

Optiken som gör din bil



Av Lars Rymell, Björn Le Normand och Olov von Hofsten, Eclipse



Kameror och radarsensorer i Volvo V40 placerade bakom vindrutan.



Lars Rymell är vd för specialistkonsultbolaget Eclipse Optics som han också var med och grundade. Han är doktor i fysik från LTH med mer än 20 års erfarenhet av att utveckla produkter innehållande optik och belysning.



Björn Le Normand har 15 års erfarenhet av optikutveckling av bland annat optisk touch, kameraoptik och avancerade lidarsystem. Björn var med och startade Eclipse och är i grunden doktor i laserfysik från KTH.



Olov von Hofsten är doktor i röntgenoptik från KTH och medgrundare till Eclipse. Under sina 6 år som konsult har han jobbat med optisk mätteknik, belysning och avbildande optiska system.

MATS HÅKANSON

Två av de teknikområden som utvecklats mest de senaste tio till femton åren är belysning och automation. Det elektriska ljuset såg i princip likadant ut under hela 1900-talet, men lysdiodernas genombrott som ljuskälla har revolutionerat vårt sätt att skapa belysning. På samma sätt har utvecklingen av kamerascensorn tillsammans med nya snabba processorer öppnat upp för en helt ny värld av automatisering för att förenkla vår vardag.

Sverige har en stolt tradition inom optiken och de svenska optikbolagen som Flir, Trimble, Tobii, Axis och Myconic ligger inte oväntat långt framme i utvecklingen. Mer överraskande är att det i teknikens framkant också finns stora företag som vanligtvis inte förknippas med optik. Ett bra exempel är svensk fordonsindustri som satsar stort inom säkerhet och design. Därmed krävs kompetens och innovation när det gäller belysning och automation. En modern bil är därför ett utmärkt exempel på hur optiken revolutionerar vår vardag.

Själva tekniken bakom den snabba utvecklingen har funnits länge. Lysdioder, lasrar och kamerascensorer är inga nya komponenter, men det är först när utvecklingen av konsumentprodukter öppnade upp för massproduktion som det plötsligt blev ekonomiskt möjligt att integrera dem i en bil.

Ett klassiskt exempel är lysdioden där tekniken i början var omogen. Det fanns ett begränsat antal färger och ljusstyrkan var

låg. Innovationen av den blå lysdioden gav visserligen möjlighet att skapa vita ljuskällor, men att använda dem för mer ljuskrävande tillämpningar var otänkbart. En av de första tillämpningarna var blixtrar för mobiltelefoner. Sony Ericsson lanserade till exempel en blixtr med sex vita lysdioder som tillbehör till sina första smarta telefoner i början av 2000-talet. Ljusstyrkan var emellertid fortfarande så låg att det mest handlade om en rolig gimmick. För dåtidens optikdesigners gällde det att skapa effektiva lösningar där nästan varje foton räknades. Sedan dess har utvecklingen gått fort. Idag är det en självklarhet med lysdioder i kamerablixtrar och olika typer av strålkastare. Förutom de uppenbara fördelarna när det gäller energieffektivitet och robusthet så ger lysdioderna också helt nya möjligheter för både säkerhet och design.

EXTERN BELYSNING I FORDON. När det gäller fordonens utvändiga belysning har flera av de ledande personbiltillverkarna utvecklat intelligenta strålkastare baserade på lysdioder. Ett exempel är Mercedes som lanserat en teknik de kallar Multibeam LED. För helljuset använder man sig av en matris med 84 stycken separata lysdioder i tre rader. Genom att tända och släcka varje lysdiod individuellt kan man kontrollera vilka delar av ljuskäglan som är upplysta. Detta gör att sikten blir optimal för föraren. Nedsläckning för avbländning av mötande trafik sker automatiskt och endast i det

område där mötet just då befinner sig. Inga rörliga delar krävs och anpassningen kan göras på 10 millisekunder. För halvljuset har man istället en annan lösning med en separat modul som innehåller 4 lysdioder och kollimeringsoptik. Modulen kan vridas mekaniskt upp till 12 grader för att anpassa ljuskonen till vägbanan framför bilen.

Varselljuset är också ett viktigt designelement som signalerar tillverkare och modell. Därmed ställs nya krav på estetik där tidigare funktion varit huvudsaken. Tillverkare som Mercedes, Audi och BMW använder en teknik med en rad av vita lysdioder och en specialanpassad ljusledare i plast framför som formar en linje av ljus. I tidiga versioner såg man en rad av distinkta prickar, en för varje lysdiod. Numera har optikdesignen av ljusledaren förfinats så att prickarna smälter ihop i en jämnt formad linje. Sedan kan industridesignern forma linjen enligt sina önskemål där samma tekniska grundlösning används för många olika former på ljuset. Som exempel använder BMW en ring som omsluter helljuset. Samma princip används även för bakljus och blinkers. För blinkers kan man också visualisera en rörelse längs linjen genom att tända lysdioderna sekventiellt. Genom att lägga in lysdiod-chip av olika färger går det även att dynamiskt byta färg, och till exempel växla mellan varselljus och blinkers.

Färgen på lysdioderna kan också användas som designelement. Om man tittar noga ser man att Mercedes bakljus har en

smart



Head-up display i en Mercedes där viktig information speglas upp på vindrutan.

djupare röd färg än andra bilar. Det beror på att de använder lysdioder med en längre våglängd. FN-standarden för bakljus tillåter våglängder från 610 nm till 700 nm, men ögats känslighet minskar kraftigt för längre våglängder (10 ggr från 610 nm till 660 nm). Därför är det en dyr lösning att använda längre våglängd eftersom man får färre synliga lumen per watt elektrisk effekt. Effekten blir dock en tydlig premiumkänsla som är svår att uppnå på annat sätt.

INTERN BELYSNING I FORDON. Också inne i fordonet har belysningen förändrats. Runt om i kupén finns det lampor och indikatorer som hjälper föraren och gör miljön mer trivsam. Designers har fått nya möjligheter och även en växelspaksknopp måste ha en snygg belysning om man ska konkurrera idag. Även här finns det möjligheter att signalera kvalitet om man designar på rätt sätt. För en jämn och fin belysning på en text krävs det kunskap om lysdioder och hur ljuset sprids. För att få det bästa resultatet används ofta ljusledare i kombination med diffuserande ytor. Ljusledaren formsprutas i transparent plast vilket ger låg kostnad vid masstillverkning. För optikdesignern öppnas nya möjligheter jämfört med traditionella slipade linser, eftersom ljusledaren kan formas fritt i tre dimensioner med en kombination av totalreflektion (egentlig ljusledning), prismet och linser, allt i samma fysiska komponent.

Även den gamla analoga instrumentpa-

nelen är numera en display, vilket sparar in många rörliga delar. En utmaning är att displayen måste vara tillräckligt ljusstark för att synas väl även en solig dag. Samtidigt måste man reducera belysningen kraftigt på natten för att inte bländas. Den som försökt använda sin mobiltelefon på stranden en solig dag eller på natten utan att störa omgivningen inser att det är en utmaning att hantera denna dynamik.

Vi ser också exempel på hur information kan projiceras på vindrutan. Tekniken kommer från stridsflyget där man tidigt konstaterade ett behov för piloten att se information utan att behöva flytta blicken. Lösningen blev en s.k. Head-Up display (HUD) som började utvecklas redan för 60 år sedan. Det var dock i samband med lanseringen av LCD-displayen under 80-talet som den blev riktigt användbar. Viktig information projiceras i en bild som upplevs ligga så långt borta att det smälter ihop med himlen. Piloten behöver då heller inte fokusera om blicken.

Inom fordon har HUD funnits länge, men det är först nu man kan se dem i bilar utanför det absoluta lyx-segmentet. Den enkla HUD:en är endast en halvgenomskinlig spegel, ofta själva vindrutan, som kan reflektera en vanlig liten display. Displayen upplevs sväva precis utanför vindrutan. Föraren måste alltså fokusera om blicken till displayen så ger det inte fullständig HUD-effekt. För att lägga bilden långt borta krävs krökta speglar eller linser samt en

ljusstark källa. Helst bör den halvgenomskinliga spegeln bytas mot en avancerad ytbeläggning för att inte verkligheten ska tappa för mycket färg eller intensitet. För att uppnå dessa krav blir kostnaderna större och lösningen kräver mer utrymme.

En utmaning är att en HUD även måste fungera när användaren flyttar huvudet. Området inom vilket displayen syns på ett bra sätt definieras som "eye-box". Större eye-box och stort synfält ger stora optiska komponenter. Komponenterna kan också vara svåra att massproducera, eftersom ytnoggrannheten måste vara hög över ett stort område för att upplösningen ska bibehållas. I en bil krävs en stor eye-box för att fungera för olika förare, och därför är ofta synfältet väldigt litet. Idealet är naturligtvis att kunna täcka hela vindrutan, men det är i nuläget inte realistiskt att uppnå.

KAMEROR FÖR SÄKERHET. En annan nyckelkomponent i en modern bil är detektorer i form av fotodioder och kamerasensorer. Ett av de allra första exemplen på detta var regnsensorn. Grundprincipen är väldigt enkel. En lysdiod och en fotodiod placeras skärmade från varandra direkt innanför vindrutan. När vindrutan är torr totalreflekteras ljuset i gränsytan mellan glas och luft till detektorn, men om vindrutan är täckt av vattendroppar, som har nästan samma brytningsindex som glaset, transmitteras ljuset och når inte längre fotodioden.

Numera finns det en mängd mycket mer ▶

avancerade sensorer baserade på kamera-teknik i fordon. Revolutionen i kvalitet för bilder tagna med mobilkameror visar att även billiga kameror numera kan ge hög prestanda om man har väldigt stora serier. Komponentpriset är cirka 20 dollar för de två kamerorna i en modern Iphone och då får man betydligt mer avancerade kameror än det man kan hitta i en bil. I många moderna bilar sitter en eller flera kameror bakom vindrutan, oftast i närheten av backspe-geln (titta gärna efter själv!). Kamerorna används för att läsa vägskyltar, följa vägmarkeringar och varna för fotgängare eller djur. Med stereokamerateknik kan man också räkna ut avstånd till objektet och automatiskt bromsa för en framförvarande bil. För de smarta strålkastarna används kameran till att identifiera mötande trafik och automatiskt blända ner samt för att styra ljuset efter hur vägen kröker sig.

Det är inte bara framåt man riktar kame-ran. Backkameror har funnits en tid som ett komplement till backspeglarna och nu arbetar man mycket på att få full uppsikt runt hela bilen ("360°-surveillance"). I synnerhet gäller det tunga fordon där risken för oskyddade trafikanter är stor. Tekniskt enklast vore antagligen att ersätta både back-spegel och sidospeglar med kameror och displayer. Här har dock tekniken hamnat i konflikt med föråldrade regelverk. Tesla fick erfa detta för ett par år sedan då det visade sig att amerikanska standarder inte accepterade en bil utan sidospeglar.

EN ANNAN INTRESSANT teknik för att hålla uppsikt runt fordonet är att använda laser-radar. Man skickar då ut infraröda laserpul-ser mot ett objekt. Med en fotodiod (eller kameran sensor) mäter man sedan tiden det tar för reflexen att komma tillbaka. Detta ger ett mått på avståndet till objektet. Genom att svepa med laserstrålen kan man få flera mätningar över ett större synfält. Jämfört med stereokameratekniken så kan man få en mycket bättre avståndsprecision. En svår teknisk utmaning är att mäta svaga reflexer då signalstyrkan avtar som avståndet i kvadrat. Dessutom störs signalen av omgivande solljus som kan vara många tio-potenser starkare. Den lasereffekt man får skicka ut begränsas samtidigt av krav på ögonsäkerhet.

Kameror används inte bara för att kon-trollera vad som händer utanför fordonet. Ett exempel på kameror som riktar in i kupén är s.k. Driver Monitoring Systems (DMS). Man kan då detektera blinkreflexer eller använda eye-tracking, där en kamera övervakar förarens ögonrörelser. På så sätt kan systemet varna om det finns risk att föraren somnar eller inte har sin uppmärksamhet på vägen.

Att anpassa kameror till fordon ställer tillverkarna inför stora utmaningar, fram-förallt på grund av den krävande miljön. Ett

problem är att få tillräcklig dynamik för ka-meran, som ska hantera kraftigt varierande ljusförhållanden beroende på väder och tid på dygnet. Tekniken ska fungera lika bra en solig dag vinterdag med snö som på en regnvtå landsväg en mörk kväll i november. Våra mänskliga ögon är otroligt bra på att hantera variationer i ljusförhållanden, men det är inte lika enkelt i en kamera. Oftast används fixt bländartal för att få låg kost-nad, så den enda parameter som kan varie-ras är exponeringstiden. Ljusförhållanden kan också variera kraftigt i olika delar av synfältet, och därmed även på olika delar av sensorn. Ett typiskt exempel är ett kraf-tigt lysande trafikljus i en i övrigt mörk bild. Dynamiken för moderna kameran sensorer är cirka 1000:1, så antingen är trafikljuset överexponerat eller också är man blind för de delar av synfältet som är 1000 gånger ljussvagare än ytafikljuset. Dynamikpro-blemet kan till viss del hanteras med teknik som kallas high dynamic range (HDR), där man kombinerar flera bilder tagna vid olika exponeringar. Tillverkare av kameran sen-sorer arbetar även med att lägga in lösningar för HDR direkt i designen av sensorchippet. Ett lite mer radikalt sätt att hantera svårig-heter som dessa är att samtidigt använda kameror i flera olika spektrala områden, så kallat hyperspektral avbildning. Ett exem-pel är de värmekameror med våglängder runt 8–12 μm som redan implementeras i mer exklusiva bilar.

YTTERLIGARE EN UTMANING är att kamerorna ska fungera i ett stort temperaturintervall. En vanlig standard inom fordonsindustrin är att systemen ska kunna fungera mellan -25°C och $+70^\circ\text{C}$. Detta medför problem med fokuseringen av kameran då avstån-det mellan linser och sensor kan ändras på grund av termiska effekter i materialet. Samtidigt används oftast fixt fokus för att få ner priset så ingen justering kan göras under drift. Kamerorna måste vara snabba med kort exponeringstid, vilket kräver mycket ljus till sensorn. Oftast används bländare runt F/2 och en stor bländaröpp-ning medför då också ett litet skärpedjup.

Som exempel blir skärpedjupet i bilden ca $20\mu\text{m}$ för $5\mu\text{m}$ pixelavstånd. Om man tittar på termisk expansion i aluminium ($23\text{ppm}/^\circ\text{C}$) får man cirka $5\mu\text{m}$ rörelse för 50°C temperaturändring om man antar en typisk fokallängd på 5 mm. Detta motsvarar 25 procent av skärpedjupet, så man inser att problemet är utmanade.

När man ska designa en kamera för ett fordon blir också geometrierna en aspekt att hantera. För en kamera som tittar framåt vill man gärna ha ett bildfält på 80 grader eller mer i horisontell led, men vertikalt kan man kanske nöja sig med 20–30 grader. Inte ens en modern sensor i 16×9 -format är speciellt anpassad för detta.

Det kan också vara värt att poängtera att vi här fokuserar på hårdvara. Den stora ut-vecklingskostnaden ligger på att utveckla smarta algoritmer för att analysera den information som sensorerna ger. Den som rest runt i Europa och sett alla olika varian-ter av vägskyltar inser att det medför en hel del arbete.

SLUTLIGEN KAN DET VARA VÄRT att påminna om att fordonsindustrin bara är ett område som kan dra nytta av den snabba utveck-lingen inom belysning och automation. Ett annat område är medicinteknik där auto-matiserade mikroskop med lysdiodsbelys-ning och kameran sensorer används till att snabbt genomsöka stora mängder prover för att diagnosticera sjukdomar. I våra hem kommer vi att se allt fler smarta funktioner och helt nya sätt att skapa innovativ och energieffektiv belysning. Inom industri och sjukvård kommer smarta robotar ta över ännu mer av det monotona och fysiskt krä-vande arbetet.

På samma sätt som fordonsindustrin dragit nytta av utvecklingen när det gäller smarta telefoner kommer andra områden också att dra nytta av den nya optiska tek-niken vi nu ser i våra bilar. ■



Frambelysning Mercedes. Varselljus som också används som blinkers (A). Rörlig halv-ljusmodul (B). HELLJUSMODUL baserad på lys-diodsmatrix (C).