



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Good Vibrations

Ett tvådimensionellt gränssnitt för taktil kommunikation i bilsätet

Johan Modin
Torin Williams

Examensarbete inom Designingenjörsprogrammet

Institution för produkt- och produktionsutveckling
Avdelningen Design & Human Factors
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2014

Good Vibrations

Ett tvådimensionellt gränssnitt för taktil kommunikation i bilsätet

Johan Modin
Torin Williams

Good Vibrations

Ett tvådimensionellt gränssnitt för taktil kommunikation i bilsätet

©JOHAN MODIN & TORIN WILLIAMS, 2014

Institutionen för produkt- och produktionsutveckling
Avdelningen Design & Human Factors
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Omslag:
Surface Waves av Roger McLassus

Chalmers tekniska högskola
Göteborg, Sverige 2014

FÖRORD

Denna rapport är resultatet av ett examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Designingenjör (180 hp). Författarna går sitt tredje år på Chalmers tekniska högskola och arbetet, som omfattar 15 högskolepoäng, har utförts hos Semcon inom ramen för AIMMIT-projektet.

Vi vill ge ett stort tack till David Gillblom, vår handledare på Semcon, för allt stöd och inspiration längs vägen, och för att vi kände oss som en del av teamet. Ett stort tack ska också framföras till vår examinerare och handledare på Chalmers, MariAnne Karlsson, för alla inbjudningar till inspirerande workshops och klok vägledning. Dessutom skulle vi vilja tacka Sven Ekered som bidrog med sin tid och tänkande för att lösa problem under prototypbyggandet.

SUMMARY

The work aimed at developing knowledge about the possibilities to use haptic feedback to warn and / or inform the driver in different contexts. The objectives were to evaluate which applications might be suitable for a haptic interface as well as to examine whether and how people perceive and react to the haptic information, more specifically vibration. The result is both a prototype sketch of a two-dimensional tactile interface or display to be used in the car seat and data about the applicability and acceptance of user testing.

As a first step, an overview car cockpit trends, previous studies of haptic interfaces in a car context, and a survey of secondary data that could be relevant were completed. An evaluation of existing technologies (tactors) for transmitting tactile information led to the decision regarding the position of the interface in the car cockpit. A two dimensional patterns for the array of eight contactors were developed in order to maximize the contact surface with the user and allow information about direction. Then a prototype was created for use in experimental studies.

Based on the chosen secondary tasks, two experiments were completed in a simulated car environment to determine appropriate levels of vibration with regard to comfort and spatial recognition. Data on participants' acceptance of vibration in the car seat as well as their suggested applications for the technology was also collected.

Based on the experimental studies and the collected qualitative and quantitative data is considered possible to use a haptic interface in the car seat. Spatial identification of individual vibration signals is better than the double ones, however, there is a need for further studies of variable vibration patterns. Further development of the tactors' positions along the sides of the seat is also needed. Acceptance of the selected vibration intensity is between 87.5 and 100% for individual motors

SAMMANFATTNING

Arbetet syftade till att utveckla kunskap om möjligheter att via haptisk feedback varna och/eller informera föraren i olika kontext. Målsättningarna har varit att värdera vilka applikationer som kan tänkas vara lämpliga för ett haptiskt gränssnitt samt att undersöka om och hur människor uppfattar och reagerar på haptisk information, mer specifikt på vibrationer. Resultatet är dels en prototypskiss av ett tvådimensionellt taktilt gränssnitt att användas i bilsätet och data angående tillämpbarhet och acceptans från användartester.

Som ett första steg gjordes en översikt av trender i bilens cockpit och tidigare studier av haptiska gränssnitt i fordonsmiljö, samt en kartläggning av sekundära uppgifter som skulle kunna vara aktuella för haptisk information. En utvärdering av befintliga tekniker (taktorer) för överföring av taktil information ledde till beslut angående placeringen av gränssnittet i cockpit. Ett tvådimensionellt mönster för uppställning av åtta taktorer utvecklades i syfte att maximera kontakten med användaren och möjliggöra information om riktning. Därefter skapades en prototyp för att användas i experimentella studier.

Baserat på valda sekundära uppgifter utfördes två experiment i en simulerad bilmiljö för att avgöra lämpliga vibrationsnivåer med avseende på komfort och identifiering. Också data angående hur väl vibrationer i bilsätet accepteras av användaren samlades in tillsammans med förslag från användarna om applikationer.

Baserat på de experimentella studierna och insamlad kvalitativ och kvantitativ data bedöms det finnas goda möjligheter att använda ett haptiskt gränssnitt i bilsätet. Spatial identifiering av enskilda vibrationssignaler är bättre än för dubbla sådana, dock behövs ytterligare studier av rörliga vibrationsmönster. Ytterligare utveckling av taktorens placering längs sätets sidor behövs också. Acceptansen för vald vibrationsintensitet är mellan 87,5 och 100 % för enskilda motorer.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	5
SUMMARY	7
SAMMANFATTNING.....	8
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	1
ORDLISTA.....	3
DEFINITIONER	3
FÖRKORTNINGAR	3
1 INLEDNING	4
1.1 BAKGRUND.....	4
1.1.1 Interaktion förare - fordon - HMI	4
1.1.2 Utvecklingstrender inom HMI.....	4
1.1.3 Autonom körning	5
1.1.4 Syfte och mål	6
1.1.5 Avgränsningar.....	6
1.1.6 Arbetsprocess	6
1.1.7 Rapportens struktur	7
2 LITTERATURSTUDIE	8
2.1 SYFTE	8
2.2 METOD.....	8
2.3 RESULTAT	8
2.3.1 Människans informationsprocess.....	8
2.3.2 Kognitiv belastning	8
2.3.3 Bilkörning och mental belastning	10
2.3.4 Det haptiska sinnet	10
2.3.5 Tidigare studier av relevans.....	11
3 VAL AV APPLIKATIONSOMRÅDE OCH VIBRATIONSMÖNSTER.....	13
3.1 SYFTE	13
3.2 GENOMFÖRANDE OCH RESULTAT	13
4 PROTOTYPUTVECKLING.....	15
4.1 SYFTE	15
4.2 GENOMFÖRANDE OCH RESULTAT	15
4.2.1 Teknik	15
4.2.2 Gränssnittets placering i fordonet.....	16
4.2.3 Utformning av gränssnittet.....	17
4.2.4 Programmering.....	19
4.2.5 Knappsats.....	20
5 DESIGN OCH GENOMFÖRANDE AV EXPERIMENT	21
5.1 SYFTE	21

5.2	GENOMFÖRANDE.....	21
5.2.1	<i>Pilotstudie</i>	21
5.2.2	<i>Experiment A</i>	22
5.2.3	<i>Experiment B</i>	23
5.3	RESULTAT	24
5.3.1	<i>Experiment A</i>	24
5.3.2	<i>Experiment B</i>	26
6	SLUTSATSER OCH DISKUSSION	29
6.1	SLUTSATSER.....	29
6.2	DISKUSSION.....	29
6.2.1	<i>Metodik</i>	29
6.2.2	<i>Möjliga applikationer</i>	30
6.2.3	<i>Rekommendationer för vidareutveckling av prototypen</i>	31
	REFERENSER	33
	BILAGOR	I
	KARTLÄGGNING AV SEKUNDÄRA UPPGIFTER I BILCOCKPITEN.....	I
	DATABLAD FÖR PRECISION MICRODRIVES 320-100	II
	EGENSKAPSMATRIS	III
	VAL AV MÖNSTER	IV
	KOPPLINGAR FÖR PROTOTYPEN.....	V
	RESULTAT AV EXPERIMENT A - DEL 1	VI
	RESULTAT AV EXPERIMENT A - DEL 2	VII
	RESULTAT AV EXPERIMENT B - DEL 1.....	VIII
	RESULTAT AV EXPERIMENT B - DEL 2.....	IX
	PROGRAMKOD FÖR EXPERIMENT B	X
	PROGRAMKOD FÖR EXPERIMENT B	XVII

ORDLISTA

Definitioner

Augmented Reality (AR) -

Adaptive Cruise Control (ACC): Funktion som själv reglerar fordonets hastighet baserade på omgivande trafik.

Antropometri: En gren av ergonomi som behandlar människans kroppsmått gällande storlek, form, styrka och arbetsförmåga.

Autonomt fordon: Självkörande fordon.

Auditiv : Kopplat till hörselsinnet.

Haptik: Läran om effekterna av beröring och kroppsrörelser.

Head Up Display (HUD):

Infotainment: Sammanslagning av orden "information" och "entertainment" som handlar om information och underhållning som inte är direkt kopplade till köruppgiften.

Kablage: En uppsättning av flera, ofta med varandra, sammansatta kablar.

Mekanoreceptor: Specialiserad känselcell som reagerar på mekaniska stimuli, t.ex. tryck, sträckning eller vibration.

Modalitet: Ett annat ord för sinneskanal (hörsel, smak, känsel m.m.)

Taktil: Beskriver överföring av information eller känsla vid beröring.

Taktor: Mekanism för att överföra taktil information

Traffic Jam Assist (TJA) - Funktion som automatiskt reglerar fordonets position i filen.

Förkortningar

G: Mått på kraftöverföringar i relation till jordens gravitationskraft vid havsnivå.

Hz: Herz. Standard enhet för frekvens

IC: Integrerad krets

V: Volt. Standardenhet för elektrisk spänning

VCC: Volvo Car Company

1 INLEDNING

I detta kapitel beskrivs bakgrunden till projektet samt preciseras de frågeställningar som har behandlats under arbetet. Vidare beskrivs avgränsningarna för arbetet. Då projektet inte går att beskriva strikt kronologiskt har även en kortare beskrivning av rapportens struktur inkluderats.

1.1 Bakgrund

1.1.1 Interaktion förare - fordon - HMI

En bilförarens uppgifter kan delas in i tre kategorier enligt Geisers klassifikationssystem (Geiser, 1985):

- Primära: Motoriska och kognitiva uppgifter avsedda till att föra bilen från A till B (till exempel trycka på pedaler, styra och växla)
- Sekundära: Uppgifter som har en direkt koppling till att stödja den primära uppgiften (till exempel navigation, diagnostik och parkeringshjälp) och säkerhetsuppgifter (exempelvis varning för fotgängare, närhetsvarning och hastighetsvarning).
- Tertiära: Uppgifter utan direkt koppling till de primära. Underhållning, kommunikation (SMS och telefon) och klimatkontroll tillhör denna kategori.

Vid bilkörning skall föraren ägna sin uppmärksamhet åt den primära uppgiften, dvs. att framföra bilen. Idag finns flera system tillgängliga i bilen för att underlätta utförandet av denna primära uppgift men det finns också en mängd andra system. Då förarens förmåga till uppmärksamhet är begränsad kan konsekvenserna av dessa nya system bli att föraren riktar (eller tvingas lägga) fokus på annat än bilkörningen. Genom att utforma gränssnitten till dessa nya system på ett sådant sätt att föraren fortsatt kan lägga merparten av sin uppmärksamhet på att framföra fordonet kan systemen införas utan att för den skull påverka trafiksäkerheten. Då bilkörning till stor del handlar om att reagera på visuell information om vad som försiggår utanför och inne i bilen finns motiv för att förmedla delar av informationen genom andra sinnen, såsom hörseln eller känseln. På så sätt kan förhoppningsvis annan och ytterligare information förmedlas utan att förarens uppmärksamhet och prestationsförmåga påverkas negativt.

1.1.2 Utvecklingstrender inom HMI

Utvecklingen av förarplatsen och dess användargränssnitt är ett pågående arbete (Just-auto, 2013) men med olika konsekvenser. Till exempel har tryckkänsliga skärmar börjat användas för olika typer av interaktion och då främst för s.k. infotainmentsystem. Continental räknar med att en sjättedel av alla nya bilar i Europa, Japan och USA kommer att vara utrustade med sådana skärmar vid slutet av 2014 (Just-auto, 2013). Ett av problemen med denna teknologi är att föraren riskerar att distraheras och uppmärksamheten riktas från vägen till användargränssnittet. Genom att förlägga viss information till sådana modaliteter som i nuläget inte används lika mycket som det visuella, såsom den haptiska, ges en möjlighet att minska den kognitiva belastningen för föraren utan att göra avkall på den information som når föraren.

I rapporten "Global market review of automotive cockpits and instrumentation – forecasts to 2028" (Just-auto, 2013) analyseras trender i utvecklingen av cockpit och tillhörande instrumentering fram till 2028. Intuitiv, enkel och säker implementering av haptisk feedback anses vara en del av denna utveckling.

Johnson Controls Incorporated presenterade i januari 2012 ett instrumentklusterkoncept som möjliggör ett tredimensionellt gränssnitt för att presentera information till föraren i instrumentpanelen. I detta gränssnitt kan exempelvis grafik visas för att indikera avstånd till nästa avfart eller avstånd till närmast framförvarande fordon. Förutom detta har Johnson Controls även försett Ford med funktionerna SmartGauge och EcoGuide som används i instrumentklustret för att visa information kring hur bränsleeffektivt förarens körmönster är.

Denso Corporation presenterade på IAA-mässan 2013 ett koncept rörande en framtida cockpit med "interaktiv kommunikation". Konceptet innefattar en head-up display (HUD) som exempelvis varnar för möjliga risker som kan vara svåra att uppfatta (för föraren) och dessutom varnar föraren för kommande faror med hjälp av ljud och ljus. Continental har också utvecklat en HUD som kommer att kunna användas för Augmented Reality (AR) applikationer i framtida bilar. Denna AR-HUD skulle exempelvis kunna projicera information direkt på vägen i förarens synfält och relatera denna information till den yttre omgivningen, exempelvis genom att visa pilar vid avfarter eller liknande. På detta sätt skulle förarens uppmärksamhet hela tiden vara riktad mot vägen.

Continental bedriver också forskning kring integration av haptisk feedback i tryckkänsliga ytor i syfte att meddela föraren huruvida hen har aktiverat den aktuella/efterfrågade funktionen. Dessutom har ett system utvecklats som varnar föraren om hen kör i fel riktning, exempelvis på enkelriktade gator, genom att en inbyggd kamera läser av omkringliggande trafikskyltar. Varningen kan ske genom HUD, instrumentklustret, via ett varningsljud eller via någon form av haptisk feedback.

1.1.3 Autonom körning

Autonoma funktioner och fordon argumenteras som ett sätt att lösa problemet med 'den mänskliga faktorn' i trafiken, t ex de incidenter och olyckor som orsakas av att föraren är distraherad och hens uppmärksamhet riktad åt något annat än den primära köruppgiften.

Idén om det autonoma fordonet är inte ny. Redan på 1920-talet utvecklades en radiostyrd, förarlös bil som döptes till "the Linrrican Wonder" som kördes upp och ner Broadway och Fifth Avenue i Manhattan. Detta var första steget i en utveckling som pågått sedan dess (The San Jose Group 2014). Idag har teknologiska framsteg och lagändringar gjort det möjligt för flera företag att utveckla autonoma bilar. Volvo, Mercedes-Benz, General Motors, Google, Audi, Toyota och Nissan har redan börjat testa autonoma bilar i reell trafik.

Med ett helt eller delvis autonomt system för bilkörning öppnas möjligheten att föraren kan välja att lägga uppmärksamhet på andra uppgifter än den primära (dvs. att framföra fordonet). Redan idag har många bilar system som Adaptive Cruise Control (ACC) och Traffic Jam Assist (TJA) där systemet tar över en del av de primära uppgifterna, som att hålla avstånd till framförvarande fordon. Därmed behöver inte föraren vara fullt lika involverad i själva bilkörningen.

Även om autonom körning har potential att lösa vissa problem återstår andra, som hur utforma gränssnitt (i vid bemärkelse) som kan hjälpa föraren återta kontrollen. Förarens uppmärksamhet kan antas vara riktad på annat och när föraren skall ta tillbaka kontrollen från fordonet måste hen uppmärksammas på att detta krävs liksom hur den situation som fordonet befinner sig i för tillfället ser ut. Därmed ställs nya krav på utformning av samspelet mellan förare och fordon och på HMI.

1.1.4 Syfte och mål

Detta projekt har bedrivits inom ramen för ett större forskningsprojekt, AIMMIT, som syftar till att undersöka hur multimodala gränssnitt kan integreras i bilens cockpit. Målsättningen är att utveckla kunskap om hur gränssnitt skall utformas för att föraren skall kunna utföra sekundära uppgifter utan visuell distraktion och gränssnitt för nya och kommande funktioner såsom olika säkerhetsfunktioner och autonom körning (VINNOVA, 2014).

Det arbete som beskrivs i denna rapport har syftat till att utveckla kunskap om möjligheter att via haptisk feedback varna och/eller informera föraren i olika kontext. Målsättningarna har varit att värdera vilka applikationer som kan tänkas vara lämpliga för ett haptiskt gränssnitt samt att undersöka om och hur människor uppfattar och reagerar på haptisk information, mer specifikt på vibrationer. Innan nya gränssnitt skapas, där taktil feedback i form av vibrationer provas för att kommunicera information/varningar, är det viktigt att klargöra om och hur användare uppfattar vibrationsnivåer, om användare kan identifiera och särskilja olika vibrations signaler från varandra, samt hur detta påverkar individens kognitiva belastning.

1.1.5 Avgränsningar

Interaktionen mellan förare och system består av förarens input via användargränssnitt till systemet och dess output eller feedback till föraren. I projektet har endast haptisk feedback behandlats. Information från förare till system har inte studerats. Systemets inbyggnad och faktiska implementering har inte heller beaktats, endast den principiella lösningen har utvärderats.

1.1.6 Arbetsprocess

Arbetet inleddes med en litteraturstudie som syftade till att förtydliga området och att ge kunskaper om de förutsättningar som gäller för att förmedla information till en bilförare genom den haptiska sinneskanalen.

I nästa fas utvärderades sekundära föraruppgifter med avseende på en rad olika faktorer för att sälla fram de uppgifter som lämpade sig bäst för att förmedla information genom taktil feedback.

Då examensarbetet syftade till att undersöka haptisk information beslutades att utvärdera hur användaren uppfattar och reagerar på haptisk feedback. För att kunna undersöka detta utvecklades först en prototyp av ett haptiskt gränssnitt och därefter utformades och genomfördes ett experiment i syfte att adressera två hypoteser.

Utifrån insamlad data analyserades och värderades förutsättningarna för att använda den haptiska sinneskanalen för att förmedla information om de uppgifter som ansågs lämpliga.

1.1.7 Rapportens struktur

Då arbetets förlopp har varit av mer parallellt än seriellt till sin karaktär fanns en risk att en kronologisk beskrivning av processen skulle vara förvirrande och otydlig. Således togs beslut om att, för tydlighets skull, beskriva de olika delarna var för sig.

- I *kapitel 2* de teorier och tidigare studier som ligger till grund för problemställningen.
- I *kapitel 3* presenteras en värdering av applikationsområden för haptisk information.
- Därefter följer, i *kapitel 4*, en beskrivning av utvecklingen av den prototyp som byggts för att kunna utföra det experiment som besvara frågeställningarna.
- I *kapitel 5* resultat presenteras de experiment som genomfördes och deras resultat.
- I *kapitel 6* diskuteras resultaten, hur prototypen bör vidareutvecklas, samt tänkbara applikationsområden.

2 LITTERATURSTUDIE

I detta kapitel beskrivs den inledande kartläggningen av bilförarens nuvarande och framtida uppgifter och deras konsekvenser på kognitiv belastning. Andra studier där taktila gränssnitt har utvärderats beskrivs.

2.1 Syfte

Syftet med litteraturstudien var att:

- Förstå konceptet kognitiv belastning och teorier om kognitiva resurser
- Förstå den grundläggande funktionen hos det haptiska sinnet
- Samla information om tidigare genomförda studier med avseende på haptisk feedback

2.2 Metod

Projektet inleddes med en studie av aktuell litteratur angående teori för haptisk feedback. Relevanta studier har hämtats via Chalmers bibliotek samt från vetenskapliga källor online. Deltagandet i och feedback från två AIMMIT-seminarier ligger också till grund för kartläggningen.

2.3 Resultat

2.3.1 Människans informationsprocess

Människans processande av information kan mycket förenklat beskrivas som ett förlopp med början i den externa världen där någon sorts stimuli alstras. Dessa stimuli percipieras av olika typer av olika receptorer som förmedlar informationen via nervsystemet till hjärnan där informationen bearbetas och hanteras.

Begreppet perception definieras enligt Nationalencyklopedin (2014) som "den grundläggande funktion genom vilken levande varelser håller sig informerade om relevanta aspekter av sin omgivning och sin egen relation till dessa." Perception handlar således om hur information samlas in för bearbetning med hjälp av kognitionen.

Kognition definieras enligt Nationalencyklopedin (2014) som "de tankefunktioner med vilkas hjälp information och kunskap hanteras". En del av de funktioner som kognitionen innefattar är bland andra problemlösning, uppmärksamhet och resonande.

2.3.2 Kognitiv belastning

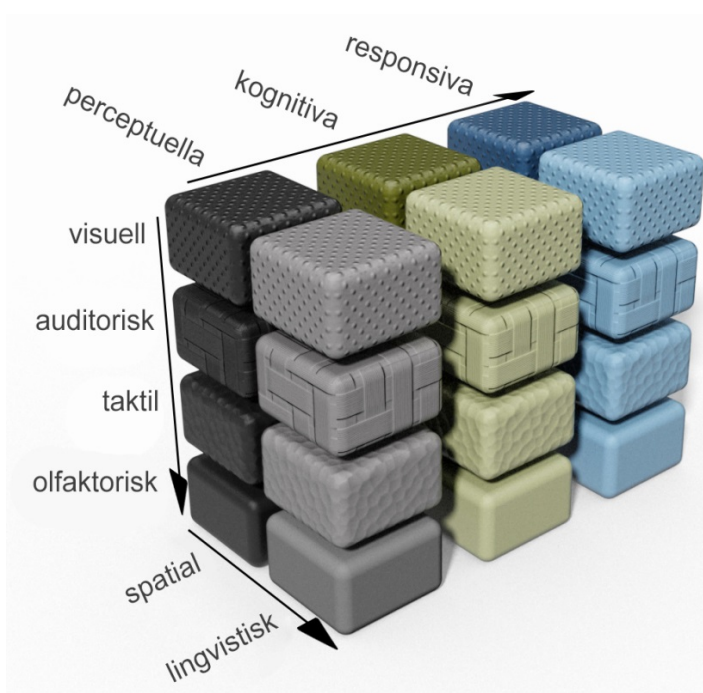
Människans förmåga att hämta in och bearbeta information är begränsad. Begreppet "workload" eller på svenska belastning och då i synnerhet mental eller kognitiv belastning diskuteras bl.a. av Mehler et al. (2012). De konstaterar att någon exakt och allmänt rådande definition av begreppet belastning inte existerar utan att olika perspektiv existerar som passar mer eller mindre bra att användas vid olika förutsättningar. Hur begreppet definieras får effekter för utformning av experiment och vid tolkning av undersökningars resultat.

Belastning kan ses som den efterfrågan och de krav som den externa miljön ställer på kognitionen eller som de kognitiva resurser som mobiliseras för att genomföra en uppgift.

Beroende på definition får begreppet olika innebörd. Om till exempel de externa kraven är höga men användaren väljer att inte fokusera på dessa anses belastningen vara hög enligt den första definitionen och låg enligt den andra. Utöver detta finns andra aspekter såsom eventuella tidskrav eller hur pass väl uppgiften förväntas utföras.

Wickens (2008) beskriver en modell där användaren inte är begränsad till en kognitiv resurs när hen skall lösa ett problem utan istället har tillgång till en uppsättning olika resurser som kan användas för olika ändamål och på olika sätt. Flera uppgifter kan utföras parallellt förutsatt att de inte tar samma resurser i anspråk. Denna modell kan användas för att förutsäga och utvärdera hur mycket användarens kognition belastas då ett flertal uppgifter skall lösas samtidigt.

Modellen illustreras med hjälp av en kub där de olika dimensionerna representerar olika aspekter av den kognitiva belastningen (Figur 1). Den första dimensionen beskriver på vilken nivå av användarens medvetande uppgiften ligger; den perceptuella nivån rör uppfattning, den kognitiva nivån behandlar information och den responsiva nivån innefattar användarens handlingar. Den andra dimensionen beskriver vilken typ av kodning den för uppgiften aktuella informationen har, där spatial information skiljs från lingvistisk. Den sista dimensionen beskriver vilken eller vilka modalitet(er) som uppgiften uttrycks i. Wickens lade senare till en fjärde dimension som delar in den visuella nivån i två kanaler; fokus och perifert seende (fritt översatt).



Figur 1: Representation av Wickens multiple resource theory

Om två uppgifter, som skall utföras samtidigt, är separerade med avseende på ovanstående tre (eller fyra) dimensioner kommer uppgifterna att kunna utföras med mindre belastning och bättre resultat än om de tar samma resurser i anspråk.

Modellen har visst stöd i neurofysiologin då de olika dimensionerna är lokaliserade till separata områden i hjärnan, exempelvis är perceptuell-kognitiv verksamhet knuten till den bakre delen av hjärnan medan fysisk handling är knuten till den främre. På liknande sätt är även de andra dimensionerna knutna till olika, separata områden i hjärnan. Förutom det neurofysiologiska argumentet är modellen även lämplig då den erbjuder stöd för

design av system och artefakter genom att visa på vilka möjliga kombinationer som kan vara mest lämpade då flera uppgifter skall utföras samtidigt.

En förenklad beräkningsmodell för utvärdering av belastning vid användning av flera kognitiva resurser har utvecklats av Wickens och bygger på ovanstående modell. Vid utförande av två uppgifter samtidigt förutspås konflikten mellan dessa genom summan av

uppskattade värden för krav och resurskonflikt. Vad gäller krav värdesätts varje aktivitet separat på en skala från 0 till 2 (där 0 är enkel/automatiserad och 2 är svår). Sammantaget blir summan av de två aktiviteterna ett värde mellan 0 (två automatiserade aktiviteter) och 4 (två svåra aktiviteter). Resurskonflikten värdesätts också på en skala från 0 till 4 med avseende på hur mycket de tar samma resurser i anspråk enligt de fyra dimensionerna (0 motsvarar ingen överlappning och 4 motsvarar överlappning i alla fyra dimensioner) som beskrivits ovan. Sammantaget ger de två värdena en summa på mellan 0 och 8 som indikerar hur pass stor konflikten mellan de två uppgifterna blir. Att notera är att detta är en ytterst förenklad modell och att mjukvaror ämnade för att utvärdera belastning vid flera uppgifter bygger på betydligt mer komplicerade beräkningar. Den förenklade modellen kan inte säga något om vilken av de två uppgifterna som blir lidande vid konflikten men den går att använda för att ge en fingervisning om hur väl två uppgifter kan utföras samtidigt.

2.3.3 Bilkörning och mental belastning

Arbetets kontext är bilkörning. När en bilförare framför sitt fordon befinner hen sig i en sorts kretslopp av information där hen dels percipierar ny information (från bilen eller omgivningen) och dels reagerar på denna genom olika handlingar. Mycket av den information som föraren tar del av och reagerar på förmedlas i nuläget via synen. Vägen och den fysiska miljön måste uppmärksammas samtidigt som hänsyn måste tas till övrig trafik. Information måste uppfattas i den yttre miljön och dessutom måste viss information från bilens interiör också hanteras, till exempel instruktioner från GPS, hastighetsmätare och dylikt.

Då befintliga och nya system konkurrerar om förarens uppmärksamhet via den visuella kanalen finns en risk att dennes prestation blir lidande då konflikterna blir för många. Genom att överföra några av dessa funktioner från den visuella kanalen till någon av de andra modaliteterna finns en möjlighet att minska förarens mentala belastning. Om information flyttas till den visuella modaliteten till någon annan minskar antalet konflikter och således bör den mentala belastningen på föraren bli mindre.

2.3.4 Det haptiska sinnet

En av de tre dimensionerna i Wickens Multiple Resource Theory, som beskrivits tidigare (se Figur 1), handlar om sinneskanal eller modalitet. En av dessa kanaler är den haptiska. Haptik innefattar uppfattning av beröring och kroppens rörelser och lägen (proprioception) och används naturligt som förstärkning till övriga sinnen då dessa inte räcker till, exempelvis att känna hur underlaget är förskaffat om man inte med synen direkt kan avgöra detta. Taktilitet innefattar också känselsinnet, men taktilitet har en snävare definition då det endast innefattar överföring av information om beröring (Nationalencyklopedin, 2014).

Unikt för det haptiska sinnet är att receptorerna är utspridda över hela kroppsytan samt leder och ledband. Den mänskliga kroppen är försedd med flera så kallade mekanoreceptorer som är anpassade till olika sorters information. Merkelceller och Meissners känselkroppar som är belägna i huden skickar signaler angående tryckskillnader i huden. Ruffinis känselkroppar reagerar på mekanisk stress i huden, lederna och ledbanden. Vibrationer uppfattas av Pacinis känselkroppar, men även Meissners känselkroppar reagerar i vissa frekvenser (Grunwald 2008).

2.3.5 Tidigare studier av relevans

Ett exempel på tidigare studier av relevans beskrivs av Scott och Gray (2008) som undersökte responstider för en krockvarning i bilen via olika modaliteter. Under experimentet fick 16 deltagare antingen ingen varning, en visuell varning på instrumentbrädan, en auditorisk varning eller en varning via en taktill display på förarens mage. Testet utfördes i en statisk simulator och deltagarna fick bekanta sig med körmiljön i fem minuter. Sedan fick de instruktioner att följa en röd bil för att upprätthålla ett mellanrum på ungefär två sekunder. Den röda bilen programmerades att slumpmässigt ändra fart i ett område mellan 56 och 120 km/h. Varningen aktiverades när tid till krock mellan bilarna minskade till 3-5 sekunder. Resultaten visade att responstid var som snabbast för de som fick en taktill varning. När deltagarna frågades vilket varningssystem de föredrog, var svaren jämnt spridda mellan visuell, auditorisk och haptisk. Slutsatsen var att taktila varningssystem kan vara lovande och acceptans kan förväntas, men vidare undersökningar för att hitta det bästa sättet att presentera taktila varningar skulle behövas.

I artikeln "Haptic Perceptions in the Vehicle Seat" (Ji et al., 2011) beskrivs en studie som undersökt lämpliga placeringar av vibrationsmotorer, monteringsriktning, vibrationsintensitet och avstånd mellan vibrationspunkter. Dessutom undersöktes vilken inverkan kön och ålder har på uppmätta värden.

I ett första experiment monterades s.k. taktorer in i ett säte från en Hyundai och tre olika områden utvärderades; sätet, stolsryggen och "bolstret" (den del av sätet som inte är i direkt kontakt med förarens kropp). Taktorererna, som var av ERM-typ med en driftspänning på 12 V, placerades i säte och rygg där kontaktrycket mellan förare och stol är som störst. Monteringen skedde i två olika riktningar, antingen horisontellt (med motorns rotationsaxel parallellt med sätets yta) eller vertikalt (med rotationsaxeln vinkelrätt mot sätets yta). Infästningen i bolstret räknades som "indirekt riktning" då dessa vibrationer inte överförs via en yta som är i direkt kontakt med förarens kropp utan istället förmedlas genom bilstolens stoppning.

För att identifiera vid vilken intensitet som vibrationerna gick att urskilja utfördes en serie tester där alla kombinationer av placering och riktning varierades. Spänningen ökades gradvis från 0 V och försökspersonen ombads indikera när hen kunde känna en vibration. Dessutom utfördes en liknande utvärdering där vibrationsintensiteten gradvis sänktes från 4 V tills dess att försökspersonen inte längre kunde urskilja någon vibration. Dessa försök visade på ett tröskelvärde på 13,12 Hz och 0,62 G vid montering horisontellt i sätet och 16,22 Hz och 0,87 G vid montering vertikalt i stolsrygg.

Lämplig vibrationsintensitet undersöktes genom att spänningen varierades i 11 steg om 0,5 V, från 2 V till 7 V. Vid varje nivå ombads försökspersonerna att värdera hur tydligt de upplevde vibrationen på en skala från 1 till 5 där 1 motsvarade att de inte kände något, 5 motsvarade att vibrationen var för stark och 3 motsvarade en "rimlig" (moderate) nivå. Resultaten visade att mer än hälften av försöksdeltagarna upplevde intervallet mellan 26,07 Hz och 34,21 Hz (motsvarande 2,02 G och 3,38 eller 3,5 V och 4,5 V) som rimligt. Dessutom visades att gruppen mellan 20 och 39 år kände vibrationerna tydligare än gruppen 40 till 59 år.

För att hitta lämpligt avstånd mellan vibrationspunkter varierades avståndet mellan två motorer från 6 till 15 cm och försökspersonerna ombads att säga till när de upplevde två

separata vibrationer. Det antogs att vibrationerna kunde räknas som separata när 75 % av försökspersonerna upplevde detta. Resultaten visade att ett avstånd på 8 cm i sätet och 9 cm i ryggstödet var det minsta avstånd som två separata vibrationer upplevdes vid.

Försökspersonernas subjektiva upplevelser av placering och montering undersöktes och resultaten visade att montering i bolstret föredrogs framför montering i sätet och att den horisontella riktningen föredrogs vid montering i stolsryggen.

3 VAL AV APPLIKATIONSOMRÅDE OCH VIBRATIONSMÖNSTER

Detta kapitel beskriver processen för att definiera för vilka applikationer taktil feedback (vibrationer) skulle kunna användas.

3.1 Syfte

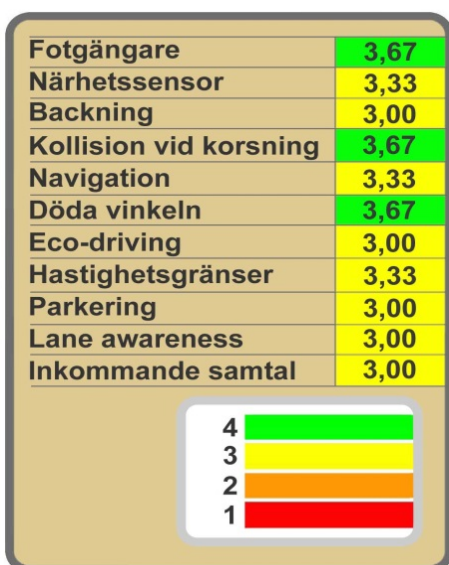
Syftet med denna fas i arbetet var att:

- Att undersöka vilka uppgifter som förekommer i en bilförarkontext och vilka av dessa som kan lämpa sig för utveckling av haptiska gränssnitt (taktil information).
- Att välja vilket eller vilka vibrationsmönster som lämpar sig för experimentella studier av om och hur människor uppfattar taktil feedback (vibrationer).

3.2 Genomförande och resultat

Trettiosex olika sekundära föraruppgifter definierades med avseende på deras interaktivitet, nuvarande modalitet och hur informationsflödet var beskaffat (se matris i bilaga 1). Därefter utvärderades de på en skala från 1-4 med avseende på tre faktorer:

- Prioritet ur säkerhetssynpunkt för föraren (1 = oviktig, 4 = nödvändig)
- Situationsfrekvens, uppskattat antal gånger per genomsnittlig stadskörning (1=färre än en gång och 4 =6 gånger eller fler).
- Uppskattad kognitiv belastning (1= ingen belastning, och 4 = uppgiften kräver förarens totala uppmärksamhet). Den uppskattade kognitiva belastningen kan kopplas till Wickens modell (kapitel 2.3.2)



Figur 2: De elva utvalda uppgifterna

De uppgifter valdes ut som hade ett genomsnittligt 'betyg' tre eller högre (se Figur 2). Definitionen av dessa elva kvarstående uppgifter utvecklades (se bilaga 3) med avseende på informationsinnehåll (såsom avstånd, tid och skillnaden mellan önskat och aktuellt värde), vilken typ av riktningsinformation som behövdes och hur signalen är beskaffad avseende på tid (till exempel om signalen krävde en reaktion från föraren för att avsluta eller om den pågick kontinuerligt). Applikationernas definition användes för att utforma en enklare kravspecifikation för det slutgiltiga mönstret (se tabell 1).

De krav som ställdes var att den taktila signalen skulle kunna:

- signalera de fyra kardinala riktningarna
- signalera diagonala riktningar
- ange rörlig signal (fram och tillbaka)
- ange rörlig signal (åt sidan)
- ange rörlig signal (diagonalt)
- möjliggöra komplexa rörelsesignaler
- säkerställa kontakt i alla punkter

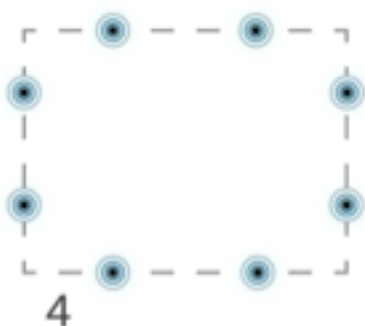
Rörliga signaler ansågs kunna godkännas om tre motorer placerades i linje med varandra med en maximal avvikelse från linjen med 8 cm då detta är gränsvärden för särskiljning av signaler (jfr. Ji et al. 2011). Med komplexa rörelsesignaler menas till exempel att signalen antyder cirkulär rörelse eller en kombination av riktningar. Det ansågs även att kontakt med gränssnittet i alla punkter var nödvändigt vilket inneburit att de mönster som inte klarade av detta krav blev uteslutna.

En brainstorming session ledde till åtta olika förslag på mönster (se bilaga 4). Dessa utvärderades i en matris med avseende på ställda krav (Tabell 1).

Tabell 1:Utvärderingsmatris för motorplaceringsmönstren

Krav	Mönster							
	1	2	3	4	5	6	7	8
signalera 4 kardinala riktningar	1	1	1	1	1	1	0	0
signalera diagonala riktningar	1	1	1	1	1	1	0	0
ange rörlig signal (fram och tillbaka)	1	1	0	1	1	1	1	1
ange rörlig signal (åt sidan)	1	0	1	1	1	1	0	0
ange rörlig signal (diagonalt)	0	0	0	0	0	1	0	0
möjliggör komplexa rörelsesignaler	1	0	0	1	1	0	0	0
säkerställ kontakt i alla punkter	0	1	1	1	1	1	1	0

Tre av mönstren bedömdes vara lika attraktiva för vidareutveckling, men projektets omfattning begränsade utvecklingen till ett mönster. Författarna valde slutligen mönster fyra (Figur 3) på grund av möjligheter till cirkulära rörelser och att det ansågs kunna bäst ange diskret diagonala riktningar. Resultatet låg sedan till grund för utvecklingen av ett antal tvådimensionella mönster för placeringen av vibrationssignaler eller snarare de motorer/motsvarande som skall generera vibrationerna.



Figur 3: Mönster 4 vilket var det mönster som valdes för vidareutveckling.

4 PROTOTYPUTVECKLING

Detta kapitel behandlar de tekniker och processer som använts för att utveckla en enklare prototyp att användas i planerade experiment.

4.1 Syfte

Syftet med arbetet var att utforma en prototyp som skall bidra till att besvara ställda frågor om och hur människor uppfattar taktil feedback (vibrationer).

Av intresse var att definiera vilka tekniker som är lönsamma och effektiva för multimodal kommunikation. Att ta reda på vilket informationsinnehåll som lämpar sig till icke visuella kanaler är av stor vikt för att välja i vilken riktning utvecklingen ska ske. Med detta i åtanke har projektet inriktat sig mot en skissartad prototyp som lätt kan testas i vilken miljö som helst och som på ett enkelt sätt kan byggas om för att möjliggöra testning av andra applikationer. Portabilitet och modularitet är således av stor vikt.

4.2 Genomförande och resultat

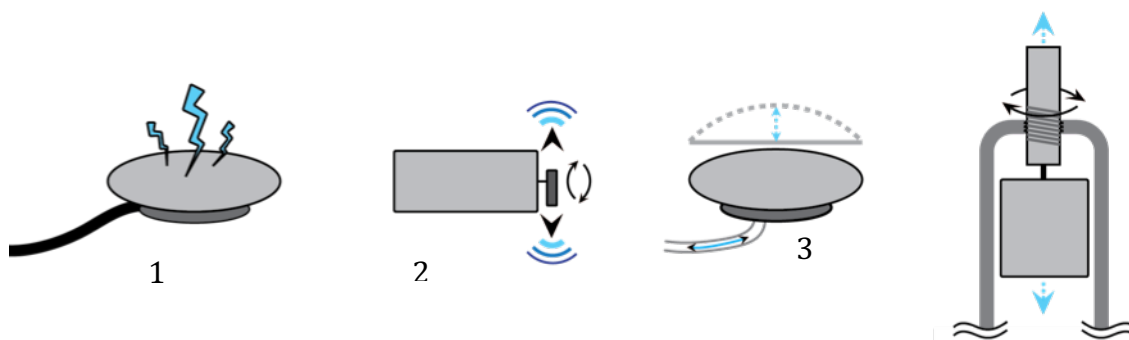
Som underlag till beslut gällande prototypens utformning var det viktigt att fastställa vilken typ av taktor som skulle användes och var i cockpiten det taktila gränssnittet skulle placeras. Därefter kunde urvalet av möjliga applikationer begränsas för att ge riktlinjer angående placeringen av taktorerna i prototypen.

4.2.1 Teknik

En rapport till NATO (McGrath et al., 2008) nämner flera applicerbara tekniker för att överföra taktil information till kroppen. Författarna har begränsat sig till utvärdering av följande fyra tekniker (Figur 4):

1. Elektriska impulser. Elektroder placerade direkt på huden stimulerar med låg ström de nervcellerna som vanligtvis tolkar beröring. Signalen, beroende på styrka och vågform, kan uppfattas som tryck, vibration eller smärta.
2. Elektriska motorer monterade med en excentriskt roterande massa (förkortas till ERM-motorer). Rotation av den excentriska massan ger upphov till vibration. ERM-motorer finns i flera varianter och används i stor utsträckning i mobiltelefoner, spelkontroller och medicinska instrument.
3. Pneumatisk/Hydraulisk taktor. Snabb tryckvariation i en gas eller vätska vibrerar ett membran. Beroende på medium kan dessa åstadkomma ett brett spektrum av frekvenser. Själva taktorerna är relativt små, men är beroende av en kompressor eller trycksatt kärl.
4. Ett mekaniskt drivet gränssnitt bestående av rörliga pinnar. Genom att röra pinnar upp och ner kan man åstadkomma tryckvariation på huden.

För att fastslå val av teknik för projektet har dessa utvärderats i en matris (tabell 2) baserat på deras tillgänglighet, operationell frekvensområde och pris där ett värde av 1 innebär att tekniken är fördelaktig. Dessutom har hänsyn tagits till en designfaktor som avser hur enkelt taktorerna skulle kunna byggas in och hur pass reglerbara dessa skulle vara.



Figur 4: Förenklad beskrivning av de utvärderade taktorer

ERM-motorer var de som var fördelaktiga på alla punkter och valdes därför. Elektriska impulser var också möjliga men valdes bort på grund av att dessa oftast kräver direkt kontakt med huden och ansågs upplevas som obehaglig av användaren.

Tabell 2: Utvärderingsmatris för taktorer

	tillgång	frekvensområde	pris	design faktor	SUMMA
Elektriska impulser	1	1	0	1	3
ERM motorer	1	1	1	1	4
Vibrerande membran	0	1	0	1	2
Rörliga pinnar	0	0	1	0	1

För att kontrollera vibrationsnivåerna och avfyrningen av enskilda motorer valdes Arduino Mega 2560 mikrokontroller. Då motorerna i synnerhet kräver mer ström än vad en mikrokontroller kan leverera var det också nödvändigt att driva dessa med en IC-krets på en separat strömkälla.

4.2.2 Gränssnittets placering i fordonet

Uppfattning av taktila signaler kräver kontakt mellan en kroppsdel och vibrationskällan. Projekt AIMMIT har inriktat sig på föraren vilket avgränsar gränssnittplaceringen till cockpiten. Kontakt mellan föraren och fordon förekommer i bilsätet, ratten, växelspaken, pedalerna och golvet. Då ett långsiktigt mål för projektet är att skapa system som säkerställer bilen för autonom körning är det väsentligt att gränssnittet placeras där kontakttiden med föraren maximeras. Även vilken kroppsdel som kommer i kontakt med gränssnittet är av stor betydelse då känsligheten i huden varierar. Efter diskussion valdes den yta där total kontakttid är som längst.

Växelspaken uteslöts eftersom den bara används under korta intervaller. Dessutom skulle förarens kontakt med denna yta över huvud taget inte kunna säkras under autonom körning. Förarens kontakt med golvet och pedalerna är relativt konstant, med undantag för pedaler i samband med 'Cruise Control'. Det resonades dock att vibration från vägen och motorn kopplat till dämpningsförmågan hos material i skosulan gör dessa till icke fördelaktiga ytor för uppfattning av vibrationssignalerna. Förarens händer kommer normalt i konstant kontakt med ratten under hela körmomentet. Däremot ser händernas placering på ratten olika ut beroende på individens preferenser samt körmoment vilket skulle utesluta information angående riktningar. Utöver det kommer sannolikt autonom körning innebära betydligt mindre kontakttid (tanken är ju att man skall kunna släppa ratten för

andra uppgifter). Bilstolen valdes då den erbjuder maximal kontakt med föraren både tidsmässigt och ytmässigt. Då konstant kontakt med ryggstödet inte kunde garanteras valdes sätets underdel för placering av gränssnittet (Fig. 5).



Figur 5: Gränssnittets möjliga placeringar

4.2.3 Utformning av gränssnittet

4.2.3.1 Dimensioner och mått

För dimensionering av sittdynan och avstånd mellan taktorer konsulterades rapporten "Survey of Auto Seat Design Recommendations for Improved Comfort" (Reed, 2000), som innehåller antropometrisk data om amerikanska medborgare, samt artikeln "Swedish anthropometrics for product and workplace design" (Hanson et al., 2009), som är en sammanställning av 43 olika antropometriska studier.

Maximalt avstånd mellan taktorerna valdes för att passa 95 % av populationen med avseende på höftbredd. På detta sätt garanteras att taktorerna alltid befinner sig i kontakt med användaren. Enligt Reed (2000) är detta mått för kvinnor 320 mm och för män 316 mm och enligt Hanson et al. (2009) 367 mm för kvinnor och 326 mm för män. Således valdes en dyna med dimensionerna 355 mm gånger 310 mm och i denna placerades taktorerna med ett avstånd på 300 mm.

För att säkerställa att vibrationerna upplevdes som separata valdes det minsta avståndet mellan två närliggande taktorer (med referens till Ji et al., 2011) till 8 cm.

4.2.3.2 Vibrationsnivå

Vibrationer mäts i amplitud och frekvens. Amplitud mäts i G och anger styrkan av vibrationen. Frekvens anger hur många svängningar som inträffar per sekund och mäts i Hertz (Hz). Dessa två storheter har störst betydelse för hur kroppen uppfattar vibrationssignalerna. Kroppen är utsatt för konstant vibration under bilkörning. Att då

försöka kommunicera med hjälp av tillförda vibrationer innebär att dessa måste kunna urskiljas från bakgrundsvibrationer. Enligt Paddan och Griffin (2002) ligger den typiska vibrationen på en amplitud mellan 0,02 och 0,06 G för bilar på en asfalterad väg. Dessutom har det visat sig att de flesta bakgrundsvibrationer i bilsätet ligger under en frekvens av 30 Hz (Qiu och Griffin 2003).

Två olika mekanoreceptorer i huden är ansvariga för uppfattning av vibration. Meissners korpuskler finns i mindre utsträckning under låren och dessa är känsligast för frekvenser mellan 10-50 Hz. Pacini-korpuskler är känsligast i området mellan 60-300 Hz (Ljungkvist, 2007). De valda motorerna behövde då ligga i ett frekvensområde över bakgrundsvibrationen i bilsätet och under Pacini-korpusklens övre tröskelvärden, närmare bestämt mellan 30-300 Hz.

4.2.3.3 Taktorer

För att åstadkomma vibration i dynan har små DC-motorer av ERM-typ använts. Dessa används i stor utsträckning inom industrin för haptisk feedback. Detta gör dem till ett lättillgängligt och relativt billigt alternativ. Prototypen använder modell 320-100 från Precision Microdrives som kan drivas på mellan 1- 3.6 V, drar 70 - 210 mA och kan leverera en vibrationsamplitud mellan 0,4 - 2,75 G i ett frekvensområde av 40 - 115 Hz. Dessa operationsnivåer ligger nära resultatet av ett tidigare experiment (Ji et al. 2011) och ligger även i det önskade frekvensområdet.

4.2.3.4 Mikrokontroller

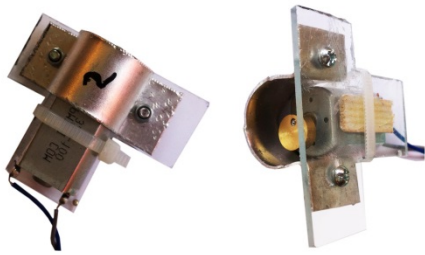
Styrning av och kommunikation mellan prototypens olika delar kräver en programmerbar mikrokontroller. Arduino är marknadens största tillverkare av så kallad "öppen hårdvara" som lätt kan integreras i utveckling av elektroniska prototyper. Deras Mega 2560 är ett mikrokontrollerkort som kan programmeras med ett C++ -liknande språk i en integrerad utvecklingsmiljö. Dess 54 digitala I/O-portar ger stora möjligheter att både skicka signaler till motorerna och ta emot signaler från till exempel knappar eller sensorer. Genom att skicka en pulsbreddsmodulerad (PWM) signal till en motordrivare kan spänningen som driver motorn regleras. Därmed regleras även vibrationsnivån (vilket är en av utgångspunkterna för test I, se kapitel 5).

4.2.3.5 Motordrivare

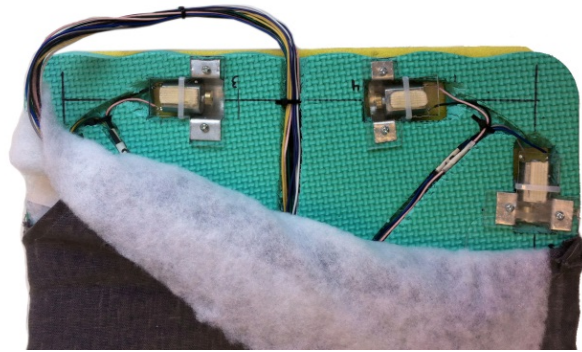
Då motorerna kräver som minst 70 mA och mikrokontrollern kan leverera max 40 mA är det nödvändigt att driva motorerna med hjälp av en IC-krets. Två stycken Texas Instruments 'SN754410 Quadrupel half-H drivers' valdes för applikationen då varje krets möjliggör individuell kontroll över fyra DC motorer i en riktning. Dessa var seriekopplade på en lödfri kopplingsplatta och drevs med en modifierad strömkälla på 5 V.

4.2.3.6 Inbyggnad

För att göra prototypen portabel har ett 21 mm tjockt sittunderlag i polyetenskum använts som inbyggnad för motorerna. Åtta stycken 22 × 50 mm hål har skurits ut efter det mönster som definierats tidigare tillsammans med kanaler för infästning av kablage. Motorernas rörliga delar isolerades från polyetenskummet med en egendesignad inkapsling av aluminium och plexiglas (Figur 6). Därefter har motorernas positiva och negativa kontakter kunnat lödas fast till var sin kopplingskabel. Efter inbyggnad av taktorerna har sittdelen kompletterats med ett par lager mjuk stoppning och ett egentillverkat tygfodral (Figur 7).



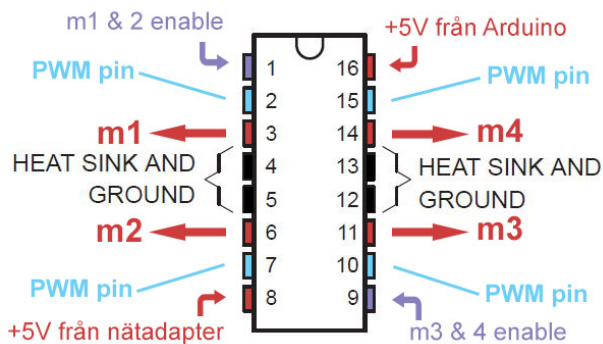
Figur 6: Inbyggda taktorer



Figur 7: Dyna med fodral

Genom 1,5 meter kabel har dynan kopplats till mikrokontrollern och motordrivarna. För att underlätta hantering och skydda elektronikkomponenterna har en enklare inbyggnadslåda ritats i Catia V5. Denna har skrivits ut i en 3D-skrivare. Arduinokortet monterades bredvid en lödlös kopplingsplatta där de två motordrivarna var inkopplade. Kretsen var parallellkopplad för att säkerställa en jämn spänning över båda motordrivarna (Figur 8 visar kopplingar till motordrivaren).

Pin 1 och 9, som kopplades till var sin digital I/O-port på Arduinokortet, bestämmer om motorerna på respektive sida får köras eller ej. Pin 2, 7, 10 och 15 kopplades till var sin PWM-port på mikrokontrollern för att kunna styra hastighet på motorn (och därmed spänningen som behövde hållas under 3,6 V). Den positiva kabeln från motor 1, 2, 3 och 4 kopplades till pin 3, 6, 11 respektive 14 medan deras negativa kablar kopplades till den gemensamma jorden på kopplingsplattan. Pin 4, 5, 12 och 13 kopplades även de till den gemensamma jorden. (Se bilaga 5 för en redovisning av samtliga kopplingar.)



Figur 8: Motordrivaren och dess kopplingar till kretsen.

4.2.4 Programmering

Programmet definierar, i olika s.k. arrays (en typ av lista), vilka pinnar som Arduinon använder för att kommunicera med motordrivarna och vilka pinnar som används för att kommunicera med knappsatsen. Dessutom definieras en array som avgör i vilken ordning motorerna skall avfyras och den inbördes ordningen i denna randomiseras. En variabel "motorSpeed" bestämmer vilken duty cycle eller verkningsgrad som skall skickas ut som PWM-signal på aktuella pinnar. Dessutom definieras en variabel "interval" som avgör hur länge varje motor skall avfyras (här: tre sekunder).

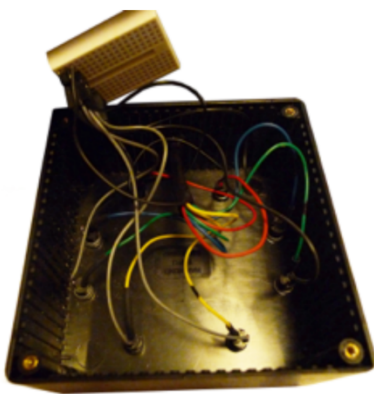
När programmet körs initialiseras alla pinnar, testordningen randomiseras, motorSpeed sätts till det lägsta värdet och en kanal för seriell kommunikation med datorn upprättas. Därefter skrivs instruktioner ut till datorn om att testet startar om tio sekunder och att det är dags att koppla på strömförsörjningen till motorerna. Alla motorer aktiveras i den ordning som randomiserats med aktuell motorSpeed och förblir aktiva tills att användaren tryckt på motsvarande knapp eller tills att tre sekunder löpt ut.

Vid varje aktivering skrivs ett meddelande ut om vilken motor som avfyras och vid vilken nivå. När intervalltiden (tre sekunder) löpt ut skrivs detta ut och om användaren trycker på rätt knapp och därmed avbryter körningen skrivs detta ut tillsammans med den totala tiden (i millisekunder) från att motorn slås på tills den stängs av. Mellan varje aktivering pausas programmet i en randomiserad tidsperiod på mellan tio och femton sekunder och information om detta skrivs även ut på skärmen.

När alla åtta motorerna har körts på en nivå ökas motorSpeed till nästa nivå och proceduren upprepas. När alla motorer har aktiverats på alla fyra nivåer upprepas förfarandet fast denna gång med två motorer åt gången. Även här sker en avfyrning av alla motorer på varje motorSpeed-nivå med början på den lägsta. Motorkörningen sker så länge användaren inte trycker ned de rätta knapparna samtidigt eller tills tre sekunder löpt ut. Även här ligger randomiserade pauser mellan varje avfyrning. (Se bilaga 10 för programmets fullständiga kod.)

4.2.5 Knappsats

För att i kommande experiment (se Kapitel 5) kunna mäta reaktionstid på och igenkänning av vibrationsmönstret, registrerades försökspersonernas respons med hjälp av en egenbyggd knappsats (Figur 9). Åtta små tryckströmbrytare monterades i en 120 × 120mm inbyggnadslåda där uppsättningen motsvarade motorernas placering i dynan. Knappsatsen kopplades till åtta digitala I/O-portar på mikrokontrollern och dess motsvarande jord genom 1,5 meter av kabel.



Figur 9: Knappsats för testning

5 DESIGN OCH GENOMFÖRANDE AV EXPERIMENT

Detta kapitel beskriver resultaten från de två experiment som genomfördes för att undersöka hur individer uppfattar och upplever vibrationssignaler i sätet.

5.1 Syfte

Syftet med experimenten var att:

- Att fastställa lämpliga vibrationsnivåer
- Att undersöka individens förmåga att identifiera av enskilda vibrationer och hur detta skiljer sig jämfört med kombinationer av vibrationer
- Att undersöka hur förmågan att identifiera vibrationssignalen påverkas av kognitiv belastning

Då de tänkbara applikationsområdena ställer krav på rörliga och komplexa signaler ansågs det motiverat att pröva om responsen på och uppfattningen av vibrationssignalerna från enskilda motorer skiljer sig från de som genereras av två motorer. Dessutom ansågs det vara motiverat att säkerställa att identifikation av vibrationssignaler inte påverkas i någon större utsträckning av den kognitiva belastningen som bilkörning innebär.

Två hypoteser formulerades:

H1: Två samtidiga vibrationssignaler samtidigt kan urskiljas och identifieras på ett jämförbart sätt med enskilda sådana.

H2: Urskiljandet av vibrationssignaler påverkas inte nämnvärt av ytterligare kognitiv belastning.

5.2 Genomförande

En pilottest och därefter två försök (Experiment A och Experiment B) med en homogen population genomfördes för att besvara hypoteserna. Under experimenten insamlades såväl kvantitativ som kvalitativ data angående reaktionstid, komfort och möjliga tillämpningar.

5.2.1 Pilotstudie

En pilotstudie genomfördes med en försöksperson där enskilda motorer avfyrares i slumpmässig ordning (två gånger per motor) och där vibrationsintensiteten ökades i fyra olika nivåer. Därefter följde aktivering av två motorer samtidigt två gånger per motor och med samma fyra intensitetsnivåer (således totalt 128 avfyrningar, hälften enskilda och hälften dubbla). Mellan varje motorkörning var en paus inlagd som varade mellan 5 och 10 sekunder. Försökspersonen ombads att bära hörselkåpor för att minimera risken att en avfyrning skulle identifieras genom ljudet som uppstår när motorn startar.

Vid pilotstudien framkom att antalet vibrationer upplevdes som obehagligt och att pauserna mellan vibrationerna upplevdes som för korta. Därför beslutades att förlänga paustiden från 5 – 10 sekunder till 10 – 15 sekunder och att halvera antalet avfyrningar i varje test (från 128 till 64). Dessutom upplevdes hörselkåporna som obehagliga och därutöver hördes ljudet från motorn till viss del ändå. Således beslutades att inte använda dessa i Experiment A.

5.2.2 Experiment A

Det första experimentet syftade till att undersöka dels hur vibrationsintensiteten påverkar individens uppfattning av vibrationer, dels vilka intensitetsnivåer som användaren upplever vibrationen som irriterande.

5.2.2.1 Försökspersoner

I experimentet deltog totalt åtta försökspersoner mellan 20 och 26 år, varav fem kvinnor och tre män. Alla försökspersoner var studerande vid Chalmers Lindholmen.

5.2.2.2 Utvärderingskriterier

Utvärderingskriterierna var korrekthet, träffsäkerhet respektive responstid. För att kunna mäta responstid användes en knappsats (se Kapitel 4) där knapparna var placerade i samma mönster som motorerna (se Figur 10).

Responstid mättes från det att vibrationen startat till att försökspersonen tryckt på rätt knapp. Korrekthet definierades som den andel avfyrningarna som identifierats korrekt. Träffsäkerhet definieras som den andel av avfyrningarna som identifierats korrekt vid första knapptrycket.

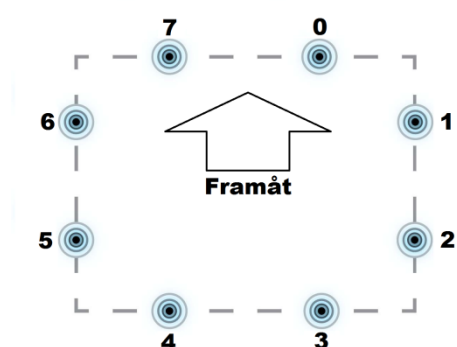
5.2.2.3 Material

Experimentet utfördes framför en datorskärm där en filmsekvens spelades upp som illustrerade en bilfärd genom Budapest (jfr Zepp, 2013). Framför skärmen var en ratt placerad för att bidra till korrekt kontext.

Gränssnittet (dvs. prototypen) placerades på en lätt vadderad pinnstol som i sin tur placerades framför skärmen. Knappsatsen placeras i nära anslutning.

5.2.2.4 Procedur

Motorerna var numrerade från 0 till 7 medurs med start i den övre högra motorn (se Figur 10)¹.



Figur10: Numrering av motorer

Det första testet var uppdelat i två delar där första delen endast innefattade en motoravfyrning åt gången och den andra innefattade dubbla avfyrningar. När två motorer kördes samtidigt skedde detta med begränsningen att endast två närliggande motorer avfyras samtidigt (d.v.s. motor 1 och 2 eller 2 och 3 osv.).

¹ Då numrering inom programmering i regel börjar med 0 snarare än 1 valdes att även tillämpa detta i resultaten.

I varje del avfyrades alla motorer en gång i fyra olika intensitetsnivåer med början i den lägsta och sedan gradvis högre. Detsamma gällde vid dubbla aktiveringar med skillnaden att alla motorkombinationer (dvs. 1, 2 och 2, 3...) avfyrades på alla nivåer.

Under testen ombeds försökspersonerna att säga huruvida vibrationen upplevdes som tydlig och om den upplevdes som irriterande eller inte.

Efter avslutat test utfrågades försökspersonerna om hur de upplevde testet, vad de tror att ett liknande gränssnitt skulle kunna användas till och om de har andra synpunkter.

5.2.3 Experiment B

I det andra experimentet undersöktes hur de nivåer som ansetts lämpliga utifrån insamlad data från experiment A upplevs och identifieras vid en liknande situation men med ytterligare kognitiv belastning. Med utgångspunkt i de värden som identifierats i Experiment A valdes tre nya värden ut som utvärderas i Experiment B.

5.2.3.1 Försökspersoner

Totalt deltog åtta personer i åldern 20 till 26 år, varav fem kvinnor och tre män. Samtliga var studerande. Av dessa hade fyra varit försökspersoner vid Experiment A medan fyra var obekanta med test och testutrustning.

5.2.3.2 Utvärderingskriterier

Utvärderingskriterierna var desamma som i Experiment A, dvs. korrekthet, träffsäkerhet respektive responstid. För att kunna mäta responstid användes samma knappsats.

Responstid mättes från det att vibrationen startat till att försökspersonen tryckt på rätt knapp. Korrekthet definierades som den andel avfyringarna som identifierats korrekt. Träffsäkerhet definieras som den andel av avfyringarna som identifierats korrekt vid första knapptrycket.

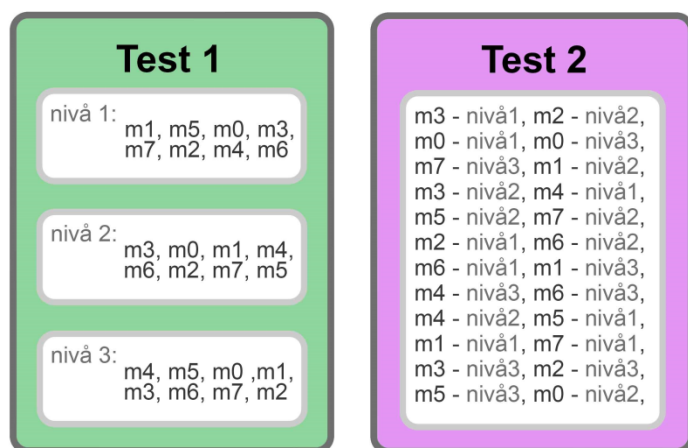
5.2.3.3 Material

Experimentet utfördes också denna gång framför en datorskärm där en filmsekvens spelades upp. Framför skärmen var en ratt placerad för att bidra till korrekt kontext.

Gränssnittet (dvs. prototypen) placerades på en lätt vadderad pinnstol som i sin tur placeras framför skärmen. Knappsatsen placerades i nära anslutning.

5.2.3.4 Procedur

Även detta test var uppdelat i två delar där den första involverade enstaka motorer och den andra två motorer samtidigt. Till skillnad från det första testet var ordningen helt randomiserad och inte uppdelad efter stigande nivå. Varje motor avfyrades en gång per nivå och således skedde 24 avfyringar per del (se figur 11 för skillnaden mellan Experiment A och B).



Figur 11: Testordning

Filmsekvensen innehöll denna gång siffror som presenterades någonstans på skärmen och försökspersonerna ombeds att ropa ut de siffror som presenteras när de såg dem. Siffrorna visades i tre sekunder och utgjorde en sorts visuell kognitiv belastning som skulle få försökspersonerna att fästa sin uppmärksamhet på skärmen (motsvarande den uppmärksamhet som bilkörningen kräver).

Försökspersonerna ombads hålla knappsatsen i händerna och att trycka på motsvarande knapp när motorerna aktiveras. Om försökspersonen inte tryckte på rätt knapp kunde hen fortsätta att trycka tills hen hittade rätt. Vibrationerna stängdes av när rätt knapp tryckts ned eller när tre sekunder förflutit. Om försökspersonen tryckte på fel knapp antecknades detta av försöksledarna på testprotokollet. Information om vilka motorer/motorpar som avfyrats och försökspersonens reaktionstid antecknades.

Information om försökspersonernas upplevelse samlades in genom att de tillfrågades om de upplevde irritation eller inte. Någon skala användes inte.

För att försökspersonerna skall få bekanta sig med utrustningen erbjöds de att prova hur vibrationerna kändes genom ett separat program som kopplade knapptryckningar till rätt motsvarande motor. På detta sätt kunde försökspersonerna innan testet började bli medvetna om ungefär var vibrationerna kommer att kännas och vilka knappar som hör till vilka motorer. När försökspersonerna ansåg att de är klara påbörjas programmet och filmsekvensen startades.

5.3 Resultat

5.3.1 Experiment A

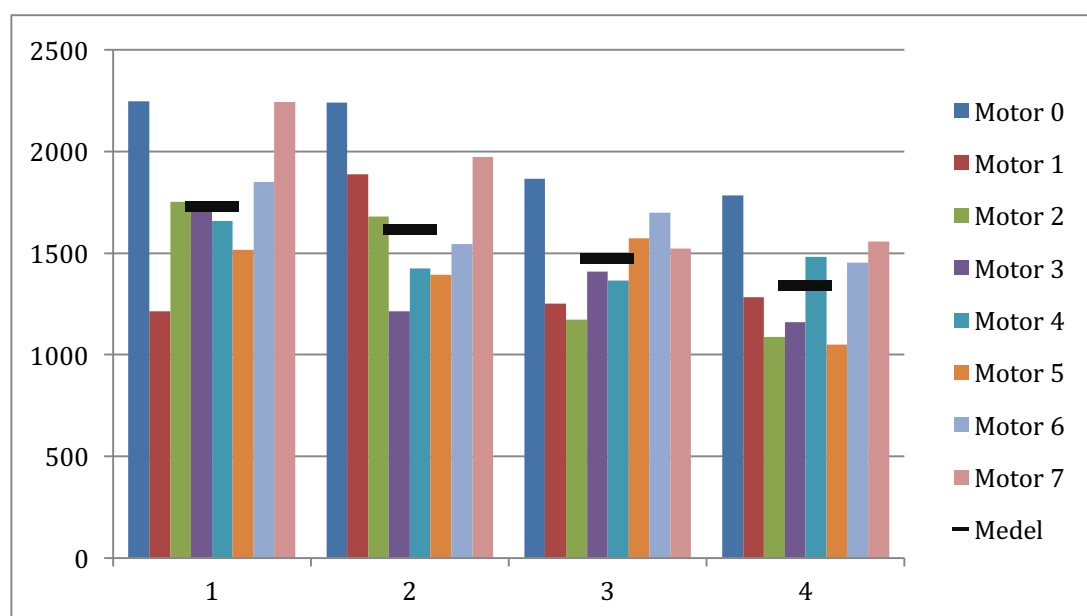
Under Experiment A avfyrades motorerna i fyra nivåer enligt tabell 3 nedan.

Tabell 3: Specifiering av nivåer i test 1

Nivå	PWM-signal	Duty cycle (%)	Vibrationsamplitud (G)	Vibrationsfrekvens (Hz)
1	63	25	1,00	64
2	92	37	1,63	88
3	121	47	2,41	107
4	150	59	3,25	126

Vid avfyrning av en motor minskade responstiden med ökande vibrationsintensitet, detta avspeglas i medelvärde som minskade från 1729 till 1344 ms (se bilaga 6). Vid avfyrning av två motorer minskade responstiden med ökande intensitet, från 1939 till 1554 ms.

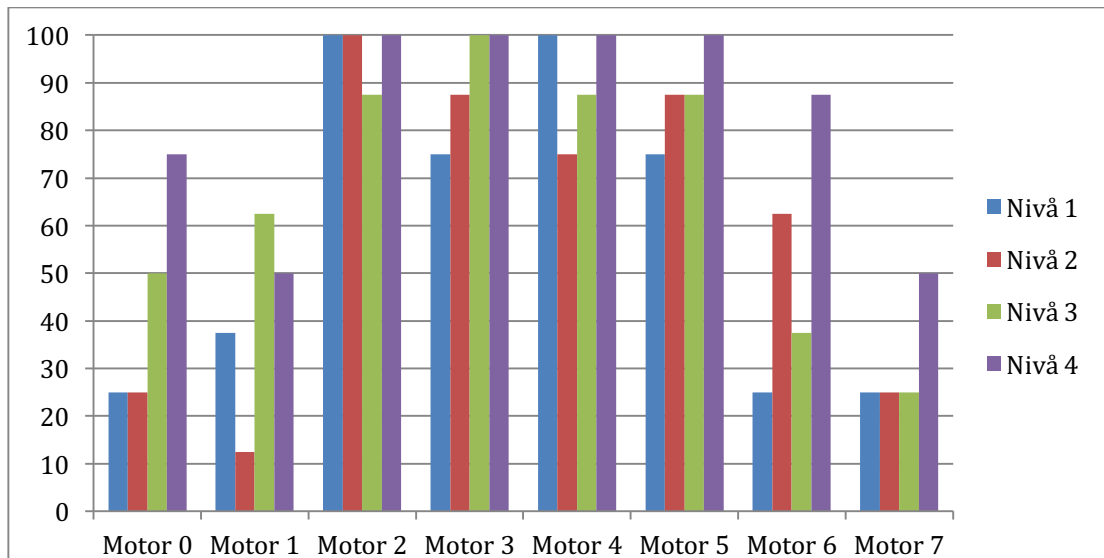
Responstiden var något längre vid aktivering av de främre motorerna jämfört med de bakre vilket illustreras i figur 12. Standardavvikelsen för responstid vid enstaka motorer var mellan 529 och 600 ms och vid dubbla motorer mellan 550 och 583 ms.



Figur 12: Genomsnittlig responstid i ms per nivå vid avfyrning av en motor, test 1

Vad gäller andelen rätt identifierade vibrationer syns ett mönster vid avfyrning av en motor där andelen korrekta identifieringar ökade då vibrationsintensiteten ökade (se bilaga 6). (Förklaringar till eventuella avvikelser tas upp i diskussionen). Ökningen syntes tydligast för motorerna 0, 1, 6 och 7, det vill säga de fyra främre motorerna, men det bör samtidigt noteras att andelen korrekt identifierade är avsevärt lägre för dessa (mellan 38% och 82%) än för de bakre motorerna. Beträffande de bakre motorerna (2, 3, 4, 5) är skillnaden mellan nivåerna relativt liten men andelen korrekta knapptryck är hög (mellan 75% och 100%).

Träffsäkerheten vid signal från en enskild motor uppvisade på ett liknande resultat där de bakre motorerna identifierades enklare än de främre. Den genomsnittliga träffsäkerheten är 42% för de främre och 91% för de bakre (Figur 13).



Figur 13: Genomsnittlig träffsäkerhet i procent vid avfyrning av en motor, test 1

Försökspersonerna ombads dessutom att rapportera vilka vibrationer som kändes irriterande. Även här syntes ett mönster med ökande irritation ju högre vibrationsintensiteten är. Vid den lägsta nivån rapporterades bara tre vibrationspunkter som irriterande och andelen som rapporterade detta är mellan 12% och 25% av försökspersonerna. De motorer som är monterade längst bak (dvs. motorerna 3, 4) rapporterades som irriterande vid nivå 4 av 75% av försökspersonerna. Vid avfyrning av två motorer tycktes den upplevda irritationen vara mindre men en tydlig skillnad kan identifieras mellan nivåerna 3 och 4. Den genomsnittliga irritationsnivån går från 34% vid nivå 3 till 53% vid nivå 4.

Försökspersonerna tillfrågades om vilka applikationer de tror att gränssnittet skulle kunna användas till. Bland de svar som förekom oftast fanns bland annat närhetssensor, döda vinkeln-varning, parkeringsstöd och navigationshjälpmedel.

5.3.2 Experiment B

Med utgångspunkt i dessa resultat identifierades och valdes lämpliga nivåer till Experiment B. Då nivå 1 inte gav tillräcklig tydlighet ansågs inte detta vara lämpligt för vidare utvärdering och då nivå 4 upplevdes som irriterande av en majoritet av försökspersonerna ansågs inte heller denna lämplig. Således beslutades att vidare utvärdera nivå 2 och 3 och ytterligare en intensitetsnivå mellan dessa (106) i Experiment B (tabell 4).

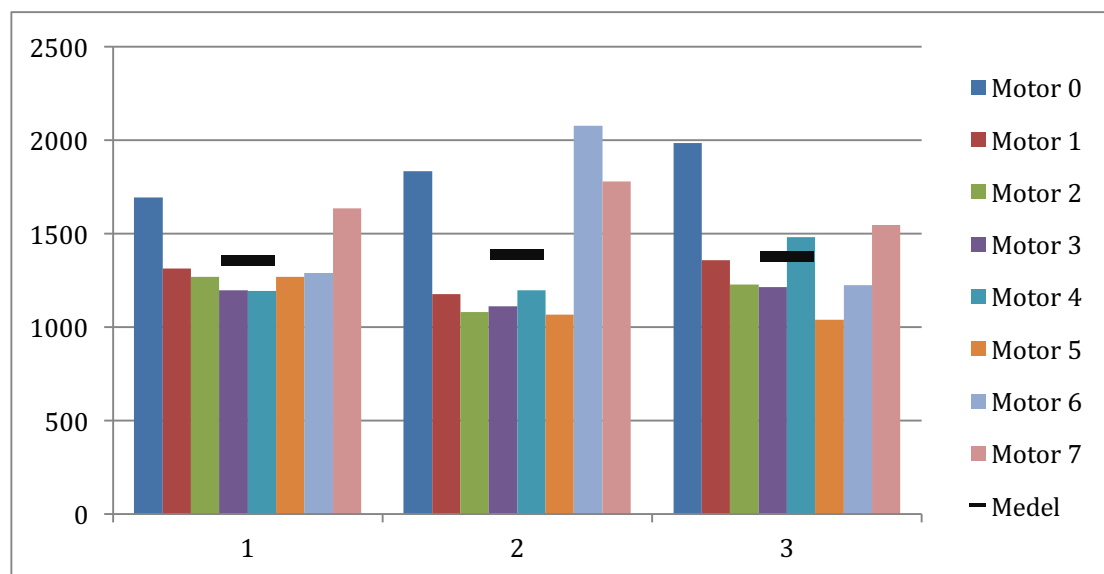
Tabell 4: Specifiering av nivåer i test 2

Nivå	PWM-signal	Duty cycle (%)	Vibrationsamplitud (G)	Vibrationsfrekvens (Hz)
1	92	36	1,63	88
2	106	42	2,00	97
3	121	47	2,41	107

Under Experiment B ombads försökspersonerna att bära hörselkåpor och dessutom utföra en enklare uppgift i syfte att fästa deras uppmärksamhet på skärmen. Till skillnad från

Experiment A randomiserades, förutom motorernas ordningsföljd, även ordningen på nivåer.

Vad gäller den genomsnittliga responstiden vid avfyrning av en motor var skillnaden praktiskt taget obefintlig (mellan 1358 och 1391 ms). Värt att notera är dock att responstiden för Experiment B ligger i ungefär samma nivå som vid nivå 4 i Experiment A (medel 1377 respektive 1344 ms). Vid avfyrning av två motorer sjönk den genomsnittliga responstiden med ungefär 0,1 sekund per nivå (1777, 1698 och 1573 ms). Liksom i Experiment A var responstiden längre för de främre motorerna jämfört med de bakre (Figur 14).



Figur 14: Genomsnittlig responstid i ms per nivå vid avfyrning av en motor.

Andelen rätt var för de första fem motorerna (0 - 4) i det närmaste 100 % (se bilaga 8) och för resterande motorer minst 62%. Träffsäkerheten för de främre motorerna var, liksom i Experiment A, lägre än för de bakre (47% jämfört med 80%).

Vid avfyrning av två motorer var andelen rätt mellan 62% och 100 % för de fem första motorparen (motor 0, 1 till motor 4, 5) medan motorparen 5, 6 och 6, 7 hade en avsevärt mycket lägre andel rätt (mellan 0 och 37%). I Kapitel 5 diskuteras möjliga orsaker till detta närmare.

Då nivåerna delvis valdes med avseende på hur irriterande dessa upplevdes avspeglades detta även i resultaten då andelen som rapporterade irritation var mellan 12,5 och 37,5%.

Standardavvikelsen i responstid ligger vid enstaka motorer mellan 508 och 617 ms och vid dubbla motorer 517 ms och 641 ms.

Kovarians och Pearson-korrelation räknades ut för att se huruvida responsmönstret skiljde sig mellan fallen utan och med pålagd kognitiv belastning. Jämförelsen gjordes mellan de två nivåer som har samma PWM-signal i test 1 och 2. Kovariansen visade sig vara positiv i alla fall vilket tyder på att responsmönstret ser likadant ut oavsett kognitiv belastning.

Pearson-korrelationen mellan körningar på samma nivå i test 1 och 2 jämfördes för att se huruvida responsmönstret för dessa förändras med pålagd kognitiv belastning.

Korrelationen för responstid visade sig vara 0,879 för PWM-signal 92 och 0,478 för PWM-signal 121 och detta kan tolkas som att det råder ett positivt samband mellan responstid med och utan kognitiv belastning. Pearson-korrelationen för träffsäkerheten var för samma nivåer 0,427 respektive 0,596 vilket också tyder på ett positivt samband. Vad gäller korrelation av träffsäkerhet ligger den betydligt högre, 0,941 för PWM-signal 92 och 0,879 för PWM-signal 121, vilket visar på ett starkt positivt samband mellan test med och utan kognitiv belastning. Sammantaget med den låga skillnaden i responstid och träffsäkerhet leder detta till att det finns anledning att anta att den pålagda kognitiva belastningen inte nämnvärt påverkade identifikationen av signalerna.

6 SLUTSATSER OCH DISKUSSION

Kapitlet sammanfattar slutsatserna från de två experimenten och diskuterar resultaten utifrån vald metodik, diskuterar möjliga applikationsområden, samt formulerar rekommendationer för utveckling av prototypen.

6.1 Slutsatser

Följande slutsatser kan dras:

- Baserat på insamlad data finns anledning att tro att ett gränssnitt av beskriven typ skulle kunna användas för ett flertal olika applikationer i bilens cockpit.
- Då identifikationen av dubbla vibrationer skedde med ungefär samma responstid och träffsäkerhet som av enskilda vibrationer finns anledning att tro att detta skulle kunna utnyttjas för att ge användaren information om exempelvis riktning.
- Då gränssnittet ligger i samma plan som vägen, som bilen färdas på, finns möjlighet att på ett enkelt sätt kommunicera information om bilens omedelbara omgivning.
- Insamlad data visar också att, givet vald teknik och inbyggnad, en lämplig nivå för vibrationer är omkring 2 G och 97 Hz. Dessa värden kan tolkas som en sorts vägledning inför kommande utveckling av haptiska gränssnitt.

6.2 Diskussion

De slutsatser som dras bygger på resultaten från de olika studierna. Studiernas resultat är i sin tur beroende av valet av metodik. Möjliga orsaker till avvikelser och oväntade resultat redovisas i detta avsnitt.

6.2.1 Metodik

6.2.1.1 Populationens storlek

Då antalet försökspersoner vid varje experiment var åtta personer gäller att enstaka datapunkter kan få relativt stort genomslag i statistiken. Detta kan, till viss del, förklara en del avvikelser som exempelvis de fall där responstiden ökade med ökande vibrationsintensitet.

6.2.1.2 Kognitiva aspekter

Priming är ett fenomen som innebär att information finns kvar i närminnet och kan påverka behandlingen av ny information. I Experiment A är den enda möjligheten för samma motor/motorpar att avfyras två gånger i rad endast de fall då motorn/motorparet slumpats att vara sist på en nivå och först på nästa. I detta fall kan viss 'priming' ha skett men detta har inte visat sig i resultaten på något avgörande sätt. Däremot sker en gradvis ökning av intensitetsnivå vilket skulle kunna bidra till att upplevd irritation blivit större ju högre nivå.

I Experiment B finns dock möjlighet att samma motor/motorpar avfyras upp till tre gånger i rad med olika nivåer. Här skulle en viss primingeffekt kunna föreligga men detta har inte visat sig på nämnvärt sätt. En uppföljning av detta skulle kunna utföras för att se hur stor primingeffekten är på de olika motorerna och nivåerna och med detta resultat skulle uppmätta värden kunna justeras.

Vid pilotexperimentet framkom att försökspersonerna tyckte att det var obehagligt att bära hörselkåpor under en längre period och således beslutades att inte använda dessa i experiment A. Detta fick som effekt att försökspersonerna kunde höra när motorerna startade och därmed fick en sorts förvarning om att känna efter var det vibrerade. Detta skulle kunna tänkas påverka responstid och andelen korrekt identifierade avfyrningar. Dock användes hörselkåpor i experiment 2 och inga sådana resultat kunde noteras.

6.2.1.3 Kontaktproblem

Då dynan placerades en bit från stolens ryggstöd och försökspersonerna ombads att sitta med ryggen mot ryggstödet resulterade detta i att de bakre motorerna alltid var i kontakt med försökspersonen medan kontakt med de främre motorerna inte alltid uppnåddes. Beroende på försökspersonernas anatomi och hur de valde att positionera sina ben uppstod situationer där motorerna hamnade mellan eller utanför benen. Detta gav som resultat att dessa vibrationer inte uppfattades lika tydligt som de vibrationer som hade direkt kontakt med personen.

6.2.1.4 Mätfel

Eftersom Arduinoprogrammet inte garanterar att en kontroll varje millisekund sker av huruvida någon knapp är nedtryckt finns en viss felmarginal inbyggd. Denna bedöms dock så pass liten att den kan försummas.

6.2.1.5 Tekniska problem

Under Experiment A framkom att när två motorer avfyrades samtidigt fanns en markant skillnad i vibrationsintensitet mellan de motorer som var kopplade till den första motordrivaren (dvs. motor 0-3) och de som var kopplade till den andra (dvs. motor 4-7). I synnerhet visade sig motor 6 vara problematisk vilket även syns i resultaten (se bilaga 6 - 9). Vid dubbelavfyrning av motorpar 5-6 och 6-7 upplevdes den inte som tydlig och procentandelen som korrekt identifierade denna var låg eller obefintlig. Till Experiment B gjordes försök att avhjälpa problemet genom justering av motorns infästning men detta visade sig inte ha något större resultat på uppmätta värden.

Då ingen fysiologisk skillnad finns mellan vänster och höger ben antas att de värden som uppmättes på höger ben (motor 0-3) även kan gälla för vänster sida. Således har vänster sida helt enkelt "räknats bort" i utvärderingen av resultaten och slutsatser dragits med utgångspunkt i fysisk och fysiologisk symmetri gällande vänster/höger ben.

6.2.2 Möjliga applikationer

Ett gränssnitt av beskriven typ kan tänkas komma till användning i en rad olika applikationer. Då detta arbete skett inom ramen för ett FFI-projekt, AIMMIT, har fokus varit utveckling för fordonsmarknaden. Dock har inte arbetet utvärderat hur pass väl gränssnittet skulle fungera för en eventuell applikation utan endast huruvida det finns anledning till vidareutveckling. Således beskrivs här hur detta arbete skulle kunna kopplas till olika applikationer.

Vid Experiment A utfrågades försökspersonerna om vilka applikationer de trodde att gränssnittet skulle kunna användas till. Bland de svar som förekom oftast fanns bland annat närhetssensor, döda vinkeln-varning, parkeringsstöd och navigationshjälpmedel. Dessutom påpekade flera försökspersoner att vibrationerna upplevdes som irriterande om de förekom för ofta och att en eventuell applikation skulle bygga på information som förmedlas vid enstaka tillfällen snarare än kontinuerligt.

Flertalet biltillverkare har olika stödsystem för funktioner såsom döda vinkeln-varning, närhetsvarning, parkeringshjälp och dylikt. Denna information förmedlas i nuläget genom den visuella eller auditiva kanalen men skulle enkelt kunna sammankopplas med gränssnitt av beskriven typ.

Behov av riktningsindikation och varningssignaler som inte belastar visuella eller auditoriska kanaler anses inte bara vara begränsad till bilindustrin. Andra möjliga applikationer där gränssnittet skulle kunna tillämpas är integration i motoriserade rullstol, andra industrimaskiner såsom gaffeltruck, grävsropa, lyftkran med mera och haptisk feedback i dataspelsbranschen.

Ett system, som varierar informationsinnehåll med hänsyn till vilken kontext bil och förare befinner sig i för tillfället, skulle vara en möjlighet. Således skulle exempelvis hastighet kunna användas som avgörande faktor för vilken typ av signaler som skulle förmedlas, exempelvis skulle information om bilens omedelbara omgivning förmedlas då hastigheten är låg (< 10 km/h) medan information om döda vinkeln eller navigation förmedlas vid högre hastigheter (> 40 km/h).

6.2.3 Rekommendationer för vidareutveckling av prototypen

Resultaten visar tydligt att de bakre taktörerna ger tillräckligt goda resultat för att motivera fortsatt utveckling av gränssnittet. Om responsen antas vara symmetrisk och att upplevd vibration är likadan ut på båda sidor finns fortfarande en skillnad mellan de främre och bakre motorerna. Genom att justera placering och intensitet på de främre motorerna skulle en godtagbar nivå för vibrationen kunna identifieras och prestanda som motsvarar de bakre motorerna kunna uppnås.

Då ingen större skillnad föreligger mellan hur snabbt försökspersonerna identifierade ett motorpar jämfört med enskilda motorer finns möjlighet att utveckla en placering som skulle kunna möjliggöra indikation om riktning. En möjlighet är att, likt de uppsättningar som undersökts av Ji et al (2011), flytta de främre vibrationsmotorerna från under låren/benen till bolstret vid sidan om benen. Detta skulle eventuellt möjliggöra en högre vibrationsintensitet utan att för den skull leda till ökad irritation och skulle även kunna användas för att indikera sidledes och diagonala riktningar.

Vad gäller kognitiv belastning tycks inte den adderade uppgiften, att på skärmen identifiera siffror, nämnvärt påverka försökspersonernas prestation.

Vid fortsatt utveckling av gränssnittet skulle infästningarna behöva arbetas om för att ge varje motor och motorpar enhetlig respons på samma PWM-nivå. Inkapslingen av dessa skulle även behöva göras enhetlig vad gäller storlek och vikt för att säkerställa enhetlig respons. Ytterligare användartester med större populationer skulle behöva utföras för att validera resultaten och för att studera möjliga konsekvens, t.ex. i termer av kognitiv belastning

Den förenklade beräkningsmodellen för kognitiva resurskonflikter, som beskrevs i avsnitt 2.3.1, kan användas för att ge en indikation om hur mycket två uppgifter kommer att påverka varandra. För att undersöka i hur stor utsträckning samma resurser tas i anspråk vid körning av bil och samtidigt hantering av information i den visuella och haptiska kanalen har dessa utvärderas och resultaten redovisas i Tabell 3.

Tabell 3: Förenklad beräkning av kognitiv belastning enligt Wickens

	Visuell information	Haptisk information
Kognitiva krav		
Kognitiva krav att hantera fordonet	1 (2)	1 (2)
Kognitiva krav att hantera information	1	1
Kognitiva resurskonflikter		
Medvetandenivå	0	0
Kodning	1	1
Modalitet	1	0
Fokus	0 (1)	0
Summa	4 (6)	3 (4)

De krav som ställs på föraren för att köra bil antas vara 1 (enkelt) på en skala från 0 till 2. Eventuellt kan ett värde på 2 (svårt) antas vid de tillfällen då högre krav ställs, exempelvis vid stadskörning. De krav som ställs för att hantera information antas vara 1 (enkelt) för både det visuella eller haptiska fallet.

De två fallen: visuell och haptisk information skall också utvärderas med avseende på hur pass mycket de tar samma kognitiva resurser i anspråk. De två uppgifterna poängsätts i de fyra dimensionerna med ett poäng om samma resurser tas i anspråk och noll poäng om olika resurser tas i anspråk.

Vad gäller den första dimensionen, som rör vilken nivå av användarens medvetande som uppgiften huvudsakligen befinner sig i, antas att framförandet av bilen ligger på den responsiva nivån medan tolkning av visuell eller haptisk information huvudsakligen ligger på den kognitiva nivån. I den andra dimensionen utvärderas vilken typ av kodning den, för uppgiften, aktuella informationen har - verbal eller spatial. Här bedöms alla tre uppgifterna (körning, visuell information och haptisk information) hantera huvudsakligen spatial information. Den tredje dimensionen beskriver vilka modaliteter som uppgiften hanteras i och här antas körning och visuell information vara kopplade till den visuella modaliteten medan haptisk information är kopplad till den haptiska modaliteten. Slutligen utvärderas enligt den fjärde dimensionen huruvida visuell information ligger i fokus eller det perifera seendet. Körningen ligger naturligtvis i fokus och visuell information antas ligga i det perifera seendet. Vissa avvikelser för detta kan antas beroende på vilken typ av information som ges, exempelvis är navigationsindikationer något som förmodligen skulle kräva användarens fokus.

Kombinationen av bilkörning och hantering av visuell information resulterar i ett värde på 4 i det enklaste fallet (enkel bilkörning, information i det perifera seendet) och 6 i det svåraste fallet (komplicerad bilkörning, information som kräver förarens fokus). Om den visuella informationen ersätts av haptisk information resulterar detta i ett värde på 3 i fallet med enkel bilkörning och 4 i fallet med mer komplicerad körning. Oavsett vilket verkar det alltså finnas ett värde i att flytta information från den visuella till den haptiska modaliteten.

REFERENSER

- Geiser, G. (1985) Man- machine interaction in vehicles. *ATZ*, 87:74-77
- Grunwald, M. (Red.). (2008). *Human Haptic Perception: Basics and Applications*. Berlin: Birkhäuser
- Hanson, L., Sperling, L., Gard, G. Ipsen, S. & Vergara, C. (2009). Swedish anthropometrics for product and workplace design. *Applied Ergonomics*, 40(4), s. 797-806.
doi:10.1016/j.apergo.2008.08.007
- Ji, Y.G., Lee, K. & Hwang, W. (2011). Haptic Perceptions in the Vehicle Seat. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 21(3), s.305-325.
doi:10.1002/hfm.20235
- Just-auto. (2013). Global market review of automotive cockpits and instrumentation - forecasts to 2028. Bromsgrove: Aroq Ltd.
- Ljungkvist B. (2007). Beröring [personlig webbsida]. Hämtad 2014-03-15 från <http://medicinstudent.se/neural/node71.html>
- McGrath, B., McKinley, A., Duistermaat, M., Carlander, O., Brill, C., Zets, G. & van Erp, J.B.F. (2008). Tactile Displays for Orientation, Navigation and Communication in Air, Sea and Land Environments (NATO rapport RTO-TR-HFM-122). Neuilly-sur-Seine Cedex: Research and Technology Organisation NATO.
- Mehler, B., Reimer, B. & Zec, M. (2012). Defining Workload in the Context of Driver State Detection and HMI Evaluation. *Proceedings of the 4th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, s.187-191. Portsmouth, USA.
- Nationalencyklopedin. (2014). Haptik. <http://www.ne.se/lang/haptik>
- Nationalencyklopedin. (2014). Kognition. <http://www.ne.se/lang/kognition>
- Nationalencyklopedin. (2014). Taktil. Tillgänglig: <http://www.ne.se/lang/taktil>
- Paddan, G. S. & Griffin, M. J. 2002. Evaluation of whole-body vibration in vehicles. *Journal of Sound and Vibration*, 253(1), 195-213.
- Qiu, Y. & Griffin M. J. 2003. Transmission of fore-aft vibration to a car seat using field tests and laboratory simulation. *Journal of Sound and Vibration*, 264(1), 135-155.
- Reed, M. P. (2000). Survey of Auto Seat Design Recommendations for Improved Comfort (Reed Seating Literature Review). Ann Arbor: University of Michigan Transportation Research Institute, University of Michigan
- The San Jose Group. (2014). Today's Technology Drives Yesterday's Cars Into Tomorrow. Hämtad 2014-04-26 från <http://ourspace.thesanjosegroup.com/2014/03>

Scott, J. J. & Gray, R. (2007). A Comparison of Tactile, Visual, and Auditory Warnings for Rear-End Collision Prevention in Simulated Driving. *Human Factors*, 50(2), April 2008, s. 264-275. doi:10.1518/001872008X250674

Viktoriainstitutet. (2014). *Automotive Integration of Multimodal Interaction Technologies*. Hämtad 2014-05-10 från <https://www.viktoria.se>

VINNOVA (2014) *Multimodala förargränssnitt i bil för ökad säkerhet, kundtillfredsställelse, och konkurrenskraft*, Hämtad 2014-06-10 från <http://vinnova.se/sv/Resultat/Projekt/Effekta/Multimodala-forargranssnitt-i-bil-for-okad-sakerhet-kundtillfredsstallelse-och-konkurrenskraft-AIMMIT/>

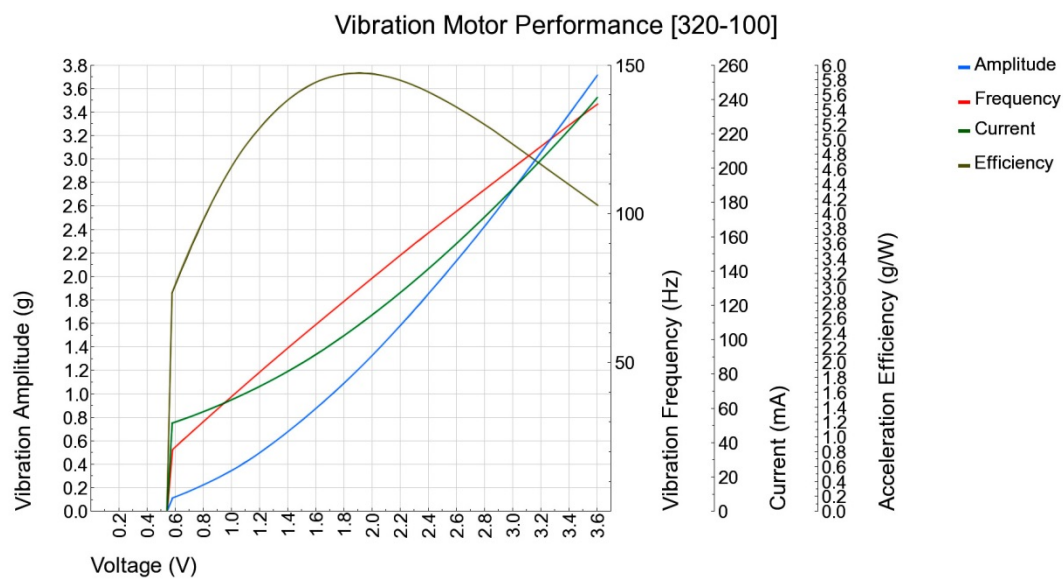
Wickens, C. D. (2008). Multiple Resources and Mental Workload. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50, s. 449-455. doi:10.1518/001872008X288394

Zepp, I. (2013). Driving around Budapest, Hungary [Creative Commons OK] [Videofil] Hämtad från <http://youtu.be/nA5fLqiN4O8>

Kartläggning av sekundära uppgifter i bilcockpiten

i

Datablad för Precision Microdrives 320-100



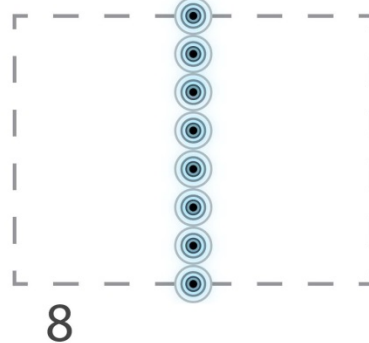
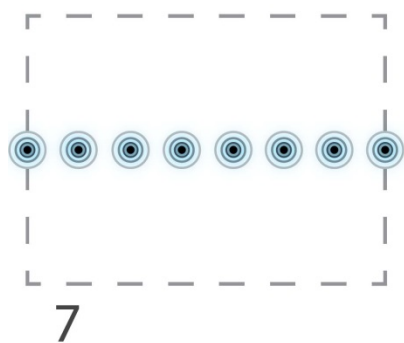
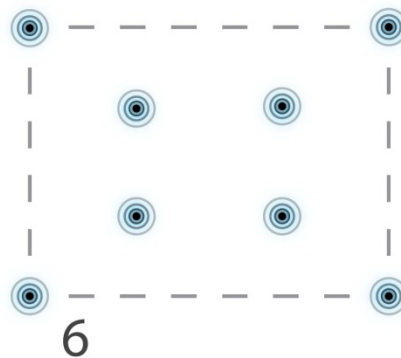
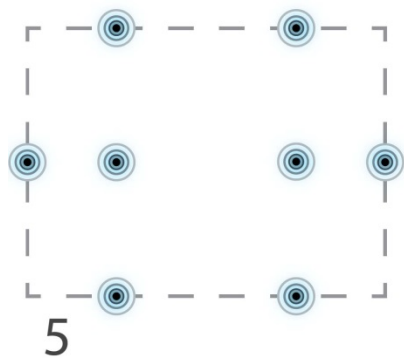
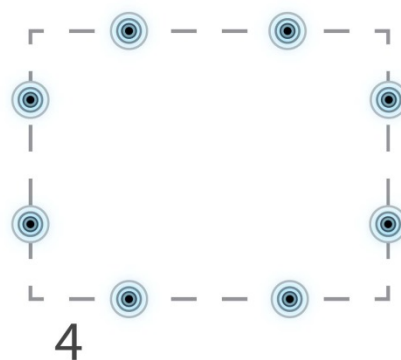
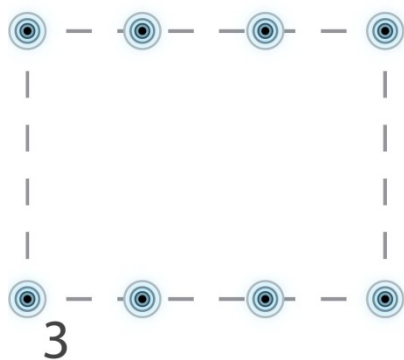
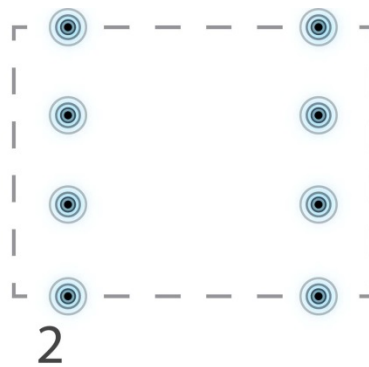
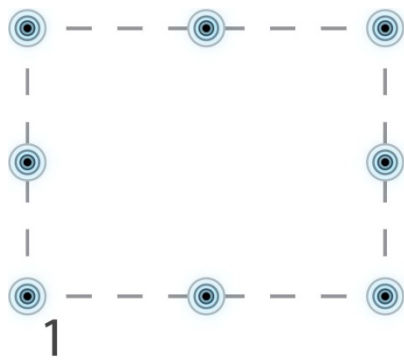
Applikation	Informationsinnehåll	Riktning	Tidsdimensionering	Nuvarande modalitet (Volvo)
Fotgångare	Avstånd, tid (till kollision)	Diskret	Reaktionsberoende	Visuell och Auditiv
Närhetssensor	Avstånd	Diskret	Kontinuerlig	Ingen nu
Backning	Avstånd	Ingen	Reaktionsberoende	Visuell och Auditiv
Kollision vid korsning	Avstånd, tid (till kollision)	Ingen, (diskret)	Reaktionsberoende	Visuell och Auditiv
Navigation (GPS)	Avstånd	Diskret, dynamisk	Reaktionsberoende, Ambient	Visuell och Auditiv
Döda vinkeln	Ingen	Diskret	Kontinuerlig	Visuell
Eco-driving	Skilnad mellan önskad och aktuell	Ingen	Reaktionsberoende, Ambient	(Visuell)
Hastighetsgränser	Skilnad mellan önskad och aktuell	Ingen	Reaktionsberoende	Ingen nu
Lane awareness	Ingen	Diskret	Reaktionsberoende, Ambient	Visuell och Auditiv
Inkommande telefonsamtal	Ingen	Ingen	Diskret (återkommande)	Auditiv och Haptisk
Parkering	Avstånd	Dynamisk	Reaktionsberoende	Visuell och Auditiv

Ingen	Diskret - enskild punkt i tiden
	Reaktionsberoende - kontinuerlig från systemets "upptäckt" till reaktion (från system eller användare)
Diskret - en riktning	Ambient - information med låg urgency
Dynamisk - riktning/rörelse som förändras över tid	Kontinuerlig - ett skeende med väl definierat start och slut

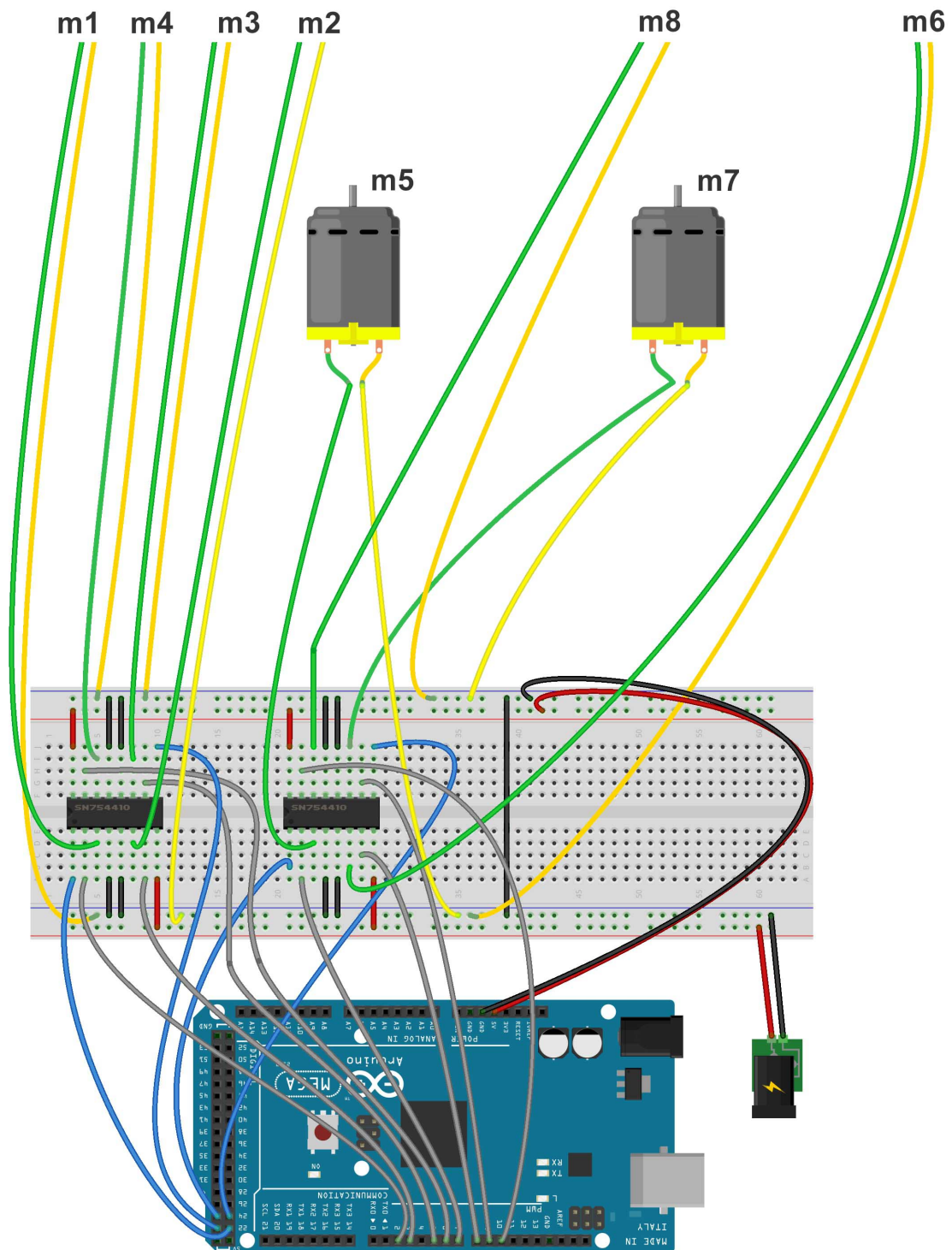
Vibrationer i sätet	Rumsligt mönster	Tid
Intensitet	Dimensionslös	Diskret
Analog	Riktning i två dimensioner	Pulserande
Digital	Rörelse i två dimensioner	Kontinuerlig

Egenskapsmatris

Val av mönster



Kopplingar för prototypen



Resultat av Experiment A - del 1

[illegible]

Resultat av Experiment A - del 2

[illegible]

Resultat av Experiment B - del 1

	Nivå 1							Nivå 2							Nivå 3									
	Motor 0	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 5	Motor 6	Motor 7	Motor 0	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 5	Motor 6	Motor 7	Motor 0	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 5	Motor 6	Motor 7
E.M.	1040	1962	998	763	2319	1577	1474	2215	2024	854	924	1075	769	1325	1896	2924	2924	961	1448	2097	1821	991	1782	
M.S.	1052	1123	1963	2149	739	1403	1420	1686	1552	1037	2021	1968	1104	900	883	1119	2103	742	1713	717	902	931	826	1125
R.R.	1648	521	1284	852	850	489	1236	1686	1552	1451	569	637	1007	585	2674	899	1052	865	479	880	2681	667	1041	1287
A.P.	576	1177	849	1281	1107	1217	1690	1690	1238	1147	764	880	2130	1087	2457	1339	1409	388	1338	851	1528	851	812	1382
A.S.	2404	1856	977	1501	1397	1183			2827	1555	1085	1264	1669	1355	2991	2805	1765	1291	1546	1534	1471	1334	1847	
K.O.	2747	1364	1909	1343	1523	1166	1460	1494	1494	1237	1417	1285	1344	1265	1691	1843	1234	2101	1443	1904	1571	1268	1753	2088
J.B.	2001	1404	715	735	580	645	1483	1843	1906	1219	618	715	676	785	2861	1924	1347	1119	518	756	703	817	1371	
H.P.	2077	1085	1464	945	1022	1701	1586	1322	1794	901	1249	1060	862	1234	2084	2326	3000	2929	1604	958	1103	1139	1462	
Medelvärde	1693	1312	1270	1196	1192	1270	1290	1636	1834	1175	1081	1111	1195	1067	2078	1777	1984	1359	1229	1214	1480	1041	1223	1546
Medelvärde på nivå	1358							1391	1391							1382	1382							
Median	1825	1271	1141	1113	1065	1217	1474	1686	1794	1183	1005	1068	1056	1161	2084	1843	1756	1040	1391	919	1531	991	1258	1382
Antal rätt på första	3	6	7	6	7	5	2	4	1	6	7	8	7	7	3	3	3	3	6	5	7	4	7	6
Träffsäkerhet %	37.5	75	87.5	75	87.5	62.5	25	50	12.5	75	87.5	100	87.5	87.5	37.5	37.5	37.5	37.5	75	62.5	87.5	50	87.5	25
Antal rätt	8	8	8	8	8	7	5	7	7	8	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	8	7	8	5
Rätt %	100	100	100	100	100	87.5	87.5	87.5	87.5	100	100	100	100	100	87.5	87.5	100	100	100	100	100	87.5	100	62.5
Antal tydlig	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tydlig %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Antal inlärande	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	3	0	0	0	1	0
Inlärande %	0	0	0	0	12.5	0	0	0	0	0	12.5	12.5	12.5	0	12.5	0	0	12.5	37.5	0	0	0	12.5	0
Standardavvikelse	751	457	474	480	555	344	452	335	513	246	482	419	497	282	674	730	826	842	471	552	616	274	324	405
Std. avvikelse på nivå	508							601	601							617	617							
Genomsnitt rätt % per nivå	92.19								95.31							93.75	93.75							
Korrigerad (utan 6)	96.43							96.43	96.43							92.86	92.86							
Motors snitt i.s. alla nivåer	29.17	75	79.17	87.5	75	79.17	45.83	37.5																

Resultat av Experiment B - del 2

Nivå 1										Nivå 2										Nivå 3									
E.M.	M0&1	M1&2	M2&3	M3&4	M4&5	M5&6	M6&7	M7&8		M0&1	M1&2	M2&3	M3&4	M4&5	M5&6	M6&7	M7&8		M0&1	M1&2	M2&3	M3&4	M4&5	M5&6	M6&7	M7&8			
R.S.	2039	2846	2028			2483		2415		2215	1173		2189		2767		1616	1306	2610	1095	1252					1450			
A.P.	2379	1249	2782	1206	2340			1219	1428	1504	1306	1883	2126		2175	1408	2545	1504	2512	1825	2034	2845	2079			1013			
R.R.	2771	2560	904	1143	1363		1740		1438	1982		1320				1404	1174	2405	1182	1030	1185				1027				
A.S.	2093			1156	1349			2846	1238			1058	2292			1332	1473	1495	1457	1315	1021				1245				
K.O.	1332	2706	1676	1661	2332			1251	1585			1890	2621			1528	2114	1305	1953	1576	1750				988				
J.B.	2205	2418	1785	1406	2922			1192	1601	1244	1863	1327	2434			1543	929	776	1811	1255	1951	2422	2658			885			
H.P.	1242	966	1811	564	1132			1153	1980	827	2305	851	1371			1466	2094	1045	1379	742	1041				988				
	1427	1346	1406	1204	1505			2404	2965	1446	1236	1200	1812		2481	1498			1554	1205	1478	2652				1401			
Medelvärde	1936	2013	1770	1191	1849	2483	1740	1783	1748	1536	1577	1361	2121	#####	2328	1618	1706	1405	1807	1255	1464	2640	2369	1144					
Medelvärde på nivå	1777								1698								1573												
Median	2066	2418	1785	1204	1505	2483	1740	1251	1585	1475	1306	1320	2189	#NUM!	2328	1482	1616	1306	1683	1230	1365	2652	2369	1027					
Antal rätt på första	4	5	4	7	5		1	5	5	4	4	7	2		2	8	4	6	7	8	7	2	2	7					
Träffsäkerhet %	50	62,5	50	87,5	62,5	0	12,5	62,5	62,5	50	50	87,5	25	0	25	100	50	75	87,5	100	87,5	25	25	87,5					
Antal rätt	8	7	7	7	7	1	1	7	7	6	5	7	7	0	2	8	7	7	8	8	8	3	2	7					
Rätt %	100	87,5	87,5	87,5	87,5	12,5	12,5	87,5	87,5	75	62,5	87,5	87,5	0	25	100	87,5	87,5	100	100	100	37,5	25	87,5					
Antal tydlig																													
Tydlig %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Antal lirerande																													
lirerande %	0	0	12,5	0	0	0	0	0	0	0	12,5	0	12,5	0	0	0	1	2	1	2	25	0	0	0	0				
Standardavvikelse	549	792	575	333	676	#####	#####	737	583	501	491	394	416	#####	216	470	573	510	524	332	404	212	409	221					
Std avvikelse på nivå	641								517								563												
Genomsnitt rätt % per nivå	70,31								65,63								78,13												
Korrigerad (utan 6)	89,58								83,33								93,75												
Motors snitt t.s. alla nivåer	54,17	62,5	62,5	91,67	58,33	8,333	20,83	83,33																					

Programkod för Experiment B

```
//motorSpeed max pwm 150 => 3,39 V ut
int motorSpeed;
//hur länge varje motor ska köras
long interval = 3000;
//array för PWM-signal till motorer
int motorer[8] = {2,3,5,6,7,8,9,10};
//array för aktivering av motorer
int enable[4] = {22,23,24,25};
//array för knappar
int buttons[8] = {36,37,38,39,40,41,42,43};
//array för testordning
int testArray[8] = {0,1,2,3,4,5,6,7};
//min- och maxlängd på delay
int minDelay = 10;
int maxDelay = 15;

//initialisera arduino
void setup(){
  //sätt motorSpeed till noll
  motorSpeed = 0;

  //initialisera motorhastighetspinnarna
  //och sätt PWM till 0
  for(int i = 0; i < 8; i++){
    pinMode(motorer[i], OUTPUT);
    analogWrite(motorer[i], 0);
  }

  //initialisera motorenablepinnarna
  //och aktivera motorerna
  for(int j = 0; j < 4; j++){
    pinMode(enable[j], OUTPUT);
    //ALLA MOTORER SÄTTS TILL ENABLE MED HIGH!!!
    digitalWrite(enable[j], HIGH);
  }

  //initialisera knapparna
  for(int k = 0; k < 8; k++){
    pinMode(buttons[k], INPUT_PULLUP);
    digitalWrite(buttons[k], HIGH);
  }

  //läs pinne A0 och använd som seed
  randomSeed(analogRead(A0));

  //öppna seriell kommunikation
  Serial.begin(9600);
```

```

//randomisera testordningen
randomizeTestArray();
}

//randomiserar testordningen
void randomizeTestArray(){
  for(int a = 0; a < 8; a++){
    int r = random(a, 8);
    int temp = testArray[a];
    testArray[a] = testArray[r];
    testArray[r] = temp;
  }
}

//kör två motorer och avbryt om korrekt knapp trycks ned
void driveMotors(int firstMotorAndButton, int secondMotorAndButton, int motorSpeed){
  //sätt förfluten tid till noll
  unsigned long elapsedTime = 0;

  //sätt knapparnas läge till ej intryckt
  int firstButtonState = HIGH;
  int secondButtonState = HIGH;

  //sätt igång körning
  boolean running = true;

  //skriv ut vilka motorer som körs
  Serial.print("Kör motor ");
  Serial.print(firstMotorAndButton);
  Serial.print(" och ");
  Serial.print(secondMotorAndButton);
  Serial.print(" på ");
  Serial.println(motorSpeed);

  //registrera starttid
  unsigned long startTime = millis();

  //sätt igång motorerna
  analogWrite(motorer[firstMotorAndButton], motorSpeed);
  analogWrite(motorer[secondMotorAndButton], motorSpeed);

  //så länge körning pågår gör följande
  while(running){
    //sätt förfluten tid till nuvarande tid minus starttid
    elapsedTime = millis() - startTime;

    //läs in de rätta knapparnas läge till buttonState
    firstButtonState = digitalRead(buttons[firstMotorAndButton]);
    secondButtonState = digitalRead(buttons[secondMotorAndButton]);

    //om knapparna är nedtryckta gör följande

```

```

if(firstButtonState == LOW && secondButtonState == LOW) {
    //skriv ut att rätt knappar tryckts och reaktionstid
    Serial.print("Rätt knapp nedtryckt efter ");
    Serial.print(elapsedTime);
    Serial.println(" millisekunder.");

    //avbryt körning
    running = false;
}

//om förfluten tid är större än satt intervall gör följande
//detta inkluderar även alla felaktiga knapptryckningar
else if(elapsedTime > interval) {
    //skriv ut att tiden löpt ut
    Serial.println("Tiden lopte ut.");

    //avbryt körning
    running = false;
}
}

//stäng av motorerna
Serial.println("Stänger av motor.");
analogWrite(motorer[firstMotorAndButton], 0);
analogWrite(motorer[secondMotorAndButton], 0);
}

//kör en motor och avbryt om korrekt knapp trycks ned
void driveMotor(int motorAndButton, int motorSpeed) {
    //sätt förfluten tid till noll
    unsigned long elapsedTime = 0;

    //sätt knappens läge till ej intryckt
    int buttonState = HIGH;

    //sätt igång körning
    boolean running = true;

    //skriv ut vilken motor som körs
    Serial.print("Kör motor ");
    Serial.print(motorAndButton);
    Serial.print(" på ");
    Serial.print(motorSpeed);
    Serial.println();

    //registrera starttid
    unsigned long startTime = millis();

    //sätt igång motorerna
    analogWrite(motorer[motorAndButton], motorSpeed);
}

```

```

//så länge körning pågår gör följande
while(running){
  //sätt förfluten tid till nuvarande tid minus starttid
  elapsedTime = millis() - startTime;

  //läs in rätt knapps läge till buttonState
  buttonState = digitalRead(buttons[motorAndButton]);

  //om knappen är nedtryckt gör följande
  if(buttonState == LOW){
    //skriv ut att rätt knapp tryckts och reaktionstid
    Serial.print("Rätt knapp nedtryckt efter ");
    Serial.print(elapsedTime);
    Serial.println(" millisekunder.");

    //avbryt körning
    running = false;
  }

  //om förfluten tid är större än satt intervall gör följande
  //detta inkluderar även alla felaktiga knapptryckningar
  else if(elapsedTime > interval){
    //skriv ut att tiden löpt ut
    Serial.println("Tiden loppte ut.");

    //avbryt körning
    running = false;
  }
}

//stäng av motorerna
Serial.println("Stänger av motor.");
analogWrite(motorer[motorAndButton], 0);
}

//kör test med dubbla motorer
//pattern 0 - motor 0 och 1
//pattern 1 - motor 1 och 2
//osv till
//pattern 7 - motor 7 och 0
void runDualTest(int patternNumber, int motorSpeed){
  switch(patternNumber){
    case 0:
      driveMotors(0, 1, motorSpeed);
      break;
    case 1:
      driveMotors(1, 2, motorSpeed);
      break;
    case 2:
      driveMotors(2, 3, motorSpeed);
      break;
  }
}

```

```

case 3:
    driveMotors(3, 4, motorSpeed);
    break;
case 4:
    driveMotors(4, 5, motorSpeed);
    break;
case 5:
    driveMotors(5, 6, motorSpeed);
    break;
case 6:
    driveMotors(6, 7, motorSpeed);
    break;
case 7:
    driveMotors(7, 0, motorSpeed);
    break;
}
randomDelay();
}

//pausa i mellan 1 och 3 sekunder
void randomDelay() {
    long delaySeconds = random(minDelay, maxDelay);
    Serial.print("Pausar i ");
    Serial.print(delaySeconds);
    Serial.println(" sekunder");
    delay(delaySeconds * 1000);
}

//stänger av alla motorer
void turnOffAllMotors() {
    for(int i = 0; i < 8; i++) {
        analogWrite(motorer[i], 0);
    }
    for(int j = 0; j < 4; j++) {
        digitalWrite(enable[j], LOW);
    }
}

//huvudloop
void loop() {
    Serial.println("Starta motorerna och film. Experiment 1 startar om 10 sekunder");
    delay(10000);

    //omgång ett:
    //1 till 4 ger motorSpeed i
    //4 nivåer (PWM 63, 92, 121, 150)
    for(int i = 0; i < 4; i++) {
        switch(i) {
            case 0:
                motorSpeed = 63;
                break;

```



```

case 1:
    motorSpeed = 92;
    break;
case 2:
    motorSpeed = 121;
    break;
case 3:
    motorSpeed = 150;
    break;
}

//kör motorerna i testArray i tur och ordning
for(int testNumber = 0; testNumber < 8; testNumber++){
    driveMotor(testArray[testNumber], motorSpeed);
    randomDelay();
}

//randomisera testArray igen
randomSeed(millis());
randomizeTestArray();
}

Serial.println("Experiment 2 startar om 10 sekunder");
delay(10000);

for(int i = 0; i < 4; i++){
    switch(i){
        case 0:
            motorSpeed = 63;
            break;
        case 1:
            motorSpeed = 92;
            break;
        case 2:
            motorSpeed = 121;
            break;
        case 3:
            motorSpeed = 150;
            break;
    }
    for(int testNumber = 0; testNumber < 8; testNumber++){
        runDualTest(testArray[testNumber], motorSpeed);
    }
    randomSeed(millis());
    randomizeTestArray();
}

//stäng av motorerna
turnOffAllMotors();

Serial.println("Testet fardigt.");

```

```
while(true){  
  delay(10000);  
}  
}
```

Programkod för Experiment B

```
//motorSpeed max pwm 150 => 3,39 V ut
int motorSpeed;
//hur länge varje motor ska köras
long interval = 3000;
//array för PWM-signal till motorer
int motorer[8] = {2,3,5,6,7,8,9,10};
//array för aktivering av motorer
int enable[4] = {22,23,24,25};
//array för knappar
int buttons[8] = {36,37,38,39,40,41,42,43};
//arrayer för de tre olika nivåerna
int testArrayEtt[8] = {0,1,2,3,4,5,6,7};
int testArrayTva[8] = {0,1,2,3,4,5,6,7};
int testArrayTre[8] = {0,1,2,3,4,5,6,7};
//array för testordning
int testOrderArray[24] = {1,2,3,1,2,3,1,2,3,1,2,3,1,2,3,1,2,3,1,2,3,1,2,3};
//min- och maxlängd på delay
int minDelay = 10;
int maxDelay = 15;
//starta varje index på noll
int arrayEttIndex = 0;
int arrayTvaIndex = 0;
int arrayTreIndex = 0;

//initialisera arduino
void setup() {
  //sätt motorSpeed till noll
  motorSpeed = 0;

  //initialisera motorhastighetspinnarna
  //och sätt PWM till 0
  for(int i = 0; i < 8; i++){
    pinMode(motorer[i], OUTPUT);
    analogWrite(motorer[i], 0);
  }

  //initialisera motorenablepinnarna
  //och aktivera motorerna
  for(int j = 0; j < 4; j++){
    pinMode(enable[j], OUTPUT);
    //ALLA MOTORER SÄTTTS TILL ENABLE MED HIGH!!!
    digitalWrite(enable[j], HIGH);
  }

  //initialisera knapparna
  for(int k = 0; k < 8; k++){
    pinMode(buttons[k], INPUT_PULLUP);
    digitalWrite(buttons[k], HIGH);
  }
}
```

```

}

//läs pinne A0 och använd som seed
randomSeed(analogRead(A0));

//öppna seriell kommunikation
Serial.begin(9600);

//randomisera testordningen
randomizeOrderArray();
randomizeTestArrays();
}

//randomiserar ordningen inom varje nivå
void randomizeTestArrays() {
  for(int a = 0; a < 8; a++) {
    int r = random(a, 8);
    int tempEtt = testArrayEtt[a];
    testArrayEtt[a] = testArrayEtt[r];
    testArrayEtt[r] = tempEtt;
  }
  for(int a = 0; a < 8; a++) {
    int r = random(a, 8);
    int tempTva = testArrayTva[a];
    testArrayTva[a] = testArrayTva[r];
    testArrayTva[r] = tempTva;
  }
  for(int a = 0; a < 8; a++) {
    int r = random(a, 8);
    int tempTre = testArrayTre[a];
    testArrayTre[a] = testArrayTre[r];
    testArrayTre[r] = tempTre;
  }
}

//randomiserar nivåernas ordning
void randomizeOrderArray() {
  for(int a = 0; a < 24; a++) {
    int r = random(a, 24);
    int tempOrder = testOrderArray[a];
    testOrderArray[a] = testOrderArray[r];
    testOrderArray[r] = tempOrder;
  }
}

//kör två motorer och avbryt om korrekt knapp trycks ned
void driveMotors(int firstMotorAndButton, int secondMotorAndButton, int motorSpeed) {
  //sätt förfluten tid till noll
  unsigned long elapsedTime = 0;

  //sätt knapparnas läge till ej intryckt

```

```

int firstButtonState = HIGH;
int secondButtonState = HIGH;

//sätt igång körning
boolean running = true;

//skriv ut vilka motorer som körs
Serial.print("Kör motor ");
Serial.print(firstMotorAndButton);
Serial.print(" och ");
Serial.print(secondMotorAndButton);
Serial.print(" på ");
Serial.println(motorSpeed);

//registrera starttid
unsigned long startTime = millis();

//sätt igång motorerna
analogWrite(motorer[firstMotorAndButton], motorSpeed);
analogWrite(motorer[secondMotorAndButton], motorSpeed);

//så länge körning pågår gör följande
while(running) {
  //sätt förfluten tid till nuvarande tid minus starttid
  elapsedTime = millis() - startTime;

  //läs in de rätta knapparnas läge till buttonState
  firstButtonState = digitalRead(buttons[firstMotorAndButton]);
  secondButtonState = digitalRead(buttons[secondMotorAndButton]);

  //om knapparna är nedtryckta gör följande
  if(firstButtonState == LOW && secondButtonState == LOW) {
    //skriv ut att rätt knapp tryckts och reaktionstid
    Serial.print("Rätt knapp nedtryckt efter ");
    Serial.print(elapsedTime);
    Serial.println(" millisekunder.");

    //avbryt körning
    running = false;
  }

  //om förfluten tid är större än satt intervall gör följande
  //detta inkluderar även alla felaktiga knapptryckningar
  else if(elapsedTime > interval) {
    //skriv ut att tiden löpt ut
    Serial.println("Tiden löpte ut.");

    //avbryt körning
    running = false;
  }
}

```

```

//stäng av motorerna
Serial.println("Stänger av motor.");
analogWrite(motorer[firstMotorAndButton], 0);
analogWrite(motorer[secondMotorAndButton], 0);
}

//kör en motor och avbryt om korrekt knapp trycks ned
void driveMotor(int motorAndButton, int motorSpeed) {
  //sätt förfluten tid till noll
  unsigned long elapsedTime = 0;

  //sätt knappens läge till ej intryckt
  int buttonState = HIGH;

  //sätt igång körning
  boolean running = true;

  //skriv ut vilken motor som körs
  Serial.print("Kör motor ");
  Serial.print(motorAndButton);
  Serial.print(" på ");
  Serial.print(motorSpeed);
  Serial.println();

  //registrera starttid
  unsigned long startTime = millis();

  //sätt igång motorerna
  analogWrite(motorer[motorAndButton], motorSpeed);

  //så länge körning pågår gör följande
  while(running) {
    //sätt förfluten tid till nuvarande tid minus starttid
    elapsedTime = millis() - startTime;

    //läs in rätt knappens läge till buttonState
    buttonState = digitalRead(buttons[motorAndButton]);

    //om knappen är nedtryckt gör följande
    if(buttonState == LOW) {
      //skriv ut att rätt knapp tryckts och reaktionstid
      Serial.print("Rätt knapp nedtryckt efter ");
      Serial.print(elapsedTime);
      Serial.println(" millisekunder.");

      //avbryt körning
      running = false;
    }

    //om förfluten tid är större än satt intervall gör följande

```

```

//detta inkluderar även alla felaktiga knapptryckningar
else if(elapsedTime > interval){
    //skriv ut att tiden löpt ut
    Serial.println("Tiden löpte ut.");

    //avbryt körning
    running = false;
}
}

//stäng av motorerna
Serial.println("Stänger av motor.");
analogWrite(motorer[motorAndButton], 0);
}

//kör test med dubbla motorer
//pattern 0 - motor 0 och 1
//pattern 1 - motor 1 och 2
//osv till
//pattern 7 - motor 7 och 0
void runDualTest(int patternNumber, int motorSpeed){
    switch(patternNumber){
        case 0:
            driveMotors(0, 1, motorSpeed);
            break;
        case 1:
            driveMotors(1, 2, motorSpeed);
            break;
        case 2:
            driveMotors(2, 3, motorSpeed);
            break;
        case 3:
            driveMotors(3, 4, motorSpeed);
            break;
        case 4:
            driveMotors(4, 5, motorSpeed);
            break;
        case 5:
            driveMotors(5, 6, motorSpeed);
            break;
        case 6:
            driveMotors(6, 7, motorSpeed);
            break;
        case 7:
            driveMotors(7, 0, motorSpeed);
            break;
    }
    randomDelay();
}

//pausa i mellan 1 och 3 sekunder

```

```

void randomDelay() {
  long delaySeconds = random(minDelay, maxDelay);
  Serial.print("Pausar i ");
  Serial.print(delaySeconds);
  Serial.println(" sekunder");
  delay(delaySeconds * 1000);
}

//stänger av alla motorer
void turnOffAllMotors() {
  for(int i = 0; i < 8; i++) {
    analogWrite(motorer[i], 0);
  }
  for(int j = 0; j < 4; j++) {
    digitalWrite(enable[j], LOW);
  }
}

//huvudloop
void loop() {
  Serial.println("Starta motorerna och film. Experiment 1 startar om 10 sekunder");
  delay(10000);

  //omgång ett:
  //gå igenom hela testorderarray och läs värdet
  //om 1 => nivå 1, osv.
  //för varje avfyrning öka index med ett
  //så att alla 8 motorer i varje nivå avfyras
  for(int i = 0; i < 24; i++) {
    switch(testOrderArray[i]) {
      case 1:
        driveMotor(testArrayEtt[arrayEttIndex], 92);
        arrayEttIndex++;
        randomDelay();
        break;
      case 2:
        driveMotor(testArrayTva[arrayTvaIndex], 106);
        arrayTvaIndex++;
        randomDelay();
        break;
      case 3:
        driveMotor(testArrayTre[arrayTreIndex], 121);
        arrayTreIndex++;
        randomDelay();
        break;
    }
  }
  //randomisera testArray igen
  Serial.println("Experiment 2 startar om 10 sekunder");
  randomSeed(millis());
  randomizeTestArrays();
}

```



```

randomizeOrderArray();
delay(10000);

//nollställ alla index
arrayEttIndex = 0;
arrayTvåIndex = 0;
arrayTreIndex = 0;

for(int i = 0; i < 24; i++){
  switch(testOrderArray[i]){
    case 1:
      runDualTest(testArrayEtt[arrayEttIndex], 92);
      arrayEttIndex++;
      randomDelay();
      break;
    case 2:
      runDualTest(testArrayTvå[arrayTvåIndex], 106);
      arrayTvåIndex++;
      randomDelay();
      break;
    case 3:
      runDualTest(testArrayTre[arrayTreIndex], 121);
      arrayTreIndex++;
      randomDelay();
      break;
  }
}
//stäng av motorerna
turnOffAllMotors();

Serial.println("Testet fardigt.");
while(true){
  delay(10000);
}
}

```