

Design & 3D-placering av informationsljud för ökad säkerhet & komfort samt förstärkt varumärke

Författare: Andre Lundkvist, Arne Nykänen, Annie Rydström, Anders Ågren

Datum: 160901

Delprogram: Fordons- & trafiksäkerhet



Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary.....	3
3 Bakgrund.....	4
4 Syfte, frågeställningar och metod.....	6
5 Mål	6
6 Resultat och måluppfyllelse	7
6.1 Leverabler	7
6.2 WP1.....	7
6.3 WP2.....	8
6.4 WP3.....	8
7 Spridning och publicering	9
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	9
7.2 Publikationer.....	9
8 Slutsatser och fortsatt forskning	10
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	11
10 Referenser.....	12

1 Sammanfattning

Nya varnings- och förarstödsystem i bilar medför fler sekundäruppgifter som kräver förarens uppmärksamhet. Ett robust perceptuellt intryck fås genom kombination och integration av signaler från olika sinnen. Den mänskliga hjärnan skapar en robust upplevelse genom att integrera information hämtad från flera sinnen (sensoriska modaliteter). För att minska den mentala belastningen på föraren kan information ges som en kombination av visuella, auditiva och haptiska signaler. Signaler med låg spatial (rumslig) sammanhållning ger sämre perceptuell integration och därigenom sämre körsäkerhet.

Syftet med Arbetspaket/WP 1 har varit att studera hur spatial placering av ljud påverkar prestationer på körning och sekundäruppgifter i bil. Projektet har bekräftat att placering av ljud påverkar körprestation genom att dra uppmärksamhet till sig. Fördelar kan följaktligen uppnås med väl vald placering av förarstödjande ljud. Multimodala signaler har undersökts, där typiska responstider till ljud, vibrationer och visuella signaler (eller kombinationer) dokumenterats. Visuella signaler ger kortast responstid, men kan lättare missas av föraren. Ljud och vibrationer ger lika kort responstid. Fram/bak-förväxlingar är ett av de större problemen för virtuellt 3D-ljud i bilkupéer. Därför har en modell för virtuellt 3D-ljud utvecklats, med målsättningen att minska fram/bak-förväxlingarna för ljud som typiskt används i användargränssnitt. Modellen har i lyssningstest visats ge mindre andel fram/bak-förväxlingar jämfört med konsthuvudinspelningar, på bekostnad av en sämre precision i lokalisering. Algoritmer för binaural syntes har också tagits fram och utvärderats. De nya algoritmerna förbättrar vår förmåga att skilja på om ljud kommer fram ifrån eller bakifrån jämfört med traditionella inspelningsmetoder. De nya algoritmerna kan uppnå bättre säkerhet gällande vissa aspekter för lokalisering utan att införa rumsklang i ljuden.

I Arbetspaket/WP 2 har metoder och strategier för design av informations- och varningsljud i bil utvecklats. Arbetspaketet har utgått från metodik utvecklad för industriell design, vilken av tradition har fokus på formgivning. Denna metodik bygger i hög grad på skisser och visualiseringar, något som ger möjligheter till kreativa processer genom att snabbt ta fram, sprida och utveckla idéer. De viktigaste resultaten från momentet är utveckling och utvärdering av verktyg för skissning och snabb prototypframtagning av ljud för användargränssnitt med hjälp av spelmotorteknik hämtad från datorspelsindustrin. En prototypmiljö har utvecklats, vilken kommer att användas i framtida projekt. En 3D-ljuddisplay för parkeringshjälp har också utvecklats och utvärderats. Man fann att det var lägre upplevd ansträngning för system med 3D ljud jämfört med system utan spatial information i ljudet.

Arbetspaket/WP 3 har bestått av ett antal förutvecklingsprojekt inom Volvo Cars med koppling till HMI och ljud. Arbetet har fokuserat på "Safe and Harmonic Sound Experience". Ljudskisser, dvs. olika typer av ljud för välkomstljud, informationsljud och varningsljud, togs fram i projektet och utvärderades på olika marknader. Man har även arbetat med metodutveckling för mätning och kalibrering av "loudness" och mätning av emotionell upplevelse av interaktiva ljud.

2 Executive summary

The amount of information in modern cars has increased rapidly and is expected to increase even more in the future, when car makers are adding additional communication- and driver support systems. At the same time there is an increasing need of, or wish for, having access to information and to be available in the car while driving. This leads to a need of designing interfaces that makes it safe and efficient to communicate while driving. In addition, safety systems and driver support systems needs a way to communicate effectively with the driver. The use of well-designed sounds, 3D sounds and multimodal communication, i.e. to incorporate several of the human sensory modalities in the communication, is promising. It is thus important to build knowledge on how to incorporate these and make use of the human senses in the best way possible within the car.

In this project it has been studied what effects the spatial placement of sound signals has on the driving task and secondary task performance. The studies have confirmed that the placement of sounds has an effect on the driving task, since the sounds brings the attention to its direction. Hence, there are benefits of using supporting sounds. Multimodal signals have also been studied, and the response times for sounds, vibrations and visual signals (and combinations thereof) have been documented. There are shorter response times to visual signals, but they are more easily missed by the driver. Sounds and vibrations have equally short response times.

Front and back confusions is an issue when it comes to virtual 3D-sounds in cars. Therefore a model for virtual 3D-sounds was developed, with the aim of decreasing the confusions for sounds typically used in user interfaces. The model was shown to give fewer confusions compared to traditional methods, although gave a poorer precision in localisation. Algorithms for binaural synthesis has also been developed and evaluated in the project. The new algorithms improves our ability to perceive if sounds are coming from the front or from the back compared to traditional methods.

Methods and strategies for the design of information and warning sounds for cars has been developed in the project. Methods that is used in industrial design, such as sketching and visualisation, has been adapted to the fit the area of sound. This makes it possible to have creative processes and quickly prototype, spread and develop ideas. The most important results includes the development and evaluation of prototyping tools based on a gaming platform. A 3D sound display for parking assistance has been developed and evaluated. It was found that the drivers perceived a lower degree of effort when using the system based on 3D sound compared to a system without spatial information.

Sound sketches, i.e. different sounds for welcoming, information and warning in the car, was designed and was tested on different markets. The results gave valuable insights on cultural differences when it comes to sound preferences and what sounds that are associated with what type of information and warning. This information was used as input for the sounds designed for the Volvo car models that went into production in 2015. In addition, the work in the project has formed a sound development process for sounds related to user interfaces at Volvo Cars. Measurement and calibration of "loudness" and measurement of emotional experience has also been part of the project.

The use of 3D sounds and multimodal information for systems in cars is promising. In the project it has been shown that 3D sounds can enhance existing systems that is usually based on visual information, by reducing drivers' workload, frustration and effort. The methods for designing and testing sounds is also a main contribution from this project.

3 Bakgrund

Informationsflödet i moderna bilar förväntas öka, med allt mer utvecklade kommunikationssystem och förarsupportsystem. Samhällsutvecklingen medför ett ökat behov av, eller en önskan om, att ha tillgång till mer information och att vara ständigt tillgänglig. Detta leder till behov av att kommunicera effektivt och säkert med föraren under körning. Säkerhetssystem och förarsupportsystem kräver också en väl fungerande kommunikation med föraren. Denna kommunikation bör vara multimodal, det vill säga nyttja flera sinnen. Det är därför viktigt att bygga kunskap om hur man nyttjar våra sinnen på bästa sätt. Nyttan med multimodala signaler framgår tydligt från tidigare studier. Den mänskliga hjärnan skapar en robust upplevelse genom att integrera information hämtad från flera sinnen (sensoriska modaliteter). Integrationen påverkas av de olika källornas relevans. Sensoriska modaliteter som har bättre förutsättningar för att vara tillförlitliga ges en högre vikt. Hjärnan gör en uppskattning baserad på intrycken och denna uppskattning kommer att påverkas av variationer och tillförlitlighet hos olika sinnesintryck (Alais, 2010; Ernst och Bühlhoff, 2004). För signaler/intryck som inte sammanfaller i tid och rum är sannolikheten för integration lägre (Ernst och Bühlhoff, 2004). För audio-visuell integration dominerar vanligtvis den visuella modaliteten för rumsuppfattning, t.ex. för lokalisering och igenkänning av föremål, medan den audiella modaliteten dominerar för temporala uppgifter, t.ex. att dra uppmärksamhet till händelser eller för bedömning av hastighetsförändringar hos ett föremål (Shams och Kim, 2010). Det är

därför troligt att många signaler i en bil skulle kunna förbättras genom lämplig användning av ljud. Shams och Kim (2010) har visat att framträdande stimuli i en annan modalitet, t.ex. hörseln, kan förbättra visuell uppmärksamhet på specifika platser, även om den auditiva informationen inte är kopplad till det visuella. De har också visat att plötsliga och oförutsägbara ljud kan förbättra visuell signaldetektering. Dessa resultat tyder på att rumslig placering av ljud i en bil, signalljud såväl som telefonljud och underhållningsljud, kan påverka uppmärksamheten på bilkörningen och prestationen på sekundäruppgifter (t.ex. användning av navigationssystem i bil eller läsning av textmeddelanden). Det finns dock få tidigare studier som visar hur placeringen av ljud påverkar bilkörning och sekundäruppgifter under bilkörning. I en studie av Hatfield och Chamberlain (2008) undersöktes hur körprestationen påverkades av musik beroende på om den spelades från instrumentbrädan eller från baksätet. Deras resultat indikerade små skillnader på körprestation. När ljud spelades bakifrån höll försökspersonerna högre hastighet när de närmade sig fotgängare. När ljud spelades framifrån ökade risken för kollisioner med andra fordon. Inte bara ljudets placering, utan också typ av ljud (t.ex. telefoni, radio, talade meddelanden, varningsljud, etc.) och innehåll påverkar resultaten.

De flesta dokumenterade studier har fokuserat på typ av källa och inte på betydelsen av var ljudet placeras. Därför har betydelsen av placeringen av ljudsignaler på prestationer vid bilkörning undersökts i 3D Sound Design, både vid simulerad bilkörning och vid verklig bilkörning i parkeringssituationer. En tillämpning där ljudkällans placering finns med som en del av ett mer komplext människa-maskin gränssnitt är handsfree för mobiltelefoner. Flera studier har jämfört handhållen mobiltelefoni med handsfree men inga signifikanta skillnader i korrelerade prestationer har kunnat påvisas mellan de två telefonformerna (Alm och Nilsson, 1995; Strayer et al., 2004; Patten et al., 2004; Törnros och Bolling, 2005). Vid jämförelse mellan körning under telefonkonversation och körning utan telefon har skillnaden visat sig vara större för äldre personer (över 60 år) jämfört med yngre personer (Alm och Nilsson, 1995). För gruppen med äldre förare ökade reaktionstiden på grund av telefonkonversation med ungefär 1.5 s jämfört med 0.6 s för gruppen med yngre förare. Detta visar att äldre förare kan påverkas mer av att bilkörningen störs av talad information än yngre. Det finns också studier som visar att äldre personer oftare har svårt att hantera situationer som kräver att man skall välja vilken sensorisk modalitet som uppmärksamheten skall fästas på (Spence, 2010). Utöver ålder har man visat att personers arbetsminneskapacitet korrelerar med hur störda de blir av ljud. Personer med hög arbetsminneskapacitet har lättare för att hålla koncentrationen på en uppgift när de störs av plötsliga ljud (Sörqvist, 2010). Man kan därför misstänka att ett motsvarande förhållande råder mellan förmågan att koncentrera sig på bilkörning under störning av ljud. Kunskap om sådana förhållanden är viktig vid design av människa-maskin-gränssnitt för bilar. En hypotes är att individer med hög arbetsminneskapacitet kan prestera bra vid körning under störning av ljud medan individer med lägre arbetsminneskapacitet störs mer. Personer med lägre arbetsminneskapacitet skulle därmed ha mer att vinna på god design och placering av ljudkällor i bilen. Det är alltså viktigt att undersöka hur olika grupper av människor påverkas av signalljud och störningar, t.ex. beroende på arbetsminneskapacitet eller ålder. Kan man påvisa goda effekter på någon enskild grupp kan detta vara anledning nog till att införa en lösning. Därför planerades studier av effekterna av ålder och arbetsminneskapacitet i projektet. I ett försök mättes ålder och arbetsminneskapacitet, men undrelaget som samlades in räcker inte för att dra slutsatser. Denna forskningsfråga är alltså fortfarande obesvarad, men metodiken och det insamlade materialet kommer att användas i framtida forskning.

Det finns således flera studier som visar att placeringen av ljud i rummet kan ha betydelse. I projektet bekräftades att effekterna är tillräckligt stora för att signifikant påverka korrelerade prestationer. Eftersom det inte alltid är möjligt att placera högtalare på alla ställen där man vill placera ljud behövs metoder för virtuellt 3D-ljud. Denna typ av teknik har länge använts t.ex. i musikreproduktionsanläggningar och hemmabiosystem, men kraven skiljer sig markant från de krav man ställer i en tillämpning för ljudsignaler i en bil. På en musikreproduktionsanläggning ställs mycket höga krav på att algoritmerna inte medför hörbara artefakter eller störningar och att tekniken skall fungera i hela det hörbara frekvensområdet. För att kunna nyttja tekniken för att placera ut informationsljud i en bil ställs andra krav. Det är rimligt att anta att det kan krävas precision i placeringen av ljud för att önskade effekter vid människa-maskin-interaktion i bil skall uppnås. Att definiera kravet på precision ingår som ett delmoment i projektet. Hörbara artefakter kan å andra sidan vara acceptabla i en signalljudstillämpning. Artefakterna kommer att bli en del av ljudet.

Med en väl genomförd ljuddesign kan det vara möjligt att innefatta de tekniska artefakterna som en del av det designade ljudet. Man behöver inte heller ställa kravet att tekniken skall fungera i hela det hörbara området. Kända begränsningar i teknikens förmåga att återge ljud i vissa frekvensområden kan hanteras vid designen av ljuden genom att inte nyttja dessa frekvensområden. I 3D Sound Design har algoritmer för virtuellt 3D-ljud utvecklats, med hänsyn till de särskilda krav man ställer i användargränssnitt för bilar. Vidare har designmetodik för ljud i människa-maskin-gränssnitt utvecklats vidare.

4 Syfte, frågeställningar och metod

Följande åtta forskningsfrågor har ställts initialt i projektet:

1. Hur påverkar ljud som spatialt sammanfaller med visuellt baserade uppgifter prestationerna på körning och sekundäruppgifter jämfört med ljud som spatialt inte sammanfaller med visuell information?
2. Hur kan crosstalk-cancellation-algoritmer förbättras för att skapa stabila och tillförlitliga 3D-ljud i bilar?
3. Hur påverkar artificiellt utplacerade 3D-ljud prestationerna för körning och sekundäruppgifter jämfört med ljud som skapats med hjälp av ljudkällor (högtalare) i samma positioner?
4. Hur beror effekter av 3D-ljud i människa-maskin-gränssnitt på ålder hos förare?
5. Hur beror effekter av 3D-ljud i människa-maskin-gränssnitt på förarens arbetsminneskapacitet?
6. Hur skall multimodala signaler bestående av ljud, ljus och vibrationer hanteras i produktutvecklingsprocessen?
7. Hur skall design av 3D-ljud för multimodala människa-maskin-gränssnitt hanteras i produktutvecklingsprocessen?
8. Hur skall ett varningsljud designas för att uppnå rätt varningsnivå?

Forskningsfråga 1, 6 och 7 har besvarats i de i projektet ingående studierna.

Forskningsfråga 2 har modifierats. Istället för att studera crosstalk-cancellation har algoritmer för binaural syntes studerats, och en algoritm som minskar andelen fram/bak-förväxlingar utvecklats.

Forskningsfråga 3 har endast delvis berörts. Experiment med verklig eller simulerad bilkörning har inte gjorts. Däremot har fram/bak-förväxling och precision i lokalisering studerats i laboriemiljö. Resultaten ger god vägledning för design av artificiellt 3D-ljud för användargränssnitt i bilar, även om våra studier inte mätt upp hur väl artificiellt 3D-ljud fungerar vid verklig bilkörning i jämförelse med ljud reproducerat genom högtalare.

Forskningsfrågorna 4 och 5 har berörts i projektet. Mätmetoder har utvecklats och datainsamling har påbörjats, men de data som samlats in i projektet räcker inte för att dra slutsatser. Frågorna kan därför inte besvaras, men resultaten kommer att tas vidare till framtida forskning.

Forskningsfråga 8 har endast berörts indirekt genom utveckling av metodik som huvudsakligen berör forskningsfråga 6 och 7.

5 Mål

Målet i projektet har varit att studera hur design av varningsljud och spatial placering av ljud påverkar bilkörningen, effektiviteten av säkerhetssystem och förarens förmåga att utföra sekundära uppgifter.

6 Resultat och måluppfyllelse

6.1 Leverabler

Planerade leverabler	Utfall
1 doktorsexamen	André Lundkvist kommer att disputeras 2016-10-12
1 docentur	Arne Nykänen har lämnat in ansökan till LTU
5 artiklar i vetenskapliga journaler	3 artiklar är publicerade och 2 skickade för granskning
6 konferensartiklar	3 konferensartiklar
3 workshops på Volvo Cars	4 workshops på Volvo Cars
Utbyte i form av gästforskning med Aalborg University eller ISVR Southampton	Arne Nykänen har gjort ett ettårigt Marie Skłodowska-Curie Individual Fellowship vid Anglia Ruskin University, Cambridge, UK

6.2 WP1

I Arbetsspaketet/WP 1 har effekter av rumslig placering av ljud på körprestation och prestation på sekundäruppgifter i bil undersökts. Planen var att även undersöka hur ålder och arbetsminneskapacitet påverkar. Ålders- och arbetsminneskapacitetsdata har samlats in i ett experiment, men underlaget är inte tillräckligt för att dra slutsatser. Materialet kommer att användas i framtida forskning. Arbetsspaketet har delats in i fyra delar (Taks):

Task 1: Att bestämma hur rumslig placering av informations- och varningsljud påverkar körprestation och prestation på sekundäruppgifter vid simulerad bilkörning. Målsättningen var att ta fram riktlinjer för hur högtalare och virtuellt utplacerade ljudkällor skall placeras i en bilkupé. Två experiment har genomförts. Resultaten har publicerats i två journalartiklar (Lundkvist, Nykänen & Johnsson, 2016; Lundkvist & Nykänen, 2016). Studierna har bekräftat att placering av ljud påverkar körprestation genom att dra uppmärksamhet till sig. Fördelar kan uppnås med väl vald placering av förarstödjande ljud. Multimodala signaler har också undersökts, där typiska responstider till ljud, vibrationer och visuella signaler, och kombinationer av dessa, uppmätts. Visuella signaler eller visuella signaler i kombination med ljud och/eller vibrationer gav kortast responstider. Eftersom rent visuella signaler lätt kan missas av föraren är det att rekommendera att kombinera dem med ljud och/eller vibrationer. Ljud och vibrationer gav lika korta responstider.

Task 2: Att bestämma om ålder och arbetsminneskapacitet påverkar hur rumslig placering av varnings och informationsljud förändrar prestationen på simulerad bilkörning och visuellt baserade sekundäruppgifter. Metodiken för att mäta arbetsminneskapacitet i anslutning till körexperiment har valts och provats ut. Insamling av data har skett i ett experiment där 3D-ljuddisplayer för parkeringshjälpsystem utvärderades. Underlaget är dock inte tillräckligt för att dra slutsatser om ålderns och arbetsminneskapacitetens roll. Materialet och metodiken kommer att användas i framtida forskning.

Task 3: Utveckling av algoritmer för binaural syntes och crosstalk cancellation för bättre prestanda i bilkupé, särskilt anpassade för placering av signalljud och kommunikation (tal). Fram/bak-förväxlingar är ett av de större problemen för virtuellt 3D-ljud i bilkupéer. Därför har en modell för virtuellt 3D-ljud utvecklats, med målsättningen att minska fram/bak-förväxlingarna för ljud som typiskt används i användargränssnitt, det vill säga talade meddelanden och ljudsignaler. Modellen bygger på en s.k. image-source modell där fokus lagts på tidiga reflexer. Modellen har i lyssningstest visats ge mindre andel fram/bak-förväxlingar jämfört med konsthuvudinspelningar, på bekostnad av en sämre precision i lokalisering. Detta ger underlag för att välja metod för virtuellt 3D-ljud, beroende på vilken typ av prestanda som är viktigast i en given tillämpning. Resultaten presenteras i en journalartikel som är skickad till Journal of the Audio Engineering Society för granskning (Lundkvist, Johnsson & Nykänen, 2016). Studien gjordes med hörlurar. Planen var att även utvärdera hur algoritmerna fungerar vid högtalarlyssning med hjälp av crosstalk cancellation. Detta har inte hunnits med i projektet. Framtida forskning får visa hur prestanda påverkas i sådana tillämpningar. Inte heller har ljudkvaliteten för ljud som reproducerats genom

algoritmerna utvärderats i lyssningstest. Informella bedömningar ger dock anledning att anta att ljudkvaliteten borde bedömas vara god.

Task 4: Upprepning av experimenten från Task 1 med artificiellt skapade 3D-ljud. Denna del har inte genomförts, på grund av att utvecklingen och utvärderingen av algoritmerna för virtuellt 3D-ljud varit mer tidskrävande än förväntat.

Algoritmer för binaural syntes har tagits fram och utvärderats. De nya algoritmerna förbättrar vår förmåga att skilja på om ljud kommer framifrån eller bakifrån jämfört med traditionella inspelningsmetoder (konsthuvudinspelningar). Utvärderingen visar att typ av signalljud spelar stor roll för att algoritmerna ska förbättra vår lokaliseringsförmåga. De nya algoritmerna har sämre prestanda i vinkelnoggrannhet jämfört med konsthuvudinspelningar, och ljud tenderar att upplevas rakt ifrån sidan istället för snett framifrån eller snett bakifrån. Andra fördelar med de nya algoritmerna är avsaknad av rumsklang, som annars behövs i konsthuvudinspelningar för att uppnå den prestanda som jämförts i utvärderingen. Avsaknad av rumsklang lämpar sig bra för signalljud.

6.3 WP2

I Arbetsspaket/WP 2 har metodik för produktljuddesign framtagen i det tidigare FFI-finansierade EFESOS-projektet utvecklats vidare. Resultaten från EFESOS har sammanfattats och publicerats i en journalartikel (Nykänen, Wingstedt, Sundhage & Mohlin, 2015). Vidare har två nya fallstudier genomförts.

Task 5: Designmetodik för kombinerade ljus, ljud och vibrationssignaler. Design av multimodala signaler ingick som en del av experimentet som beskrivits under WP1 Task 1 och som redovisades i Lundkvist & Nykänen (2016).

Task 6: Design av varnings- och informationsljud i 3D för multimodala människa-maskin-gränssnitt med fokus på förare och förarstödsystem. I denna del har två fallstudier genomförts:

1. "Eco-coaching", dvs. ett system som genom kontinuerlig återkoppling skall informera föraren om hur energieffektivt hen kör. En förstudie gjordes inom 3D Sound Design-projektet, och utökades med ett Horizon 2020-finansierat projekt med titeln "Safe and Sound Drive". Resultat har redovisats i ett konferensbidrag (Nykänen, Lundkvist, Lindberg & Lopez, 2016). Safe and Sound Drive pågår fortfarande, och fler artiklar är planerade. De viktigaste resultaten från momentet är utveckling och utvärdering av verktyg för skissning och snabb prototypframtagning av ljud för användargränssnitt med hjälp av spelmotorteknik hämtad från datorspelsindustrin. En prototypmiljö har utvecklats, och denna kommer att användas i framtida projekt, bland annat i en förstudie i samarbete mellan Luleå tekniska universitet, Scania och Interactive Institute Swedish ICT.
2. 3D-ljuddisplay för parkeringshjälp. En 3D-ljuddisplay utvecklades och utvärderades. Deltagarna i utvärderingen var väl mottagliga för 3D ljud. Upplevd ansträngning var signifikant lägre för systemen med 3D ljud jämfört med system utan spatial information i ljudet. Tendenser till reducering av mental belastning och frustration observerades också. Deltagarna upplevde en högre känsla av trygghet när spatiala ljud användes. Slutsatsen var att parkeringshjälpsystem kan med fördel använda sig av riktning i ljuden för att informera om hinder runt bilen. Resultaten redovisades i Lundkvist, Johnsson, Nykänen & Stridfelt (2016), som skickats till SAE International Journal of Commercial Vehicles för granskning.

6.4 WP3

Arbetet på Volvo Cars har fokuserat på "Safe and Harmonic Sound Experience". Ljudskisser, dvs. olika typer av ljud för välkomstljud, informationsljud och varningsljud, togs fram i projektet och utvärderades och verifierades, både internt på Volvo Cars och externt med kundkliniker i Sverige, Tyskland, USA och Kina. Resultatet gav värdefulla insikter i både kulturella skillnader gällande ljudpreferenser och vilka ljud som associeras med vilken information/varning. Förutom ljudskisserna, som användes som råmaterial till processen att designa ljud för bilmodeller som började produceras 2015, så har WP3 lagt grunden till en ljudutvecklingsprocess som beaktar aspekter gällande HMI, teknik och varumärke. En del i detta har varit metodutveckling vad gäller mätning och kalibrering av "loudness" och mätning av emotionell upplevelse av interaktiva ljud. Dessa metoder har implementerats i Volvo Cars ljudutvecklingsprocess. Man har gjort en

fallstudie med fokus på interaktion med pekskärm med auditiv återkoppling, där man testat olika typer av ljud. Dock hittade man inga signifikanta skillnader i just denna studie mellan olika typer av ljud. En testbil för ändamålet att testa ljud i bil har också tagits fram inom projektet.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Publicering av resultat i vetenskapliga journaler och vid vetenskapliga konferenser.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Kunskap och resultat har förts vidare till det Horizon 2020-finansierade projektet "Safe and Sound Drive". Kunskap och resultat kommer också att föras vidare till den planerade FFI-finansierade förstudien "Ljudbaserade förarrgränssnitt för sparsam körning – Konceptstudie".
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Kunskap från projektet har används/kommer att användas för att designa ljud i bilprojekt
Introduceras på marknaden	X	
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

7.2 Publikationer

"Signal Sound Positioning Alters Driving Performance", A. Lundkvist, A. Nykänen, R. Johnsson, *SAE International Journal of Transportation Safety – Occupant Safety; Driver Performance*, 2016, DOI: 10.427/2015-01-9152

"Response Times for Visual, Auditory and Vibrotactile Directional Cues in Driver Assistance Systems", A. Lundkvist, A. Nykänen, *SAE International Journal of Transportation Safety – Occupant Safety; Driver Performance*, 2016, DOI: 10.427/2015-01-9153

"Localisation Performance of an Image-Source Model Compared to Artificial Head Recordings", A. Lundkvist, R. Johnsson, A. Nykänen, *Audio Engineering Society (Submitted)*, 2016

"3D Auditory Displays for Parking Assistance Systems", A. Lundkvist, A. Nykänen, R. Johnsson, J. Stridfelt, *SAE International Journal of Passenger Cars – Multimedia Systems (Entertainment, External Communications, Vehicle Monitoring) (Submitted)*, 2016

"Safe and Sound Drive: Sound Based Gamification of User Interfaces in Cars", A. Nykänen, A. Lundkvist, S. Lindberg, M. Lopez. AES 61st International Conference: Audio for Games. London, 2016.

"Sketching sounds – Kinds of listening and their functions in designing", A. Nykänen, J. Wingstedt, J. Sundhage, P. Mohlin, *Design Studies* 39, 19-47, 2015.

"Sketching sounds – Listening, moving and listening again", A. Nykänen, J. Wingstedt, J. Sundhage, P. Mohlin, *Forum Acusticum*, Krakow, 2014.

"Effects on localization performance from moving the sources in binaural reproductions", A. Nykänen, A. Zedigh, P. Mohlin, *Inter-Noise 2013*, Innsbruck, 2013.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Användning av 3D ljud för förarstödjande system i bilar är ett gångbart och intressant koncept. Det har visat sig att 3D ljud kan förbättra existerande system som normalt använder visuell information genom att reducera förarnas arbetsbelastning, frustration och ansträngning. Tillägget av riktning i informationsljud är väl accepterat av unga förare och de upplever ökad komfort och säkerhet. 3D ljud kan skapas på flera olika sätt i en bilkupé och traditionella metoder såsom surround system kan vara ett gångbart alternativ om ljudens placering kan vara inuti den fysiska begränsningen av bilkupén. Däremot kan det vara fördelaktigt att placera ljuden utanför bilens fysiska kupé, om vi vill att föraren ska bibehålla fokus på något utanför bilen, eftersom ljud drar uppmärksamheten till den plats man upplever att ljudet kommer ifrån. Andra tekniker än surround system finns för att möjliggöra placering av ljudkällor utanför bilen. crosstalk cancellation har visat sig ha potential att fungera väl i en bilkupé, givet att högtalarnas placering väljs med omsorg. Då kan undertryckning av överhörning ner till -30 dB uppnås, vilket är tillräckligt för att reproducera binauralt ljud. Väl placerade högtalare reducerar problemkällorna som annars är väldigt vanligt med crosstalk cancellation och möjliggör dessutom användandet av väldigt detaljerade filter. Medan väldigt detaljerade filter minskar systems optimala prestationsområde finns annan teknik som negerar dess inverkan, exempelvis head tracking.

Anatomiska skillnader bland människor kommer alltid att vara ett problem för binaural ljudreproduktion, speciellt när man betraktar traditionella konsthuvudinspelningar eller syntes genom huvudrelaterade överföringsfunktioner. Genom att använda alternativa metoder för binaural syntes kan vissa delar av problemen minskas, så som fram/bak förväxlingar. Däremot kan precisionen i bedömning av vilken riktning ljudet har försämrats. Dock, beroende på vilken typ av information som ett förarstödsystem är gjort för att förmedla, finns valet att välja lämplig binaural syntes så att dess negativa effekter får minst inverkan. Begränsningar i crosstalk cancellation-algoritmer, så som plötsliga förstärkningar för vissa frekvenser, kan kringgå genom en väl utförd ljuddesign. Om ljuddesignern är medveten om systemets begränsningar kan ljudet designas runt begränsningarna och samtidigt behålla dess originalkoncept.

Artikeln "Response Times for Visual, Auditory and Vibrotactile Directional Cues in Driver Assistance Systems" (Lundkvist & Nykänen 2016) visar att det finns signifikanta skillnader i responstid till signaler med och utan visuell information. När det gäller reaktionstid ska man inte bortse ifrån visuella signaler och ersätta dessa med enbart ljud eller vibrationer. Även om en visuell signal kan vara distraherande och dra uppmärksamheten ifrån en eventuell fara, är reaktionstiden kortast. Genom att placera den visuella informationen omsorgsfullt kan eventuella risker med att dra uppmärksamheten ifrån faror minskas. Däremot är det bästa alternativet att kombinera visuellt med ljud- och vibrationssignaler. Då bibehålls den snabba reaktionstiden från den visuella signalen och minimeras risker att föraren missar informationen, eftersom multimodala signaler är signifikant svårare att inte upptäcka. Om snabb reaktionstid inte behövs kan visuell information ersättas med ljud eller vibrationer. Information som förmedlas via vibrationer kan vara mer diskreta än ljud, men det förebygger att vibrationerna kan förmedlas på ett lämpligt ställe till föraren, så som ryggstöd, säte, ratt eller pedaler. Crosstalk cancellation kan även användas för att implementera direkta ljudzoner i en bil, däremot kräver det användning av lika många högtalarpär som antalet passagerare i bilen.

Det är viktigt att placera ljudkällor i den riktning dit förarens uppmärksamhet ska dras. Publicerat material visar att föraren blir mest hjälpt med korrelerad ljudinformation om all information kommer framifrån, där föraren har fokus vid normal körning. Ljud har en naturlig tendens att påkalla uppmärksamhet och kan potentiellt dra förarens uppmärksamhet ifrån ett kritiskt område om systemen inte är konstruerade på rätt sätt. Till exempel kan ljud användas för att varna föraren för faror på vägen framför bilen. Om ljuden som används till varningarna lokaliseras till centerstacken, instrumentpanelen eller rent utav bakom föraren kommer uppmärksamheten att dras bort från vägen. Ett bättre alternativ är att placera virtuellt ljud framför föraren i nivå med förarens fokuspunkt på vägen, eftersom fokus då bibehålls på rätt ställe.

För bästa resultat ska högtalare för virtuellt ljud ska placeras så nära in på förarens öron som möjligt eftersom det förenklar skapande av reproduktionsalgoritmer och minimerar problemkällor beroende på

starka reflektioner i bilen. Väldigt direktiva högtalare monterade i nackstödet eller taket är bra kandidater för dessa placeringar.

Det har visat sig att körförmågan påverkas av var ljud placeras. Denna information kan användas för att undersöka effekter av olika typer av 3D ljudsignaler i bilar. Det är viktigt att fortsätta genom att undersöka om effekten av ljudens placering bibehålls när virtuellt 3D ljud används istället för fysiskt placerade högtalare. Är det den upplevda placering av ljudet som är effektiv på att dra till sig uppmärksamhet, eller är det den fysiska vågfronten som förbereder hörandet som har störst inverkan? Fortsatt forskning inom detta område krävs för att besvara dessa oklarheter.

Forskning har gett en inblick i var vi är mest känsliga för vibrationer, men det säger ingenting om hur väl vi kan ta till oss olika typer av information från vibrationer på olika ställen av kroppen. Dessutom behöver vi större kännedom om hur vi kan implementera vibrationssignaler i en bil för att undvika problem med kläder och vibrationer från vägen. Vibrationer kan förmedlas till föraren via sätet, pedaler, ratt eller bältet. Olika ställen har olika för- och nackdelar. Det kanske är så att vibrationer i ratten lämpar sig väl för signaler som ska uppfattas framifrån och vibrationer i ryggstödet lämpar sig väl för signaler som ska uppfattas bakifrån. Finns det en chans att vibrationer i kombination med virtuellt 3D ljud kan totalt eliminera risken för fram/bak förväxlingar? Vilka metoder kan vi använda oss utav när vi designar kombinerade multimodala signaler, och var ska vi ta i beaktning i designprocessen? Detta är stora frågor som bör besvaras för att underlätta design och användande av multimodala signaler i förarstödjande system.

Vi har sett en minskad ansträngning bland förare när 3D ljud används för parkeringsstödsystem, samt tendenser till att även arbetsbelastning och frustration minskar. Dessa resultat är baserade på unga förare. Då det är väl känt att arbetsminneskapaciteten minskar med ålder, är det viktigt att undersöka om dessa effekter uppnås även för äldre bilförare. Kan det vara så att tillägget av 3D ljud hjälper äldre ännu mer än unga förare, eller blir det omvänd effekt pga. för mycket information att hålla i minnet? Det kanske är så att äldre har lättare att missa visuell information, och kan hjälpas mer av användningen av multimodala signaler? Det är viktigt att undersöka effekterna för olika åldersgrupper innan generella slutsatser kan dras.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Volvo Cars

94741 DUX AE & Research
Torslanda PV3C21
405 31 Göteborg
Projektledare: Annie Rydström
Senior Interaction Designer: Samuel Palm



Luleå tekniska universitet

Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser
Avdelningen för Drift, underhåll och akustik
971 87 Luleå
Doktorand: André Lundkvist
Universitetslektor: Arne Nykänen
Professor: Anders Ågren
Biträdande professor: Roger Johansson



10 Referenser

- Alais, D., 2010. Helping the visual system find its target, Comment on "Cross modal influences on Visual Perception" by L. Shams & R. Kim. *Physics of life reviews* 7, 293-294.
- Alm, H., Nilsson, L., 1995. The effects of a mobile telephone task on driver behaviour in a car following situation. *Accident Anal. Prev.* 27, 707-715.
- Backer-Gröndahl, A., Sagberg, F., 2011. Driving and telephoning: Relative accident risk when using hand held and hands-free mobile phones. *Safety Science* 49, 324-330.
- Buxton, B., 2007. *Sketching user experiences – getting the design right and the right design.* San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers.
- Ernst, M., Bühlhoff, H., 2004. Merging the senses into a robust percept. *Trends in cognitive sciences* 8, 162-169.
- Fagerlönn J., 2011. *Designing Auditory Warning Signals to Improve the safety of Commercial Vehicles.* Doktorsavhandling LTU Dec 2011.
- Hatfield, J., Chamberlain, T., 2008. The effect of audio materials from a rear-seat audiovisual entertainment system or from radio on simulated driving. *Transportation Research Part F.*, 52-60
- Ishigami, Y., Klein, R.M., 2009. Is hands-free phone safer than a handheld phone? *J. Safety research* 40, 157-164.
- Lundkvist, A., Nykänen, A., Johnsson, R., 2011. 3D-sound in car compartments based on loudspeaker reproduction using crosstalk cancellation. *Proc. AES 130th Convention, London, UK.*
- Nykänen, A., 2008. *Methods for product sound design.* Doctoral thesis 2008:45, Luleå University of Technology, Sweden.
- Patten, C., Kircher, A., Östlund, J., Nilsson, L., 2004. Using mobile telephones: cognitive workload and attention resource allocation. *Accident Anal. Prev.* 36, 341–350.
- Shams, L., Kim, R., 2010. Crossmodal influences on visual perception. *Physics of life reviews* 7, 269-284.
- Spence, C., 2010. Crossmodal spatial attention. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1191, 182-200.
- Strayer, D.L., Drews, F.A., Crouch, D.J., 2004. A comparison of the cell phone driver and the drunk driver. On-line paper. Available at http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=570222.
- Sörqvist, P., 2010. The role of working memory capacity in auditory distraction: a review. *Noise & Health* 12, 217-224.
- Tömros, J.E.B., Bolling, A.K., 2005. Mobile phone use – Effects of handheld and handsfree phones on driving performance. *Accident Anal. Prev.* 37, 902-909.
- Ulrich, K.T., Eppinger, S.D., 2008. *Product design and development.* 4th ed., Boston, Massachusetts: McGraw-Hill.