

# Teknisk utveckling inom människa-maskininteraktion

Applikationer för framtida gränssnitt

BRITTA LEVIN, SUSANNA NILSSON,  
JONAS HERMELIN, ERIK SVENSSON,  
CHARLOTTE STENIUS



Britta Levin, Susanna Nilsson, Jonas Hermelin,  
Erik Svensson, Charlotte Stenius

# Teknisk utveckling inom människa-maskininteraktion

Applikationer för framtida gränssnitt

Titel	Teknisk utveckling inom människa-maskininteraktion – Applikationer för framtida gränssnitt
Title	Advances in human-machine interaction – Applications for future interfaces
Rapportnr/Report no	FOI-R--5245--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2021
Antal sidor/Pages	56
ISSN	1650-1942
Uppdragsgivare/Client	Försvarsmakten
Forskningsområde	Ledningsteknologi
FoT-område	Ledning och MSI
Projektnr/Project no	E716526
Godkänd av/Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	Ledningssystem

Bild/Cover: Shutterstock

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

## Sammanfattning

Väl fungerande människa-maskingränssnitt är ett resultat av tekniska framsteg i sig såväl som ambitionen att anpassa tekniken till användares förutsättningar. I den komplexa kontext som Försvarsmakten verkar inom kommer, oavsett teknikens framsteg, ett stort ansvar läggas på individer och deras förmåga att analysera, interagera och fatta adekvata beslut. För att vara redo att möta de framtida behov av gränssnitt som dessa individer kommer ha i sin interaktion med teknik framgent finns det anledning att beakta befintliga såväl som möjliga kommande principer för interaktion.

Det går att förvänta sig en framtida större variation av gränssnitt som nyttjas beroende på användningssituationens behov. Nya tekniska lösningar kommer både kräva, och uppstå ur, nya framtida former av gränssnitt. När displaylösningar kombineras med datorgenererade, virtuella, miljöer skapas helt nya användningsområden.

Rapporten ger en översikt över förekommande människa-maskingränssnitt med exempel på olika användningsområden. Gränssnitt som har bedömts intressanta för ytterligare studier och tester under projektets gång inkluderar applikationer inom användning av gester, förstärkt verklighet, virtuell verklighet och neurala gränssnitt.

Nyckelord: användargränssnitt, människa-maskingränssnitt, interaktion, gester, gestbaserad styrning, förstärkt verklighet, virtuell verklighet, neurala gränssnitt, AR, VR, BCI.

## Summary

Well-functioning human-machine interfaces are the result of technical advances as well as the ambition to adapt technology to users' needs. Regardless of technical advances, in the complex context of the Swedish Armed Forces a great deal of responsibility will land on individuals' ability to analyse, interact and make adequate decisions. In order to be ready to meet the future needs of these individual users in relation to interfaces when interacting with technology, it is motivated to overview both present and possible future principles of interaction.

It is likely that a greater variation of user interfaces will be used as a result of users' changing needs in relation to the context of the situation of use. New technological solutions will require new interfaces as well as emerge from new forms of user interfaces. When display solutions are combined with computer generated, virtual environments, new areas for use will emerge.

This report gives an overview of current human-machine interfaces with examples from a range of application areas. Specific user interfaces deemed relevant for further investigations and evaluations during the course of this project include applications of gesture based interaction techniques, augmented and virtual reality applications as well as neural interfaces.

Keywords: user interface, human-machine interface, augmented reality, virtual reality, mixed reality, neural interface, gestures, gesture based interaction, brain computer interface, AR, VR, MR, BCI.

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning .....</b>	<b>7</b>
1.1	Bakgrund.....	8
1.2	Om projektet Framtida gränssnitt .....	8
1.3	Syfte med rapporten .....	8
1.4	Läsanvisning .....	8
<b>2</b>	<b>Inventering av gränssnitt .....</b>	<b>9</b>
2.1	Kategorisering av gränssnitt .....	9
2.2	Hjärna .....	11
2.3	Hörsel och tal.....	12
2.4	Känselsinne och fysiologiska parametrar.....	13
2.5	Kropps rörelse.....	14
2.6	Syn och ögonrörelser.....	15
<b>3</b>	<b>Gestbaserade gränssnitt.....</b>	<b>18</b>
3.1	Tekniska lösningar .....	19
3.2	Användning av gestbaserade gränssnitt .....	20
3.2.1	Interaktion med robotar och självgående enheter .....	20
3.2.2	Interaktion med datorprogram och fysiska reglage .....	21
3.2.3	Motivation och återkoppling .....	21
3.3	Utmaningar och möjligheter.....	22
<b>4</b>	<b>Immersiva displayer.....</b>	<b>23</b>
4.1	Tekniska lösningar .....	24
4.1.1	Koppling till omgivningen .....	25
4.1.2	Kontrollmekanismer .....	25
4.2	Användningsområden.....	26
4.2.1	Utbildning och träning .....	26
4.2.2	Utveckling, design och analys .....	27
4.2.3	Sjukvård och välmående.....	28
4.2.4	Fjärrdeltagande.....	28
4.3	Utmaningar och möjligheter.....	29
<b>5</b>	<b>AR-displayer .....</b>	<b>30</b>
5.1	Tekniska lösningar .....	30
5.1.1	Koppling till omgivningen .....	31
5.1.2	Kontrollmekanismer .....	32
5.2	Användningsområden.....	32
5.2.1	Soldatsystem.....	33
5.2.2	Farkoster .....	34
5.2.3	Ledning och säkerhet.....	34
5.2.4	Utveckling, logistik och underhåll.....	35
5.2.5	Utbildning, träning, spel och fritid.....	36

5.3	Utmaningar och möjligheter .....	37
<b>6</b>	<b>Neuralt gränssnitt baserat på EEG .....</b>	<b>39</b>
6.1	Tekniska lösningar .....	39
6.1.1	Registrering av EEG.....	40
6.1.2	Bearbetning av EEG.....	40
6.2	Användningsområden .....	41
6.2.1	Passiv avläsning och anpassning .....	42
6.2.2	Aktiv kontroll och styrning .....	43
6.3	Utmaningar och möjligheter .....	43
<b>7</b>	<b>Diskussion och slutsatser .....</b>	<b>44</b>
7.1	Trender .....	44
7.2	Militära aspekter .....	45
7.3	Sammanfattande slutsatser .....	46
<b>8</b>	<b>Referenser .....</b>	<b>47</b>

# 1 Inledning

Människans tillvaro är i stor utsträckning påverkad av användningen av tekniska system och sättet som det går att interagera med dem. Interaktionen mellan människa och maskin kan ske genom olika kontaktytor, så kallade *användargränssnitt*. Dessa användargränssnitt utnyttjar olika *modaliteter* (som de mänskliga sinnen) för att överföra eller representera information. Ett och samma tekniska system kan använda flera olika modaliteter, ett så kallat multimodalt gränssnitt. De flesta befintliga användargränssnitt använder dock ofta bara ett eller ett fåtal modaliteter parallellt.

Många användargränssnitt har funnits med länge och bibehållit sin utformning trots att systemen i sig har förändrats radikalt. Tangentbordet designades ursprungligen för mekaniska skrivmaskiner men har under sin 150-åriga historia lyckats överbrygga otaliga tekniska utvecklingssteg. Datormusen utvecklades för drygt 50 år sedan i samband med introduktionen av grafiska gränssnitt. Från att ha varit helt dominerande som sätt att interagera med datorer har dock både tangentbord och datormus under 2000-talet delvis ersatts i och med den utbredda användningen av pekskärmar. Användningen av fristående bildskärmar som det primära visuella gränssnittet har börjat få konkurrens i och med att burna system i form av VR-headset eller AR-glasögon nu finns som konsumentprodukter. Gränssnitt baserade på ljud, som ofta använts för enkla larmsignaler, har i och med utvecklingen av talsyntes möjliggjort mer komplex interaktion via talgränssnitt.

Det var inte så länge sedan som dagens gränssnitt bara fanns i fantasin. Inom populärkulturen, och i synnerhet science fiction-genren, finns oräkneliga exempel på visioner av möjlig framtida teknik som senare har blivit verklighet. I den ursprungliga Star Trek-serien från 1966 användes plattor benämnda PADD (Personal Access Display Device) för kommunikation och dokumentation samt talgränssnitt och pekskärmar för att interagera med hissar och datorer. Star Trek åskådliggjorde konceptet med en helt immersiv<sup>1</sup> virtuell verklighet i form av *HoloDeck* – en teknik som användes av karaktärerna, enskilt eller i grupp, för träning och underhållning. I denna vision av framtiden var tekniken en integrerad del av tillvaron och kommunikationen skedde sömlöst mellan tal, gester och knapptryckningar. Mycket av den teknologin finns tillgänglig idag om än inte lika sömlös som i visionen.

”The ultimate display would, of course, be a room within which the computer can control the existence of matter. A chair displayed in such a room would be good enough to sit in. Handcuffs displayed in such a room would be confining, and a bullet displayed in such a room would be fatal.”

Ivan Sutherland, 1965

---

<sup>1</sup> En immersiv upplevelse är en upplevelse av att vara helt innesluten i något, i det här fallet en virtuellt skapad tredimensionell värld. Andra ord för immersiv är omslutande och uppslukande.



## 1.1 Bakgrund

En framtid med både ökad och allt mer distribuerad informationsmängd förväntas bli en utmaning för dagens användargränssnitt. Ett exempel är ledningsstödsystem där särskilda krav ställs på att gränssnitten är anpassade till den speciella användningsmiljön. Ett annat exempel är självstyrande plattformar som på sikt kommer ingå som en integrerad del i Försvarmaktens verksamhet. I takt med att plattformarna blir allt mer autonoma kommer interaktionen med, och därmed typen av gränssnitt, mot dem förändras.

Nya former av teknisk utrustning och nya tekniska lösningar förändrar behov och önskemål från användare. Detta innebär att nya krav ställs på både gränssnittens design och den bakomliggande tekniken. På samma sätt som ny avancerad grafik skapade behovet av datormusen, finns idag nya kraftfulla tekniska system och immersiva displayer som kräver nya sätt att interagera. För att ligga i framkant när det gäller den tekniska utvecklingen är det därför viktigt att inte bara studera själva tekniken utan också hur interaktionen med den kan komma att se ut i framtiden.

Teknikutvecklingen inom användargränssnitt innebär nya möjligheter till presentation, interaktion och hantering av information. Projektet *Framtida gränssnitt* har till uppgift att kartlägga befintliga såväl som framtida möjliga gränssnitt med potential att användas för militära tillämpningar.

## 1.2 Om projektet Framtida gränssnitt

Projektet Framtida gränssnitt är ett FoT<sup>2</sup>-projekt inom ramen för Försvarmaktens samlingsbeställning till FOI och löper mellan 2021 och 2023. Syftet med projektet är att ta ett framåtblickande och utforskande grepp om gränssnittsområdet i syfte att kartlägga och bedöma vilka typer av idag kända gränssnitt som i framtiden kan bli relevanta för militära tillämpningar och på vilket sätt dessa kan användas inom Försvarmaktens verksamhet.

## 1.3 Syfte med rapporten

Rapportens syfte är att bidra till insikt om var utvecklingen av gränssnitt är idag, visa vad som är på gång och diskutera i vilken riktning utvecklingen är på väg. Detta genom att ge en beskrivning av gränssnitt för människa-maskininteraktion samt mer detaljerat beskriva ett antal gränssnitt som har bedömts intressanta för framtida studier och tester.

## 1.4 Läsanvisning

*Kapitel 2 Inventering av gränssnitt* redogör för en kategorisering av olika former av gränssnitt och redovisar utvecklingsläget inom respektive delområde.

*Kapitel 3 Gestbaserade gränssnitt* beskriver gränssnitt baserade på gester och kroppsliga rörelser.

*Kapitel 4 Immersiva displayer* beskriver gränssnitt baserade på *virtuell verklighet*, vilket för användare innebär att bli omsluten av en digitalt skapad verklighet.

*Kapitel 5 AR-displayer* beskriver gränssnitt baserade på *förstärkt verklighet*, vilket vanligen refererar till överlagring av digitalt genererad visuell information på den fysiska omvärlden.

*Kapitel 6 Neuralt gränssnitt baserat på EEG* beskriver gränssnitt baserade på hjärnans neurala aktivitet.

*Kapitel 7 Diskussion och slutsatser* sammanfattar utvecklingsläget och blickar framåt.

---

<sup>2</sup> Forskning- och teknikutveckling

## 2 Inventering av gränssnitt

Väl fungerande människa-maskin gränssnitt ställer ofta stora krav på tekniken och dess anpassning till användarens förutsättningar. Många gånger har gränssnitten varit under utveckling en längre tid men inte nått den mognad som krävs för bred användning och acceptans. Exempel på nydanande gränssnitt som först relativt nyligen blivit tillgängliga i kommersiella konsumentprodukter är burna immersiva displayer, talgränssnitt, geststyrning och neurala gränssnitt. Nyttjandegraden varierar dock, inte minst i de fall applikationen förutsätter köpstarka konsumenter, vilket ofta är fallet för burna immersiva displayer och neurala gränssnitt. Talgränssnitt är, å andra sidan, allmänt tillgängliga och används bland annat i applikationer för diktering av texter och i digitala talassistenter via smarta högtalare och mobiltelefoner. Interaktionen med talassistenter är dock ofta begränsad till enklare och enstaka kommandon.

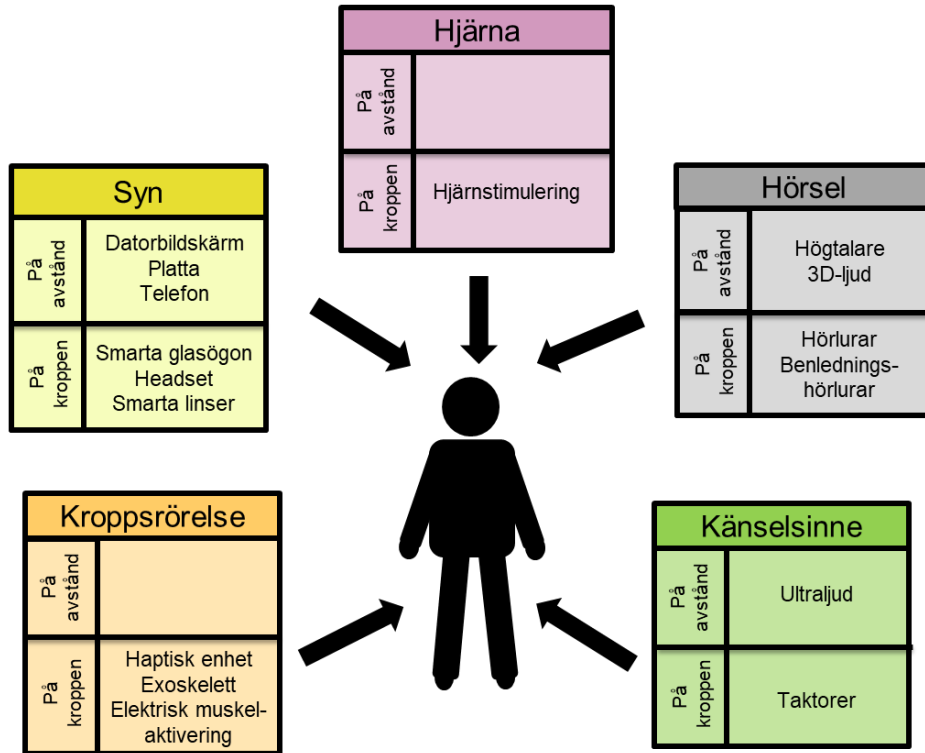
Detta kapitel ger en översikt över tänkbara sätt för människor att utbyta information med teknik med utgångspunkt i människans fysiologi. Avsikten är att ge exempel ur den omfattande floran av förekommande gränssnitt. Inventeringen baseras på litteraturgenomgång samt bevakning av mässor och konferenser.

### 2.1 Kategorisering av gränssnitt

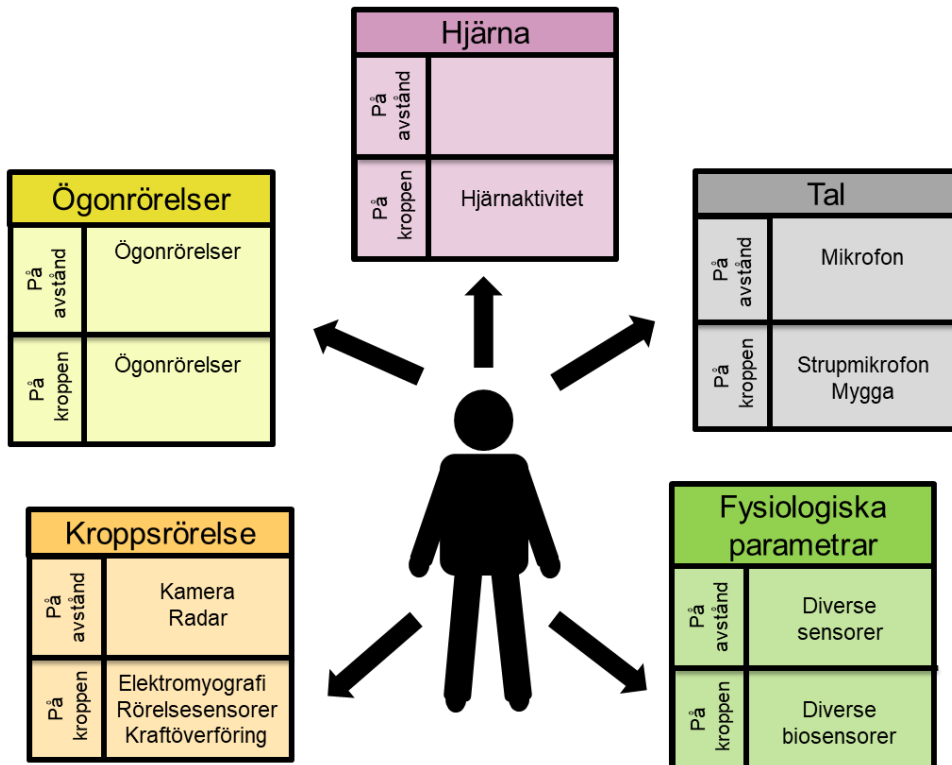
Inventeringen av gränssnitt som presenteras i detta avsnitt har utgått från en sammanställning av ett antal olika användningsfall i vilka tekniska lösningar för människa-maskininteraktion har ingått. Gränssnitten har kategoriserats efter vilken typ av kroppslig kontaktyta som är aktuell samt huruvida det handlar om att avge eller ta emot information. Vidare har gränssnitten delats in efter hur tekniken används i relation till kroppen, det vill säga, om tekniken är fysiskt kopplad till kroppen eller om den nyttjas på ett visst avstånd. Sammanställningen redovisas i fem huvudkategorier av gränssnittstyper:

- Hjärna (den interaktion med hjärnan som inte går via sinnen)
- Hörsel och tal
- Känselförmedling och fysiologiska parametrar
- Kroppsrörelser
- Syn och ögonrörelser

Figur 1 och Figur 2 illustrerar hur de olika gränssnitten används för att förmedla information till respektive från människan. För varje typ av gränssnitt ges exempel på förekommande teknik. I de fall bedömningen är att det saknas teknik har fältet i figurerna lämnats tomt.



Figur 1. Illustration av exempel på gränssnitt för överföring av information till människan och återkoppling från tekniken.



Figur 2. Illustration av exempel på gränssnitt för överföring av information från människan eller styrning av teknik.

## 2.2 Hjärna

Det finns ett antal sätt att förmedla information direkt till och från hjärnan. Brain-computer interface (BCI), även kallat brain-machine interface (BMI), är benämningen på gränssnitt för kommunikation mellan hjärnans nervceller och tekniska enheter. BCI definieras som en utrustning som mäter, analyserar och översätter hjärnaktivitet till realtidsinformation som inte är beroende av det perifera nervsystemet eller muskulär aktivitet (Wolpaw m.fl., 2000). I praktiken är BCI ett samlingsnamn för ett antal olika tekniker som gör det möjligt att utbyta information direkt med hjärnan.

Principen är att använda någon form av utrustning för att avläsa respektive påverka hjärnans aktivitet och tillstånd. Det finns sedan länge en mängd olika tekniker med tillämpningar inom medicin såväl som inom forskning inom neurovetenskap och människa-maskin interaktion. Typ av hjärnaktivitet används till exempel för att diagnosticera sjukliga processer i hjärnan men även för att bedöma tillstånd såsom grad av vakenhet och koncentration hos friska individer. Genom att avläsa hjärnans aktivitet är det möjligt att se vilka regioner som används i samband med olika typer av tankeaktivitet. Detta kan användas för att styra någon form av extern utrustning utan att aktivera kroppen i övrigt.

Funktionellt sett skiljer sig förekommande metoder åt, de kan till exempel vara baserade på avkodning/stimulering av hjärnans elektriska- eller magnetiska aktivitet, eller detektion av förändring i blodflöde eller syresättning. BCI delas ofta in i två huvudkategorier, invasiva och icke-invasiva där gränssnittet återfinns under respektive utanpå huden. *Invasiva tekniker* innebär någon form av implantat och bedöms därmed ha större potential att på sikt kunna fånga hjärnans aktivitet med högre precision. Samtidigt är de *icke-invasiva* metoderna i regel förknippade med inga eller små medicinska risker, vilket bidrar till deras tillämpbarhet och breda användning.

Exempel på bärbara icke-invasiva tekniker för att registrera aktivitet i hjärnan ut från kroppen är: (1) *elektroencefalografi* (EEG), där elektroder placeras utanpå skallbenet för att fånga hjärnans elektriska aktivitet. Tekniken medger hög temporal upplösning medan den spatials upplösningen bland annat beror på elektrodkonfigurationen (Vallverdú, 2019) och (2) *Functional Near-Infrared Spectroscopy* (fNIRS) som registrerar förändringar i hjärnans blodflöde genom att analysera vävnadens genomsläpplighet av ljus i det nära infraröda våglängdsområdet. Utrustningen ger en god bild av lokala blodflödesförändringar men ger en sämre temporal upplösning jämfört med EEG (Naseer & Hong, 2015).

Andra icke-invasiva tekniker ställer krav på utrymme, en specifik miljö eller är på andra sätt svåra att applicera i en militär kontext. Dyliga exempel är: (1) *Magnetoencephalography* (MEG), som registrerar det magnetfält som skapas av de elektriska strömmar som uppstår vid neural aktivitet (Hämäläinen m.fl., 1993). Tekniken är i regel dyr, icke portabel och förutsätter att huvudet hålls stilla. Boto (2018) redogör dock för en ansats att ta fram en bärbar utrustning. Exempel (2) är *Functional Magnetic Resonance Imaging* (fMRI) som baseras på mätning av förändringar i blodets syresättning. Tekniken är effektiv för analys av aktiviteten i olika regioner av hjärnan men medger sämre tidsupplösning än tidigare nämnda tekniker. Metoden är icke-portabel och störs av rörelser hos individen (Liu, 2016).

Ovan nämnda tekniker avser sätt att registrera information som produceras av hjärnan, men det finns också metoder för att skicka in signaler till hjärnan. Bland icke-invasiva tekniker för att påverka hjärnans aktivitet ses *transkraniell magnetstimulering* (TMS) och *transkraniell elektrisk stimulering* (tDCS). Den förstnämnda använder magnetfält för att stimulera nervceller i hjärnbarken medan den andra nyttjar elektroder för att stimulera hjärnan med små elektriska strömmar. Metoderna har funnits en tid och refereras till som hjärnstimulering där syftet är att öka eller minska excitabiliteten i utvalda områden i hjärnan och på så sätt påverka olika mentala processer. Exempel på effekter är bland annat mer närvarokänsla i virtuella miljöer (Beeli, 2008), ökad vigilans (Nelson, 2012) och

förbättrad procedurrell inlärning (Pascual-Leone, 1999). Studier av effektiviteten hos de icke-invasiva metoderna visar dock på motstridiga resultat och mer forskning krävs för att säkerställa dess effektivitet och eventuella medicinska risker såsom biverkningar på längre sikt.

*Cochleaimplantat* för elektroakustisk stimulering av hjärnas hörselceller är ett välkänt exempel på invasiv teknik i vilken avsikten är att öka möjligheten för hörselskadade att uppfatta ljud. I dagsläget är mycket av utvecklingen inom invasiva varianter av BCI riktade mot tillämpningar i vilka syftet är att underlätta vardagen för individer med vissa typer av funktionsnedsättningar. Företag som Neuralink (som ägs av Elon Musk) satsar dock stora resurser på att fram en ny typ av implantat som i förlängningen är tänkt att användas för att förstärka friska individer (Paradox, 2021). I nuläget har de opererat in implantatet på en makak som lärde sig spela Pong med enbart tankekraft (Wakefield, 2021).

Behov av infrastruktur, kostnader och medicinsk kunskap har historiskt ofta begränsat vissa tekniker till institutionell sjukvård och forskning. Senare års tekniska framsteg har dock möjliggjort helt nya användningsområden för de bärbara varianterna, framförallt med avseende på teknik som utgår från registrering av EEG, vilket beskrivs utförligare i kapitel 6. Numera återfinns kommersiella EEG-baserade applikationer inom så vitt skilda områden som spelindustrin, utbildning och neuromarknadsföring (Rawnaque m.fl., 2020).

## 2.3 Hörsel och tal

Användningen av hörsel i människa-maskinteraktion har en lång historia i form av nyttjandet av larmsignaler, att återkoppla interaktioner med ljudsignaler och återskapa virtuella ljudmiljöer med 3D-ljud. Försök att skapa syntetiskt tal har också under lång tid varit av intresse – från mekaniska talorgan under 1800-talet, via att elektroniskt skapade ljud under 1900-talet till dagens digitala tekniker baserade på maskininlärning (Story, 2019). *Talsyntes* baserad på maskininlärning och som tränas på inspelningar av en människa som talar kan numera skapa syntetiskt tal som svårligen går att skilja från riktigt tal. System med förmågan att replikera riktiga röster har funnits åtminstone sen 2016 i form av exempelvis VoCo av Adobe, WaveNet av DeepMind och Tacotron av Google. Tekniken att modifiera talat språk kallas för *voice transformation* och används för att förändra talet hos en person i syfte att låta som någon annan, förändra det emotionella anslaget i en röst, omvandla viskningar till tal, förbättra talkvalitet över radio och så vidare (Mohammadi och Kain, 2017). Utvecklingen av talsynteser har inneburit möjligheten att replikera verkliga personers röster. Numera är systemen så pass utvecklade att automatiska system har svårt att skilja äkta och syntetiska röster från varandra och utvecklare har aktivt börjat lägga in skydd mot att systemet missbrukas för att replikera andras röster (Jia m.fl., 2021).

Med begreppet *talgränssnitt* (eng. speech interfaces) menas system som producerar tal genom talsynteser och kan tolka tal med taligenkänning eller en kombination av båda (Clark m.fl., 2019). Medan talgränssnitt blir allt vanligare både i form av interaktiva telefonsystem och digitala talassistenter i telefoner eller hemmaenheter är forskningen gällande hur dessa gränssnitt påverkar människa-maskininteraktionen mer begränsad och det saknas generella riktlinjer för hur dessa gränssnitt bör utformas. Översiktligt kan forskningen på talgränssnitt i relation till användare delas in i fyra domäner: (1) generell människa-datorinteraktion, (2) telefonbaserade dialogsystem, (3) interaktion med mobila enheter / IPA<sup>3</sup> och (4) fordonsbaserade system. En faktor som hämmat akademisk forskning gällande talgränssnitt är svårigheten att utveckla prototyper som är i paritet med de proprietära och kommersiella system som är state-of-the-art (ibid.; Aylett m.fl., 2014). Ett exempel på detta är studier vid FOI gällande användarupplevelsen av att interagera via talgränssnitt för styrning av obemannade enheter (Johansson m.fl., 2020). I avsaknad på

---

<sup>3</sup> Intelligent Personal Assistant

faktisk implementation användes en *Wizard of Oz*-metod för att skapa en illusion av både talgränssnitt och en autonom förmåga hos en styrd enhet. Forskning pågår också på att, istället för att använda auditiv taligenkänning, avkoda tal direkt baserat på neural aktivitet. Detta kan användas medicinskt för människor som förlorat talförmågan men också för att syntetisera tal när någon tyst mimar meningar (Anumanchipalli, Chartier & Change, 2019).

Framtida forskningsfrågor i relation till talgränssnitt är bland annat hur dessa tekniker ska fungera i situationer med flera samtidiga användare eller vid användning av flera parallella talgränssnitt. Forskning om dessa fleranvändarsystem är något som är nödvändigt och kan bli aktuellt inom en snar framtid (Clark m.fl., 2019).

## 2.4 Känselsinne och fysiologiska parametrar

Kroppens yta, huden, utgör ett fysiskt gränssnitt mot omgivningen, där känselsinnet spelar en viktig roll i att förmedla inkommande information om beröring, så kallad taktill information (Hannaford & Okamura, 2008). Utgående gränssnitt kan skapas genom att använda olika biosensorer för att registrera kroppens signaler. Data från sensorerna används för att beräkna olika mått, så kallade fysiologiska parametrar, vilka ger en uppfattning om kroppens tillstånd och pågående aktivitet.

*Känselsinnet* täcker hela människokroppen, men förmågan att reagera på stimuli varierar mellan olika områden. Pekfingrets spatiala upplösning är ungefär 2 millimeter, medan den är 1-3 cm på bröstet och 2-3 cm på ryggen och sidorna (Blake & Sekuler, 2006). Att människans kropps-konstitution består av sammanhängande relativt släta ytor, som även sträcker sig ut i lemmarna, medger olika varianter av displaytor baserade på taktill information. Principen är att med hjälp av vibratorer, så kallade *taktorer*, förmedla olika former av budskap genom att variera mönster och frekvens. Dessa taktila displayer har ansetts vara särskilt intressanta dels för att informationen kan förmedlas som komplement till något av de andra sinnena, dels för att den kan uppfattas som intuitiv. FOI har bedrivit forskning på taktila displayer under ett flertal år och bland annat genomfört försök med hotinvisning i simulerat stridsfordon (Oskarsson m.fl., 2012) och målinvisning i dynamisk flygsimulator (Van Erp m.fl., 2007). Elektrisk och mekanisk stimulans av områden i huden kan också användas för att skapa en känsla av beröring och därigenom förstärka upplevelser i till exempel *virtuell verklighet* (eng. Virtual Reality, VR) och *förstärkt verklighet* (eng. Augmented reality, AR) (Jung, Kim & Rogers, 2021).

Det finns även *taktila displayer* som istället för att använda burna taktorer, ger återkoppling via luften baserat på ultraljud (Rakkolainen m.fl., 2020). Tekniken bygger på att fokusera ultraljudsvågorna till specifika punkter på huden, vars position registreras via ett annat system, t.ex. kamerabaserat. Kontaktlös *haptisk återkoppling* med hjälp av ultraljud ger möjlighet att skapa en känsla av beröring med centimeterupplösning.

Ovan nämnda tekniker handlar om sätt att kommunicera via huden, dvs. information som går i riktning in mot människan. Fysiologiska parametrar är samlingsnamn på en mängd olika datatyper som istället är utgående från människan och som vanligen registrerats med hjälp av biosensorer. Vanligt förekommande fysiologiska parametrar inkluderar:

- Kardiovaskulära: hjärtats aktivitet (elektrokardiogram (EKG), puls), andningsmönster, blodtryck och syresättning
- Muskulära: muskelspänning (elektromyografi, EMG)
- Dermalt relaterade: hudtemperatur, hudkonduktans, svettning
- Ögonrelaterade: pupillstorlek, ögonrörelser (sackader, blickriktning)

Fysiologiska parametrar har en tydlig roll inom humanforskningen och utgör grunden för psykofysiologisk prestationsvärdering. Användningsområdet är numera brett och omfattar bland annat klinisk användning för bedömning av sjukdoms- och skadetillstånd, stöd vid utformning av människa-maskingränssnitt och smarta klockor med appar för utvärdering av träningspass.

De bärbara teknikerna för att läsa av fysiologiska parametrar har successivt utvecklats mot billigare och mindre skrymmande system, vilket inte minst den stora konsumentmarknaden bidragit till (UK DCDC, 2021). På senare tid har miniatyriseringen bland annat lett till små mätenheter som kopplas till en handledsburen klocka eller utformas som en fingerburen ring (Altini & Kinnunen, 2021). De flesta mätsystemen innehåller dock endast ett fåtal av ovan nämnda parametrar. Smarta textilier utvecklas som ett sätt att skapa den infrastruktur som behövs för att bära och överföra information från sensorerna när trådlös kommunikation inte är ett alternativ.

Det förekommer både invasiva och icke-invasiva metoder, i vilka biosensorn återfinns under respektive utanpå huden. På samma sätt som angavs i beskrivningen av hjärnan är de icke-invasiva metoderna i regel förknippade med inga eller små medicinska risker, vilket bidrar till deras tillämpbarhet och breda användning. I vissa fall är det även möjligt att registrera fysiologiska parametrar på längre avstånd från kroppen. Ett exempel på sådan tillämpning är analys av bukrörelser med hjälp av kamera, vilket kan användas för att till exempel övervaka andning hos för tidigt födda barn. Ett annat exempel är den forskning som pågår för att se om det går att basera en lögn-detektor på termografi. Hypotesen är att små skillnader i hudtemperatur är korrelerat med avsikten att ljuga (Golaszewski, 2015).

Det militära intresset för användning av fysiologiska parametrar är brett. Det finns ett stort internationellt intresse i att vidareutveckla förekommande mätmetoder och analysfunktioner (MCDC, 2021). Ambitionen är att kombinera olika parametrar för att på så sätt öka träffsäkerheten i analyser och prediktion. Exempel på intresseområden inkluderar:

- Förstärkning av prestation
- Utvärdering av träning
- Monitorering av kroppstillstånd som välmående, sjukdom och skada
- Läsa av individens fysiska och mentala tillstånd för att skapa ett adaptivt gränssnitt som tar hänsyn till den momentana arbetsbelastningen.

## 2.5 Kroppsrörelse

Människor använder kroppsrörelser på ett flertal olika sätt som är relevanta för människa-datorinteraktion. Kroppsrörelser eller vårt *kroppsspråk* är en integrerad del i hur vi kommunicerar med varandra, både genom distinkta gester eller tecken med definierade betydelser, men också genom spontana rörelser som får sin betydelse i en viss kontext (McNeill, 2005). Kroppsrörelser används också för att referera till objekt i världen genom att peka eller hålla fram föremål. Genom att maskinellt registrera och tolka kroppsrörelser skulle dessa rörelser och gester kunna vara ett gränssnitt för datorinteraktion med potential att uppfattas som ett *naturligt* sätt att interagera med teknisk utrustning då det imiterar interaktion med människor och fysiska objekt.

Registrering och tolkning av kroppsrörelser kan ske på ett flertal sätt. Idag finns tekniker baserade exempelvis på kroppsmonterade sensorer, fjärravläsande system (kamera-, radar- eller ultraljud), eller andra sensorer som kan avläsa rörelser antingen på avstånd eller genom att man rör vid dem. Omfånget för registrering sträcker sig från att fånga hela kroppens rörelser till att enbart fokusera på någon specifik kroppsdel, som till exempel händer eller ansiktet. Exempel på kroppsmonterade enheter är *flexsensorer*, som reagerar på böjning och IMU (eng. inertial measurement unit), som mäter acceleration och rotation med hjälp av accelerometrar och gyroskop. Det finns också teknik för att direkt mäta muskelaktivitet, så kallad *elektromyografi* (EMG), vilket kan användas för att identifiera en viss rörelse (Bi m.fl., 2019). Sensorerna kan vara integrerade i speciella klädesplagg, fästas direkt på kroppen eller ingå i enheter som användare bär eller håller i.

Kamerabaserade system baseras antingen på enbart synligt ljus eller ljus i kombination med infraröd sensor för bättre djupmätning. För system med radarsensorer är det vanligaste att använda en radar med kontinuerlig våg för att registrera rörelser, men det finns även system baserade på pulsradar (Ahmed, m.fl., 2021). Det vanligaste sättet att

registrera rörelser är system baserade på pekskärmar, som registrerar hur en eller flera fingrar rör sig över en plan yta. En kombination av flera tekniker kan också användas, till exempel kamerabaserade system tillsammans med buren sensor för att hantera situationer när kamerans sikt är dold (Ceolini m.fl., 2020). Tekniker för att registrera rörelser är idag kommersiellt tillgängliga via så små sensorer att de finns implementerade i mobiltelefoner. Exempel på denna typ av sensorer är pekskärmen som registrerar rörelsen hos ett eller flera fingrar, men också de inbyggda kamerorna som används för att registrera och tolka ansiktsuttryck och handrörelser. Vissa telefonmodeller har numera även en radarsensor som kan registrera rörelser. Detta innebär att telefonen kan anpassa sig till om någon rör sig i närheten av enheten samt att en användare kan interagera med telefonen utan att fysiskt röra den (Google, 2019).

Teknisk utrustning kan också aktivt påverka kroppsrörelser hos människor och på så sätt fungera som ett ingående gränssnitt mot människan. Detta kan ske antingen mekaniskt eller genom elektrisk stimulering (eng. electrical muscle stimulation, EMS). *Mekaniska system* för haptisk återkoppling använder sig vanligen av haptiska enheter bestående av en motoriserad arm som användaren håller i. Armen registrerar användarens rörelse och ger återkoppling genom att mekaniskt variera sitt motstånd. Återkoppling via *elektrisk stimulering* sker genom elektroder på kroppen som skickar en elektrisk puls som skapar en ofrivillig muskelaktivering i den påverkade muskeln. Detta används idag medicinskt för rehabilitering, men har också föreslagits som gränssnitt för människa-maskininteraktion (Pfeiffer m.fl., 2020). EMS kan användas för att skapa en känsla av haptisk återkoppling (Lopes & Baudisch, 2013), minska reaktionstiden genom att automatiskt inducera en muskelrespons (Kasahara m.fl., 2019) och påverka riktningen hos en gående människa (Pfeiffer m.fl., 2015).

Det går att konstatera att det redan idag finns en lång rad kommersiellt introducerade system och tekniker för att registrera kroppsrörelser. Potentialen i gestbaserad interaktion är en högre grad av direktmanipulation med digitala objekt. Direktmanipulation innebär att en användare interagerar direkt med objektet av intresse och får direkt återkoppling på effekten av interaktionen, istället för att endast indirekt påverka systemet (Shneiderman, 1983). Ett tidigt exempel på denna typ av interaktion är hur en fil kan raderas genom att ikonen för filen dras till papperskorgsikonen, istället för att motsvarande textkommando skrivs i kommandoprompten. Att utnyttja gränssnitt som direkt registrerar kroppens rörelser snarare än indirekt via enheter som en muspekare innebär ett mer transparent gränssnitt i vilket interaktionen sker mer direkt med digitala artefakter.

Sett till tekniker för att inducera kroppsrörelsen hos en användare istället för att enbart registrera rörelser är denna marknad inte lika kommersiellt utvecklad. Mekaniska haptiska enheter finns kommersiellt tillgängliga, men deras användning är begränsad till vissa specialområden, som sjukvården där dessa system kan användas i övning och utbildningssyfte (Coles m.fl., 2011). Användningen av elektrisk stimulering av muskler för interaktionsändamål är främst på prototypstadiet.

## 2.6 Syn och ögonrörelser

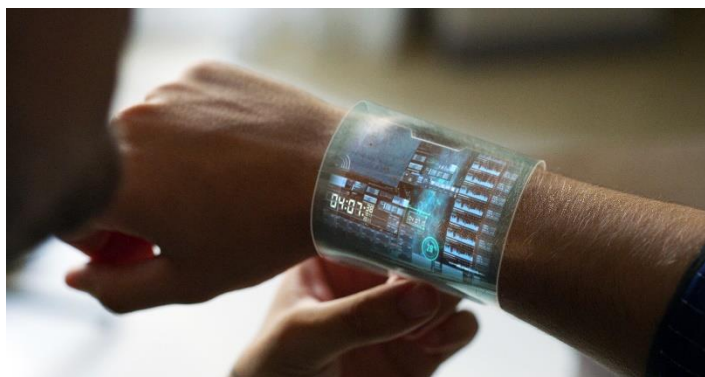
Synsinnet erbjuder ett effektivt sätt att ta in information från omgivningen och utgör en grundläggande förmåga vid interaktion med digitala informationssystem. Det finns många varianter av presentationsytor som sträcker sig från bildskärmar avsedda att betraktas på visst avstånd (storbilds-TV, datorskärm, HUD), handhållna enheter (surfplatta/tablet, läs- och skrivplattor, mobiltelefon), huvudburna enheter (headset, goggles, smarta glasögon) till kontaktlinser. I en *HUD* (eng. head-up display) presenteras informationen vanligen på en för ändamålet avsedd genomskinlig yta som är placerad på ett kortare avstånd framför ögonen. *Smarta glasögon* är glasögon som har förstärkts med någon form av datorbaserad enhet som möjliggör exempelvis insamling eller presentation av data för bäraren, ofta i form av en kamera och microdisplay.



Bildskärmar har visserligen existerat i lite över 100 år men det uppstår hela tiden nya och innovativa sätt att använda dem. Utvecklingen inom bildskärms teknik har över tid tagit många olika inriktningar. En trend går mot mycket stora skärmytor, en annan mot mycket små. Gemensamt är att upplösningen blir allt högre samtidigt som skärmarna förses med smarta funktioner, vilket gradvis förändrar den traditionella bilden av vad en bildskärm är. Enheter som är avsedda för att hanteras nära kroppen ställer större krav på ergonomin. Enkelt handhavande och god komfort är betydelsefulla faktorer vid all användning av kroppsnära/burna displayer. Detta är särskilt viktigt när displayytan befinner sig nära ögat såsom för glasögon och kanske i framtiden också i form av kontaktlinser.

Den stora konsumentelektronikmässan i Las Vegas (CES eng. Consumer Electronic Show) som hölls i januari 2021 bjöd på flera nyheter inom displayområdet. Med hjälp av  $\mu$ LED<sup>4</sup>-displayer har en produkt tagits fram som är avsedd för stereoskopisk informationsprojektion som ser ut som helt vanliga glasögon. Produkten, klassad som *smarta glasögon*, fungerar som en HUD där informationen kommer från en parkopplad mobiltelefon (Metz, 2021). En annan nyhet var en 55 tum OLED<sup>5</sup>-skärm som var 40% transparent och tänkt för hemmabruk som TV (CNN, 2021).

Böjbar elektronik och böjbara/vikbara bildskärmar är ytterligare en utvecklingstrend. Tekniken medger enheter med stor flexibilitet vid användning och öppnar därmed upp för helt nya tillämpningsområden. Det fanns även exempel på produkter på mässan i form av en 48-tums OLED display vars kurvatur går att ställa om. Skärmen, som bara är 0,6 mm tjock, kan ändras från helt platt till att vara konkav med en meters radie (Pal, 2021). Böjbara skärmar finns även i små storlekar med fördelen att kunna appliceras på ojämna ytor. Figur 3 visar ett futuristiskt exempel på tänkbar användning av en transparent och böjbar bildskärm.



Figur 3. Exempel på möjlig tillämpning för en transparent och böjbar bildskärm. Bildkälla: Shutterstock.

En inriktning som kan ses som något av en nisch är strävan mot att ge användaren en "känsla av papper" (mer friktion och mindre reflektion än en vanlig display) även vid användning av elektroniska displayer såsom läs- och skrivplattor. Avsikten är att möjliggöra en interaktion som efterliknar principen att skriva och rita med vanlig penna på vanligt papper. En fördel jämfört med traditionellt papper är att handskrivna anteckningar på den elektroniska displayen direkt kan överföras till text. Att det finns en marknad för dedikerade läs- och skrivplattor tyder på att dessa produkter har något som förhöjer användarupplevelsen på ett sätt som mer mångsidiga surfplattor saknar. Produkten hamnar i ett användningssegment

<sup>4</sup> Light-Emitting Diode

<sup>5</sup> Organic Light-Emitting Diode

någonstans mellan penna/block och vanlig tablet/surfplatta och skulle exempelvis kunna vara användbart vid försöksverksamhet i fält.

På senare tid har ökad skärmapplösning och framsteg inom miniatyrisering banat väg för utveckling av nya tillämpningar baserade på kroppsburen displayteknik. Ett exempel på teknik som tagit ett stort språng de senaste åren är immersiva displayer för presentation av *virtuell verklighet* (VR). I detta fall är presentationen helt virtuell, men relativt verklighetstrogen, och täcker hela synfältet. Bilden förmedlas vanligen genom för uppgiften utformade displayer, så kallade VR-headset. Ett annat exempel är *förstärkt verklighet* (AR) i vilket en verklig omgivning kompletteras med datorgenererade, virtuella, bilder eller objekt. Den överlagrade informationen visas ofta kroppsnära, med hjälp av smarta glasögon eller huvudburna displayer, men förekommer också på avstånd genom applikationer på telefon eller surfplatta. Tillsammans har varianterna stor potential för användning inom områden såsom utbildning, träning, instruktion, visualisering av data, informationsöverföring, konceptutveckling med mera. Detta beskrivs vidare i kapitel 4 respektive 5.

Det förekommer även ansatser till att utveckla teknik som innebär att det visuella gränssnittet placeras direkt mot ögat (Elgan, 2021). *Smarta linser* är ett samlingsnamn för kontaktlinser som förses med elektronik. Företaget Mojo Vision har fått mycket uppmärksamhet för sin satsning på kontaktlinser med inbyggd elektronik för att presentera överlagrad information. I nuläget består displayen av 70000 pixlar, trådlös överföring och inbyggd strömförsörjning. Företaget har mottagit stora summor riskkapital men än så länge finns enbart visuellt proof-of concept i form av en VR-lösning (Mojo vision, 2021; Sullivan, 2020).

*Spatial AR* är annan typ av teknik för att skapa förstärkt verklighet utan att använda huvudburna displayer eller glasögon. Istället används små projektorer eller hologram för att projicera antingen virtuella objekt i det fysiska rummet eller virtuella tillägg till fysiska objekt i rummet (Carmigniani m.fl., 2011). Ett förslag på användning är som ett sätt att utvärdera olika typer av material i en produkt genom att projicera en högupplöst bild av materialet ovanpå en neutral mock-up av produkten (Park m. fl, 2014). Andra förslag på användning för mobila industrirobotar att indikera sin rörelseriktning till människor i närheten genom att projicera en kartbild eller pilar på golvet (Coovert m.fl., 2014) samt sätt att visualisera processer och pågående aktiviteter (Olwal, Gustafsson & Lindfors, 2008).

Ovan beskrivna tekniker avser information som går i riktning in mot ögat. I det omvända fallet handlar det istället om att läsa av själva ögat såsom dess pupillstorlek, blinkningar, sackader<sup>6</sup> och blickriktning. Det finns ett stort forskningsintresse för metoder som har kapacitet att registrera ögonrörelser (eng. eye-tracking). Blickriktning kan till exempel användas för att analysera vad en person för tillfället tittar på. System för att detektera trötthet baserat på ögonrörelser finns redan integrerat i vissa fordon. Det förekommer också applikationer som låter användaren kommunicera med och styra ett datorgränssnitt genom att aktivt rikta blicken mot olika delar av displayen. Bland etablerade tekniker ses Tobii's huvudburna glasögon och kamerabaserade mer stationära system för fordonsapplikationer som de från Smarteye.

---

<sup>6</sup> Förflyttningar mellan fixeringar

### 3 Gestbaserade gränssnitt

Begreppet *gestbaserade gränssnitt* syftar på de typer av människa-datorgränssnitt i vilka interaktionen med ett system sker genom en teknisk registrering och tolkning av kroppsliga rörelser. Gränssnitt som medger att användare med enbart händer och kroppen kan påverka digitala objekt eller virtuella representationer har en hög grad av direktmanipulation där gränssnitten i sig kan upplevas som helt transparanta och naturliga.

Strävan efter gestbaserade gränssnitt kopplas till hur vår kroppsliga existens och våra rörelser i en omvärld påverkar vårt tänkande och hur vi kommunicerar, vilket benämns som *förokroppsligad kognition* (eng. *embodied cognition*). Med en förokroppsligad kognition menas att stora delar av vår kognition är direkt beroende av egenskaper hos vår fysiska kropp och att kroppen i sig är en förlängd del av den kognitiva bearbetningen (Wilson & Foglia, 2017). Detta står i kontrast till ett mer traditionellt dualistiskt synsätt med en tydlig särskilning på hjärnans kognition och övriga kroppen.

Människor använder en lång rad olika typer av gester som kan vara både spontana och inlärd samt variera mellan olika kulturer. En generell definition av gester är dock att det är "en uttryckande, betydelsebärande kroppslig rörelse där fingrar, händer, armar, huvud, ansikte eller kropp används i syfte att 1) förmedla meningsfull information eller 2) interagera med omgivningen" (Mitra & Acharya, 2007). Gester kan ytterligare kategoriseras längs ett kontinuum av *gestikulerande* → *språkliga gester* → *pantomimiska gester* → *emblematiska gester* → *teckenspråk* (McNeil, 1995). Med *gestikulerande* menas personliga, spontana rörelser som görs tillsammans med, men inte ersätter, talade ord. *Språkliga gester* är snarlika gestikulerandet i form men ersätter talade ord eller uttryck. *Pantomimiska gester* efterliknar objekt eller rörelser och kan även kombineras till sammanhängande sekvenser. *Emblemiska gester* är standardiserade gester med en kulturellt kodad betydelse, till exempel tumme upp eller V-tecknet. Det är i denna kategori som olika former av teckensystem som används inom olika professioner hamnar, som militära tecken (Försvarsmakten, 2001; DoA, 2017) eller de tecken som dykare använder (SSDF, 2018). Slutligen, *teckenspråk* är när gester med tillhörande syntax ingår i ett komplett lingvistiskt system.

Användningen av gester vid kommunikation ska därför inte ses som något som bara sker utöver verbal kommunikation. Gester bör snarare ses som en integrerad del av vårt språk samt att gester också åskådliggör tänkande hos den som utför gester (McNeill, 1995). Eftersom gester är en naturlig del av vår kommunikation (Hostetter & Alibali, 2008; Rowe & Goldin-Meadow, 2009) är det därmed också något som behöver inkluderas i gränssnitt mot tekniken för att skapa en interaktion som upplevs som naturlig och verklighetsnära.

Medan de gester som används i samband med talad kommunikation mellan människor i hög grad består av gestikulerande, det vill säga spontana och icke-formaliserade gester, har forskning gällande gestbaserade gränssnitt fokuserat på emblemiska gester, det vill säga förinövade och formellt definierade gester, samt haft en kraftig preferens för just handbaserade gester (Vuletic m.fl., 2019). Utöver att använda gester som en primär interaktionsform har även koncept i form av *mikrogester* (Wolf m.fl., 2011) studerats i vilka gester används för att hantera sekundäruppgifter parallellt med en primäruppgift, som att justera ljudvolymen i bilen medan man håller i ratten.

Utöver att tekniskt lösa registrering och tolkning av gester finns det ett behov av att avgöra vilka typer av gester som är lämpliga i olika tillämpningar (Vuletic m.fl., 2019). I vissa fall kan det vara lämpligt att använda enklare gestikulerande, medan det i andra fall är mer lämpligt med emblemiska gester eller teckenspråk. Avsaknaden av vedertagna standarder för gestbaserade gränssnitt innebär att det är oklart vilka gester som är lämpliga för olika interaktionsmoment. Vissa studier har genomförts för att exempelvis utveckla ett teckenspråk med syntax för interaktion med undervattenrobotar (Chavez m.fl., 2021), eller att skapa lexikon av emblemiska gester som kan vara lämpliga för att styra industrirobotar (Barattini m.fl., 2012; Gleeson m.fl., 2013) eller annan typ av teknik (Wolf m.fl., 2011).

### 3.1 Tekniska lösningar

Den vetenskapliga litteraturen fokuserar på hur gestbaserade gränssnitt rent tekniskt ska fungera med avseende på registrering och tolkning av gester. Flera tekniska lösningar utvecklas och utvärderas fortfarande parallellt, till exempel system baserat på kameror (Cicirelli m.fl., 2015; Boboc m.fl., 2015, Van den Bergh m.fl., 2011), på ultraljud (Sang m.fl., 2018), med handhållna enheter (Marasović m.fl., 2014) eller med burna sensorer (Voronchuk m.fl., 2019).

Teknik för att registrera gester kan delas in i två kategorier, 1) kamera- eller sensorbaserad spårning där gester registreras på avstånd eller 2) sensorbaserad spårning med burna sensorer i form av handskar, ringar, armband osv. Den första kategorin inkluderar tekniker som videokameror (Figur 4), djupseende kameror (t.ex. IR-kamera), *Motion capture*-system (t.ex. baserade på laser eller magnetism) eller teknik med kapacitiva givare (t.ex. touchscreen på mobiltelefoner). Den andra kategorin med burna sensorer (Figur 5) inkluderar tekniska lösningar där olika typer av sensorer (t.ex. accelerometer, gyroskop, magnetometer, GPS, flexsensor) bärs inbyggt i kläder, handskar, headset eller direkt mot huden för att till exempel direkt mäta muskulär aktivitet.



Figur 4. Illustration av en motion capture-system där ett flertal kameror registrerar rörelser och omvandlar det till s.k. skelett-modeller. Bildkälla: Shutterstock.



Figur 5. Buret motion capture-system för händer. De synliga sladdarna och enheterna på fingrarna är för haptiska taktorer

Det är också tänkbart att kombinera ett flertal olika tekniker för att uppnå en önskad noggrannhet, t.ex. att på distans registrera hela kroppens rörelse och med burna sensorer registrera rörelse i enskilda fingrar.

Själva registreringen av en gest kan beskrivas i tre faser: (1) upptäckt av en potentiell gest, (2) spårning under genomförande av gesten och (3) igenkänning av genomförd gest (Vuletic m.fl., 2019). Att upptäcka när en potentiell gest utförs innebär att avgöra start- och stoppunkter för meningsbärande gestmönster, segmentera rörelsen i en gest, det vill säga att till exempel bortse från övergången mellan en gest till en annan, samt hantera att samma gest kan variera i tid och individuell form. En gest kan temporalt delas upp i tre huvudsakliga faser bestående av *förberedelse*, *utförande* och *återtagande* (McNeill, 1995). Startpunkten för en gest är exempelvis att (1) handen rör sig till en utgångsposition, (2) själva gesten utförs och sedan (3) att gesten avslutas med att handen återgår till ett neutralt läge. Vissa gester har även en extra fas före, respektive efter, utförandefasen, t.ex. att handen intar en viss position en stund innan den huvudsakliga rörelsen eller positionen i gesten utförs. Under följning av gester behöver det även beaktas att dessa antingen kan vara statiska eller dynamiska. Statiska gester är exempelvis när handen hålls stilla i en viss position, medan dynamiska gester består av en sekvens av olika positioner.

Igenkänning eller tolkningen av en gest kan brytas ner till att mäta ett antal informationsbärande komponenter. Tolkning av gester kan exempelvis ske baserat på (1) *spatial information* – var gesten görs, (2) *riktningsinformation* – vilken riktning gesten har, (3) *symbolisk information* – vilket tecken som gesten består av och (4) *affektiv information* – gestens känslomässiga kvalitet (Mitra & Acharya, 2007). Valet av typ av sensorer som

används för att registrera gester avgör här huruvida alla dessa komponenter registreras eller bara en delmängd. I fallet med handgester behöver dessa även tolkas utifrån om de är enhandsgester eller tvåhandsgester. Tvåhandsgester kan dessutom kan delas upp i antingen symmetriska eller asymmetriska gester. En symmetrisk tvåhandsgest innebär att båda händerna tar samma form men spegelvänt, medan en asymmetrisk tvåhandsgest innebär att händerna gör olika former eller rörelser som en del av gesten (McNeill, 1995; Mitra & Acharya, 2007).

## 3.2 Användning av gestbaserade gränssnitt

Användning av gestbaserade gränssnitt kan antas fortsätta öka i olika former av tekniska tillämpningar inom den kommersiella sektorn. Medan interaktionen via *trackpads* på bärbara datorer för funktioner som att scrolla kan ses som en tidig form av geststyrning, är introduktionen av smarta telefoner ett tydligt exempel på hur gestbaserad styrning blivit en allmänt erkänd interaktionslösning, om än i förhållandevis begränsad utsträckning gällande funktionalitet, som att svepa med enskilda fingrar och enklare gester med flera fingrar, som kniprörelser för att zooma. Parallellt med introduktionen av mer avancerade pekskärmar lanserades under 2000-talet även kommersiella produkter inom spelindustrin för att registrera större gester än bara fingrar och i fler dimensioner än bara över en plan yta. Två framträdande exempel var kontrollerna för Nintendo Wii (burna sensorer) och Microsoft Kinect (kamerabaserad sensor). Det framträdande nyttjandet av geststyrningen i båda dessa var att överföra en kroppslig rörelse till en motsvarande digital rörelse hos en avatar, men också för att navigera grafiska gränssnitt genom pekande rörelser.

Medan registrering av gester, både på distans och med burna sensorer, fortsatt är en teknisk utmaning har också ergonomiska utmaningar visat sig. Gestbaserade gränssnitt som använder sig av onaturliga eller obekväma positioner, t.ex. att utföra gester högt upp eller med utsträckta armar kan både vara uttröttande och smärtsamt för användaren (Hansberger m.fl., 2018). Ett gränssnitt som använder sig av förutbestämda gester behöver vara utformat med beaktan på vilka rörelser som är naturliga, skonsamma och över tid hållbara för en användare. Det är också denna typ av förutbestämda och inövade gester som varit mest framträdande i den vetenskapliga litteraturen, medan mer fria och odefinierade gester används i mer begränsade tillämpningar (Vuletic m.fl., 2019). Utformningen av gester bör följa två principer - att de minimerar den kognitiva belastning som kan krävas för att memorera gester, och att gesterna är i överensstämmelse med naturligt beteende hos användaren (Hansberger m.fl., 2018).

Exempel på användningsområden i vilka gestbaserade gränssnitt föreslagits är vid interaktion med robotar eller självgående enheter, vid interaktion med datorprogram, som ersättning till fysiska reglage samt som ett sätt att öka motivation och ge bättre återkoppling i samband med utbildning och träning.

### 3.2.1 Interaktion med robotar och självgående enheter

Användning av gester för att interagera med olika former av rörliga plattformar ryms i den akademiska litteraturen i områden som Human-Robot-Interaction (HRI), Human-Machine Teaming (HMT), ibland kallat Human-Autonomy Teaming (HAT) eller Manned-UnManned Teaming (MUM-T). Dessa områden berör förmågan att använda avancerade självgående enheter, såsom obemannade flygfarkoster eller markgående robotar, och som en del av ett team där maskinerna har roller som tidigare utförts av människor. Grunden för ett fungerande team är god kommunikation (att veta hur och när man ska kommunicera), teamkoordinering (gemensam lägesuppfattning, ömsesidig prestationsövervakning, hjälpbeteende, anpassningsförmåga och ledarskap) och samarbete (teamorientering och ömsesidigt förtroende). Den omfattning i vilken människor använder gester i sin kommunikation med andra människor är en central indikation på vikten av att gester även ska kunna användas i interaktionen med den typ av teknik som ingår i HMT. Potentialen i gestbaserade gränssnitt är att erbjuda människorna i dessa team en mer

naturlig interaktionsform med tekniken som i högre grad liknar interaktionen med andra människor.

Det finns ett flertal förslag på hur gester skulle kunna användas för att styra, eller interagera med, olika typer av rörliga plattformar, men även industrirobotar (Barattini m.fl., 2012; Gleeson m.fl., 2013). Gestbaserad styrning av fysiska enheter är också något som kommersiellt introducerats i både markgående och flygande enheter. Exempel på militär användning är InfoComs, tillverkare av obemannade enheter för militärt bruk, som implementerat kamerabaserad gestinteraktion med sin plattform för vissa kommandon som start och stopp (Trotsenko, 2018). Tillverkaren Clearpath Robotics har demonstrerat en gestbaserad manuell styrning baserad på en buren sensor för sin plattform Husky (Garipey, 2014).

Medan många föreslagna tillämpningar använder ett förhållandevis begränsat antal gester föreslår Chiarella m.fl. (2018) och Chavez m.fl. (2021) ett helt system för gester med både syntax och semantik. Deras gestbaserade system tillämpas på interaktionen mellan en dykare och en självgående undervattenssenhet. Med hjälp av ett teckenspråk kan dykaren tilldela olika uppgifter till enheten, såsom att hämta och lämna saker, belysa och fotografera områden, eller få hjälp i händelse av problem. Dykaren interagerar med enheten genom att med en sekvens av gester kommunicera en serie av kommandon som ska utföras, t.ex. (1) *åk till båt*, (2) *hämta verktyg X*, (3) *åk tillbaka hit*, (4) *lämna verktyg*. Nad m.fl. (2019) föreslår en utveckling av föregående system med kroppsmonterade sensorer, istället för kamera, för bättre registrering av gester.

### 3.2.2 Interaktion med datorprogram och fysiska reglage

*Gestbaserade system* som inte kräver att användaren fysiskt vidrör reglage har en fördel t.ex. i publika miljöer eller sjukvårdsmiljö för att undvika kontaktsmitta. Genom att interagera via gester som tolkas via en kamera kan sjukvårdspersonal hantera presentation av information i samband med operationer och samtidigt hålla händerna sterila (Wachs m.fl., 2008). En snarlik tillämpning finns även inom bilindustrin med koncept som *predictive touch* som syftar på teknik som registrerar pekande gester för att kunna interagera med displayer utan att fysiskt röra vid dem (Ahmad m.fl., 2016).

Gestbaserade system för bilkörning har föreslagits som ett sätt att kunna hantera radio eller navigeringsstöd, utan att behöva släppa ratten eller ta blicken från vägen (Mahr m.fl., 2011; Lauber m.fl., 2014; Graichen m.fl., 2019). Genom att använda så kallade *mikrogest* kan användaren ge olika kommandon via rörelser med fingrarna, som inte kräver att greppet om ratten släpps.

### 3.2.3 Motivation och återkoppling

Registrering av kropps rörelser kan användas för att öka effekten av träning och rehabilitering genom *gamification*, vilket innebär att man tillför spelmekanismer och moment i en miljö eller situation som inte är ett spel. Gestbaserade system kan användas för att tolka rörelsen som görs till exempel vid träning med fria vikter för att öka motivationen och därmed förbättra effekten av träningen (Lai m.fl., 2019) eller förbättra rehabilitering genom att både öka motivationen och säkerställa att korrekta rörelser utförs (Farahanipad m.fl., 2020).

Ahmed m.fl. (2018) har gjort en översikt av tekniker för att registrera teckenspråk och menar att sådana system utöver att underlätta kommunikation, genom att översätta från teckenspråk till talat språk, också kan användas för att stödja lärandet av teckenspråk.

### 3.3 Utmaningar och möjligheter

Det finns en rad utmaningar när det kommer till gestbaserade gränssnitt som rör såväl tekniska, som mänskliga faktorer. Det finns ett flertal tekniska lösningar för att registrera gester, som var och en har både för- och nackdelar. Den tekniska implementationen för att registrera gester påverkar vilken typ av gest som kan registreras, vilket inverkar på det designutrymme som finns för att utforma lämpliga gester. Kamerabaserade lösningar har kapacitet att registrera hur händer och armar rör sig i förhållande till kroppen och varandra, men avstånd, ljusförhållanden och skydd sikt innebär problem för att följa mindre rörelser som enskilda fingrar. Dessa svårigheter kan hanteras med bärbara sensorer, till exempel i handskar. Dessa system kräver att användaren för med sig sensorerna och att det finns en robust informationsöverföring till mottagaren. Det senare är dessutom ytterligare utmanande i en militär kontext, med större begränsningar på trådlös kommunikation. Trots att det är tänkbart att bärbara sensorer går att inkorporera i framtida uniformer, som en stridshandske med inbyggda sensorer, är kraven på kringliggande infrastruktur, t.ex. gällande informationsförsörjning, troligen något som starkt försvårar för ett eventuellt införande.

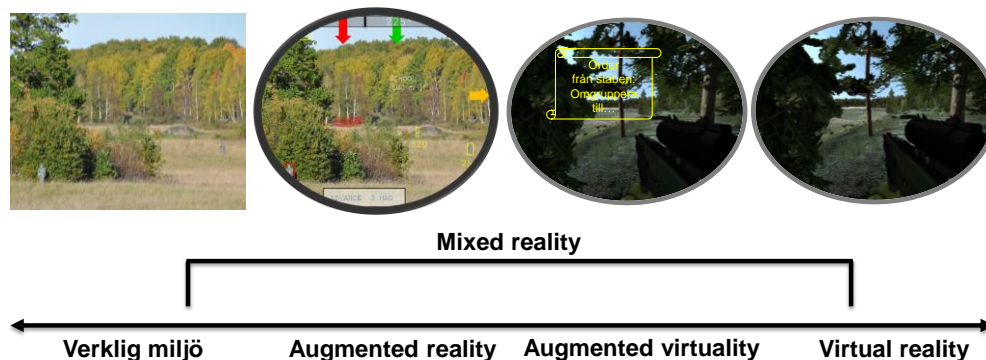
En ytterligare utmaning är skillnader i behov. Olika gester kan behöva användas vid olika tillfällen och tekniken måste ge stöd för detta. I vissa fall kan interaktionen med obemannade enheter behöva ske med större gester, som görs med hela armarna eller eventuellt med båda armarna, för att vara samstämmig med de gester som används för att kommunicera med mänskliga förare av fordon. Vid andra tillfällen kan det vara mer lämpligt med små gester som till exempel ska kunna utföras medan soldaten håller i ett vapen. Ett gestbaserat gränssnitt skulle i detta fall behöva kunna växla mellan olika lägen beroende på situation. Med inspiration från forskning på mikrogester bland bilförare, för bland annat volymkontroll, skulle liknande användningsfall kunna identifieras för personal i stridsfordon. Exempel på sådan interaktion är manövrering av radio/interkom och navigationsstöd eller för att stödja den interna kommunikationen genom att förmedla pekade gester med mera. Vilken typ av gester som är lämpliga vid interaktion med självgående enheter är också avhängt enhetens grad av förmåga till autonomi, från manuell styrning till enheter som på egen hand kan planera sin rutt.

## 4 Immersiva displayer

En *immersiv display* är en display som har förmågan att ge användaren en stark upplevelse av att verkligen befinna sig i den värld som presenteras och det som händer uppfattas som verkligt. För att det ska fungera behöver displayytan vara så stor att den täcker större delen av synfältet. Immersiva displayer i form av headset har funnits sedan länge, det allra tidigaste exemplet var Ivan Sutherlands display från 1968 (Sutherland, 1968), men det är först under det senaste årtiondet som tekniken har blivit kommersiell och därmed nått en bredare användning.

Milgram & Kishino (1994) myntade för snart 30 år sedan begreppet *mixed reality* (MR), blandad verklighet, för att fånga det kontinuum av virtualitet (Figur 6) som de menade existerar mellan en helt verklig värld och en helt virtuell, simulerad, värld. I den vänstra delen av kontinuumet är användarens upplevelse huvudsakligen helt verklig medan den i den högra delen mestadels är helt virtuell. Beskrivningen har fått stort inflytande på hur dessa teknologier förstås.

Längst ut till vänster i Figur 6 ses en bild av verkligheten, näst längst till vänster ses begreppet *förstärkt verklighet* (eng. Augmented Reality, AR) i vilken den verkliga omgivningen har utökats med en begränsad mängd virtuellt överlagrad information (i bilden i form av exempelvis pilar och inramningar). Näst längst till höger illustreras *förstärkt virtualitet* (eng. Augmented Virtuality, AV), där en huvudsakligen virtuell omgivning har vissa inslag av information som är direkt kopplad till den verkliga omgivande miljön (textinformationen i bilden). Längst till höger visas en *virtuell verklighet* (eng. virtual reality, VR) i vilken användare befinner sig i en helt virtuell 3D-miljö utan inslag av information med direkt koppling till den omgivande verkligheten.



Figur 6. Illustration av Virtualitetskontinuumet (Milgram & Kishino, 1994). Bilder från vänster: den verkliga terrängen, den verkliga terrängen med överlagrad AR-symbolik, simulering i VBS3<sup>7</sup> med inslag av verklig ordgivning, och till sist ren simulering i VBS3.

*Utökad verklighet* (eng. Extended Reality, XR) har tillkommit som ett samlingsbegrepp för att omfatta hela skalan från helt verklig upplevelse till helt virtuell, där interaktionen mellan människa och teknik möjliggörs av bland annat bärbara sensorer och kontrollenheter.

Minsky (1980) myntade begreppet *telepresence*, eller fjärrnärvaro, som uppnås när användare med hjälp av teknologi upplever en verklig omgivning som geografiskt är på en annan plats än där användaren själv befinner sig. Samma år söktes patent på ett koncept som kallades *tele-existence* (Tachi, 1985). Tele-existence är en kombination av telepresence och tele-robotik, vilket innebär att användaren även har möjlighet att fysiskt interagera med omgivningen och förekommande objekt. Med hjälp av tele-existence kan verksamhet bedrivas i farliga situationer utan att riskera att utsätta operatören för fara. Både telepresence och tele-existence går att inkludera i begreppet XR.

<sup>7</sup> Virtual Battle Space 3 (VBS3) utvecklat av Bohemia Interactive Solutions



Detta kapitel ger en översiktlig beskrivning av tekniska lösningar inom området samt ger exempel på användningsfall och applikationer för huvudburna immersiva displayer.

## 4.1 Tekniska lösningar

Immersiva headset förknippas ofta med VR, men även AR-lösningar kan vara immersiva. För att realisera AR och VR används olika typer av tekniska lösningar, i vilka den viktigaste gränssytan mot användaren är någon form av visuell display. En VR-display täcker hela synfältet för att ge användaren en så immersiv upplevelse som möjligt, medan en AR-display istället är så genomskinlig som möjligt för att inte begränsa synfältet eller mängden ljus som släpps igenom.

Vissa produkter möjliggör byte mellan olika lägen, exempelvis finns VR-headsets som låter användaren se delar av den fysiska världen med hjälp av kameror på framsidan av headsetet. Kameror kan även användas för att visa omgivningsinformation som gör det möjligt för användaren att undvika kollisioner. I det senare fallet närmar sig applikationen AV, där den virtuella världen förstärks (eller förändras) med element från den verkliga omgivningen, vilket beskrivs utförligare i kommande stycken.

För att generera den tredimensionella virtuella världen krävs någon form av beräkningsenhet. Vissa headset har denna kapacitet inbyggd, såsom Oculus Go och Oculus Quest (Figur 7), medan exempelvis HTC Vive och Oculus Rift kräver att användaren kopplar in headsetet till en dator. Det finns också lösningar i vilka mobiltelefonen fungerar som beräkningsenhet. Google Cardboard och Samsung Gear använder en mobiltelefon både som beräkningsenhet och skärm genom att användaren monterar mobilen framför ögonen.



Figur 7. Oculus Quest 2, där användaren interagerar genom att bara använda händerna.

Ytan framför användarens ögon är opak (ogenomskinlig) och består ofta av antingen av högupplösta LCD- eller LED-skärmar. Optiska glaslinser används för att underlätta fokusering då skärmen befinner sig nära ögat samt för att ge ett bredare synfält. Sammantaget möjliggör det också en mindre formfaktor på glasögonen.

VR-headset har i regel behövt separata datorer för att klara av den beräkningstunga rendering som krävs för att uppnå grafiskt verklighetstroga miljöer. I och med att tekniken har utvecklats har fler mobila lösningar tillkommit. Det ska dock påpekas att mer verklighetstroga miljöer inte nödvändigtvis betyder att användaren upplever en högre grad av inlevelse (exempelvis Jung & Lindeman, 2021).

I flera kommersiellt tillgängliga VR-system finns funktioner som befinner sig någonstans mellan VR och AR, närmare det Milgram och Kishino (1994) kallar AV, i vilka upplevelsen är huvudsakligen virtuell men förstärks med element från den riktiga världen. Ett exempel är begränsningslinjer som visas i den virtuella miljön för att minska risken att användaren går in i väggar eller olika typer av objekt. Avgränsningarna kan visualiseras som virtuella väggar, kanter på fysiska objekt som lyser upp när användaren kommer nära, eller genom att headsetet övergår till gradvis eller full videogenomsikt så att användaren ser objekt i närområdet. I många fall kan användaren själv välja att aktivera dessa lägen.

#### 4.1.1 Koppling till omgivningen

Det finns två huvudsakliga principer för att mäta in användarens position i det fysiska rummet. Den första metoden är *outside-in tracking* (sv. utifrån- och in-följning) som förutsätter att sensorer är utplacerade i det omgivande utrymmet. Dessa sensorer känner av var headsetet befinner sig och räknar därmed även ut användarens position i rummet. Ett exempel är den så kallade *lighthouse-teknologin* som används av HTC Vive Pro och Valve Index. Principen bygger på att utplacerade sändare emitterar infrarött ljus som träffar ytorna i rummet, vilket sensorerna i VR-headseten detekterar och använder för att mäta in sin position. Den andra metoden är *inside-out tracking* (sv. inifrån- och ut-följning), i vilken sensorer i själva headsetet mäter in omgivningen och beräknar sin position i relation till densamma. Företaget Varjos XR-3 och Oculus Rift är exempel på headset som nyttjar den senare typen av lösning.

Kommersiellt tillgängliga VR-lösningar kan också delas upp efter antalet frihetsgrader (eng. degrees-of-freedom, DoF) som systemet medger, dvs. antalet led som användaren kan röra sig i och som systemet kan registrera. Ett VR-system med 3DoF registrerar användarens huvudrörelse i tre led, böjning av huvudet uppåt/neråt, vridning till vänster/höger samt lutning till vänster/höger. Kommersiellt tillgängliga produkter med 3DoF är exempelvis Oculus Go och Playstation VR. Även produkter i vilka användaren monterar sin mobiltelefon i glasögonen, som Google Cardboard och Samsung Gear, har 3DoF.

Ett headset som medger 6 DoF har utöver de tre frihetsgraderna som beskrivs ovan även förmågan att följa hela kroppens rörelse i rummet, dvs. när användaren flyttar huvudet uppåt/nedåt, åt vänster/höger eller framåt/bakåt. Genom att registrera hela kroppens rörelse går det att skapa applikationer som i större utsträckning tar hänsyn till användarens förflyttning i den fysiska miljön. Kommersiellt tillgängliga produkter som tillåter detta är exempelvis HTC Vive-serien, Facebooks Oculus Quest 2 och Valve Index.

#### 4.1.2 Kontrollmekanismer

I idealversionen av VR skulle all interaktion och alla upplevelser vara i princip identiska med hur de upplevs i den verkliga världen. Det skulle alltså innebära att användare skulle kunna kommunicera med tal och gester, lyfta upp och hantera och manipulera objekt, trycka på virtuella knappar etc. Hittills har den tekniska utvecklingen inte nått så långt utan istället behövs alternativa sätt att interagera med den virtuella miljön.

Det vanligaste sättet att interagera med de virtuella upplevelserna i VR är genom handkontroller, oftast en för varje hand. Handkontrollerna är försedda med en kombination av knappar, joysticks och sensorer som bidrar till att registrera kontrollernas rörelser i relation till användaren och omgivningen. På senare tid har det även blivit möjligt att använda själva händerna för att interagera med den virtuella miljön. Både Facebooks Oculus Quest 2 och HTC Vive Pro har funktionalitet som innebär att användaren kan välja att lägga ifrån sig handkontrollerna och övergå till att enbart gestikulera med händerna. Ett ytterligare sätt att interagera med huvudburna VR-enheter är att använda mobiltelefonen som kontrollenhet som exempelvis för HTC Vive Flow.

Ett flertal andra sätt att interagera med VR-system har tillkommit över tid för att möjliggöra mer naturlig interaktion och rörelsefrihet i den virtuella miljön. Ett exempel är *omnidirektionella* löpband, som exempelvis Virtuix Omni (Virtuix, 2021) som möjliggör mer naturlig navigering och förflyttning i den virtuella miljön.

Ett av de vanligaste sätten att förflytta sig i VR-applikationer är (förutom att gå på en begränsad yta) att användaren teleporterar sig genom att sikta på önskad position och bekräfta valet genom att trycka på en knapp, eller använda en joystick.

Vapenattrapper försedda med sensorer finns också som ett sätt för användaren att simulera användningen av vapen i den virtuella miljön. Fördelen med en attrapp jämfört med att använda en handkontroll är att hanteringen blir mer naturlig då det finns ett fysiskt objekt som överensstämmer med det som ses i scenen.

*Haptiska klädesplagg* är produkter som kan skapa en haptisk respons hos användaren till följd av händelser och egenskaper i den virtuella världen. Beroende på hur stor del av kroppen som ska påverkas kan dessa plagg vara i formen av haptiska handskar eller en haptisk väst. Den haptiska responsen kan exempelvis bestå av vibrationer på handen eller fingrarna för att uppmärksamma användaren på att denna har gjort något eller nuddat något i den virtuella miljön, men också i form av en respons som mekaniskt förhindrar kroppsliga rörelser för att simulera att användaren griper tag i eller nuddar ett objekt. Vid simulatoranvändning tillsammans med vapenattrapper kan exempelvis den haptiska västen vibrera när användaren blir skjuten i den virtuella miljön.

## 4.2 Användningsområden

Eftersom användaren befinner sig i en helt virtuell miljö är det möjligt att ha fullständig kontroll på hur omgivningen presenteras och på vilket sätt som användaren kan interagera med densamma. När den virtuella miljön upplevs genom en immersiv display, i vilken användaren kan röra på huvudet och uppfatta världen runt om i 360 grader, skapas nya möjligheter till att ta till sig visualiseringen. Immersiva displayer har potential att användas för visualisering inom en rad olika applikationer såsom:

- Utbildning och träning
- Utveckling, design, analys och prototypverksamhet
- Underhållning och fritid
- Hälsa och rehabilitering
- Fjärrdeltagande

Kapitlet presenterar ett urval av civila och militära användningsfall för vilka immersiva displayer redan har börjat användas.

### 4.2.1 Utbildning och träning

Huvudburna displayer för presentation av virtuella miljöer har sedan länge varit av intresse för simulatorträning i militära sammanhang. Typiska anledningar har varit utrymmesbrist och begränsningar i möjligheten att verka i grupp. Ett exempel på det första fallet är ett koncept med transportabla helikoptersimulatorer, AVCATT-A<sup>8</sup>, där kabinerna placerades i en flyttbar container för att kunna följa med förbandet vid omgrupperingar. Ett exempel på det andra fallet är lantmästare och vinschoperatör som behöver kunna röra sig fritt i fysisk mock-up, interagera med olika typer av reglage och luta sig ut genom dörröppningen. Hjälmdisplay har varit lösningen i båda fallen och har kunnat erbjuda den flexibilitet som behövs för att skräddarsy simuleringen för de individuella besättningsmedlemmarna. Flygträning för fixed-wing har däremot i regel förknippats med större fasta displayytor och domer. SAAB har dock offentliggjort planer på att integrera VR-headset från företaget Varjo i simulatorerna för Gripen E/F (Forrester, 2021).

VR möjliggör en kontrollerad miljö, som kan vara svår att uppnå med andra tekniska hjälpmedel, vilket kan vara till fördel i utbildnings- och träningsområden. En stor vinst vid all virtuell utbildning och träning är möjligheten att skapa stora scenarier och individuellt anpassa innehållet i scenen. En simulerad omvärld helt i VR innebär att användare kan uppleva situationer som exempelvis är farliga, dyra, eller svåra att återskapa på annat sätt, såsom historiska miljöer (Kavanagh m.fl., 2017). Användare kan också interagera med och manipulera dessa miljöer på helt andra sätt än vad en normal

<sup>8</sup> Aviation Combined Arms Tactical Trainer for US Army

fysisk miljö kan erbjuda. En virtuell miljö kan också väldigt snabbt återställas så att övningar kan upprepas med samma förutsättningar.

Andra fördelar med VR är att det kan användas som ett sätt att öka studiemotivation och för att skapa kollaborativa möjligheter och mer spännande upplevelser under utbildningssituationen (Parong & Mayer, 2018, Kavanagh m.fl., 2017). Jämfört med vanlig undervisning i klassrum möjliggör VR en immersiv upplevelse av ”learning by doing”, som främjar inläring av färdigheter (Renganayagalu m.fl., 2021). Detta har bland annat testats för att lära ut triage under övningar med många skadade (Mills m.fl., 2019) och för att lära medicinstudenter att känna skillnad på frisk vävnad och tumörvävnad hos (virtuella) patienter (Dinsmore m.fl., 1997). VR har även visat sig ha fördelar jämfört med traditionell klassrumsundervisning för att träna upp kognitiva förmågor som spatialt minne, motoriska färdigheter och för att komma ihåg procedurer (Renganayagalu m.fl., 2021).

En osäkerhet i studier rörande hur effektivt VR är för träning handlar dock om vad som mäts i de utvärderingar som görs av applikationerna vid genomförandet av övningar. Ofta är det som mäts VR-systemets användbarhet och deltagarnas subjektiva upplevelser snarare än den reella träningseffekten (Radianti m.fl. 2020). Dock framhäver flera studier att VR är ett bra komplement till annan undervisning och färdighetsträning även om det hittills inte helt har ersatt mer traditionella sätt att undervisa och träna (Gallagher m.fl. 2005, Kavanagh m.fl. 2017, Renganayagalu m.fl., 2021, Portelli m.fl., 2020). Figur 8 illustrerar en soldat som tränar i VR-miljö iförd full utrustning och vapenattrapp.

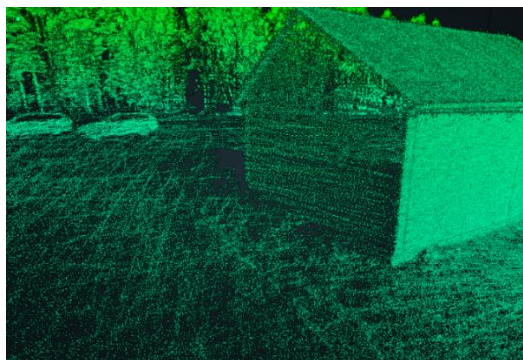


Figur 8. Soldat som genomför träning iförd VR-headset, uniform och vapenattrapp. Bildkälla: Shutterstock.

Stora övningar med många statister är ett vanligt, men kostsamt, sätt att träna exempelvis sjukvårdspersonal inför svåra situationer som livräddning vid katastrofscenarier med många skadade. Att simulera den typen av övningar i VR kan spara tid såväl som personella och monetära resurser samtidigt som träningsvärdet bibehålls (Mills m.fl., 2019). Ett annat exempel på en krävande situation är brand, där övning i verklig miljö kräver både utrustning och infrastruktur som klarar påfrestningarna. Ytterligare exempel där VR har använts för träning och övning är USA:s rymdstyrka som bland annat har simulerat rymdstationer och uppdragskontrollrum (Brown, 2021a).

#### 4.2.2 Utveckling, design och analys

Immersiva displayer ger nya möjligheter till visualisering och skapar förutsättningar för mer intuitiv interaktion med information och data från olika källor. Interaktion med data i 3D gör det enklare för användaren att urskilja mönster jämfört med att enbart titta på visualiseringen (El Beheiry m.fl., 2019). Figur 9 visar ett exempel på punktmoln som kan navigeras i full 3D och studeras från olika håll såsom inifrån och ut.



Figur 9. Exempel på punktmoln skapat med avbildande fotonräknande laser. Bild: Hannes Ovren.

VR möjliggör visualisering och interaktion med 3D-modeller i realtid. Detta innebär att exempelvis CAD-arbete kan ske helt i VR. Autodesk, en etablerad aktör inom 3D-modelleringsmjukvara av olika slag, har exempelvis redan nu implementerat möjligheten att visualisera i VR i flera av sina applikationer (Autodesk Inc., 2021). Genom att nyttja sådan mjukvara kollaborativt kan prototyparbete eller granskning av modeller ske i realtid, även om användare inte befinner sig på samma fysiska plats. Wolfartsberger (2019) menar exempelvis att granskning av 3D-modeller genom VR ledde till att fler fel i utformningen upptäcktes än när traditionella CAD-gränssnitt användes. Dock påpekar Wolfartsberger (2019) att VR förmodligen är bäst som ett komplement till traditionella gränssnitt.

#### 4.2.3 Sjukvård och välmående

Förmågan att sätta användaren i en helt virtuell miljö medger även terapeutiska möjligheter. Soldater som upplevt traumatiska händelser kan, tillsammans med utbildad hälsovårdspersonal, på ett kontrollerat sätt få uppleva simuleringar av miljön där traumat inträffade för att på så sätt ges möjlighet att bearbeta detsamma. En randomiserad studie visade att VR kan användas för att behandla post-traumatiskt stressyndrom hos amerikanska soldater i aktiv tjänst, med motsvarande effekt som KBT<sup>9</sup>-behandlingen *prolonged exposure therapy* (Reger m.fl., 2016). En metaanalys av studier som studerar effektiviteten i VR-baserade behandlingar drar slutsatsen att det finns tecken på att VR-baserad behandling kan vara effektiv för att behandla PTSD, men att fler studier krävs som också har större variation i kön på de som behandlas samt vilka slags trauman de upplevt (Kothgassner m.fl., 2019). Ytterligare exempel på hur VR kan användas för att främja psykisk hälsa är hur HTC Vive Flow som blir tillgänglig under sista kvartalet 2021 marknadsförs som verktyg för mindfulness och mental avkoppling.

Flera av de kommersiellt tillgängliga VR-systemen är knutna till olika applikationsplattformar som är försedda med spel, applikationer för guidad meditation, konstnärliga applikationer där användaren exempelvis virtuellt kan måla i luften i full 3D eller göra egna 3D-modeller, sociala miljöer där användare kan koppla upp sig till varandra och njuta av varandras sällskap och även se filmer tillsammans.

#### 4.2.4 Fjärrdeltagande

Helt virtuella utrymmen dit användare kan koppla upp sig från skilda fysiska platser möjliggör möten, konferenser och andra kollaborativa aktiviteter. Tekniken skapar anpassningsbara miljöer i vilka användarna även kan komma åt visualiseringsverktyg som normalt inte finns tillgängliga i videomöten eller traditionella fysiska möten. Detta innebär i teorin att även ledning skulle kunna utföras distribuerat med stabsmedlemmar som befinner sig på olika fysiska platser. En tänkbar funktion skulle vara stöd för att genomföra gemensam planering baserat på en 3D-karta försedd med olika informationsöverlägg. Dylika så kallade *virtuella oledare* skulle precis som idag kunna vara baserade på

<sup>9</sup> Kognitiv beteendeterapi

information från ledningsstödsystem och bland annat visualisera egna och motståndarens styrkor.

Försvarmaktens *Huvudstudie Ledning* analyserar de framtida militära behoven inom ledningsområdet. Under 2020 genomfördes ett studieförsök inriktat mot virtuella ledningsplatser. Syftet var att undersöka den eventuella militära nyttan med att kunna mötas virtuellt för att bedriva olika ledningsrelaterade aktiviteter. Deltagarna befann sig i olika rum och deltog i ett virtuellt möte genom att använda olika typer av enheter och därmed användargränssnitt. Två av deltagarna använde VR-headset, en deltagare såg mötesrummet via en mobiltelefon, en deltagare använde surfplatta och den femte deltagaren deltog i mötet genom vanlig bärbar dator med webbkamera. Oavsett enhet kunde alla deltagare samtidigt interagera med den virtuella miljön exempelvis genom att placera anteckningar eller uppladdade foton i luften, rita tredimensionellt med en penna, eller flytta den egna avataren<sup>10</sup> eller andra objekt i rummet. Figur 10 visar en miljö från applikationen Spatial, samma applikation som användes i studieförsöket.



Figur 10. Exempel på miljö från applikationen Spatial (Spatial Systems, Inc.).

### 4.3 Utmaningar och möjligheter

Några av de främsta möjligheterna följer av att användaren i VR kan uppfatta sig som helt innesluten i den virtuella världen, trots att användaren logiskt vet att den inte faktiskt befinner sig där (Slater & Sanchez-Vives, 2016). En nackdel är att vissa användare upplever så kallad *cybersjuka* (eng. cyber sickness) vilket är en form av rörelsesjuka. Illamående uppstår när balanssinnet uppfattning om hur kroppen rör sig förhållande till omgivningen inte stämmer överens med det som utspelas i scenen. Känsligheten för cybersjuka är individuell och påverkas i olika grad av systemens brister och prestanda.

En studie har dock visat att förekomsten av cybersjuka är korrelerat med lägre inlevelsenivåer (Weech, Kenny & Barnett-Cowan, 2019). Fortsatta förbättringar av systemen, för att öka inlevelsen hos användaren och minska latensproblem, kan därför framöver tänkas leda till en generellt minskad förekomst av cybersjuka. Det forskas även på möjligheten att, med hjälp av blickriktnings- och huvudföljningsdata, förutse cybersjuka och på så sätt kunna förhindra att den uppstår (Islam, Desai & Quarles, 2021).

Länge bestod den kanske främsta marknaden för VR av spel och underhållning, men ju mer tillgänglig tekniken har blivit, desto fler användningsområden har framträtt. Närliggande till spelindustrin finns domänen seriösa spel (eng. serious gaming) där VR kan bidra med en mängd tränings- och övningsapplikationer. I kombination med fysiska attrapper kan soldater utbildas och tränas i en virtuell miljö för en rad olika moment. Momenten skulle kunna bestå av allt från stridsrelaterade uppgifter, stabsuppgifter, taktik, sjukvård, vapen användning och underhåll, reparationer eller andra uppgifter.

<sup>10</sup> Avatar betyder i detta fall den virtuella representationen av den fysiska personen.



## 5 AR-displayer

*Augmented reality* (AR, på svenska förstärkt verklighet), innebär att artificiella element tillförs till användarens uppfattning av den verkliga miljön, ofta med hjälp av dator-genererade bilder genom någon form av enhet (Yung & Lattimore, 2019). I MR-kontinuumet ligger AR mestadels till vänster, det vill säga där den fysiska världen fortfarande dominerar användarens upplevelse (Milgram & Kishino, 1994). Azuma (1997) definierar AR utifrån tre grundläggande egenskaper: kombinationen av det verkliga och det virtuella, interaktivitet i realtid och registrering/spårning i tre dimensioner.

“Virtual reality (VR) can take you to new places, and augmented reality (AR) can bring these places to you”

(Clay Bavor, VP för Google VR/AR, 2017)

Denna typ av system började utvecklas under 90-talet men det var först under 2010-talet som dedikerade AR-system började bli tillgängliga även kommersiellt, dock framför allt för företag. Ett exempel är Googles produkt Google Glass som snarast bör klassificeras som en bärbar display med möjlighet att visa textinformation, egentligen glasögon med en liten clip-on display som inte låg direkt i användarens synfält (Schmalstieg & Höllerer, 2016). Ett annat exempel på AR-system är företaget Magic Leap som släppte sitt första headset, Magic Leap 1, under 2018. Microsoft lanserade under 2016 ett AR-headset vid namn HoloLens som har en betydligt större formfaktor än både Google Glass och Magic Leap. Flera stora företag har annonserat ambitioner att utveckla egna AR-headset, däribland Facebook, Amazon, Apple och Snap (företaget bakom Snapchat).

Kapitlet ger en övergripande beskrivning av tekniska lösningar för synbaserad AR och presenterar ett urval av civila och militära användningsfall där AR kan tänkas få användning.

### 5.1 Tekniska lösningar

Synbaserad AR kan åstadkommas på flera olika sätt. I en variant av förstärkt verklighet projiceras informationen på någon form av genomskinlig skärm framför användarens ögon. Ett sätt är att överlagra informationen direkt i bilden på en rörlig bildskärm såsom mobiltelefon, tablet eller bärbar dator.

Under åren 2004 och 2010 bedrev FOI och Linköpings universitet en serie projekt om AR på uppdrag av FMV (Nilsson, 2010). I samband med detta utvecklades en prototyp av ett AR-system baserat på videogenomsikt (se nedan för ytterligare förklaring). Figur 11 visar hur information presenterat i detta system såg ut ur användarens perspektiv.



Figur 11 Två exempel på hur virtuell information överlagras i AR med videogenomsikt (Nilsson, 2010).

Det finns två principiellt olika sätt att skapa en AR-upplevelse för huvudburen utrustning. *Optisk genomskikt* innebär att användaren ser omgivningen precis som den är med den virtuella bilden överlagrad på en genomskinlig display framför ögonen. Vid så kallad *videogenomsikt* överlagras istället den virtuella informationen på en video av omgivningen och därmed ser användaren en indirekt återgivning av densamma. Den första principen

används för HoloLens och Magic Leap. Rent tekniskt kan den andra principen användas för VR-headset såsom HTC Vive som är utrustade med kameror. Figur 12 illustrerar ett exempel på AR baserat på optisk genomsikt.



Figur 12. Illustration av AR baserat på optisk genomsikt. Bildkälla: Shutterstock.

Även en HUD kan ses som en AR-teknologi förutsatt att den presenterade informationen är relaterad till verkligheten, uppdateras i realtid och är kopplad till omgivningen. Ett sätt att förstå skillnaden mellan en HUD som har kapacitet för AR och en som inte har det är hur dynamiskt informationen visualiseras i gränssnittet och huruvida de tillagda objekten eller informationen upplevs som att de interagerar med den verkliga världen genom vyn.

De senaste 15 åren har beräkningskapaciteten i kommersiellt tillgängliga datorer och enheter ökat samtidigt som beräkningsenheterna minskat i storlek. Där det för 15 år sedan främst fanns egenhändigt utvecklade lösningar på olika forskningsinstitut och universitet finns det numera färdiga mjukvaruutvecklingskit (eng. software development kit, SDK) att ladda ner från flera stora aktörer, bland andra Apple<sup>11</sup> och Google<sup>12</sup> (Apple ARKit och Google ARCORE SDK).

### 5.1.1 Koppling till omgivningen

En av de viktigaste fördelarna med AR är att informationen kan placeras direkt i användarens synfält och direkt kopplas till omgivningen. För att skapa AR krävs att den virtuella bilden projiceras eller speglas in framför användarens ögon samtidigt som den också i realtid relateras till den omgivande miljön (Azuma, 1997). Registreringen av omvärlden kan antingen göras med hjälp av markörer som en visuellt baserad sensor (kamera i de flesta fall) kan detektera, eller genom att AR-systemet med hjälp av sensorer registrerar omgivningen och sin plats i relation till den.

Markörbaserad registrering baseras på användning av fysiska markörer som är utplacerade i omgivningen. AR-systemet detekterar markörerna genom en kamera och presenterar det virtuella objektet i relation till markören i användarens vy. Ett av de första mer spridda markörsystemen för detta ändamål var AR Toolkit<sup>13</sup> (Kato & Billinghurst, 1999) som utvecklades i slutet på 90-talet och numera vidmakthålls som ett open source-projekt.

För att kunna använda AR utomhus krävs dock andra metoder än markörbaserade system. Ett sätt att åstadkomma det, om omgivningen där applikationen ska användas är känd på förhand, är att skapa en modell över området och sedan med hjälp av positionering av användaren placera ut objekt i denna omgivning (Piekarski & Thomas, 2001). Det första exemplet på AR för utomhusbruk var spelet AR Quake i vilket utvecklarna skapade en komplett modell med alla byggnader på ett campusområde som de virtuella målen och figurerna kunde placeras ut i. För att kunna positionera användaren användes en digital kompass för orientering och GPS för själva positionen (Piekarski & Thomas, 2002).

<sup>11</sup> <https://developer.apple.com/augmented-reality/>

<sup>12</sup> <https://arvr.google.com/arcore/>

<sup>13</sup> <http://www.artoolkitx.org/>



Det är dock inte alltid möjligt att modellera området på förhand och då krävs andra metoder föra inmätning av omvärlden, som detektion av konturer med hjälp av sensorer av olika slag (Behringer, 1999). Ett annat tidigt exempel på AR för utomhusbruk var en prototyp av ett militärt AR-system, BARS (Battlefield Augmented Reality System), som använde sig av feature detection för att registrera konturer av byggnader och på så sätt kunna placera ut virtuella föremål i användarens synfält (Julier m.fl., 2000).

*Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) är en benämning på teknik som samtidigt både karterar och positionerar, vanligen med hjälp av kameror eller lasersensor. Algoritmer för vSLAM (eng. vision-based eller visual SLAM) används numera också multimodalt tillsammans med andra sensorer/enheter, såsom accelerometer/IMU och GPS (Ling, 2017). När SLAM klarar av att kartlägga miljön runt användaren och placera AR-symboliken rätt i relation till miljön behövs inga fysiska markörer längre. SLAM är tillämpligt för miljöer där det saknas kartinformation eller andra stöd för positionering. Tekniken förutsätter att det finns tillräckligt med detaljer i bilden (textur) och fungerar främst på nära håll och i inomhusmiljö. Ju bättre IMU, desto större bortfall av detaljer kan tolereras. Forskning pågår gällande möjligheten att knyta omvärldsmodeller baserade på högupplöst geodata till systemet och därmed öka användbarheten även på långa avstånd utomhus.

Inga av de kommersiellt tillgängliga AR-headseten (HoloLens, Magic Leap) rekommenderas av tillverkarna för utomhusbruk, däremot finns det otaliga AR-applikationer för mobiltelefoner som fungerar väl för ändamålet.

### 5.1.2 Kontrollmekanismer

Ett sätt att dela in interaktionen i AR är genom den modalitet (exempelvis gester, taktill interaktion, röst eller blickstyrning) och den uppgift (exempelvis skapande, selektion eller manipulation av virtuella objekt eller textinmatning) som ska utföras (Hertel m.fl., 2021). När AR används med hjälp av huvudmonterade anordningar används antingen separata handkontroller, handföljning eller direkt interaktion med knappar och vred på enheterna. När AR används med mobiltelefoner nyttjas ofta en kombination av knappar på skärmen och sensorer i mobilen.

Utöver fysiska kontrollenheter och handföljning har Microsoft HoloLens 2 och Magic Leap även förmåga att följa användarens ögonrörelser, vilket möjliggör interaktion via blickstyrning. Även kombinationer av blickstyrning och huvudpose kan användas för interaktion.

## 5.2 Användningsområden

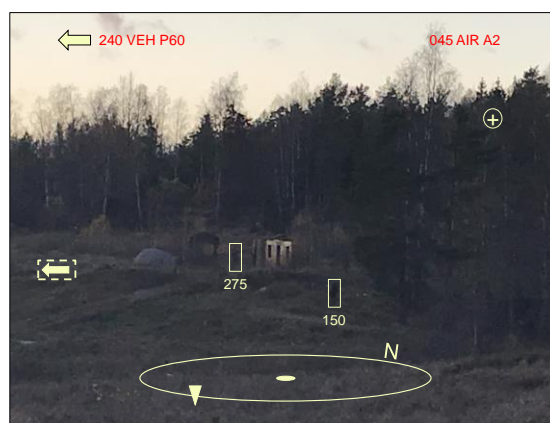
Avsikten med att presentera information och objekt direkt i en användares synfält är att göra informationen mer direkt tillgänglig. Genom att projicera inkommande information i användarens momentana synfält kan fokus bibehållas på den aktuella uppgiften. Rätt implementerad kan AR fungera som en kompletterande och lättillgänglig informationskanal som inte stör användarens möjlighet att utföra pågående uppgifter. AR har potential att användas för en rad olika applikationer inom ett flertal områden såsom:

- Soldatsystem
- Farkoster
- Ledning och säkerhet
- Utveckling, design, logistik och underhåll
- Utbildning, träning, spel och fritid

I detta avsnitt beskrivs ett antal olika applikationer och satsningar inom området av relevans såväl för civil som militär kontext.

### 5.2.1 Soldatsystem

AR i den militära kontexten förknippas med möjligheter till tyst kommunikation, utökad informationsmängd, individuell och situationsanpassad information med mera. Exempel på information som kan förmedlas genom AR direkt i användares synfält är data om egna och motståndares enheter, stöd för navigation, invisning till intressanta objekt och hot, tilläggspresentation (fusionerad data, riskområden, begränsningslinjer, annotering av attribut, beräknade verkansavstånd och osäkerhetsindikering), utökad mörkerförmåga samt ordergivning (Kindvall & Lindberg, 2020, s. 154). Figur 13 illustrerar ett exempel på tänkbar symbolik för en soldatburen AR-utrustning.



Figur 13. Exempel på tänkbar symbolik för en soldatburen AR-utrustning.

Under 2019 ingick den amerikanska armén ett samarbete med Microsoft för att utveckla ett militärt system som skulle ge ”förstärkt situationsmedvetande och utökad förmåga för soldaten” (Bach, 2021). Basen för utvecklingen är den huvudmonterade AR/MR-displaylösning som kommersiellt säljs under namnet HoloLens. Regelbundna utvärderingar med deltagare från den amerikanska armén har hållits för att skapa en tillräckligt robust och militärt ruggad version. Resultatet kallas *IVAS* (eng. Integrated Visual Augmentation System) och består av en hjälmmonterad genomskinlig display (HoloLens) som integrerats med olika typer av sensorer. Funktionaliteten omfattar mörkersikt, överlagrad kartinformation och möjlighet att växla vyer så att chefer ser samma bild som en soldat som befinner sig på en annan plats. Avsikten är ge soldaten en bättre omvärldsuppfattning medan chefer får tillgång till ett bättre beslutsunderlag (Bacon, 2021). Tanken är även att den uppsuttna soldaten ska få information presenterad direkt i synfältet från sensorer utanpå fordonet. I oktober 2021 rapporterades det dock att projektet fördröjts och att planerade fältförsök skjutsits fram något i tiden.

Ett annat exempel på system med integrerad AR-funktionalitet är mörkerstridsutrustning ENVG-B, tillverkad av L3 Harris som har börjat förbandssättas i den amerikanska armén (Brown, 2021b; Liberatore, 2021). Utrustningen, som kombinerar mörker- och IR-förmåga med AR, innehåller även funktionalitet för att kunna skjuta runt hörn (Black, 2021). Ytterligare ett liknande system är Integrated Digital Vision System (IDVS) från Collins Aerospace, som bland annat marknadsförs med funktioner för digital zoom (Collins Aerospace, 2021).

### 5.2.2 Farkoster

Det har länge funnits teknik för att visa olika typer av information för olika slags fordonsförare, men på senare år har möjligheterna att visa en större mängd information och på flera sätt ökat. Idag förekommer AR som gränssnitt för både piloter och förare av andra typer av fordon. Vilken information som ska presenteras när, och på vilket sätt, är dock ett fortsatt forskningsområde.

Flygvapnets stridsflygplan har länge varit försedda med HUD (siktlinjesindikator), i vilka informationen projiceras på en genomskinlig yta i flygförarens synfält. I en HUD med AR-förmåga är den presenterade informationen relaterad till faktiska objekt i omvärlden och uppdateras i realtid beroende exempelvis på objektens position eller annan information relaterad till dem (se figur 6). Till skillnad från många andra AR-lösningar är en HUD snarare kopplad till själva fordonet än till pilotens eller förarens personliga utrustning.

*Aero Glass* är ett par AR-glasögon avsedda för piloter och är tänkta att underlätta flygningen genom att projicera information relaterad till navigation, terräng, flygtrafik etc. direkt i synfältet. Skillnaden jämfört med traditionella HUD-gränssnitt avsedda för flygplan är att piloten kan se de dynamiska tilläggen till verkligheten i 360 grader, det vill säga, informationen visas i glasögonen och förändras därmed beroende på vilken riktning piloten tittar (Aero Glass, 2021).

Firth (2019) beskriver en framtida HUD för bilar i vilken information kan projiceras på en bredare vy. Fördelen med AR i detta fall är möjligheten till en mer övertygande blandning av virtuella tillägg och verklighet. Informationen som projiceras för användaren kan utgöras av navigeringsinformation, säkerhetsnotiser om bilen, varningar för farliga situationer eller objekt i bilens närområde, något som är särskilt fördelaktigt i förhållanden med sämre sikt. Figur 14 visar exempel på hur AR för fordon kan komma att utvecklas framöver.



Figur 14. Från vänster till höger: AR-presentation för personbil där den överlagrade informationen över tid blir alltmer vidvinklig med ökad koppling till omgivningen.

Ett annat exempel på fordonsrelaterad utveckling är BAE Systems Hägglunds koncept för användning av AR för stridsfordon. Tanken är att besättningen ska ha en utrustning som gör det möjligt att se runt hela fordonet (vagn av glas) och exempelvis få stöd för identifiering av hot (Lynch, 2017).

### 5.2.3 Ledning och säkerhet

AR kan även användas för visualisering av information som är relevant för exempelvis beslutsfattande i stabs- och ledningsstödsystem. I AR-system kan gränssnitten visas som svävande fönster och begränsas därmed inte av traditionella skärmars storlek eller utformning.

Ett exempel på ett nytt gränssnitt är en form av terränglåda som istället för en fysisk 3D-miljö består av en stor pekskärm i kombination med ett AR-gränssnitt. Användandet av AR bidrar här till en förmåga att projicera information i vad som upplevs som 3D av användaren, till skillnad mot traditionell interaktion med en pekskärm i 2D. **Fel! Hittar inte referenskälla.** Figur 15 och Figur 16 illustrerar hur en sådan visualisering skulle kunna se ut med huvudburen AR-teknik.



Figur 15. Exempel på AR-förstärkt bord för kollaborativt arbete. Bildkälla: Shutterstock.



Figur 16. Exempel på AR-förstärkt bord för kollaborativt arbete. Bildkälla: Shutterstock.

Exemplen i Figur 15 och Figur 16 innehåller ett fysiskt bord, men bordet skulle också kunna existera helt virtuellt. Ett virtuellt bord medger större flexibilitet eftersom användare kan ges tillgång till arbetsytan/mötesplatsen från olika platser, vilket i sin tur kan leda till högre rörlighet i ledning.

Ett snarlikt koncept är så kallade holografiska bord som i framtiden skulle kunna möjliggöra AR-upplevelser utan att användaren behöver ha på sig några särskilda displayer eller annan visualiseringsutrustning (Clemente m.fl. 2019). De fördelar med AR (och VR) som framhålls i relation till stabs- och ledningsuppgifter handlar om möjligheten till bättre lägesuppfattning och bättre beslutsunderlag baserat på möjligheten att exempelvis visualisera stora mängder data och genomföra simuleringar av olika scenarier för att se utfallet överlagrat på riktiga kartor (ibid).

Företaget Qwake Technologies har fått ett kontrakt värt 1,4 miljoner USD av amerikanska försvarsdepartementet för att vidareutveckla och lansera en AR-hjälm för brandmän, som ger dem möjlighet att ”se genom rök” (Fink, 2020; BBC, 2018). Hjälmen är försedd med sensorer som mäter in konturer och objekt i rummet och projicerar dessa direkt i brandmannens vy. Andra ingående funktioner är att spåra sin egen position, se andra brandmäns position, markera intressanta objekt och även spela in hela förlopp. Hjälmen används i kombination med en surfplatta.

#### 5.2.4 Utveckling, logistik och underhåll

AR är, precis som VR, användbart för visualiseringar i samband med design och utveckling. Andra tydliga applikationer är möjligheten att ge realtidsupdaterad information från anknutna system för att presentera arbetsinstruktioner samt underlätta logistik och lagerhantering. De användningsfall som beskrivs i stycket skulle även kunna appliceras i motsvarande militära kontext.

Transportföretaget DHL har identifierat fyra användningsfall för AR: lagerverksamhet, transportoptimering, sista milen-leveranser och förbättrade mervärdestjänster (DHL Trend

Research, 2014). Inom lagerverksamheten kan AR underlätta arbetet med att hitta rätt varor och minska tiden för upplärning av ny personal. Information om vart paketet eller varan ska hämnas kan exempelvis skannas och presenteras direkt i användarens synfält. Mervärdestjänster, dvs. tjänster som lägger till någon form av värde till en vara eller produkt, kan också förbättras genom att underlätta träning, visa instruktioner i synfältet hos exempelvis personal som utför montering, reparation, eller för att automatiskt ta bilder i kvalitetssäkringssyfte. Förbättring av dessa processer kan påskynda hantering, vilket sammantaget ger produktivitetsökningar, kostnadsbesparingar och ökad effektivitet (ibid).

Ett av de tidigaste exemplen på AR återfinns inom området tillverkning hos flygplanstillverkaren Boeing (Caudell o& Mizell, 1992). I projektet, som myntade begreppet AR, utvecklades en HUD som tillsammans med teknik för att registrera användarens huvudposition och teknik för att läsa in omvärlden, möjliggjorde överlagring av virtuell information ovanpå ett objekt som användaren tittade på. Detta användes för att ge tekniska instruktioner vid tillverkning och montering. Figur 17 visar exempel på AR-applikation för underhåll.



Figur 17. Exempel på AR-visualisering för underhåll. Bildkälla: Shutterstock.

AR-teknik kan även nyttjas för att exempelvis ge expert hjälp på distans, där en användare i fält kan få instruktioner av en ämnesexpert för att lösa problem på plats. Till skillnad från att enbart få verbal hjälp via kamera och telefon kan AR-funktionalitet möjliggöra överlagring direkt i användarens synfält. Exempelvis har det gjorts försök med att instruera användare i att montera en flygplansmotordel på distans (Oda m.fl. 2015). I detta försök kunde experten som befann sig på distans arbeta i VR mot en 3D-modell av motordelen, medan användaren i fält samtidigt såg hur motordelen skulle hanteras överlagrat i sitt synfält och färgkodat till den fysiska motordelen.

### 5.2.5 Utbildning, träning, spel och fritid

Ett exempel på hur AR kan användas för utbildning och träning är från Raytheon (Raytheon Intelligence & Space, 2021). Företaget utvecklar en syntetisk träningsmiljö som de menar kommer möjliggöra träning på vilket vapen eller system som helst, varifrån som helst, i en mycket mindre fysisk miljö än vad som tidigare behövts för simulering. Systemet marknadsförs som en blandning av AR, VR, AI och big data<sup>14</sup>. Systemet är tänkt att samla in stora mängder användardata i utvärderingssyfte för att möjliggöra bättre lärande. Raytheon framhäver även förmågan att snabbt upprätta olika former av träningsscenarier.

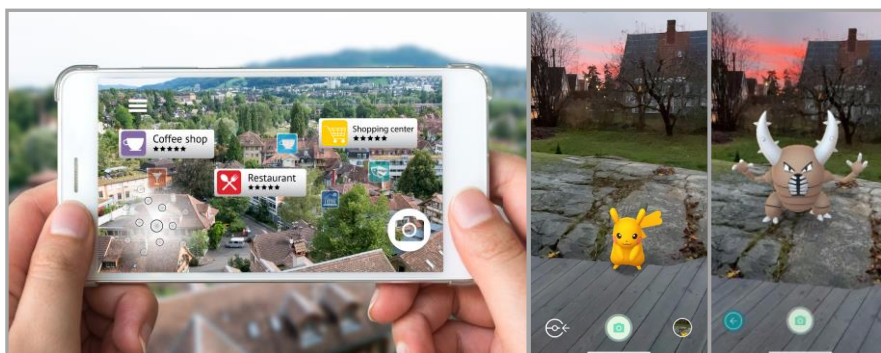
Ett av de tidigaste exemplen på tillämpning av AR inom medicinområdet var ultraljudsbilder överlagrade på en patient i realtid som gav intrycket att man kunde se in i patienten (Bajura, Fuchs & Ohbuchi, 1992). Sedan dess har AR bland annat använts av kirurger för att studera 3D-rekonstruktioner av patienters kroppar, för att kunna observera och förstå de naturliga skillnader som existerar mellan människors kroppar och kunna fatta bättre beslut om hur en operation ska genomföras (Best, 2018). Kirurger har även använt AR-glasögon

<sup>14</sup> Big data kallas det när digitalt lagrad information är så omfattande, varierad/komplex och vars mängd ökar med sådan hastighet att den är svår att bearbeta och hantera med traditionella databasmetoder.



för att få löpande information om patientens tillstånd under operation och samtidigt ha annan relevant information i synfältet när det behövs (Unipinews, 2020).

De AR-applikationer som sannolikt hittills nått ut till flest användare är dock de som utvecklats för mobiltelefoner. Sociala media-applikationen Snapchat har exempelvis implementerat fotofilter baserade på AR-funktioner (flera andra sociala medier har därefter följt efter) och mobilspelet Pokémon Go som lanserades 2016 blev väldigt populärt (Ling, 2017). Vid tiden spelet lanserades menade medier att det var den applikationen som satte AR på kartan för vanliga konsumenter (Wingfield & Isaac, 2016; Ling, 2017). Figur 18 visar två exempel på AR-applikationer för mobiltelefon, där det vänstra exemplet visar överlagrad information som ett stöd för att planera och navigera och bilderna till höger är från mobilspelet Pokémon Go som överlagrar virtuella figurer i kameravyn.



Figur 18. Vänster: Exempel på AR-applikation för att hitta till lokal service (bildkälla: Shutterstock). Höger: AR-funktionalitet i spelet Pokémon Go (fotograf Staffan Nilsson).

Det finns även exempel på hur experthjälp på distans kan nyttjas inom utbildning och undervisning. Ett exempel på detta är en applikation som möjliggör för medicinstudenter att få träning och handledning i att genomföra vissa procedurer via AR (Mather m.fl., 2017). I detta försök fick studenterna efter teoretisk undervisning öva på praktiska moment och genom ett AR-system kunde en bild av lärarens händer överlagras i studentens synfält för att på så sätt visa handrörelserna som studenten skulle öva på.

### 5.3 Utmaningar och möjligheter

Trots de framsteg som gjorts de senaste 20 åren finns det fortfarande många utmaningar och stor förbättringspotential i AR-tekniken. En studie (Masood & Egger, 2019) sammanfattar utmaningarna med användning och implementering av AR och pekar på faktorer såsom bland annat ergonomi, ovana att använda gränssnittet, förändrade arbetsprocesser, hård- och mjukvarubegränsningar, interoperabilitet med existerande system, och informationssäkerhet.

AR syftar till att ge användaren en förstärkt verklighet, det vill säga, målet är att ge nya möjligheter snarare än begränsa användaren. Således är idealet en så minimal inverkan på användaren som möjligt. Därför har visionen om AR handlat om att AR-system inte ska vara mer än ett par glasögon mot världen. Lösningar med optisk genomsikt ligger närmare denna vision, där användaren kan behålla sin överblick av den omkringliggande fysiska miljön och navigera den som vanligt, men med möjlighet att få tillgång till mer information utan att förlora den överblicken.

Begränsningar i dagens teknologi innebär dock att AR-system inte riktigt når upp till den sömlösa övergången mellan den verkliga och virtuella världen. Exempelvis finns problem med att den virtuella information som ska placeras ut behöver konkurrera med ljuskällor i omgivningen, vilket gör den överlagrade informationen svår att se i dagsljus, framförallt i ljusstarka utomhusmiljöer. Kommersiella AR-system som HoloLens och Magic Leap hanterar problemet med ljuskonkurrens delvis genom att göra displayen relativt mörk för att den projicerade virtuella informationen ska bli lättare att se.

Lösningar som använder videogenomsikt innebär att den information som ska projiceras ovanpå vyn av den fysiska miljön inte behöver konkurrera med andra ljuskällor i omgivningen (Nilsson & Oscarsson, 2011). Därför är det också enklare att göra trovärdiga virtuella tillägg till verkligheten. Nackdelen är dock möjlig latens mellan kamera och skärm som inte finns vid optisk genomskikt. Förvrängd djupuppfattning, ett möjligen mindre vidvinkligt synfält genom kamera och bildskärm och lägre upplösning i bildskärmen och kameran som användaren uppfattar världen genom, leder till en mindre detaljrik uppfattning av omgivningen.

En del AR-headsets, såsom Microsoft HoloLens, är relativt stora och otympliga. Företag såsom Nreal<sup>15</sup> har redan nu med sina AR-glasögon uppnått en något mindre formfaktor, närmare vanliga glasögons storlek. Flera andra koncept från större företag tycks sikta på samma formfaktor, det vill säga något som inte skiljer sig allt för mycket från vanliga glasögon. Därutöver finns, som tidigare nämnts, även ambitionen att producera kontaktlinser med inbyggd förmåga till AR. Fullt fungerande linser ligger säkerligen längre bort i tiden och frågan är om och när de kommer kunna projicera lika verklighetstrogen grafik som AR-glasögonen.

De beräkningar och algoritmer som krävs för att rita upp de artificiella tilläggen behöver utvecklas. Ju mer realistiska tilläggen är, desto mer beräkningskapacitet behövs och ju mindre formfaktor, desto svårare att få plats med detta tillsammans med optiken. Detta innebär att utvecklare även fortsättningsvis kommer behöva göra avvägningar mellan formfaktor och prestanda. Antingen används en väldigt liten formfaktor eller verklighetstroga grafiska artificiella tillägg. Existerande produkter kringgår delar av detta antingen genom att göra avkall på exempelvis fullt realistiska avatrar (vilket även förhindrar den så kallade uncanny valley-effekten<sup>16</sup>) eller genom tjuddrade glasögon, antingen till en dator, mobil eller en liten beräkningspuck (exempelvis Nreal eller Magic Leap).

Det saknas också standardisering inom AR-fältet, såsom fastställda mekanismer för att exempelvis representera och skicka information. Muñoz-Saavedra m.fl. (2020) menar att detta negativt påverkar förmågan till samverkan i virtuella miljöer. Det pågår dock ett arbete för att sammanställa gemensamma standarder inom XR-området (Perey, 2021).

En stor utmaning inom AR-området är positionering utomhus. För att ge en trovärdig och användbar upplevelse i AR behöver den virtuella informationen överlagras korrekt i relation till omvärlden och till användarens position. En genväg för att hantera detta, som nämnts ovan, är att använda markörer (att förankra den virtuella informationen i) för kamerabaserad spårning, men detta lämpar sig inte för applikationer där användaren ska röra sig utomhus och i nya, opreparerade, miljöer. Istället har exempelvis GPS-system använts för positionering, men dessa har inte den noggrannhet som krävs för att korrekt positionera vare sig användaren eller den virtuella informationen. För att uppnå högre noggrannhet i positionering används olika metoder för att extrahera objekt/egenskaper och kartering av omgivningen med hjälp av kameror och andra sensorer.

För militär användning tillkommer en rad andra utmaningar. Produkter avsedda för svåra och särskilt utsatta miljöer måste utformas för att tåla påfrestningarna. Detta kan leda till eftergifter i formfaktor eller prestanda till förmån för exempelvis en mer stöttålig (ruggad) design. Robustheten i designen måste också ta hänsyn till cybersäkerhet, detta för att kunna bibehålla förmågan till samband och informationssäkerhet. Lokal synkronisering av enheter, så att alla användare ser samma virtuella tillägg på samma ställen, måste också lösas och upprätthållas.

<sup>15</sup> <https://www.nreal.ai/light>

<sup>16</sup> Uncanny valley effekten, eller ”kusliga dalen” är en förklaringsmodell för det obehag många människor känner när exempelvis humanoida robotar görs väldigt realistiska och mänskliga, men där de ännu inte helt kan tolkas som människor.

## 6 Neuralt gränssnitt baserat på EEG

Möjligheten att kunna läsa andras tankar eller kontrollera sin omgivning enbart med tankekraft har alltid varit lockande. Över tid har det satsats stora resurser på att ta fram metoder som kan tolka tankar, men framgången har varit begränsad. En del i detta är rent tekniska svårigheter att mäta hjärnaktivitet medan en annan handlar om biologin där hjärnans funktion fortfarande till del är gåckande.

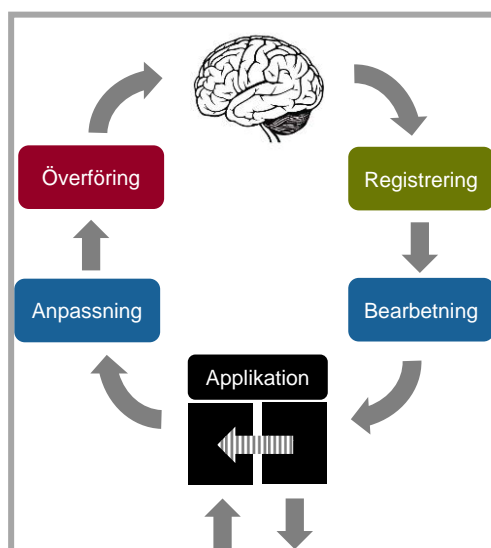
*Elektroencefalogram (EEG)* är en etablerad typ av BCI (Brain Computer Interface) för att registrera hjärnaktivitet. Tekniken är icke-invasiv och har funnits i mer än hundra år med tillämpningar inom medicin för att analysera sömnmönster samt inom humanforskning för att studera tankeverksamhet. Senare års utveckling inom andra teknikområden har dels bidragit till förbättringar av systemen med avseende på användbarhet, dels medfört sänkta kostnader för systemen. Tekniken medger numera kontinuerlig datainsamling med hjälp av lätta huvudburna lösningar i vilka registrerad data kan användas för att generera olika kommandon eller bestämma individens fysiologiska tillstånd.

Den invasiva varianten av EEG, *Electrocorticography (ECoG)*, använder sig av elektroder som är placerade mellan skalpen och hjärnbarken. Teknik baserad på dylika hjärnimplantat ligger dock utanför studiens målsättning och dess möjliga tillämpningar har därför utelämnats från teknikinventeringen.

Kapitlet ger en övergripande beskrivning av tekniska lösningar för EEG och presenterar ett urval av civila och militära användningsfall där EEG kan tänkas få användning.

### 6.1 Tekniska lösningar

Principiellt sett består ett BCI av ett antal delfunktioner som är nödvändiga för att åstadkomma den önskade informationsöverföringen. De flesta gränssnitt är envägs, dvs. antingen läser de av hjärnaktiviteten eller påverkar densamma, men inte samtidigt. Emedan envägs gränssnitt är väl etablerade förväntas tvåvägs realiseras först längre fram i tiden. Figur 19 illustrerar hur hjärnaktivitet registreras och bearbetas för att därefter skickas till en applikation som, till exempel, utför ett styrkommando.



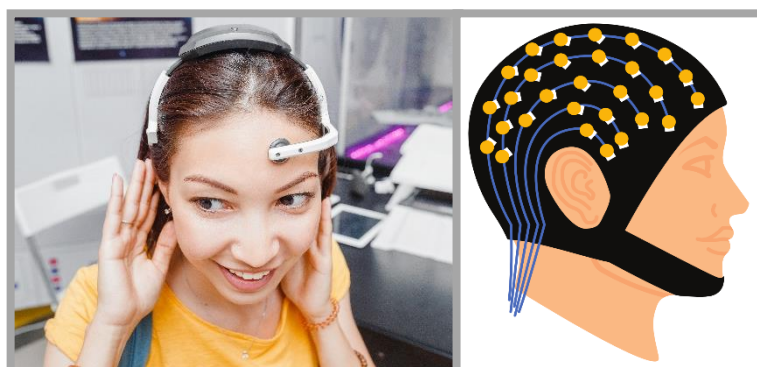
Figur 19. Schematisk bild av envägs- respektive tvåvägs neuralt gränssnitt.



### 6.1.1 Registrering av EEG

EEG baseras på användning av ytelektroder (placerade på skallen) för att registrera hjärnans elektriska aktivitet (Stern, Ray & Quigley, 2001). Signalerna är i storleksordningen ett fåtal mikrovolt, vilket är hundra gånger lägre än de signaler som registreras i ett EKG<sup>17</sup>. Eftersom signalerna är svaga och behöver förstärkas uppemot en miljon gånger är det viktigt att förhindra förekomsten av störningar. Den stora känsligheten för brus medför behov av att optimera både elektrodplacering och databehandling. Längre krävde tekniken att elektroderna placerades direkt mot den nakna skalpen och att kontakten förbättrades genom användning av gel. Komforten var inte den bästa och innebar en del umbäranden för deltagarna, vilket utgjorde ett hinder för utbredd användning. Nya typer av elektroder har dock gjort det möjligt att placera elektroderna utanpå håret med fortsatt god datakvalitet (Vallverdú, 2019).

Antalet elektroder, dvs. systemets upplösning, är avgörande för dess prestanda och därmed också dess användningsområden. Principen är att ju fler elektroder, desto fler möjliga tillämpningar men samtidigt ökar också kostnaden. Elektroderna fångar den elektriska aktiviteten i hjärnbarken från ett område under elektroden. Tekniken medger kontinuerlig avläsning med stor temporal upplösning, medan den spatials upplösningen beror på antalet elektroder och dess placering. Elektroderna placeras vanligen i en hätta eller ram, såsom framgår av Figur 20 vänster respektive höger. Ett större antal elektroder ger högre precision sett till möjligheten att registrera aktiviteten i specifika områden.



Figur 20. Vänster: Exempel på elektrodkonfiguration för en hätta. Höger: exempel på ram med inbyggda elektroder. Bildkälla: Shutterstock.

För att kunna analysera EEG-signalerna måste det vara känt över vilka hjärnregioner som elektroderna är placerade. Att huvudets storlek och form skiljer sig åt mellan individer komplicerar situationen ytterligare. Detta behov har resulterat i flera standardiserade system som styr upp hur elektroderna ska distribueras. Ett exempel är 10-20 systemet i vilket elektroderna fördelas med 10% och 20% separation sett till att hela skallen utgör 100% (Seeck m.fl., 2017).

### 6.1.2 Bearbetning av EEG

Tolkningen av EEG baseras på den beräknade skillnaden i elektrisk potential mellan två elektroder. De registrerade signalerna manifesteras som rytmiska variationer, så kallade hjärnvågor, där en del aktivitet är spontan medan annan uppvisar periodiska mönster (Stern m.fl., 2001).

<sup>17</sup> Elektrokardiogram

Tabell 1 ger en översikt över förekommande hjärnvågor och deras betydelse med avseende på friska människor. Förekomsten av olika typer av hjärnvågor kan också indikera sjukdomstillstånd och används bland annat för att ställa diagnos för ett antal neurologiska sjukdomar såsom Parkinson, epilepsi samt hjärnskador (Kalra, Anand & Lowe, 2020).

Tabell 1. Översikt över förekommande hjärnvågor (Kalra m.fl., 2020; Stern m.fl., 2001; Ahmed & Cash, 2013)

Vågformer	Förekomst och association
Delta (0,5-3,5 Hz)	Förekommer vid djup och drömlös sömn. Detta är ett tillstånd där kroppen läker och revitaliseras.
Theta (4-8 Hz)	Tankefri meditation, REM <sup>18</sup> -sömn, problemlösning, minne, navigation samt andra kognitiva och perceptuella uppgifter.
Alfa (8-12 Hz)	Dominerar vid avslappnad vila med låg kognitiv verksamhet och stängda ögon. Används för att övervaka hjärnans tillstånd i samband med bio-feedback. Associeras också till uppmärksamhet och inhibering.
Beta (14-30 Hz)	Förekommer i samband med fokus, koncentration, upphetsning, oro och stress. Indikerar att individen är alert, uppmärksam och engagerad i problemlösning och beslutsfattande. Dominerar i vaket tillstånd när individen riktar sin uppmärksamhet mot en kognitiv uppgift. Associeras till att stärka och kalibrera sensomotorisk feedback.
Gamma (30-70 Hz).	Indikerar uppmärksamhet, rörelse och perception. Associeras med simultant processande av information från olika hjärnregioner samt uppmärksamhetsspann och minne.

Det är inte trivialt att komma fram till vilket tillstånd som användaren befinner sig i eller vilken aktivitet som för tillfället genomförs. Som tidigare nämnts ställs krav på både elektroder och efterbehandling för att fånga den relevanta hjärnaktiviteten. Avancerad databehandling är en förutsättning för att skapa tolkningsbara signaler. Det första steget är att använda olika typer av filter för att eliminera oönskade frekvenser från ögonrörelser, hjärtslag eller elektronik i omgivningen. Nästa steg är att extrahera måtten på aktivitet för att till sist klassificera dessa enligt förutbestämda kriterier. Det finns en mängd olika algoritmer för databehandling och mått på EEG-aktivitet.

*ERP* (eng. event-related potentials) är kortvariga spikar i aktivitet, vilka uppstår när hjärnan reagerar på ett stimulus eller en aktivitet. ERP kan i sin tur kvantifieras på olika sätt. Ett vanligt mått är P300 som anger tiden från att stimulit visas till att reaktionen uppstår. Tidsfördröjningen är ett resultat av internt beslutsfattande och indikerar hur aktivt arbetsminnet är (Aldayel, Ykhlef & Al-Nafjan, 2020).

## 6.2 Användningsområden

Numera finns en flora av EEG-system med stor variation i funktionalitet och inköpskostnad. Priset är i regel korrelerat med funktionalitet såsom antal kanaler, analysmöjligheter och kvalitet. Systemen i den lägsta prisklassen, med endast ett fåtal kanaler, används huvudsakligen för spel medan de mest avancerade systemen kan ha upp till 256 kanaler.

*Emotiv Epoc* är en konsumentprodukt som består av ett 14-kanalers trådlöst headset försett med rörelsesensorer (IMU). Produkten, som bygger på referenssystemet 10-20, är avsedd

<sup>18</sup> Rapid Eye Movement

för forskning och enskild användning men inte för medicinska tillämpningar. Utrustningen uppges kunna detektera olika prestationsmått (upphetsning, engagemang, avslappning, intresse, stress och fokus), ansiktsuttryck och grimaser (blinkning, medveten blinkning vänster/höger, pannrynkning, leende, sammanbiten min, skratt, spefullt flin vänster/höger) samt kommandon (neutralläge och upp till fyra inövade för varje tränad profil).

*Mindflex* från NeuroSky är en enklare produkt som går ut på att kontrollera en boll enbart med hjälp av tankekraft. Det finns möjlighet att skapa olika spelsituationer med varianter av hinder där flera spelare kan tävla mot varandra.

*Galea* som utvecklas tillsammans av Tobii, Valve Corporation och OpenBCI är en plattform som är tänkt att kombinera EEG och andra psykofysiologiska mått som EMG, EKG och ögonrörelser med flera, till ett och samma headset. Hårdvaran ska därefter integreras i befintliga VR- och AR- system. De räknar med att få ut en produkt på marknaden under 2022 (Dugdale, 2021).

Applikationer för EEG kan delas in i passiva, i vilka applikationerna anpassas till individens tillstånd, eller aktiva, i vilka användaren medvetet påverkar eller styr med aktiv kontroll.

### 6.2.1 Passiv avläsning och anpassning

Datorspel har visat sig erbjuda en effektiv miljö för forskning på möjligheten att läsa av hjärnans tillstånd och omsätta detta till en förändring av spelets innehåll eller funktion. EEG har nyttjats för att skapa adaptiva spel, i vilka spelet förändras beroende på spelarens motivation eller färdighetsnivå. Ewing m.fl. (2016) beskriver utvecklingen av ett spel som var designat för att maximera användarens engagemang. Spelet, som var baserat på Tetris, kunde klassificera de fyra tillstånden uttråkad, engagerad, fokuserad och överbelastad. I de fall då spelaren blev uttråkad eller överbelastad anpassades spelets svårighetsgrad i realtid.

En utbildningssituation behöver, på samma sätt som ett rekreationsspel, vara engagerande för att bibehålla elevens intresse – den får inte vara för svår men inte heller för lätt. Det förekommer att utbildningsprogram förses med automatik för att analysera elevens framsteg, som därefter används för att komma fram till en lämplig individuell stegrings-takt. Ett system baserat på EEG skulle kunna fungera som ett komplement genom att även ta hänsyn till elevens engagemang utgående från momentant intresse, trötthet och fokus.

Andra tänkbara applikationer är för arbetssituationer med långvariga och monotona uppgifter, såsom vid bevakning och kameraövervakning, där tristessen ofta ökar risken för att operatören förlorar sitt fokus. En övervakning baserad på EEG skulle kunna identifiera om detta inträffar och se till att förändra något så att uppmärksamheten ånyo riktas mot uppgiften.

Enkla och burna EEG-utrustningar har börjat användas för neuromarknadsföring, ett område där neuropsykologi används i samband med marknadsundersökningar. Det traditionella sättet att undersöka vad målgruppen tycker om en produkt är att ställa frågor. Neuromarknadsföring innebär istället att deltagarna tillåts vandra fritt i en butik/köpcenter medan beteendet studeras. Den burna utrustningen gör det möjligt att få kunskap om hur deltagarna reagerar på olika produkter och vad de väljer att fokusera på (Aldayel m.fl., 2020).

EEG har sedan länge använts i olika kliniska sammanhang, inte minst för att diagnosticera neurologiska sjukdomar. Neurofeedback, dvs. stöd för att träna hjärnan till bättre funktion genom att få visuell och auditiv feedback, används för behandling av neuropsykiatriska funktionsnedsättningar såsom ADHD (Enriquez-Geppert m.fl, 2019). En annan vanlig tillämpning är undersökning av sömnkvalitet genom att registrera i vilken utsträckning som olika sömnfaser inträffar under nattens gång.

### 6.2.2 Aktiv kontroll och styrning

Underhållande spel baserade på EEG började uppstå för ett drygt årtionde sedan, exempelvis släppte Mattel spelet MindFlex 2009, i vilket målet för användaren var att med ”tankens kraft” flytta en skumboll i en bana. Detta, liksom många andra exempel, handlar om applikationer som kan hantera ett begränsat antal kommandon, till exempel att styra en farkost eller fajtats om att flytta en markör med ”tankekraft”. En stor drivkraft bakom utvecklingen av styrmöjligheter kopplat till användning av BCI har annars varit ambitionen att göra det lättare för rörelsehindrade att interagera med sin omgivning (Pires m.fl., 2011). Tillämpningar för att åstadkomma ökad autonomi inkluderar styrning av robotproteser, förflyttning med rullstol, användning av dator och interaktion med andra externa enheter. Rashid m.fl. (2020) föreslår att använda EEG-baserad BCI för att styra till exempel hemelektronik, multimediaapplikationer och belysning – teknik som naturligtvis även kan användas av fullt friska människor.

Styrning baserad på EEG kräver dock koncentration och bibehållet fokus. Hittills har därför tekniken varit långsammare och mer krävande än motsvarande traditionella styrmöjligheter såsom joystick. Detta betyder att militära applikationer för styrning av obemannade farkoster med tankekraft ännu låter vänta på sig.

Det har också föreslagits att använda hjärnaktivitet som en metod för autentisering vid tillträdeskontroll. Chuang m.fl. (2013) undersökte i vilken utsträckning som olika upprepbara tankemönster kunde nyttjas för att identifiera en individ. Principen var att låta försöksdeltagarna tänka att de genomförde olika moment såsom att utföra ett rörelsemönster, sjunga en sång eller fokusera på en viss egenvald tanke.

## 6.3 Utmaningar och möjligheter

En EEG-hätta för registrering av neural aktivitet fångar upp svaga signaler och bearbetningen måste filtrera mycket brus. En utmaning för tillämpningar som använder sig av EEG är därför dess känslighet för störningar och rörelseartefakter. Utvecklingen på databearbetnings- och analysidan har gått framåt, inte minst med tanke på möjligheter inom AI med maskininlärning och inte minst djupinlärning (Rashid m.fl., 2020). Andra försvårande omständigheter är hjärnaktivitetens koppling till individens välmående samt att aktiviteten har en tendens att variera från ett tillfälle till ett annat. Detta är något som applikationerna behöver kunna hantera, men det är oklart vilken utvecklingspotential som finns det vill säga hur bra dessa system i förlängningen kan bli.

För utvecklingsläget rörande BCI baserat på EEG finns två huvudspår: dels att vidareutveckla de icke-invasiva ”state-of-the-art” produkterna i vilka tekniken är känd, dels att gå vidare med de invasiva implantaten. De invasiva metoderna förväntas på sikt ha större potential genom möjligheter till högre precision och ökad datakvalitet, samtidigt som det finns medicinska risker och andra hinder. Det återstår mycket forskning, vilket gör det svårt att säga om, hur och när ett implantat skulle kunna fungera för kommunikation-/signalöverföring, framförallt i riktning in mot hjärnan.

Ökad förståelse för hjärnans basala mekanismer är en förutsättning för generellt ökad användbarhet inom BCI området. Det förekommer dock olika satsningar som kan ta området framåt med exempel på projekt som det europeiska The Human Brain Project<sup>19</sup> och DARPA<sup>20</sup> satsning på intelligenta neurala gränssnitt.

<sup>19</sup> <https://www.humanbrainproject.eu/en/>

<sup>20</sup> <https://www.darpa.mil/>

## 7 Diskussion och slutsatser

Det är svårt att bedöma den framtida utvecklingen för människa-maskin gränssnitt – det är desto lättare att sammanfatta vad som gjort att tekniken hamnat där den är idag. Inventeringen av gränssnitt har visat att utvecklingen inom gränssnittsområdet dels har handlat om den fysiska hårdvaran såsom dess prestanda och utformning, dels om själva interaktionsprinciperna. Ett antal trender har observerats inom områden som innovation, teknik, applikation, användbarhet och marknad. Kapitlet diskuterar ett antal viktiga aspekter på utvecklingen sett till människa-maskin gränssnitt och ger exempel på ett antal militära tillämpningar.

### 7.1 Trender

Tekniska framsteg inom områdena såsom miniatyrisering, beräkningskapacitet, AI och trådlös kommunikation har varit helt nödvändiga för den snabba utveckling som skett inom gränssnittsområdet på senare år. Utvecklingen drivs av en kombination av innovation och användarbehov och pekar mot en trend där flera typer av gränssnitt blir allt vanligare samtidigt som nya tillkommer.

Det är när tekniken når konsumentmarknaden som de stora och snabba förändringarna uppstår. Även om försvarsmakter ofta är intresserade av att ta till sig teknik som kan öka deras förmåga är dock FoU-resurserna begränsade. Detta innebär att utvecklingen för helt militära applikationer i vissa fall går relativt långsamt framåt. Ett exempel är VR, som tidigt utvecklades för militära simulatorer men som hade brister både sett till upplösning och parallaxproblem. När VR-utrustningarna däremot nådde konsumentmarknaden ökade volymerna snabbt och har resulterat i ett flertal produkter med ny funktionalitet och ökad användbarhet.

System som, åtminstone inte på ett enkelt sätt, medger användning av tangentbord och mus tvingar fram andra interaktionsprinciper. Immersiva headset för VR är ett exempel på en tillämpning där det varit nödvändigt att ta fram nya sätt att interagera som fungerar i den virtuella miljön. Handkontroller var vanligt i olika spelsammanhang sedan tidigare, men nu gällde det även att tänka ut sätt som både upplevdes som intuitiva och som var effektiva i den speciella immersiva miljön. Gest- och rörelsebaserade interaktions- och manipulationssätt blir allt vanligare, vilket möjliggör direkt interaktion som efterliknar verklig interaktion med objekt. Utvecklingen av smartphones är ett annat exempel där även fysiska krav har varit avgörande och där begränsningen till att enbart interagera via pekskärm ledde till radikalt annorlunda gränssnitt i form av gester. Spel i VR och mobiltelefon har således varit inkubatorer för nya interaktionsprinciper.

Det finns flera frågor om den framtida utvecklingen av gester som interaktionssätt. Det är möjligt att det över tid kommer skapas ett bredare utbud av gester som anses allmängiltiga i den takt som gestbaserade system blir vanligare. Ett exempel på varianter i interaktion är resultatet av att dra två fingrar neråt på en pekskärm eller styrplatta. Beroende på vilken metafor interaktionen är baserad kommer skärmens innehåll röra sig antingen uppåt eller neråt. Båda dessa direkt motsatta interaktionsmönster har förekommit parallellt under många år. På senare år har dock *natural scrolling*, där en neråtriktad rörelse med fingrarna flyttar innehållet neråt, tagit över som standard troligen som en konsekvens av pekskärmens inflytande.

Det finns en trend mot att integrera olika tekniker och på så sätt skapa mer versatila och kompetenta system, som exempelvis att kombinera inbyggd ögonrörelseregistrering och hjärnskanning i ett och samma VR-headset. En annan ambition är att stärka helhetsupplevelsen genom att inkludera övriga fyra sinnen, dvs. hörsel, känsel, smak och lukt. Genom att kombinera olika sinnesintryck ökar den totala immersiva upplevelsen och kommer närmare den ultimata virtuella verkligheten.

## 7.2 Militära aspekter

Förändringar i Försvarsmaktens förmågebehov innebär att befintlig materiel behöver modifieras eller omsättas. De koncept som nu diskuteras för nästa generations stridsfordon, styrbara/semi-autonoma farkoster och rörliga och distribuerade ledningsplatser utgör alla exempel där det är viktigt att analysera och kravställa gränssnitten mellan människa och maskin/miljö. Den nya tekniken skapar också nya möjligheter att mötas virtuellt och arbeta gemensamt men distribuerat, såsom i visioner om det glesa slagfältet. Genom att utföra uppgifter tillsammans övas även samarbete och ledarskap, och tillit kan byggas mellan gruppmedlemmar trots fysiskt avstånd.

I takt med att förmågan att hantera stora datamängder blir allt mer betydelsefull för att understödja beslutsfattande behövs nya och bättre sätt att visualisera stora datamängder. Utbildning, träning och övning är dock kritiskt för att uppnå avsedd systemeffekt och där förväntas simulatorer och virtuella träningsmiljöer ha en växande roll för att möjliggöra och förbättra kompetensen hos personalen. Den utveckling som pågår inom virtuella träningsmiljöer förväntas leda till ökad användbarhet för system som riktas både mot individ och mot grupp. Begränsningarna ligger i på vilket sätt som tekniken kan anpassas till människans sätt att agera med omgivningen. Genom simulering av stabsmiljöer och genom samarbete över distans kan även avancerade krigsspel genomföras.

Utvecklingen av soldatsystem har hela tiden varit beroende av teknikutvecklingen. Faktorer som vikt, form och robusthet är avgörande för att ett soldatsystem ska fungera i fält. Utöver detta återkommer även frågan om informationssäkerhet och den infrastruktur som krävs för att hantera systemet. Många av de system som nu nått den kommersiella marknaden har potential att nyttjas i soldatsystem. Ett exempel på detta är satsningen på IVAS hos den amerikanska armén. Vad som blir tydligt där är behovet av att utvecklingen görs gemensamt med användargruppen i den miljö och kontext där systemet är tänkt att fungera. I IVAS fall handlar det om att nyttja ett kommersiellt utvecklat system och modifiera och anpassa det till de militära förutsättningarna för att skapa ett nytt system.

Förmågan att samarbeta över distans är en stor fördel men kräver också någon form av infrastruktur där god uppkoppling mellan användarna är nödvändig. Uppkopplingen måste dessutom vara tillräckligt säkrad för att tillåta information av olika säkerhetsskyddsklassificeringsgrader att transmitteras och sedermera visualiseras för användaren.

MR-området arbetar med flera olika sensorer som ofta används i kombination för att exempelvis platsbestämma de virtuella tilläggen, fånga in användarens röst och rörelser samt ge möjligheten att delge sin kameravy till andra. System som samlar in såväl som överför data behöver adresseras ur ett systemsäkerhetskritiskt perspektiv. I detta fall handlar det dels om eventuella behov av redundanta funktioner, dels om IT-säkerhetsmekanismer för att säkerställa adekvat skydd av all data som rör sig inom och mellan systemen.

### 7.3 Sammanfattande slutsatser

Den övergripande frågeställningen för denna rapport handlade om att ge en bred översikt av gränssnittområdet och ge exempel på förekommande gränssnitt med särskild relevans för Försvarmakten. Genomgången visar dels att många traditionella gränssnitt och interaktionsprinciper fortfarande dominerar, dels att nya tekniska möjligheter leder till behov av nya sätt att kommunicera med och interagera med tekniken. Särskilt har gestbaserade gränssnitt ökat i användning – ett område med många möjligheter där det ännu saknas standarder. Ytterligare områden med stor potential för militära tillämpningar är gränssnitt baserade på AR och VR-teknik, exempelvis huvudburna displayer som kan förstärka enskilda soldaters förmåga såväl som leda till bättre lägesuppfattning och beslutsunderlag på flera nivåer. AR och VR-området kan också bli drivande i utvecklingen av gränssnitt och interaktionen mellan användare och teknik, där gester, blickstyrning och tal har potential att ersätta gränssnitt som handkontroller. Neurala gränssnitt såsom teknik baserad på EEG har inte blivit riktigt vanligt ännu på samma sätt som andra mättekniker. I takt med att svårigheterna övervinns och funktionerna blir allt mer integrerade i andra kommersiella system kan man förvänta sig att det också blir tydligare vad tekniken kan bidra med.

## 8 Referenser

- Aero Glass. (2021). Augmented Reality Aerial Navigation. Hämtad November 8, 2021, från <https://glass.aero/>
- Ahmad, B. I., Langdon, P. M., Godsill, S. J., Donkor, R., Wilde, R., & Skrypchuk, L. (2016). You do not have to touch to select: A study on predictive in-car touchscreen with mid-air selection. *AutomotiveUI 2016 - 8th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, Proceedings, January 2018*, 113–120. <https://doi.org/10.1145/3003715.3005461>
- Ahmed, M. A., Zaidan, B. B., Zaidan, A. A., Salih, M. M., & Lakulu, M. M. Bin. (2018). A review on systems-based sensory gloves for sign language recognition state of the art between 2007 and 2017. *Sensors (Switzerland)*, 18(7). <https://doi.org/10.3390/s18072208>
- Ahmed, O. J., & Cash, S. S. (2013). Finding synchrony in the desynchronized EEG: The history and interpretation of gamma rhythms. In *Frontiers in Integrative Neuroscience* (Issue JUL). <https://doi.org/10.3389/fnint.2013.00058>
- Ahmed, S., Kallu, K. D., Ahmed, S., & Cho, S. H. (2021). Hand gestures recognition using radar sensors for human-computer-interaction: A review. *Remote Sensing*, 13(3), 1–24. <https://doi.org/10.3390/rs13030527>
- Aldayel, M., Ykhlef, M., & Al-Nafjan, A. (2020). Deep learning for EEG-based preference classification in neuromarketing. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(4), 1–23. <https://doi.org/10.3390/app10041525>
- Altini, M., & Kinnunen, H. (2021). The promise of sleep: A multi-sensor approach for accurate sleep stage detection using the oura ring. *Sensors*, 21(13), 1–21. <https://doi.org/10.3390/s21134302>
- Anumanchipalli, G. K., Chartier, J., & Chang, E. F. (2019). Speech synthesis from neural decoding of spoken sentences. *Nature*, 568(7753), 493–498. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1119-1>
- Autodesk Inc. (2021). *AUGMENTED REALITY, VIRTUAL REALITY, AND MIXED REALITY Introducing immersive design*. Autodesk. Hämtad November 8, 2021, från <https://www.autodesk.com/solutions/virtual-reality>
- Aylett, M. P., Kristensson, P. O., Whittaker, S., & Vazquez-Alvarez, Y. (2014). *None of a CHInd*. Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, 749–760. <https://doi.org/10.1145/2559206.2578868>
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* (Vol. 6). <http://www.cs.unc.edu/~azumaW>:
- Bach, D. (2021, June 8). *U.S. Army to use HoloLens technology in high-tech headsets for soldiers*. Transform. Hämtad November 2021. <https://news.microsoft.com/transform/u-s-army-to-use-hololens-technology-in-high-tech-headsets-for-soldiers/>
- Bacon, C. (2021). IVAS goggle amplifies mounted capabilities. *The United States Army*. Hämtad November 2021 från [https://www.army.mil/article/243505/ivas\\_goggle\\_amplifies\\_mounted\\_capabilities](https://www.army.mil/article/243505/ivas_goggle_amplifies_mounted_capabilities)
- Bajura, M., Fuchs, H., & Ohbuchi, R. (1992). Merging virtual objects with the real world. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 26(2), 203–210. <https://doi.org/10.1145/142920.134061>
- Barattini, P., Morand, C., & Robertson, N. M. (2012). A proposed gesture set for the control of industrial collaborative robots. *Proceedings - IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, September 2012*, 132–137. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2012.6343743>
- BBC News. (2018, April 19). *The helmet which gives firefighters “X-ray vision.”* Hämtad November 8, 2021, från <https://www.bbc.com/news/av/technology-43811273>



- Beeli, G., Casutt, G., Baumgartner, T., & Jäncke, L. (2008). Modulating presence and impulsiveness by external stimulation of the brain. *Behavioral and Brain Functions*, 4. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-4-33>
- Behringer, R. (1999). Registration for outdoor augmented reality applications using computer vision techniques and hybrid sensors. *Proceedings - Virtual Reality Annual International Symposium*, 244–251. <https://doi.org/10.1109/vr.1999.756958>
- Best, J. (2018, November 22). *Augmented reality in the operating theatre: How surgeons are using Microsoft's HoloLens to make operations*. ZDNet. Hämtad November 8, 2021, från <https://www.zdnet.com/article/augmented-reality-in-the-operating-theatre-how-surgeons-are-using-microsofts-hololens-to-make/>
- Bi, L., Feleke, A., & Guan, C. (2019). A review on EMG-based motor intention prediction of continuous human upper limb motion for human-robot collaboration. *Biomedical Signal Processing and Control*, 51(May), 113–127. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2019.02.011>
- Black, J. (2021, February 25). *How the ENVG Goggles Are Making Soldiers More Lethal*. SOFREP. Hämtad November 8, 2021, från <https://sofrep.com/news/can-you-shoot-around-corners-without-looking-with-the-envg-goggles-you-can/>
- Blake R, Sekuler R (2006) Perception. *McGraw Hill Higher Education*, New York
- Boboc, R. G., Dumitru, A. I., & Antonya, C. (2015). Point-and-command paradigm for interaction with assistive robots. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 12, 1–13. <https://doi.org/10.5772/60582>
- Boto, E., Holmes, N., Leggett, J., Roberts, G., Shah, V., Meyer, S. S., ... Brookes, M. J. (2018). Moving magnetoencephalography towards real-world applications with a wearable system. *Nature*, 555(7698), 657–661. <https://doi.org/10.1038/nature26147>
- Brown, D. (2021a, March 12). *Space Force is using virtual-reality headsets to train its Guardians to work on satellites*. Washington Post. Hämtad November 2021. <https://www.washingtonpost.com/technology/2021/03/12/space-force-virtual-reality-training/>
- Brown, D. (2021b, May 24). *New U.S. Army night-vision goggles use augmented reality*. The Washington Post. Hämtad November 8, 2021, från <https://www.washingtonpost.com/technology/2021/05/24/army-night-vision-goggles/>
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., & Ivkovic, M. (2011). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*, 51(1), 341–377. <https://doi.org/10.1007/s11042-010-0660-6>
- Caudell, T. P., & Mizell, D. W. (1992). Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. February 2018, 659–669 vol.2. <https://doi.org/10.1109/hicss.1992.183317>
- Ceolini, E., Frenkel, C., Shrestha, S. B., Taverni, G., Khacef, L., Payvand, M., & Donati, E. (2020). Hand-Gesture Recognition Based on EMG and Event-Based Camera Sensor Fusion: A Benchmark in Neuromorphic Computing. *Frontiers in Neuroscience*, 14(August), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00637>
- Chavez, G. A., Ranieri, A., Chiarella, D., & Birk, A. (2021). Underwater Vision-Based Gesture Recognition: A Robustness Validation for Safe Human–Robot Interaction. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, May.
- Chiarella, D., Bibuli, M., Bruzzone, G., Caccia, M., Ranieri, A., Zereik, E., Marconi, L., & Cutugno, P. (2018). A novel gesture-based language for underwater human-robot interaction. *Journal of Marine Science and Engineering*, 6(3), 1–20. <https://doi.org/10.3390/jmse6030091>
- Chuang, J., Nguyen, H., Wang, C., & Johnson, B. (2013). I think, therefore I am: Usability and security of authentication using brainwaves. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 7862 LNCS, 1–16. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41320-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41320-9_1)

- Cicirelli, G., Attolico, C., Guaragnella, C., & D'Orazio, T. (2015). A Kinect-based gesture recognition approach for a natural human robot interface. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 12(June). <https://doi.org/10.5772/59974>
- Clark, L., Doyle, P., Garaialde, D., Gilmartin, E., Schlögl, S., Edlund, J., Aylett, M., Cabral, J., Munteanu, C., Edwards, J., & R Cowan, B. (2019). The State of Speech in HCI: Trends, Themes and Challenges. *Interacting with Computers*, 31(4), 349–371. <https://doi.org/10.1093/iwc/iwz016>
- Clemente, C. F., Streefkerk, J. W., & Scherrenburg, M. (2019). The Future of the Command Post. NATO C2COE
- CNN. (2021) *See LG's transparent TV*. (2021, January 11). CNN. <https://edition.cnn.com/videos/business/2021/01/11/lg-transparent-tv-orig.cnn-business/video/playlists/business-tech/>, hämtad september 2021.
- Coles, T. R., Meglan, D., & John, N. W. (2011). The role of haptics in medical training simulators: A survey of the state of the art. *IEEE Transactions on Haptics*, 4(1), 51–66. <https://doi.org/10.1109/TOH.2010.19>
- Collins Aerospace. (2021). *Integrated Digital Vision System*. Hämtad November 8, 2021, från <https://www.collinsaerospace.com/what-we-do/Military-And-Defense/Displays-And-Controls/Ground/Helmet-Mounted-Displays>
- Covert, M. D., Lee, T., Shinde, I., & Sun, Y. (2014). Spatial augmented reality as a method for a mobile robot to communicate intended movement. *Computers in Human Behavior*, 34, 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.02.001>
- DHL Trend Research. (2014). *Augmented Reality in Logistics: Changing the way we see logistics - a DHL perspective* (G. Chung, Ed.). DHL Customer Solutions & Innovation. <https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/core/documents/pdf/glo-core-augmented-reality-trend-report.pdf>
- Dinsmore, M., Langranal, N., Burdea, G., & Ladeji, J. (1997). Virtual Reality Training Simulation for Palpation of Subsurface Tumors. *Proceedings of IEEE 1997 Annual International Symposium on Virtual Reality*, 54–60.
- DoA (2017) *Visual signals*, TC 3-21.60 (FM 21-60). Washington DC, USA: Department of the Army.
- Dugdale, M. (2021, February 9). *OpenBCI partners with Tobii and Valve on Galea mixed reality brain-computer headset*. VRWorldTech. Hämtad November 2021. <https://vrworldtech.com/2021/02/09/openbci-partners-with-tobii-and-valve-on-galea-mixed-reality-brain-computer-headset/>
- El Beheiry, M., Doutreligne, S., Caporal, C., Ostertag, C., Dahan, M., & Masson, J. B. (2019). Virtual Reality: Beyond Visualization. In *Journal of Molecular Biology* (Vol. 431, Issue 7). <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2019.01.033>
- Elgan, M. (2021). *Why a smart contact lens is the ultimate wearable*. Computer world. Hämtad september 2021. <https://www.computerworld.com/article/3066870/why-a-smart-contact-lensis-the-ultimate-wearable.html>.
- Enriquez-Geppert, S., Smit, D., Pimenta, M. G., & Arns, M. (2019). Neurofeedback as a Treatment Intervention in ADHD: Current Evidence and Practice. In *Current Psychiatry Reports* (Vol. 21, Issue 6). Current Medicine Group LLC 1. <https://doi.org/10.1007/s11920-019-1021-4>
- Ewing, K. C., Fairclough, S. H., & Gilleade, K. (2016). Evaluation of an adaptive game that uses EEG measures validated during the design process as inputs to a Biocybernetic loop. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10(MAY2016), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00223>
- Farahanipad, F., Nambiappan, H. R., Jaiswal, A., Kyrarini, M., & Makedon, F. (2020). HAND-REHA: Dynamic Hand Gesture Recognition for Game-Based Wrist Rehabilitation.

*Proceedings of the 13th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments.* <https://doi.org/10.1145/3389189.3392608>

- Fink, C. (2020, December 2). *Qwake Technologies Funded To Fight Fires With AR Tech.* Forbes. Hämtad November 8, 2021, från <https://www.forbes.com/sites/charliefink/2020/12/02/qwake-technologies-funded-to-fight-fires-with-ar-tech/?sh=4b083202673c>
- Firth, M. (2019). *Introduction to automotive augmented reality head-up displays using TI DLP® technology.* Texas Instrument. [https://www.ti.com/lit/wp/dlpy009/dlpy009.pdf?ts=1628861282053&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/wp/dlpy009/dlpy009.pdf?ts=1628861282053&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)
- Forrester, C. (2021, June 8). *Saab to integrate Varjo mixed reality technology into Gripen E/F simulators.* Janes.Com. Hämtad November 8, 2021, från <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/saab-to-integrate-varjo-mixed-reality-technology-into-gripen-ef-simulators>
- Försvarsmakten (2001) Signaler och tecken. I *SoldF Soldaten i fält*, M7742-100002. Stockholm: Försvarsmakten.
- Gallagher, A. G., Ritter, E. M., Champion, H., Higgins, G., Fried, M. P., Moses, G., Smith, C. D., & Satava, R. M. (2005). Virtual reality simulation for the operating room: Proficiency-based training as a paradigm shift in surgical skills training. In *Annals of Surgery* (Vol. 241, Issue 2, pp. 364–372). <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000151982.85062.80>
- Garipey, R. (2014). *Myo, ROS, and Robots.* <https://clearpathrobotics.com/blog/2014/02/myo-ros-robots/> Hämtad 2021-06-24
- Gleeson, B., Maclean, K., Haddadi, A., Croft, E., & Alcazar, J. (2013). Gestures for industry: Intuitive human-robot communication from human observation. *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, January 2017*, 349–356. <https://doi.org/10.1109/HRI.2013.6483609>
- Gołaszewski, M., Zajac, P., & Widacki, J. (2015). Thermal Vision as a Method of Detection of Deception: A Review of experiences\*\*. *European Polygraph*, 9(1), 5–24. <https://doi.org/10.1515/ep-2015-0001>
- Google. (2019) *Soli. You are the only interface you need.* [www] <https://atap.google.com/soli/> Hämtad 2021-08-24
- Graichen, L., Graichen, M., & Krems, J. F. (2019). Evaluation of Gesture-Based In-Vehicle Interaction: User Experience and the Potential to Reduce Driver Distraction. *Human Factors*, 61(5), 774–792. <https://doi.org/10.1177/0018720818824253>
- Hämäläinen, M., Hari, R., Ilmoniemi, R. J., Knuutila, J., & Lounasmaa, O. V. (1993). Magnetoencephalography theory, instrumentation, and applications to noninvasive studies of the working human brain. *Reviews of Modern Physics*, 65(2), 413–497. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.65.413>
- Hannaford, B., & Okamura, A. M. (2008). Springer Handbook of Robotics. *Springer Handbook of Robotics*, (January). <https://doi.org/10.1007/978-3-540-30301-5>
- Hansberger, J. T., Peng, C., Mathis, S. L., Shanthakumar, V. A., Meacham, S. C., Cao, L., & Blakely, V. R. (2018). Dispelling the Gorilla Arm Syndrome: The Viability of Prolonged Gesture Interactions. In S. Lackey & J. Chen (Eds.), *Virtual, Augmented and Mixed Reality. VAMR 2017. Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 10280, pp. 505–520). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57987-0>
- Hertel, J., Karaosmanoglu, S., Schmidt, S., Braker, J., Semmann, M., & Steinicke, F. (2021). A *Taxonomy of Interaction Techniques for Immersive Augmented Reality based on an Iterative Literature Review.* 431–440. <https://doi.org/10.1109/ismar52148.2021.00060>
- Hostetter, A. B., & Alibali, M. W. (2008). Visible embodiment: Gestures as simulated action. *Psychonomic Bulletin and Review*, 15(3), 495–514. <https://doi.org/10.3758/PBR.15.3.495>

- Islam, R., Desai, K., & Quarles, J. (2021). *Cybersickness Prediction from Integrated HMD's Sensors: A Multimodal Deep Fusion Approach using Eye-tracking and Head-tracking Data. Figure 1*, 31–40. <https://doi.org/10.1109/ismar52148.2021.00017>
- Jia, Y., Ramanovich, M. T., Remez, T., & Pomerantz, R. (2021). *Translatotron 2: Robust direct speech-to-speech translation*. 1–16. <http://arxiv.org/abs/2107.08661>
- Johansson, B.J.E., Oskarsson, P-A, Bengtsson, K., Svenmarck, P., Fredriksson-Hägg, A. (2020). *Ledning av autonoma och sammansatta system för mekaniserad strid*. FOI-R-5080--SE. Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Julier, S., Baillet, Y., Lanzagorta, M., Brown, D., & Rosenblum, L. (2000). *BARS: Battlefield Augmented Reality System*.
- Jung, S., & Lindeman, R. W. (2021). Perspective: Does Realism Improve Presence in VR? Suggesting a Model and Metric for VR Experience Evaluation. *Frontiers in Virtual Reality*, 2 (July), 1–7. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.693327>
- Jung, Y. H., Kim, J. H., & Rogers, J. A. (2021). Skin-Integrated Vibrotactile Interfaces for Virtual and Augmented Reality. *Advanced Functional Materials*, 31(39), 1–26. <https://doi.org/10.1002/adfm.202008805>
- Kalra, A., Anand, G., & Lowe, A. (2020). Interpreting Electroencephalogram (EEG) – An Introductory Review of Assessment and Measurement Procedures. *Modern Applied Science*, 14(6), 47. <https://doi.org/10.5539/mas.v14n6p47>
- Kasahara, S., Nishida, J., & Lopes, P. (2019). Preemptive Action. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–15. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300873>
- Kato, H., & Billinghurst, M. (1999). Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system. *Proceedings - 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, IWAR 1999*, 85–94. <https://doi.org/10.1109/IWAR.1999.803809>
- Kavanagh, S., Luxton-Reilly, A., Wuensche, B., & Plimmer, B. (2017). A Systematic Review of Virtual Reality in Education. *Themes in Science and Technology Education*, 10(2), 85–119. <https://www.learntechlib.org/p/182115>
- Kindvall, G., & Lindberg, A. (2020, December). *Militärteknik 2045. Ett underlag till Försvarmaktens perspektivstudie* (FOI-R--4985--SE). Totalförsvarets Forskningsinstitut.
- Kothgassner, O. D., Goreis, A., Kafka, J. X., Van Eickels, R. L., Plener, P. L., & Felnhöfer, A. (2019). Virtual reality exposure therapy for posttraumatic stress disorder (PTSD): a meta-analysis. *European Journal of Psychotraumatology*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/20008198.2019.1654782>
- Lai, S. P., Hsieh, C. A., Harutaiipree, T., Lin, S. C., Peng, Y. H., Cheng, L. P., & Chen, M. Y. (2019). Fitbird: Improving free-weight training experience using wearable sensors for game control. *CHI PLAY 2019 - Extended Abstracts of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play, October 2019*, 475–481. <https://doi.org/10.1145/3341215.3356258>
- Lauber, F., Böttcher, C., & Butz, A. (2014). You've got the look: Visualizing infotainment shortcuts in head-mounted displays. *AutomotiveUI 2014 - 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, in Cooperation with ACM SIGCHI - Proceedings*. <https://doi.org/10.1145/2667317.2667408>
- Liberatore, S. (2021, April 27). *Army's new night vision goggles look like tech used in Halo video games*. Mail Online. Hämtad November 8, 2021, från <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-9517833/Armys-new-night-vision-goggles-look-like-tech-used-Halo-video-games.html>
- Ling, H. (2017). Augmented Reality in Reality. *IEEE Multimedia*, 24(3), 10–15. <https://doi.org/10.1109/MMUL.2017.3051517>

- Liu, T. T. (2016). Reprint of 'Noise contributions to the fMRI signal: An Overview.' *NeuroImage*, 154, 4–14. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.05.031>
- Lopes, P., & Baudisch, P. (2013). Muscle-propelled force feedback: Bringing force feedback to mobile devices. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 2577–2580. <https://doi.org/10.1145/2470654.2481355>
- Lynch, G. (2017). AR warfare: *How the military is using augmented reality*. TechRadar. Hämtad November 8, 2021, från <https://www.techradar.com/news/death-becomes-ar-how-the-military-is-using-augmented-reality>
- Mahr, A., Endres, C., Müller, C., & Schneeberger, T. (2011). Determining human-centered parameters of ergonomic micro-gesture interaction for drivers using the theater approach. *Proceedings of the 3rd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, AutomotiveUI 2011*, 151–157. <https://doi.org/10.1145/2381416.2381441>
- Marasović, T., Papić, V., & Marasović, J. (2014). Motion-based gesture recognition algorithms for robot manipulation. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 12. <https://doi.org/10.5772/60077>
- Masood, T., & Egger, J. (2019). Augmented reality in support of Industry 4.0—Implementation challenges and success factors. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 58, 181–195. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.02.003>
- Mather, C., Barnett, T., Broucek, V., Saunders, A., Grattidge, D., & Huang, W. (2017). Helping Hands: Using Augmented Reality to Provide Remote Guidance to Health Professionals. *Studies in Health Technology and Informatics*, 241, 57–62. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-794-8-57>
- MCDC (2021). *Information Note of the MCDC HPO/HPE Cycle 19/20*, MULTINATIONAL CAPABILITY DEVELOPMENT CAMPAIGN (MCDC), March 2021.
- McNeill, D. (1995) *Hand and Mind: What Gestures Reveal about Thought*. Paperback edition. The University of Chicago Press.
- McNeill, D. (2005). *Gesture and Thought*. University of Chicago Press. DOI: <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226514642.001.0001>
- Metz, A. (2021, January 12). *CES 2021: These microLED smart glasses might be the coolest we've seen*. TechRadar. Hämtad september 30, 2021, från <https://www.techradar.com/news/ces-2021-these-microled-smart-glasses-might-be-the-coolest-weve-seen>.
- Milgram, P. & Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, Vol E77-D, No.12 December 1994.
- Mills, B., Dykstra, P., Hansen, S., Miles, A., Rankin, T., Hopper, L., Brook, L., & Bartlett, D. (2019). Virtual Reality Triage Training Can Provide Comparable Simulation Efficacy for Paramedicine Students Compared to Live Simulation-Based Scenarios. *Prehospital Emergency Care*, 24(4), 525–536. <https://doi.org/10.1080/10903127.2019.1676345>
- Minsky, M. (1980) Telepresence. *OMNI Magazine*, 44-52. Hämtad november 2021. <https://www.scrip.org/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2519168>
- Mitra, S., & Acharya, T. (2007). Gesture recognition: A survey. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, 37(3), 311–324. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2007.893280>
- Mohammadi, S. H., & Kain, A. (2017). An overview of voice conversion systems. *Speech Communication*, 88, 65–82. <https://doi.org/10.1016/j.specom.2017.01.008>
- Mojo Vision (2021). Mojo Vision. *Mojo Vision*. Hämtad september, 2021, från <https://www.mojo.vision/>



- Muñoz-Saavedra, L., Miró-Amarante, L., & Domínguez-Morales, M. (2020). Augmented and virtual reality evolution and future tendency. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/app10010322>
- Nad, D., Walker, C., Kvasić, I., Antillon, D. O., Mišković, N., Anderson, I., & Lončar, I. (2019). Towards Advancing Diver-Robot Interaction Capabilities. *IFAC-PapersOnLine*, 52(21), 199–204. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.307>
- Naseer, N., & Hong, K. S. (2015). fNIRS-based brain-computer interfaces: A review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9(JAN). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00003>
- Nelson, J. T., McKinley, R. A., Golob, E. J., Warm, J. S., & Parasuraman, R. (2014). Enhancing vigilance in operators with prefrontal cortex transcranial direct current stimulation (tDCS). In *NeuroImage* (Vol. 85, pp. 909–917). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.11.061>
- Nilsson, S. (2010). Augmentation in the wild: User centered development and evaluation of augmented reality applications. PhD thesis, Linköping University
- Nilsson, S., Oskarsson, P. A. (2011). *Mixed reality transfer etapp 2 försvarsrelaterad medicin - Metod och utvärdering av Mixed Reality som tekniskt stöd för mobil intensivvårdsplattform*. FOI-R--3169—SE
- Oda, O., Elvezio, C., Sukan, M., Feiner, S., & Tversky, B. (2015). Virtual replicas for remote assistance in virtual and augmented reality. *UIST 2015 - Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 405–415. <https://doi.org/10.1145/2807442.2807497>
- Olwal, A., Gustafsson, J., & Lindfors, C. (2008). Spatial augmented reality on industrial CNC-machines. *The Engineering Reality of Virtual Reality 2008*, 6804, 680409. <https://doi.org/10.1117/12.760960>
- Oskarsson, P. A., Eriksson, L., & Carlander, O. (2012). Enhanced perception and performance by multimodal threat cueing in simulated combat vehicle. *Human Factors*, 54(1), 122–137. <https://doi.org/10.1177/0018720811424895>
- Pal, R. (2021). *LG Will Showcase a Massive 48-inch Bendable OLED Display at CES 2021 - MySmartPrice*, hämtad september 2021. <https://www.mysmartprice.com/gear/lg-will-showcase-massive-48-inch-bendable-oled-display-ces-2021/>
- Paradox, P. (2021). *The Neuralink Brain Chip | Elon Musk Neuralink*. ElonMuskNeuralink.Com: Blog Site. Besökt november 2021. <https://elonmuskneuralink.com/the-neuralink-brain-chip-elon-musk-neuralink/>
- Park, M. K., Lim, K. J., Seo, M. K., Jung, S. J., & Lee, K. H. (2014). Spatial augmented reality for product appearance design evaluation. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2(1), 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2014.11.004>
- Parong, J., & Mayer, R. E. (2018). Learning science in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology*, 110(6), 785–797. <https://doi.org/10.1037/edu0000241>
- Pascual-Leone, A., Tarazona, F., Keenan, J., Tormos, J.M., Hamilton, R., & Catala, M. D. (1999). *Transcranial magnetic stimulation and neuroplasticity*. *Neuropsychologia* 37 (1999) 201-217.
- Perey Research & Consulting. (2021). *Scope – ISMAR2021 Interoperability and Standards Tutorial*. ISMAR2021 Interoperability and Standards Tutorial - Workshop Topics. Hämtad November 8, 2021, från <http://www.perey.com/ISMAR2021-Interop-and-Standards-Tutorial/workshop-topics/>
- Pfeiffer, M., Dünthe, T., Schneegass, S., Alt, F., & Rohs, M. (2015). Cruise control for pedestrians: Controlling walking direction using electrical muscle stimulation. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, 2015-April* (April 2019), 2505–2514. <https://doi.org/10.1145/2702123.2702190>

- Pfeiffer, M., George, N., & Degbelo, A. (2020). EMS-based actuated output gestures: A design process for novices. *ACM International Conference Proceeding Series, September*, 409–413. <https://doi.org/10.1145/3404983.3409995>
- Piekarski, W. & Thomas, B. (2002). ARQuake: The Outdoor Augmented Reality Gaming System. *Communications of the ACM*. 45. 36-38. 10.1145/502269.502291.
- Piekarski, W. & Thomas, B. H. (2001). Tinmith-Metro: New Outdoor Techniques for Creating City Models with an Augmented Reality Wearable Computer. *Proceedings Fifth International Symposium on Wearable Computers*, 31–38.
- Pires, G., Torres, M., Casaleiro, N., Nunes, U., & Castelo-Branco, M. (2011). Playing Tetris with non-invasive BCI. *2011 IEEE 1st International Conference on Serious Games and Applications for Health, SeGAH 2011*. <https://doi.org/10.1109/SeGAH.2011.6165454>
- Portelli, M., Bianco, S. F., Bezzina, T., & Abela, J. E. (2020). Virtual reality training compared with apprenticeship training in laparoscopic surgery: A meta-analysis. In *Annals of the Royal College of Surgeons of England* (Vol. 102, Issue 9, pp. 672–684). Royal College of Surgeons of England. <https://doi.org/10.1308/RCSANN.2020.0178>
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers and Education*, 147(November 2019), 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- Rakkolainen, I., Freeman, E., Sand, A., Raisamo, R., & Brewster, S. (2020). A Survey of Mid-Air Ultrasound Haptics and Its Applications. *IEEE Transactions on Haptics*, 14(1), 2–19. <https://doi.org/10.1109/TOH.2020.3018754>
- Rashid, M., Sulaiman, N., P. P. Abdul Majeed, A., Musa, R. M., Ahmad, A. F., Bari, B. S., & Khatun, S. (2020). Current Status, Challenges, and Possible Solutions of EEG-Based Brain-Computer Interface: A Comprehensive Review. In *Frontiers in Neurorobotics* (Vol. 14). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2020.00025>
- Rawnaque, F. S., Rahman, K. M., Anwar, S. F., Vaidyanathan, R., Chau, T., Sarker, F., & Mamun, K. A. Al. (2020). Technological advancements and opportunities in Neuromarketing: a systematic review. *Brain Informatics*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40708-020-00109-x>
- Raytheon Intelligence & Space. (2021). *Synthetic Training Environment*. Hämtad November 8, 2021, från <https://www.raytheonintelligenceandspace.com/capabilities/products/synthetic-training-environment>
- Reger, G. M., Koenen-Woods, P., Zetocha, K., Smolenski, D. J., Holloway, K. M., Rothbaum, B. O., Difede, J. A., Rizzo, A. A., Edwards-Stewart, A., Skopp, N. A., Mishkind, M., Reger, M. A., & Gahm, G. A. (2016). Randomized controlled trial of prolonged exposure using imaginal exposure vs. virtual reality exposure in active duty soldiers with deployment-related posttraumatic stress disorder (PTSD). *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 84(11), 946–959. <https://doi.org/10.1037/ccp0000134>
- Renganayagalu, S. kumar, Mallam, S. C., & Nazir, S. (2021). Effectiveness of VR Head Mounted Displays in Professional Training: A Systematic Review. *Technology, Knowledge and Learning*, 26(4), 999–1041. <https://doi.org/10.1007/s10758-020-09489-9>
- Rowe, M. L., & Goldin-Meadow, S. (2009). Early gesture selectively predicts later language learning. *Developmental Science*, 12(1), 182–187. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00764.x>
- Sang, Y., Shi, L., & Liu, Y. (2018). Micro hand gesture recognition system using ultrasonic active sensing. *IEEE Access*, 6, 49339–49347. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2868268>
- Schmalstieg, D., & Höllerer, T. (2016). *Augmented Reality - Principles and Practice*. Addison-Wesley Professional.

- Seeck, M., Koessler, L., Bast, T., Leijten, F., Michel, C., Baumgartner, C., He, B., & Beniczky, S. (2017). The standardized EEG electrode array of the IFCN. In *Clinical Neurophysiology* (Vol. 128, Issue 10, pp. 2070–2077). Elsevier Ireland Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.06.254>
- Shneiderman. (1983). Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages. *Computer*, 16(8), 57–69. <https://doi.org/10.1109/MC.1983.1654471>
- Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2016). Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers Robotics AI*, 3(DEC), 1–47. <https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00074>
- SSDF (2018). *Dykpraxis*. Svenska Sportdykarförbundet.
- Stern, R. M., Ray, W. J., & Quigley, K. S. (2001). *Psychophysiological recording*. Oxford University Press, USA.
- Story, B. H. (2019). History of speech synthesis. In *The Routledge Handbook of Phonetics* (Issue July). <https://doi.org/10.4324/9780429056253-2>
- Sullivan, M. (2020). *The making of Mojo, AR contact lenses that give your eyes superpowers*. Fast Company. Hämtad september 2021. <https://www.fastcompany.com/90441928/the-making-of-mojo-ar-contact-lenses-that-give-your-eyes-superpowers>
- Sutherland, Ivan E. (1968). A head-mounted three dimensional display. In *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I (AFIPS '68 (Fall, part I))*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 757–764. DOI:<https://doi.org/10.1145/1476589.1476686>
- Tachi S., Tanie K., Komoriya K., Kaneko M. (1985) Tele-existence (I): Design and Evaluation of a Visual Display with Sensation of Presence. In: Morecki A., Bianchi G., Kędzior K. (eds) *Theory and Practice of Robots and Manipulators*. Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9882-4\\_27](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9882-4_27)
- Trotsenko, E. (2018). *Gestures for the robotic platform UGV*. Besökt 2021. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=E9ZcloH6Q7w>
- UK DCDC (2021), UK Development Concepts And Doctrine Centre. *Human Augmentation – The Dawn of a New Paradigm*.
- Unipinews (2020) Surgery 4.0: the first operation guided by augmented reality has been performed. *Unipinews*. Hämtad November 2021 från <https://www.unipi.it/index.php/english-news/item/17565-chirurgia-4-0-condotta-la-prima-operazione-guidata-dalla-realta-aumentata>
- Vallverdú, C. A. (2019). Neurotechnology – Design of a semi-dry Electroencephalography electrode. Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Van Den Bergh, M., Carton, D., De Nijs, R., Mitsou, N., Landsiedel, C., Kuehnlenz, K., Wollherr, D., Van Gool, L., & Buss, M. (2011). Real-time 3D hand gesture interaction with a robot for understanding directions from humans. *Proceedings - IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, May 2014*, 357–362. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2011.6005195>
- Van Erp, J. B. F., Eriksson, L., Levin, B., Carlander, O., Veltman, J. A., & Vos, W. K. (2007). Tactile cueing effects on performance in simulated aerial combat with high acceleration. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 78(12), 1128–1134. <https://doi.org/10.3357/ASEM.2133.2007>
- Virtuix. (2021). *Omni by Virtuix*. Omni by Virtuix. Retrieved November 8, 2021, från <https://www.virtuix.com/>
- Voronchuk, O., Klym, H., & Dunets, R. (2019). Specialized Device to Control Work of Executive Mechanism Using Operator's Hand Gestures. *2019 11th International Scientific and Practical Conference on Electronics and Information Technologies, ELIT 2019 - Proceedings*, 218–221. <https://doi.org/10.1109/ELIT.2019.8892324>



- Vuletic, T., Duffy, A., Hay, L., McTeague, C., Campbell, G., & Grealy, M. (2019). Systematic literature review of hand gestures used in human computer interaction interfaces. *International Journal of Human Computer Studies*, 129, 74–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.03.011>
- Wachs, J. P., Stern, H. I., Edan, Y., Gillam, M., Handler, J., Feied, C., & Smith, M. (2008). A Gesture-based Tool for Sterile Browsing of Radiology Images. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 15(3), 321–323. <https://doi.org/10.1197/jamia.M2410>
- Wakefield, B. J. (2021, April 9). *Elon Musk's Neuralink "shows monkey playing Pong with mind."* BBC News. Hämtad November 2021. <https://www.bbc.com/news/technology-56688812>
- Weech, S., Kenny, S., & Barnett-Cowan, M. (2019). Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: A review. *Frontiers in Psychology*, 10(FEB), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00158>
- Wilson, R. A. and Foglia, L. (2017) Embodied Cognition, i Edward N. Zalta (ed.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2017 Edition), <https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/embodied-cognition/>
- Wingfield, N., & Isaac, M. (2016). "Pokémon Go Brings Augmented Reality to a Mass Audience", *New York Times*, 2016-06-11. Hämtad: 2021-05-20. Tillgänglig via: <https://www.nytimes.com/2016/07/12/technology/pokemon-go-brings-augmented-reality-to-a-mass-audience.html>
- Wolf, K., Naumann, A., Rohs, M., & Müller, J. (2011). A taxonomy of microinteractions: Defining microgestures based on ergonomic and scenario-Dependent requirements. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 6946 LNCS(PART 1), 559–575. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-23774-4\\_45](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23774-4_45)
- Wolfartsberger, J. (2019). Analyzing the potential of Virtual Reality for engineering design review. *Automation in Construction*, 104, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.018>
- Wolpaw, J. R., Birbaumer, N., Heetderks, W. J., McFarland, D. J., Peckham, P. H., Schalk, G., Vaughan, T. M. (2000). Brain-computer interface technology: A review of the first international meeting. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 8(2), 164–173. <https://doi.org/10.1109/TRE.2000.847807>
- Yung, R., & Khoo-Lattimore, C. (2019). New realities: a systematic literature review on virtual reality and augmented reality in tourism research. *Current Issues in Tourism*, 22(17), 2056–2081. <https://doi.org/10.1080/13683500.2017.1417359>

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI  
Totalförsvarets forskningsinstitut  
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00  
Fax: 08-55 50 31 00

[www.foi.se](http://www.foi.se)