

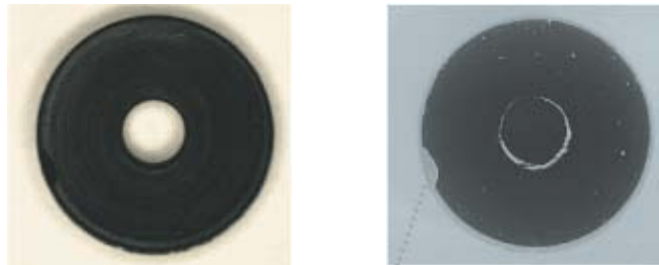
De invloed van belichting op automatische gezichtsherkenning

dr.ir. L.J. Spreeuwers
Leerstoel voor Signalen en Systemen

26 juli, 2006

1 Inleiding

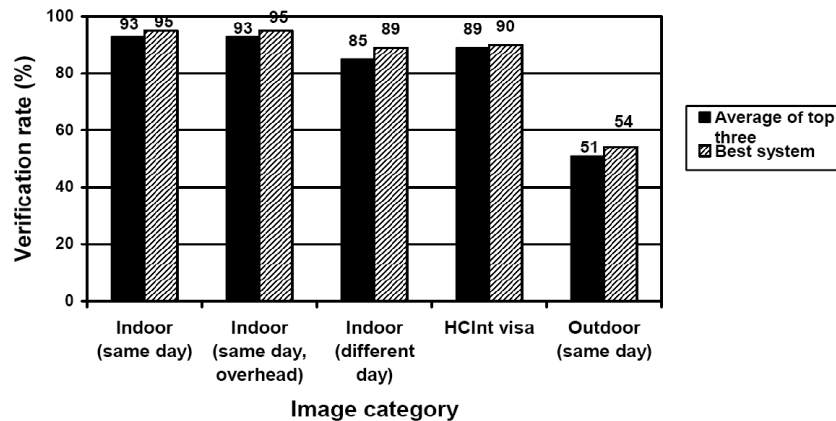
In toepassingen van digitale beeldbewerking en beeldanalyse speelt belichting vanzelfsprekend een grote rol. In bijvoorbeeld industriële beeldverwerking is de juiste keuze van de belichting vaak van kardinaal belang om een betrouwbaar en betaalbaar systeem te kunnen realiseren. Een voorbeeld is te zien in fig.1, waar met behulp van strijklicht (d.i. bijna parallel aan het oppervlak) defecten in rubberen afdichtingen zichtbaar worden gemaakt. Door het gebruik van strijklicht worden onregelmatigheden in het oppervlak goed zichtbaar en die zijn vervolgens met relatief eenvoudige beeldverwerkingsoperaties te extraheren.



Figuur 1: Strijklicht maakt oneffenheden in een oppervlak zichtbaar: links rubberen afdichting in normaal licht, rechts in strijklicht. Bij strijklicht is het defect aan de rand duidelijk zichtbaar.

Ook bij automatische gezichtsherkenning speelt een goede belichting een grote rol. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de resultaten gepubliceerd door de FRGC (Face Recognition Grand Challenge, een soort wedstrijd voor bedrijven en onderzoeksinstituten die gezichtsherkenningssystemen ontwikkelen, zie [2]). De beste gezichtsherkenningssystemen halen bij gecontroleerde belichtingsomstandigheden en frontale afbeelding van het gezicht herkenningpercentages van 90-95%. Worden diezelfde systemen vervolgens getest op

gezichten die opgenomen zijn onder niet-gecontroleerde belichtingsomstandigheden, bijvoorbeeld buiten-opnamen, dan zakken de prestaties als een pudding ineen en blijven er slechts een schamele 50% over (zie fig.2). Het spreekt voor zich, dat bedrijven liever de eerste cijfers gebruiken bij het aanprijzen van hun producten!



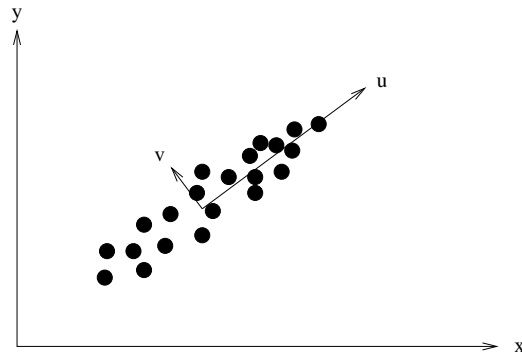
Figuur 2: Prestaties van de beste gezichtsherkenningssystemen voor gecontroleerde (in-door en HCInt visa) en niet-gecontroleerde (out-door) belichtingsomstandigheden. De prestaties zakten dramatisch van 90-95% naar 50-55%.

2 Gezichtsherkenning

Om te kunnen begrijpen waarom belichting zo'n grote invloed heeft op de prestaties van een gezichtsherkenningssysteem moeten we eerst dieper ingaan op de werking van zo'n systeem. Uiteraard bestaan er vele benaderingen voor gezichtsherkenning, maar een overzicht van alle technieken zou hier te ver voeren. De geïnteresseerde lezer wordt verwezen naar [4]. Hier gaan we alleen in op een holistische benadering die gebaseerd is op zgn. principale componenten analyse (PCA). Holistisch wil zeggen dat het gezicht in z'n geheel wordt herkend en niet op basis van locale kenmerken, zoals de afstand tussen de ogen en de vorm van de neus.

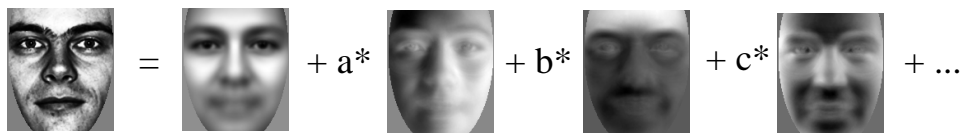
Bij deze methode wordt het digitale beeld in z'n geheel opgevat als een meetvector. Voor een beeld van bijvoorbeeld 128*128 pixels levert dit dus een meetvector op met 16384 elementen en elk element representeert een grijs- of kleurwaarde van een pixel in het beeld. De idee is nu dat als we heel veel van deze meetvectoren hebben van verschillende gezichten, deze een wolk, een min of meer afgegrensd gebied, vormen in de 16384 dimensionele ruimte. Beelden met een gezicht zullen binnen deze wolk vallen, beelden zonder gezicht, met andere voorwerpen zullen buiten deze wolk vallen. Om

een betere en compactere beschrijving van de wolk te verkrijgen, voeren we de principale componenten analyse uit die de richtingen van de maximale variatie van de elementen van de meetvectoren bepaalt m.b.v. eigenvectoren/eigenwaarde analyse. In fig.3 is dit voor een 2-dimensionaal voorbeeld weergegeven. De stippen stellen de meetvectoren voor, u en v zijn de principale componenten.



Figuur 3: Principale componenten of eigenvectoren van een wolk van meetvectoren in 2 dimensies

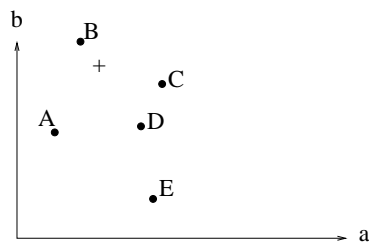
Het blijkt ook dat, omdat de wolk in de ene richting een veel grotere variatie vertoont dan in de andere, de wolk nog steeds goed beschreven kan worden met alleen de u-component. Dit heet dimensiereductie en voor gezichtsherkenning is het mogelijk de oorspronkelijke 16384 dimensies terug te brengen naar 50-100. De projectie van een oorspronkelijk 16384 dimensionale meetvector op deze nieuwe 50-100 dimensionale ruimte is een simpele lineaire transformatie. De ruimte die wordt opgespannen door de principale componenten van gezichten wordt ook wel "gezichtenruimte" genoemd. Net als elk beeld van een gezicht is opgebouwd uit afzonderlijke pixels, zo kan ook elk gezicht opgebouwd worden uit het gemiddelde gezicht (oorsprong van de gezichtenruimte) en de principale componenten. Omdat elke component een variatie in de gezichtenruimte beschrijft worden ze vaak "eigenfaces" genoemd. Een voorbeeld is gegeven in fig.4.



Figuur 4: Opbouw van een gezicht uit eigenfaces

Elk gezicht kan nu worden gerepresenteerd door de weegfactoren a,b,c,... van de eigenfaces. Een heel eenvoudige gezichtsherkenner zou bijvoorbeeld de Euclidische afstand tussen de weegfactoren van gezichten in een database en een te herkennen gezicht kunnen bepalen. De meest waarschijnlijke

identiteit is dan die van het gezicht in de database dat resulteert in de kleinste afstand. In fig.5 is dit in detail weergegeven voor 2 componenten. De stippen stellen meetvectoren voor van gezichten in de database met bekende identiteiten A-E. De + stelt de meetvector voor van een onbekend gezicht. Het dichtstbijzijnde gezicht in de database is B, dus wordt de identiteit B aan dit gezicht toegekend. Slimmere methoden houden ook rekening met de variatie van afbeeldingen van een individu (elke foto van dezelfde persoon ziet er immers weer anders uit) en wegen die tegen de variatie van alle personen (zie [1]).



Figuur 5: Identificatie van een onbekend gezicht in de gezichtenruimte. De stippen representeren gezichten met bekende identiteit en de + een onbekend gezicht. De identiteit van het dichtstbijzijnde bekende gezicht (B) wordt toegekend.

Nu we iets weten van gezichtsherkenning kunnen we onderzoeken waarom belichting zo'n grote invloed heeft op het herkenningsproces.

3 De invloed van belichting op gezichtsherkenning

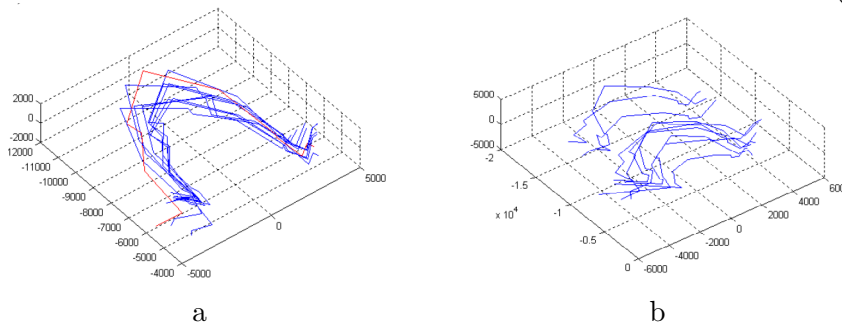
De invloed van de belichting kan bestudeerd worden door opnamen van gezichten te maken waar alleen de belichting wordt gevarieerd en de rest (gezichtsuitdrukking, kijkhoek etc.) zoveel mogelijk constant wordt gehouden. Zo'n reeks beelden voor 1 individu kan er uit zien als in fig.6.



Figuur 6: Opnames van hetzelfde gezicht met verschillende belichtingen

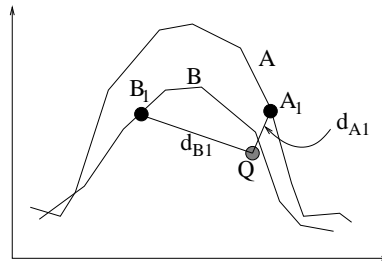
Vervolgens projecteren we voor een individu de meetvectoren van opnamen onder verschillende belichtingsomstandigheden in de gezichtenruimte. Het blijkt dat de hierdoor onstane variatie zich voornamelijk concentreert

langs een curve in een beperkt aantal dimensies. Voor een aantal opnames van hetzelfde individu is dit weergegeven in fig.7a en voor opnames van meerdere individuen onder verschillende belichtingsomstandigheden in fig.7b.



Figuur 7: Projectie in gezichtenruimte van meerdere opnames van 1 individu (a) en van opnames van meerdere individuen (b) onder verschillende belichtingsomstandigheden

Uit fig.7 is de drastische prestatiedaling door belichtingsvariatie nu goed te begrijpen. De afstanden in de gezichtenruimte voor een individu onder verschillende belichtingsomstandigheden (punten op een curve in fig.7b) zijn immers vaak groter dan de afstanden tussen verschillende individuen (afstanden tussen de curves in fig.7b). Het een en ander is in fig.8 nog eens in detail weergegeven voor 2 curves uit fig.7b.



Figuur 8: Classificatiefout door belichting. De curves A en B geven de afhankelijkheid van de positie in de gezichtenruimte van de belichting voor twee verschillende individuen. A_1 en B_1 zijn opgenomen in de database en Q moet geïdentificeerd moeten worden. Q wordt als A geïdentificeerd, omdat d_{A1} kleiner is dan d_{B1} , ondanks dat de afstand tot de curve B kleiner is.

De curves A en B representeren voor 2 verschillende individuen de afhankelijkheid van de positie in de gezichtenruimte van de belichting. Stel nu dat in de database van referentiegezichten A_1 en B_1 zijn opgenomen als referentie van A en B. Aan het te identificeren gezicht Q wordt dan identiteit A toegekend, want de afstand d_{A1} is kleiner dan d_{B1} , ondanks dat de afstand

tot de curve B kleiner is. Meer details van deze analyse zijn te vinden in [3], waaruit ook deze afbeeldingen zijn overgenomen.

Een eenvoudige oplossing van het belichtingafhankelijkheidsprobleem is het opnemen van meerdere opnames onder verschillende belichtingsomstandigheden in de database van te herkennen individuen en dit is ook inderdaad met redelijk succes gedaan. Nog beter is het modelleren en gebruik maken van de vorm van de curves. Ook dit leidt echter nog steeds niet tot een volledige oplossing van het probleem, want zoals in fig.7b te zien is kruisen de curves elkaar soms zelfs.

Ook is belichting niet de enige complicerende factor voor gezichtsherkenning. Andere zijn de oriëntatie van het gezicht (van frontaal tot profiel) en de gezichtsuitdrukking. Combinaties van deze variaties maken dat de bovengenoemde oplossingen slechts een beperkte verbetering opleveren. Dit betekent dat belichtingsafhankelijke gezichtsherkenning nog immer een van de grootste uitdagingen is in dit onderzoeksveld.

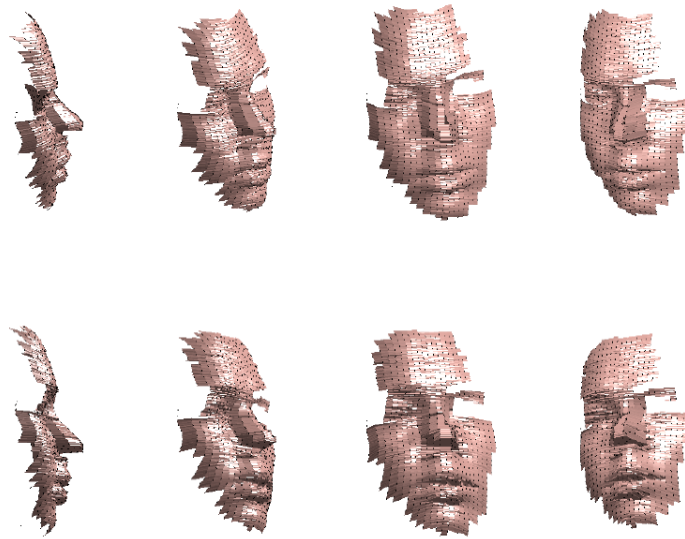
4 Belichting buitenspel: 3-D gezichtsherkenning

Een relatief nieuwe richting in het onderzoek naar gezichtsherkenning is de herkenning op basis van 3 dimensionale data. Hierbij wordt een soort hoogtekaart of "range image" van het gezicht gemaakt. De reflectie van het licht op het gezicht is hier dus niet van belang, maar slechts de vorm van het gelaat. Dergelijke opnames kunnen worden gemaakt met laserscanners, zgn. gestructureerd licht, waarbij de diepte-informatie wordt verkregen m.b.v. een projectiepatroon, of stereovisie. Een voorbeeld van een 3-D gezichtsopname, opgenomen met een zelfontwikkelde gestructureerd licht systeem, is te zien in fig.9.

Ook 3-D opnames lenen zich uitstekend voor een PCA benadering voor gezichtsherkenning. Omdat de meetvector louter uit vormdata bestaat is de herkenning inherent belichtingsonafhankelijk. Eerste experimenten laten zien dat de betrouwbaarheid van 3-D gezichtsherkenning hoog is.

5 Huidige projecten bij SAS

Bij de leerstoel voor Signalen en Systemen (SAS) vindt onderzoek plaats op de gebieden van acoustiek, wireless communicatie, medische en overige beeldverwerking en biometrie. Gezichtsherkenning valt binnen het biometrie-onderzoek. Binnen het biometrie-onderzoek zijn er daarnaast projecten op het gebied van vingerafdrukherkenning en pistoolgreepherkenning. Wat gezichtsherkenning betreft lopen er nu een viertal projecten: gezichtsherkenning in de thuis-omgeving, voor mobiele apparaten (telefoons, PDA's), voor surveillancedoeleinden in winkels, stadions etc, en tenslotte het 3dface project. Dit laatste project is recentelijk van start gegaan en behelst een groot



Figuur 9: 3-D opname van een gezicht vanuit verschillende perspectieven

project met meerdere Europese deelnemers. Het doel is 3-D gezichtsherkenning voor het toekomstige Europese paspoort.

6 Conclusies

Belichting speelt een belangrijke rol in alle toepassingen van beeldverwerking en dus ook voor gezichtsherkenning. Door zorgvuldige modellering is het mogelijk te begrijpen waarom variërende belichtingsomstandigheden zo'n groot obstakel vormen voor betrouwbare automatische gezichtsherkenning. Tevens kunnen we dan oplossingen aandragen. Echter, ondanks significante verbeteringen is het probleem tot op heden nog steeds niet geheel opgelost en blijft belichtingsonafhankelijke gezichtsherkenning een grote uitdaging.

Referenties

- [1] A. Bazen and R. Veldhuis. Likelihood-ratio-based biometric verification. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 14:86–94, Jan. 2004.
- [2] P. J. Phillips, P. J. Flynn, T. Scruggs, K. W. Bowyer, J. Chang, K. Hoffman, J. Marques, J. Min, and W. Worek. Overview of the face recognition grand challenge. In *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2005.

- [3] H. Wang, S. Z. Li, Y. Wang, and W. Zhang. Illumination modeling and normalization for face recognition. In *AMFG*, pages 104–111. IEEE Computer Society, 2003.
- [4] W. Zhao, R. Chellappa, P. Phillips, and A. Rosenfeld. Face recognition: A literature survey. *ACM Computing Surveys*, 35(4):399–458, 2003.