan?'. U heeft gelijk in de zin dat u er niets aan heeft. Maar voor ons wetenschappers is het getoonde voorbeeld een belangrijke les over hoe we zo efficiënt mogelijk een watermerk in een audiovisueel signaal moeten verstoppen. Het voorbeeld toont ons dat, als we iets willen vertellen, we de boodschap maar het beste zoveel mogelijk aan de boodschapper en de ontvanger kunnen aanpassen. Misschien is dat ook wel een wijze les voor de manier waarop wij met onze medemensen horen om te gaan, hetzij studenten hetzij culturele minderheden.
De andere reeds genoemde belangrijke techniek in het veld van de

Fingerprinting

'signaalverwerking voor dataprotectie' is *fingerprinting*. Anders dan bij watermerken veranderen we bij fingerprinting niets aan een signaal. Met andere woorden: watermerken is actief, terwijl fingerprinten passief is.

figuur 2



Een korte definitie van fingerprinting is de volgende: methoden en technieken voor robuuste, compacte en snelle identificatie van content. De naam *fingerprinting* is afgeleid van de klassieke biometrische *vingerafdruk*. In dit klassieke geval registreren we een afdruk van de vingers van een persoon. Aspecten van deze afdruk zijn uniek voor elke persoon en kunnen dus dienen ter identificatie. Een vingerafdruk is overduidelijk een compacte (en onvolledige) representatie van een persoon. En ten slotte is het mogelijk om bij aanbieding van een onbekende vingerafdruk snel na te gaan of deze voorkomt in een database van al eerder afgenomen vingerafdrukken. Let wel: de vingerafdrukken genomen tijdens *enrollment* (de eerste keer opnemen in een database) en *identificatie* (wanneer we willen nagaan met wie we te maken hebben) zijn zelden exact gelijk. Er treden altijd kleine verschillen op, hetzij doordat de vingerafdruk van de persoon lichtelijk veranderd is, hetzij door onvolkomenheden in het meetproces. Deze

kleine verschillen maken het zoeken tijdens identificatie een niet-triviale aangelegenheid waarvoor geavanceerde technieken nodig zijn.
Deze menselijke analogie doorgetrokken naar audiovisuele content wordt fingerprinting genoemd. Bij audiovisuele fingerprinting gaat het om het afleiden van relatief kleine bit-patronen die de content kunnen identificeren, ook als deze content gedegradeerd is. Meer specifiek, als de fingerprint van een liedje tijdens enrollment wordt afgenomen op CD-kwaliteit en tijdens identificatie wordt afgenomen op MP3-formaat met lage bitrate (zeg 32 Kbit/sec), dan mogen de afgenomen fingerprints slechts minimaal verschillen. De mogelijkheid om snel te zoeken is tevens een vereiste.

Het gebruik van fingerprinting kan het best worden toegelicht aan de hand van het al eerder genoemde Napster. Op een gegeven moment werd Napster door de muziekindustrie gedwongen om alle copyrighted muziek op hun Napster-netwerk tegen te houden. De eerste pogingen van Napster om een muziekfilter te bouwen berustten op tekstherkenning. Meer specifiek, Napster legde een lange lijst met *song titles* aan die niet gedeeld mochten worden. Deed een Napster-gebruiker dan toch een poging om Angie van de Rolling Stones te downloaden, dan werd dit door het filter van Napster afgevangen, en kwam de download niet totstand. Deze op tekst gebaseerde filtermethode leidde tot een kat-en-muis spel tussen Napster en zijn gebruikers. Gebruikers veranderden de namen van liedjes lichtelijk, zodat ze niet meer voorkwamen in de lange lijsten bij Napster maar nog wel door gebruikers herkend konden worden (bijvoorbeeld door symbolen en karakters toe te voegen of van plaats te veranderen, Angie wordt *Angie#, etcetera). Elke keer als gebruikers een nieuwe truc hadden verzonnen werd deze natuurlijk opgenomen in de Napster-lijsten. Dit was een kat-en-muisspel dat Napster niet kon winnen. Op een gegeven moment heeft Napster dan ook besloten de zaak fundamenteler aan te pakken, namelijk door tekstfiltering over boord te gooien en direct naar de bitten in een MP3-file te kijken. Het grote probleem is natuurlijk dat de bitten in een MP3-file anoniem zijn: aan een verzameling bitten is niet direct te zien of het nu gaat om de garageband van een van mijn collega's of om Angie van de Rolling Stones.
Waar Napster behoefte aan had was een methode om anonieme verzamelingen van bitten om te zetten in betekenisvolle *(semantische)* informatie. De methode die uiteindelijk lange tijd is uitgeprobeerd is (u

raadt het al) audio fingerprinting. Napster wilde een grote database met audio fingerprints aanleggen en die gebruiken om na te gaan of muziek die werd aangeboden op het Napster-netwerk al dan niet copyrighted was. Omdat audio fingerprints identificerend zijn en niet makkelijk door signaal processing zijn te omzeilen, leek dit een goede methode. De taak was natuurlijk wel om een voldoende robuuste, compacte en snelle audio fingerprinting-methode te ontwerpen. En om een voldoende grote database van audio fingerprints op te bouwen! Het heeft er alle schijn van dat Napster hierin uiteindelijk geslaagd is (hoewel er weinig publiekelijk bekend is gemaakt), maar dat andere dan technische redenen de uiteindelijke ondergang van Napster hebben ingeluid.

De uitdagingen voor het bouwen van een goed fingerprinting-systeem zijn talloos. Het best kan ik dit toelichten aan de hand van een systeem dat gebruikt kan worden om muziek te herkennen via een mobiele telefoon. Dit systeem wordt op dit moment door een aantal bedrijven, waaronder Philips, aangeboden. Het scenario is dat van iemand die in een café plotseling een leuk liedje hoort en graag wil weten welk

Uitdagingen

liedje het is. Hij pakt zijn mobiele telefoon (die heeft hij altijd bij zich), kiest een voorkeurnummer en houdt de telefoon een kleine 10 à 15 seconden in de lucht. Na die 15 seconden verschijnt er een SMS-je met de mededeling dat het onbekende liedje onder de naam 'Happy Birthday' bekend staat.
Om een dergelijk systeem te bouwen dat werkt met de huidige generatie mobiele telefoons is een zeer robuust fingerprinting-systeem nodig. De muziek wordt opgevangen door de kleine microfoon van een mobiele telefoon in een akoestisch waarschijnlijk slechte ruimte. De opgevangen muziek wordt gecomprimeerd (kleiner gemaakt) door een datacompressie-algoritme dat niet voor de eerder genoemde MP3-encoder maar voor spraak is bedoeld (dus niet de eerder genoemde MP3-decoder). Deze gecomprimeerde muziek wordt op het base-station uitgepakt en aan een fingerprint-zoekmachine aangeboden. Deze zoekmachine moet dan op basis van dit korte signaal van slechte kwaliteit de fingerprint zoeken die er het beste bij past. Let wel: de aangeboden 10 à 15 seconden kunnen zich aan het begin, midden of einde van het liedje bevinden, en de zoekmachine heeft daar geen weet van. Als de zoekmachine een antwoord heeft gevonden, moet het antwoord ook nog eens voldoende betrouwbaar zijn: een gebruiker van het systeem die een of meerdere keren de verkeerde antwoorden heeft gekregen zal snel als klant afvallen. Daarentegen moet de gebruiker ook niet al te vaak te horen krijgen dat de titel van het liedje niet gevonden is. Op een wat abstracter niveau geformuleerd is de opdracht fingerprintingsystemen te bestuderen die voldoende compact zijn (fingerprints moeten niet al te veel ruimte innemen), voldoende robuust zijn (als het menselijke perceptiesysteem nog kan identificeren, dan moet de synthetische methode dat ook kunnen), voldoende granulair zijn (een klein stukje content is al voldoende), voldoende lage foutkansen hebben en snelle zoektijden toelaten bij beperkte complexiteit. Gezien de tijd, moet ik het bij deze opmerkingen laten en kan ik u niet verblijden met een voorbeeld voor leken.
Mijn taak aan de TU/e bestaat uit twee componenten. Ten eerste is er de wetenschappelijke doelstelling. Het ontdekken van nieuwe wetenschappelijke inzichten en het vastleggen daarvan in prototypen en publicaties. In het voorgaande heb ik u een indruk proberen te geven van de technische doelstellingen; ik zal er niet al te veel meer over uitweiden in specifieke termen. In algemenere zin stel ik mij ten doel een bijdrage te leveren aan het formaliseren van de veelal heuristische aanpak in mijn vakgebied. Een ander aandachtspunt vormen de praktische toepassingen van de theorie in echte systemen. Een eerste aanzet daartoe is een recentelijk gedefinieerd, multidisciplinair project dat, in samenwerking met de TUD, de UT en de VU, tot doel heeft een Peer-to-Peer-netwerk te bouwen dat auteursrechten respecteert, betalingen en licensering integreert in het P2P-protocol en de gebruiker een volwaardig muziekmanagementsysteem biedt.

Meer nog dan aan de technische kant wil ik een bijdrage leveren aan de wetenschappelijke en persoonlijke ontwikkeling van jonge (en oudere) mensen. Ik ben in de gelukkige omstandigheid dat ik mag samenwerken met meer dan gemiddeld begaafde en gemotiveerde studenten, die bovendien een zeer prettig karakter hebben. Zonder mensen als Steven Schimmel, Deran Maas, Marius Staring, Massimo Mischi, Prarthana Shestra, Fons Bruekers, Tek Ming en andere zou een aanstelling als hoogleraar aan de TU/e toch duidelijk minder 'sjeu' hebben.

Het huidige onderwijsbestel laat niet zomaar meer toe goede studenten een promotieplaats aan te bieden. Voor bijna elke student die wil promoveren moet eerst een project gedefinieerd worden dat zorg draagt voor externe financiering (de zogenaamde derde geldstroom). Hoewel dit model past in de politiek correcte notie van 'sociaal relevant onderzoek', vraag ik mij in gemoede wel eens af of dit nu de beste manier is om wetenschappelijke voortgang te bevorderen. Vele hoogleraren, en zeker de voltijds hoogleraren, zijn meer bezig met 'papier schuiven voor gevorderden' dan dat ze nog toekomen aan datgene waarvoor ze aangenomen zijn: wetenschap! De hoeveelheid papier die richting Brussel en andere geldbronnen geschoven wordt is schrikbarend. Dit

probleem zal helaas niet van de ene op de andere dag worden opgelost, en een goede inbedding van mijn vakgebied in het Nederlandse en Europese project-gebeuren behoort zeker tot mijn taak. Maar er ligt ook een schone taak voor het nieuwe kabinet om eens orde op zaken te stellen met betrekking tot de methoden waarmee wetenschap in Nederland wordt gestimuleerd.

Mijnheer de Rector Magnificus, dames en heren,

Slot- en dankwoord

Er heeft het afgelopen decennium een revolutie plaatsgevonden. Tien jaar geleden was het internet het gebruikersdomein van een minderheid. Vandaag de dag is iedereen van hoog tot laat bekend met begrippen als email en World Wide Web (WWW). De huidige wereld is ondenkbaar zonder internet. Het internet begon met simpele applicaties als het uitwisselen van tekstboodschappen, maar in de loop der jaren is het geworden tot het distributiekanaal voor alle mogelijke digitale content. En zoals bij elk maatschappelijke ontwikkeling zijn er zowel positieve als negatieve maatschappelijke gevolgen. In deze voordracht heb ik u verteld over de problemen die geassocieerd zijn met de distributie van digitale (multi-)media over het internet, en ik heb u proberen duidelijk te maken welke rol anonieme bitten en verborgen signalen kunnen spelen om het probleem hanteerbaar te maken. Ik heb gepoogd u een inzicht te geven in de technologieën die in mijn onderzoek een rol spelen, en aan te geven waar de uitdagingen liggen. Ik hoop echter ook duidelijk gemaakt te hebben dat technologie niet voldoende is om tot een situatie te komen waarin contenteigenaren en contentgebruikers (dat wil zeggen: u en ik) tot een zekere harmonie geraken, waarin beide partijen het gevoel hebben dat recht zal geschieden en waarin de contenteigenaren voldoende garantie hebben dat ze voor hun creatieve inspanningen beloond worden en de contentgebruikers het idee hebben dat ze niet onredelijk moeten betalen voor geleverde goederen.
Op dit moment wordt in veel landen gepoogd om door middel van wetgeving enige structuur te geven aan het begrip copyright in de context van het digitale tijdperk. Echter, het valt te bezien of de huidige voorgestelde maatregelen niet erger zijn dan de kwaal, in het bijzonder waar het gaat om het recht op ‘freedom of speech’. De tijd zal het leren.

Hoewel ik hier nu alleen in het middelpunt van de belangstelling sta en ik u heb kunnen onderhouden over mijn vakgebied, is het een verdienste van velen dat ik hier sta.
De leden van de faculteit Elektrotechniek dank ik voor het vertrouwen, met name prof. Jan Bergmans, prof. Paul van de Bosch en prof. Wim van Bokhoven.

Ik bedank de leden van de Signal Processing Systems-groep voor de prettige samenwerking, in het bijzonder prof. Erik Korsten, met wie ik het plezier heb een gezamenlijke AIO te begeleiden.
Ik bedank de directie van het Philips Research Laboratorium in Eindhoven dat ze mij in de gelegenheid gesteld heeft om één dag in de week te mogen vertoeven op de Technische Universiteit Eindhoven. In het bijzonder dank ik Rick Harwig, Fred Boekhorst en Jean-Paul Linnartz.
Ik bedank de (ex-)leden van de PACMAN-groep, en in het bijzonder Jaap Haitsma, Joop Talstra en Maurice Maas, zonder wie er niet een fractie bereikt zou zijn van wat er tot op heden binnen Philips gepresteerd is; mijn benoeming tot hoogleraar is er een direct gevolg van.
In de businessafdelingen van Philips ben ik dank verschuldigd aan Gijs Wirtz, Jan Eveleens, Ronald Maandonks en Erik de Ruijter. Met deze heren is de eerste aanzet gedaan tot de commercialisatie van watermerken en fingerprinten. Dat was en is niet altijd makkelijk, maar samen zijn we een heel eind gekomen.
Ook denk ik met plezier terug aan mijn tijd op de Rijksuniversiteit Leiden, waar ik de eerste schreden op de weg der wetenschap heb gezet. In het bijzonder bedank ik hiervoor mijn promotor prof. Van de Ven, die aan de basis heeft gestaan van mijn wetenschappelijke vorming.

De bescherming van copyright is bij uitstek een onderwerp dat zich niet beperkt tot de TU/e, Philips of de Nederlandse landsgrenzen. Ik heb veel geleerd tijdens de interactie met nationale en internationale collega's. In het bijzonder wil ik noemen Ingemar Cox en Matthew Miller van NEC Research in Princeton, USA. Ondanks de politieke en economische tegenstellingen tussen onze werkgevers hebben we altijd als collega's en vrienden kunnen samenwerken. Zelfs op het hoogtepunt van de strijd om DVD-Video-watermerken hebben we gezamenlijk aan wetenschappelijke artikelen kunnen werken. Op een soortgelijke manier moet ik ook Darko Kirovski van Microsoft Research bedanken. Zijn bijzondere zienswijze op wetenschap en het leven in het algemeen hebben meer invloed op mij gehad dan hij zich waarschijnlijk realiseert. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het merendeel van mijn discussies met Darko heeft plaatsgevonden in oorden met een meer dan gemiddelde hoeveelheid zon, en waar het zeewater nooit meer dan tien meter ver was.
Ik ben ook veel dank verschuldigd aan prof. Martin Vetterli, die mij de weg heeft gewezen in het Amerikaanse wetenschappelijk circuit, aan prof. Murat Kunt, die de weg heeft bereid naar een Fellowship van de IEEE – de hoogste mogelijke eer die binnen de IEEE valt te verdienen – en ten slotte aan prof. Ed Delp, prof. Pierre Moulin, prof. Inald Lagendijk en dr. Frans Willems die mij allemaal op vele manieren hebben gesteund en altijd openstonden (en -staan) voor vernieuwingen in de wetenschappelijke arbeid.

Speciale dank ben ik verschuldigd aan mijn vader en moeder, die helaas beiden hier niet meer aanwezig kunnen zijn. Beiden hebben nooit de gelegenheid gehad om een opleiding te volgen. Ze wisten echter wel degelijk wat de waarde van een goede opleiding was en ze hebben niet alleen mij maar ook mijn broers en zus altijd aangemoedigd om het beste uit ons zelf te halen, hoe zwaar hen dat financieel ook viel. Dank jullie wel.
En ten slotte ben ik dank aan mijn gezin verschuldigd, mijn vrouw Kitty en dochter Anne. Toen ik drie jaar geleden aankondigde dat ik er graag nog een baan bij zou willen hebben, namelijk een hoogleraarschap aan de TU/e, werd die mededeling met argwaan ontvangen. 'Betekent dit, dat je minder uren bij Philips gaat maken?' was de eerste vraag. Mijn bevestigende antwoord werd met ongeloof aangehoord, en achteraf moet ik bekennen dat het combineren van twee banen een niet te onderschatten onderneming is. Mijn gezin heeft daar wel onder te lijden gehad, en u kunt raden op welk terrein, naast dat van mijn wetenschappelijke ambities, nog één en ander te scoren valt.

Dames en heren, ik dank u voor uw aandacht.

Ik heb gezegd.

Referenties

1 W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto and A. Lu, 'Techniques for Data Hiding', IBM Systems Journal, 35(3/4):313-336, 1996.

2 I.J. Cox, J. Kilian, F.T. Leighton and T. Shamoon, 'Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia', *IEEE Transactions on Image Processing*, 6(12):1637-1687, 1997.

3 Katzenbeisser and Petitcolas eds., 'Information Hiding: techniques for steganography and digital watermarking', Artech House, 2000.

4 I.J. Cox, M.L. Miller and J.A. Bloom, 'Digital Watermarking', Morgan Kaufmann, 2002.

5 P. Moulin and J.A. O'Sullivan, 'Information Theoretic Ananlysis of Information Hiding', Preprint available from http://www.ifpi.uiuc.edu/~moulin.

6 M. Costa, 'Writing on Dirty Paper', *IEEE Transactions on Information Theory*, 29:439-441, 1983.

7 J.A. Bloom, I.J. Cox, T. Kalker; J.-P. Linnartz, M.L. Miller and C.B.S. Traw, 'Copy protection for DVD video', *Proceedings of the IEEE* , 87(7): 1267-1276 , July 1999

8 CPTWG Homepage, http://www.cptwg.org.

9 RIAA/IFPI, 'IFPI and RIAA Announce Search for 'Audio Fingerprinting' Technologies', CFP available from http://www.ifpi.org/site-content/press/20010615.html, 2002.

10 Napster Homepage, http://www.napster.com.

11 Andy Oram ed., 'Peer-to-Peer: Harnessing the Power of Disruptive Technologies', O'Reilly, 2001.
Relatable Homepage, http://www.relatable.com.

12 J. Haitsma and T. Kalker, 'A Highly Robust Audio Fingerprinting

13 System', *Proceedings of the Third International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR)*, pp:107-115, Paris, 2002.

14 Philips Audio Fingerprinting, http://www.research.philips.com/InformationCenter/Global/FArticleDetail.asp?lArticleId=2394&lNodeId=931&channel=931&channelId=N931A2394

Curriculum Vitae

Prof.dr. A.A.C.M. Kalker is met ingang van 1 november 1999 benoemd als parttime hoogleraar aan de faculteit Elektrotechniek van de Technische Universiteit Eindhoven. Zijn werkterrein is de signaalverwerking voor dataprotectie.

Ton Kalker (Alkemade, 1956) studeerde wiskunde en promoveerde in 1986 op een onderwerp op het gebied van algebraïsche geometrie aan de Rijksuniversiteit Leiden.
Van 1984 tot 1985 had hij een betrekking aan de Technische Universiteit Delft op het gebied van informatica.
In 1986 werd hij benoemd binnen de technische staf van Philips Research Eindhoven, waar hij achtereenvolgens werkte aan het ontwerpen van grote VLSI-systemen, videocompressie, het ontwerpen van filters en filterdatabanken, digitale watermerken en audiovisuele mediaherkenning. Momenteel leidt hij als wetenschappelijk hoofdmedewerker van Philips Research Eindhoven een onderzoeksgroep naar signaalverwerking voor de labelling en identificatie van content.
Ton Kalker is fellow van de IEEE vanwege zijn bijdragen aan de ‘praktische toepassingen van digitale watermerken’.

Colofon

Productie:
Communicatie Service Centrum TU/e

Fotografie cover:
Rob Stork, Eindhoven

Ontwerp:
Plaza ontwerpers,
Eindhoven

Druk:
Drukkerij Lecturis,
Eindhoven

ISBN: 90-386-1492-6