

Het schatten van relatieve snelheid bij het nachtrijden

Drs. W. H. Janssen
Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg

1. Inleiding

Bij het nachtrijden is er in het visuele veld van een bestuurder nauwelijks achtergrondstructuur of context aanwezig. Om deze reden kunnen eenvoudige bewegingen van objecten in de omgeving reeds problemen geven met betrekking tot de detectie en identificatie van het object en tot de waarneming van de manoeuvres die het uitvoert.

Welke perceptieve gegevens, verder aan te duiden met de Engelse, moeilijk vertaalbare term „cues”, hebben bestuurders tijdens het nachtrijden ter beschikking om de manoeuvres van medeverkeersdeelnemers te kunnen beoordelen? Aangezien er 's nachts van een ander voertuig vaak weinig méér te zien is dan een paar lichten moeten de „cues” voor bewegingswaarneming liggen in bepaalde veranderingen die de afbeelding van die lichten op het netvlies van de bestuurder ondergaan bij een beweging van de lichten ten opzichte van de bestuurder.

Twee van zulke „cues” komen in principe in aanmerking als we ons beperken tot de perceptie van de directe voorligger (die de achteropkomende overigens niet zelden, zoals uit de statistieken blijkt, via een kop-staart botsing van zeer nabij leert kennen). De ene is een verandering in de hoek tussen de achterlichten van de voorligger: als de positie van de achterlichten ten opzichte van de achteropkomende waarnemer verandert wordt de hoek kleiner (als de voorligger zich verwijderd) of groter (als de waarnemer bezig is in te lopen). De andere „cue” is een verandering in de schijnbare grootte of helderheid van de achterlichten, die eveneens verlopen met de afstand waarop de achterlichten gezien worden en aldus een gegeven kunnen zijn om relatieve beweging aan af te lezen.

In een eerder artikel (Janssen, 1974) is een onderzoek besproken over de grootte van het snelheidsverschil tussen het eigen voertuig en de voorligger dat op grond van deze beide „cues” nog juist kan worden waargenomen. Uit dit onderzoek kon geconcludeerd worden dat de verandering in hoek verreweg het krachtigste perceptieve gegeven was. Dat wil zeggen: op grond van de verandering in hoek konden aanzienlijk kleinere snelheidsverschillen waargenomen worden dan mogelijk was op grond van veranderingen in schijnbare grootte en helderheid. Bij het waarnemen van beweging is uiteraard niet alleen de drempelsituatie van belang, waarin het gaat om wat nog juist waarneembaar is. Ook de *bovendrempelige* situatie, waarin het gaat om het afschatten van de grootte van een op zichzelf duidelijk waarneembare bewegingsparameter, is in het verkeer van groot belang. Dit artikel handelt over de subjectieve schattingen van een zeer belangrijke parameter van het waarnemen van een voorligger bij nacht, namelijk van het snelheidsverschil (de *relatieve* snelheid) tussen het eigen voertuig en de voorligger. Uitgangspunt daarbij was om de *snelheid* van verandering in de hoek tussen de achterlichten te variëren teneinde na te gaan hoe de subjectieve snelheidsimpressie daarvan afhankelijk zou verlopen. Het onderzoek werd uitgevoerd in het kader van het SWOV-project „Analyse van de rijtaak”.

2. Methodologische problemen

Het is misschien goed even stil te staan bij het algemene probleem *hoe* een verband vast te stellen tussen een fysisch continuüm (dat van de snelheid, in ons geval) en het corresponderende psychologische continuüm (dat van snelheidsimpressies). Een veel gebruikte methode om subjectieve snelheidsschattingen te bepalen is om een proefpersoon eenvoudig weg een schatting te laten maken van de snelheid van een object (zijn

eigen voertuig, of een ander,) in kilometers per uur. Tot zover hoeft er nog niets aan de hand te zijn. Een fundamentele fout die echter vervolgens veelal gemaakt wordt is om de numerieke waarde van de response van de proefpersoon rechtstreeks te vergelijken met de ware kilometersnelheid *alsof de eenheden van beide continua hetzelfde waren*. De waarheidsgetrouwheid van de schatting, de mate van over- of onderschatting van de fysische snelheid, wordt aldus eenvoudigweg gedefinieerd als het *absolute* verschil tussen twee getallen uit *verschillende* continua. Uiteraard is dit geen zinvolle procedure, aangezien de eenheid van het subjectieve continuüm niet bekend is en daarom arbitrair gekozen moet worden. Wat echter wel mogelijk is, is beweringen te doen over de relatie tussen *ratio's* (verhoudingen) op de fysische schaal en de corresponderende *ratio's* op de psychologische schaal. Dus als we onze snelheid, bijvoorbeeld, verdubbelen en de schatting van de proefpersoon verdubbelt niet mee hebben we reden om te concluderen dat de hogere snelheid over- of onderschat wordt ten opzichte van de lagere. We moeten dan ook zoeken naar de wijze waarop *ratio's* S_i/S_j van het stimulus (fysische) continuüm afgebeeld worden op *ratio's* S_i/S_j van het response (psychologische) continuüm.

In de experimentele psychologie is gebleken dat de functie die deze afbeelding beschrijft voor een grote veelsoortigheid van continua een *machtsfunctie* is:

$$\frac{R_i}{R_j} = \left(\frac{S_i}{S_j} \right)^n \quad (1)$$

Deze vergelijking zegt dus dat gelijke *ratio's* tussen stimulusparen afgebeeld worden als gelijke *ratio's* tussen responseparen, ofschoon de fysische en de subjectieve *ratio's* niet noodzakelijkerwijze identiek behoeven te zijn. Dat is alleen het geval als $n = 1$, in welk geval men van een volledig waarheidsgetrouwe afbeelding mag spreken.

Het is mogelijk om vergelijking (1) te generaliseren over de continua; de uitkomst daarvan is

$$R = bS^n \quad (2)$$

Deze vergelijking staat bekend als de psychofysische machtsfunctie van S.S. Stevens. De constante b is een schaalfactor die afhangt van de eenheden waarin R - en S -waarden uitgedrukt worden. De introductie van b is de prijs die betaald moet worden om te kunnen overgaan van de lokale vergelijking (1) naar de algemene vergelijking (2).

In zijn meest algemene vorm omvat de wet van Stevens nog constanten aan beide zijden:

$$R - a = b(S - c)^n \quad (3)$$

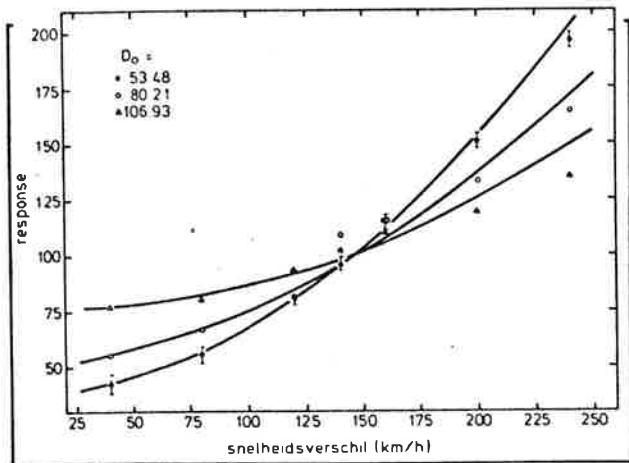
Essentiëel blijft echter dat er sprake is van een machtsfunctie.

3. Beschrijving van de stimulus

Veronderstel nu dat we de achterlichten zien van een voorligger die, op een afstand D_0 , bezig is dezelfde koers te volgen als wijzelf, en dat er tussen ons een constant snelheidsverschil v bestaat. Als d de afstand tussen de achterlichten is geldt voor de hoek δ_0 omspannen door de achterlichten:

$$\delta_0 = \frac{d}{D_0} \text{ radialen} \quad (4)$$

zolang $\delta_0 < 10^\circ$. Deze hoek verandert in een tempo $\dot{\delta}_0$, de eerste



1. Subjectieve snelheidsfuncties voor nadering van de voorligger. In één der condities is de standaardfout van het gemiddelde aangegeven om een indruk te geven van de grootte van de experimentele fout. De waarnemingsafstand, D_0 is aangegeven in meters.

afgeleide van (4) naar de tijd. Door $D_0 = v \cdot t$ te stellen vinden we:

$$\dot{\delta}_0 = -\frac{d \cdot v}{D_0^2} = -\delta_0 \frac{v}{D_0} \text{ rad/sec} \quad (5)$$

Hogere bewegingsafgeleiden worden gegeven door:

$$\left| \frac{d^m \delta_0}{dt^m} \right| = \left| \frac{d \cdot v^m \cdot m!}{D_0^{m+1}} \right| = \left| m! \delta_0 \left(\frac{v}{D_0} \right)^m \right| \quad (6)$$

of recursief geschreven, door

$$\left| \frac{d^m \delta_0}{dt^m} \right| = \left| m \cdot \left(\frac{v}{D_0} \right) \cdot \frac{d^{m-1} \delta_0}{dt^{m-1}} \right| \quad (7)$$

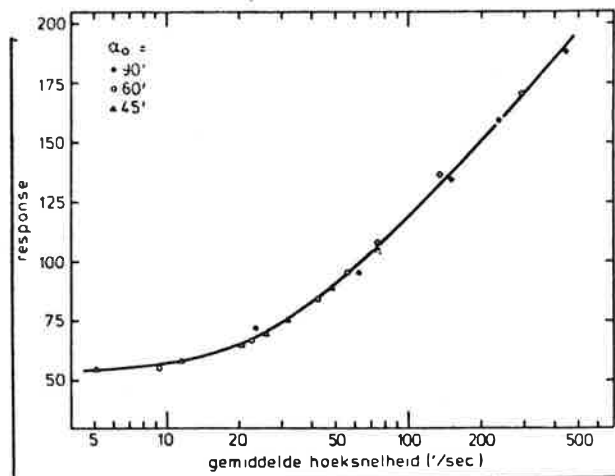
Het patroon van stimulatie zoals dat op het netvlies terecht komt vereist dus een beschrijving die aanmerkelijk ingewikkelder is dan de simpele beschrijving van de er aan ten grondslag liggende rechtlijnige beweging. De vraag komt dan ook op welke bewegingsafgeleiden nu eigenlijk door een bestuurder gebruikt worden om tot zijn subjectieve snelheidsschatting te geraken. Aangezien al deze bewegingsafgeleiden tegelijkertijd voorkomen in de onderhavige situatie is dat niet zonder meer uit te maken. Gelukkig hoeven we ons om dit punt echter ook niet al te zeer te bekommeren, aangezien de potentiële gevaren voor een bestuurder nu eenmaal liggen in de constellatie van distale, fysische gegevens. Van meer praktisch belang dan te weten of er op de hoeksnelheid of de hoekversnelling afgegaan wordt is dus om te weten met welk snelheidsverschil (in kilometers per uur) een bepaalde hoeksnelheid of -versnelling gepaard gaat. Voor zover het de psychofysische functie (3) betreft is het in ons geval niet essentieel of we het hebben over de verschil-snelheid v of over een van de parameters van het verloop in de hoek δ_0 . Bijvoorbeeld, als we uitgaan van

$$R - a = bv^n \quad (8)$$

(de vergelijking die in feite op onze experimentele resultaten zal blijken te passen) kunnen we ook schrijven:

$$R - a = k_m \cdot \left(\frac{d^m \delta_0}{dt^m} \right)^{n/m} \quad (9)$$

waarin k_m een constante is voor de m -de bewegingsafgeleide. Vergelijking (9) volgt uit het verband tussen v en de bewegingsafgeleiden zoals uitgedrukt door de vergelijkingen (6) en (7). Met iedere volgend-hogere afgeleide wordt de noemer van de exponent van de machtsfunctie dus met 1 verhoogd. Voor hoekversnelling wordt de exponent $n/2$, voor de volgende afgeleide $n/3$, etc.



2. Subjectieve snelheidsfunctie uitgezet in termen van de gemiddelde hoeksnelheid over een waarnemingsinterval van 1 sec. α_0 is de hoek tussen de achterlichten bij een waarnemingsafstand D_0 .

4. Experimentele resultaten

Met behulp van een laboratoriumopstelling waarin de bewegingen van de achterlichten door middel van lichtspots op een scherm gesimuleerd werden is een subjectieve schaal bepaald voor de snelheid van nadering van de voorligger. Voor d , de afstand tussen de achterlichten, werd een waarde van 1.40 aangehouden (een middelgrote automobiel).

De proefpersonen zagen de lichten gedurende 1 sec. en moesten vervolgens een numerieke schatting van de snelheid geven in termen van een standaard waaraan (arbitrair) de waarde „100” was toegekend. De standaardstimulus was altijd die van een beweging met 140 km/h en werd vóór iedere te schatten snelheid weer opnieuw vertoond.

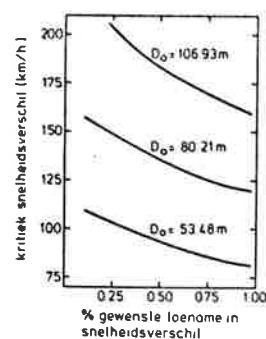
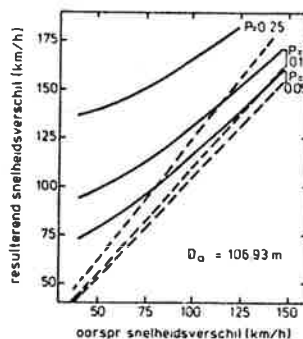
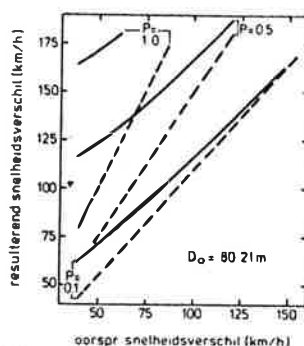
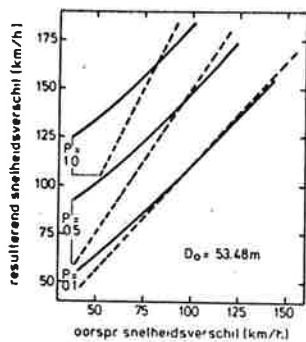
De hoek δ_0 tussen de achterlichten bij het begin van het waarnemingsinterval bedroeg 90, 60 of 45 boogminuten. Voor achterlichten op 1.40 m van elkaar komt dit overeen met observatieafstanden van D_0 van, respectievelijk, 53.48, 80.21 en 106.93 m. De snelheden die ter schatting aangeboden werden bedroegen 40, 80, 120, 140, 160, 200 en 240 km/h, voor elk der drie waarden van δ_0 . Iedere proefpersoon maakte 3 schattingen van iedere snelheid in termen van de standaard, die vóór iedere stimulus opnieuw getoond werd. De gemiddelde schatting over 20 proefpersonen fungeerde uiteindelijk als gegeven in de bepaling van de parameters van de psychofysische functies.

Na inspectie van de gegevens werd besloten om de best passende curven te bepalen volgens vergelijking (8), dat is dus met een constante a afgetrokken aan de response-kant. Dit werd nodig geoordeeld omdat de gegevens asymptotisch uit bleken te lopen naar de kant van de lage snelheden. Het is ook inderdaad plausibel dat er in het onderhavige geval zoiets als een restimpessie van een beweging zou bestaan. Het kijken naar lichtpunten in een donkere omgeving geeft immers aanleiding tot het ontstaan van zogenaamde autokinetische bewegingen, dat zijn spontane, vrij willekeurige excursies van de lichten door het donker, en te verwachten is dat die zich ook bij het volgen van achterlichten in het donker voordoen.

De best passende curven volgens vergelijking (8) zijn in afbeelding 1 over de gegevens heengelegd. Men moet voorzichtig zijn met het onderling vergelijken van de drie curven, aangezien zij gelden voor verschillende kijkafstanden. Dat de curven in feite goed met elkaar kloppen blijkt als men omrekent naar de parameters van de hoekbeweging. Zo zijn in afbeelding 2 de gegevens uitgezet in termen van de gemiddelde hoeksnelheid gedurende het waarnemingsinterval van 1 sec.: de gegevens voor de drie verschillende kijkafstanden blijken elkaar voortreffelijk te dekken.

5. Implicaties en conclusie

Wat zijn nu de praktische implicaties van deze gegevens voor het nachtrijden? Om deze vraag te beantwoorden stellen we ons de volgende situatie voor. Stel ik ben bezig met een zeker snelheidsverschil op een voorligger in te lopen. Ik wens nu dat snel-



3. *Getrokken lijnen: snelheidsverschil waar men uiteindelijk op belandt als men zijn subjectieve impressie met een factor p wil verhogen ($D_0 = 53,48$ m). Gestippelde lijnen: resulterend snelheidsverschil als het oorspronkelijke snelheidsverschil inderdaad met een factor p verhoogd is.*

4. *Als 3 - $D_0 = 80,21$ m.*

5. *Als 3 - $D_0 = 106,93$ m.*

6. *Het kritieke snelheidsverschil v_{krit} als functie van de gewenste snelheidstoename p en de waarnemingsafstand.*

heidsverschil te verhogen met een factor p. Dus: ik wil een nieuwe snelheid kiezen zodanig dat mijn nieuwe impressie van het snelheidsverschil een fractie p hoger zal liggen dan mijn oorspronkelijke impressie. De vraag is nu: op welk snelheidsverschil kom ik werkelijk uit gegeven de vorm van de psychofysische relatie die er bestaat tussen een werkelijk en een subjectief snelheidsverschil?

Noemen we het oorspronkelijk bestaande snelheidsverschil v_1 en het nieuwe, werkelijke snelheidsverschil v_2 dan kan men algebraïsch laten zien dat geldt:

$$v_2 = \left(\frac{b \cdot p \cdot v_1^n + a(p-1)}{b} \right)^{1/n} \quad (10)$$

Hierin zijn a, b en n de parameters van de psychofysische machtsfunctie zoals we die al eerder zijn tegengekomen; p is de gewenste proportionele toename in verschillensnelheid. De afbeeldingen 3, 4 en 5 tonen nu v_2 , het werkelijk gekozen snelheidsverschil, als een functie van het oorspronkelijke snelheidsverschil v_1 , en wel voor verschillende waarden van de gewenste toename p en voor de verschillende kijkafstanden ¹⁾. Door middel van stippellijnen is in de afbeeldingen aangeduid welke snel-

heden zouden corresponderen met een werkelijke toename van het snelheidsverschil met een fractie p. Het is duidelijk dat het snelheidsverschil in een overgroot deel van de afgebeelde situaties hoger uitkomt dan de bedoeling was. Of met andere woorden: men kiest een hogere snelheid dan overeenkomt met het gestelde doel. Dat dit gevaar met zich mee brengt behoeft geen betoog.

Uit de grafieken blijkt verder dat er een bepaalde snelheid v_{krit} bestaat in die zin dat bestuurders hun snelheid te veel zullen verhogen voor alle oorspronkelijke snelheidsverschillen beneden v_{krit} (en te weinig voor snelheidsverschil boven v_{krit}). Het snelheidsverschil v_{krit} geeft dus het enige geval aan waarin het verhogen met een fractie p precies zoals bedoeld uitkomt. In afbeelding 6 is v_{krit} uitgezet; de waarden kunnen exact berekend worden door $v_1 = v_2$ te stellen in vergelijking (10). Uit deze grafiek wordt, bijvoorbeeld, duidelijk dat, op een volgafstand van 80.21 m, bestuurders die hun relatieve snelheid met 25% willen verhogen dat disproportioneel zullen doen voor alle verschillensnelheden beneden 148.2 km/h. Omdat de waarden van de kritieke snelheid zo hoog zijn, zoals afbeelding (6) laat zien, mag men concluderen dat een disproportionele toename in snelheid in de meeste praktische situaties in feite onvermijdelijk is.

Referenties

Janssen, W. H. De perceptie van de voorligger bij het nachtrijden. Verkeerstechniek, 1974 (25), 622-627.

¹⁾ Eenvoudigheidshalve wordt verwaarloosd dat een bestuurder de afstand tot de voorligger al verminderd zal hebben in de tijd dat hij zijn waarneming doet, en ook dat een vermindering in snelheid niet van het ene ogenblik op het andere plaats kan vinden. Beide zaken doen niets af aan de besproken implicaties.