

ADVICE: Avancerade Virtuella Utvecklingsmetoder för Kommunikation mellan Självkörande Fordon och Oskyddade Trafikanter

Publik rapport



Författare: [Carl Johnsson och Patrik Blomdahl](#)
Datum: [2022 – 07 – 01](#)
Projekt inom: [Trafiksäkerhet och automatiserade fordon](#)

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	4
3 Bakgrund.....	5
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	5
5 Mål	6
6 Resultat och måluppfyllelse	6
6.1 "State-of-the-art" för hur audio och visuell extern kommunikation mellan konventionella trafikanter och självkörande fordon kan utvärderas i en VR-miljö	6
6.2 Cykelsimulator.....	10
6.3 Resultat ifrån experiment	12
7 Spridning och publicering	13
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	13
7.2 Publikationer.....	14
8 Slutsatser och fortsatt forskning	14
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	15

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Detta projekt har studerat hur virtual reality (VR) kan användas för att studera kommunikationen mellan självkörande fordon och cyklister ifrån cyklistens perspektiv. I projektet har en cykelsimulator i VR utvecklats och ett experiment genomförts för att testa hur studier som fokuserar på framtida fordons kommunikation kan genomföras samt hur pålitlig och verklighetstrogen simuleringen är.

Cykelsimulatorens har utvecklats i spelmotorn Unity och en virtuell miljö har byggts upp som representerar en 500 meter lång sträcka i ett industriområde i Lund. I experimentet har 24 deltagare upplevt ett antal scenarier där trafik har simulerats utifrån observationer gjorda på platsen med drönare. Deltagare cyklade genom två scenarier där de interagerade med antingen elektriska eller traditionella diesellastbilar, och två valideringsscenarier där de upplevde samma trafik som en observerad cyklist gjorde. Efter experimentet fyllde testpersonerna i ett antal frågeformulär om hur de upplevde ljudet från lastbilarna, hur de upplevde simuleringen i sin helhet, samt specifika frågor om simulatorsjuka.

Resultatet ifrån experimentet gör det möjligt att analysera både hur elektrifieringen av framtida fordon kan tänkas påverka hur cyklister interagerar med lastbilar och hur realistiskt testpersonerna cyklade jämfört med observationer från drönarfilmer. Resultatet visar att testpersonerna var osäkra på hur stora och hur nära de elektriska lastbilarna var vilket gjorde dem mer försiktiga. Men resultatet tyder också på att testpersonerna cyklade generellt snabbare och var mer aggressiva i simuleringen jämfört med observerade cyklister på platsen i den verkliga miljön. En relativt stor del av testpersonerna rapporterade även en del simulatorsjuka och två personer valde att avsluta experimentet på grund av illamående.

Projektet har i huvudsak uppnått sina mål och visat att det är relativt snabbt och enkelt att testa fordons kommunikation i VR. Framtida forskning bör fokusera på hur denna typ av studier kan implementeras i utvecklingsprocessen av ny teknik samt att validera att cyklisterna inte bara cyklar realistisk utan att deras bedömning av den nya tekniken också stämmer med verkliga tester som normalt sett utförs senare i utvecklingsprocessen.

2 Executive summary in English

This project has studied how virtual reality (VR) can be used to study the communication between self-driving vehicles and cyclists from the cyclist's perspective. In the project, a bicycle simulator for implementation into VR has been developed, and an experiment was carried out to test how studies that focus on future vehicle communication can be carried out, and how reliable and realistic the results are.

The bicycle simulator has been developed in the game engine Unity and a virtual environment has been built up that represents a 500-meter-long stretch of road in an industrial area in Lund, Sweden. In the experiment, 24 participants experienced several scenarios where traffic has been simulated based on observations made at the site with drones. The test subjects cycled through two scenarios where they interacted with either electric or traditional diesel trucks, and two validation scenarios where they experienced the same traffic as an observed cyclist did. After the experiment, the test subjects filled in questionnaires about how they experienced the sound from the trucks, how they experienced the simulation in its entirety, as well as specific questions about simulator sickness.

The results from the experiment make it possible to analyze both how the electrification of future vehicles may affect how cyclists interact with trucks and how realistically the participants cycled within the simulation compared to observed cyclists. The results show that the participants were unsure of how big and how close the electric trucks were, which made them more careful. But the results also indicate that the test subjects generally biked faster and were more aggressive in the simulation compared to observed cyclists in the real environment. A relatively large proportion of the test subjects also reported some simulator sickness and two people ended the experiment early due to nausea.

The project has achieved its goals and shown that it is relatively quick and easy to test vehicle communication in VR. Future research should focus on how this type of studies can be implemented in the development process of new technology and to validate that cyclists not only ride realistically but that their assessment of the new technology also agrees with real tests normally happening later in the development process.

3 Bakgrund

I samband med utvecklingen och implementationen av självkörande fordon så är det viktigare än någonsin att fordonen tydligt kan kommunicera sina avsikter till trafikanter i närheten. I samband med utvecklingen av automatisering så är det därför också mycket viktigt att utveckla nya och effektiva sätt för dessa fordon att göra sig uppmärksammade och förstådda i trafiken. Detta kommunikationsproblem blir extra viktigt i samband med elektrifieringen av fordon eftersom elfordon är betydligt tystare än traditionella fordon.

Kommunikationen mellan trafikanter kan brytas ner i 3 olika typer av kommunikation¹: (I) Implicit kommunikation, definierad som ett beteende som på samma gång både uppnår och signalerar rörelse och/eller uppfattning, såsom att öka avståndet mellan fordon och minska hastigheten; (II) Explicit kommunikation, definierad som ett beteende som signalerar perception och/eller rörelse utan att samtidigt uppnå någon av dessa såsom handgester; och (III) Explicit kommunikation som kan stödja samarbetet mellan trafikanter, särskilt i de fall då en potentiell konflikt finns eller kan uppstå.

Olika kommunikationstekniker för självkörande fordon kan utvärderas på flera olika sätt i olika faser av utvecklingsarbetet. Utvärderingar kan generellt göras med hjälp av två huvudsakliga strategier²: (I) "Black-box testing" som fokuserar på en tekniks funktionalitet utan att direkt studera hur tekniken är uppbyggd och (2) "White-box testing" som fokuserar på att testa teknikens interna funktioner utan att studera tekniken i sin helhet. Thorn et al. (2018) beskriver också de tre vanligaste utvärderingsmetoderna: (1) Modellering och simulering; (2) Testning på avgränsat område; och (3) Provning på allmän väg. Dessa tre metoder erbjuder olika grader av kontroll och olika grader av tillförlitlighet.

I många fall kan två eller flera av dessa metoder användas parallellt eller på ett iterativt sätt för att i tidiga faserutvärdera ett komplext system. Den snabba och smidiga utvecklingen för moderna elektroniska system kräver dock mer flexibla utvärderingsmetoder som även kan användas för validering med slutanvändare i tidiga skeden istället för att behöva vänta tills själva tekniken har implementerats i riktiga fordon.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Detta projekt har handlat om modellering och simulering med hjälp av virtual reality (VR). Mer specifikt fokuserade projektet på hur representativa, pålitliga och träffsäkra beteenden och resultat är i en simuleringsmiljö. Projektet utgick från en cyklists perspektiv och målet har varit att undersöka hur väl simuleringsstudier i VR kan användas för att analysera säkerhetsaspekter relaterade till standarden ISO 26262 för funktionell säkerhet.

Projektet har undersökt hur man bör designa och utföra experiment i VR, hur realistisk den virtuella miljön uppfattas, hur man kan hantera problematiken kring simulatorsjuka, samt hur verklighetstroget personer i simuleringen cyklar.

¹ Schieben, Anna & Wilbrink, Marc & Kettwich, Carmen & Dodiya, Janki & Sorokin, Lenja & Merat, Natasha & Dietrich, Andre & Bengler, Klaus & Kaup, Marc. (2019). *Testing external HMI designs for automated vehicles – An overview on user study results from the EU project interACT.*

² Thorn, E., Kimmel, S., and Chaka, M. (2018, September). *A framework for automated driving system testable cases and scenarios (Report No. DOT HS 812 623).* Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.

5 Mål

Projektet hade tre huvudsakliga mål:

1. Identifiera "state-of-the-art" inom audio/visuell extern kommunikation mellan konventionella trafikanter och självkörande fordon i allmänhet samt med fokus på interaktioner med oskyddade trafikanter.
2. Utveckla en simuleringsplattform och metodik för att analysera interaktioner mellan självkörande fordon och oskyddade trafikanter i VR.
3. Testa ett konceptuellt audio/visuellt scenario i den utvecklade simuleringsplattformen för att undersöka simulatorns pålitlighet och realism.

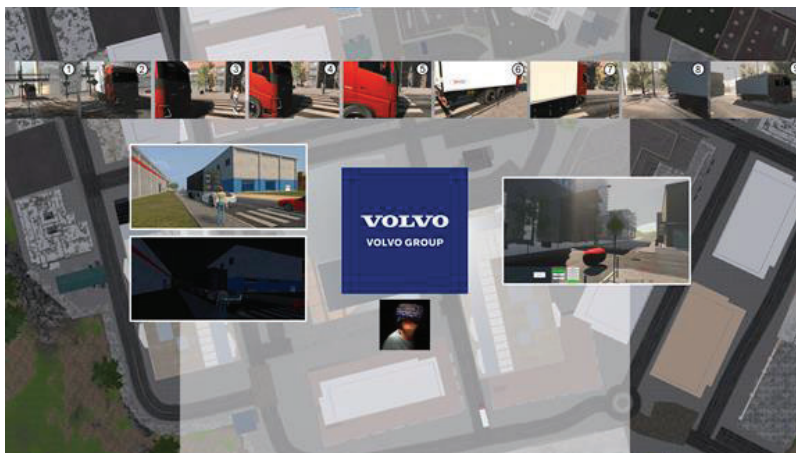
6 Resultat och måluppfyllelse

6.1 "State-of-the-art" för hur audio och visuell extern kommunikation mellan konventionella trafikanter och självkörande fordon kan utvärderas i en VR-miljö

Metodik har sammanfattats rörande utvärdering av ljudkommunikation mellan tunga fordon och oskyddade trafikanter. Detta avgränsade område är speciellt intressant eftersom det är förhållandevis lite dokumenterat i jämförelse med motsvarande visuell kommunikation. Tunga fordon är också unika jämfört med personbilar på grund av deras storlek kombinerat med att fordonen i sig genererar buller som både kan förhindra och bidra till ljudkommunikationen.

Utifrån lagkravet för Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS) för tysta fordon³ har metodiken från två omgångar med försök i VR-miljö sammanfattats. Upplägget integrerar även tidigare erfarenheter från utvärdering i VR av visuell kommunikation från självkörande fordon rörande aspekter enligt ISO⁴. Försöken har även undersökt möjligheter att effektivisera VR-studier genom simultant deltagande av flera testpersoner, liksom upplägg för VR kopplat till Covid-19 pandemin⁵ som pågick under projektperioden.

Figur 1. Studier av extern kommunikation i Virtual Reality hos Volvo Trucks.



³ UN regulation No. 138, "Uniform Provisions Concerning the Approval of Quiet Road Transport Vehicles with Regard to their Reduced Audibility.", InterRegs International Regulations.

⁴ ISO/TR 23049, "Ergonomic aspects of external visual communication from automated vehicles to other road users", International Standardisation Organisation for Road Vehicle Ergonomics

⁵ COVID-19 pandemic, Wikipedia The Free Encyclopedia

Följande generella och specifika resultat har säkrats som referens till förstudien:

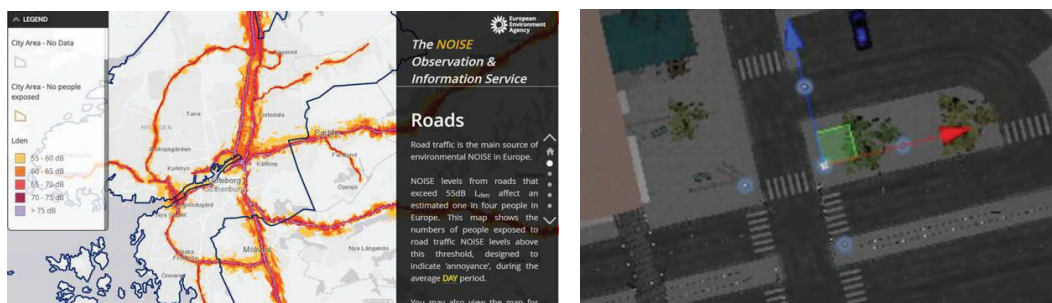
Generella resultat

Lämpliga scenarier har etablerats för utvärdering av ljudkommunikation i VR, inklusive kvalitetsaspekter och personliga upplevelser av ljud. Det har även visat sig vara möjligt att låta flera testpersoner delta samtidigt utöver den som bär VR-headsetet, detta genom att övriga deltagare bär separata hörlurar och via en separat skärm kan följa vad den huvudsakliga testpersonen ser. Genom den pågående Covid-19 pandemin har dessutom rutiner tagits fram för att minska risken för spridning av bakterier och virus i samband med VR-studier. Utvärderingsprocedurer har etablerats både för utvärdering av högnivåkoncept liksom detaljerade koncept för ljudkommunikation. Frågeformulär för subjektiv utvärdering av ljud har testats och förfinats.

Audio och visuella kommunikationssätt

Tillvägagångssätt har etablerats och testats för att representativt inkludera fordonsljud. Nya ej realiserade ljudkoncept inkluderas med hjälp av simulerade responsfilter för högtalare baserat på mätningar av faktiska högtalare. Övriga fordonsljud som bidrar till ljudkommunikationen återspelas utifrån mätningar av verkliga fordon på provbana.

Koncept har tagits fram för att representativt inkludera buller. Fordonsbuller inkluderas utifrån mätningar på provbana. Bakgrundsbuller från omgivande trafikmiljöer definieras genom mätningar i verklig gatumiljö som kalibreras utifrån öppen statistik över bullernivåer i europeiska städer⁶. Det definierade bakgrundsbullet spelas upp i VR genom parvisa virtuella högtalare med valda avstånd för att åstadkomma avsedda bullernivåer. Det har även identifierats att ytterligare bakgrundsbuller behöver inkluderas som motsvarar fartvind eller blåst runt oskyddade trafikanters huvuden, vilket kan accentueras ytterligare när cyklister bär hjälm.



Figur 2. Europeisk statistik över ljudnivåer i städer och parvisa virtuella högtalare för avsedda ljudnivåer.

Fokus har varit på ljudkommunikation eftersom det, som sagts inledningsvis, existerar relativt lite dokumentation kring detta. Intentionen vad gäller ljuskommunikation har varit att gå till väga på motsvarande vis för att säkerställa att ljuskommunikationen inkluderas på ett representativt sätt vad gäller kvalitet och störningar som kan uppstå under typiska ljusförhållanden såsom motljus eller blöta vägbanor som orsakar reflektioner.

Simuleringsmetodik och upplägg av studier för effektiva utvärderingar liksom tillförlitliga resultat

VR-miljöer i CAD har undersökts både vad gäller trafik och inkluderade fordon. Två olika kategorier är: (1) existerande koncept för ljudkommunikation i existerande fordon och (2) neutrala representationer av fordon där allt fokus läggs på ljudkommunikationen. För bägge dessa kategorier har det varit möjligt att etablera och spela upp sekvenser av händelser med representativa fordonsrörelser och rörelsemönster, även inkluderande andra fotgängare för att öka realismen i upplevelsen, eller för att förtydliga specifika scenarion

⁶ The Noise Observation & Information Service, European Environment Agency

för testpersonerna (t.ex. ett övergångsställe). Vad gäller integrationen av fordonsljud och -buller återuppspelas ljudupptagningar av redan existerande ljud från mikrofoner respektive högtalare som följer med de verkliga respektive simulerade fordonen. Nya kommunikationsljud läggs till genom uppspelning med simulerade responsfilter för högtalare (som nämndes ovan). Det har även varit möjligt att definiera bakgrundsbuller i simuleringen som motsvarar morgontomma gator respektive en livligare stadsmiljö mitt på dagen eller vid rusningstrafik. Här har det även varit intressant att kunna kombinera ljudmiljön med olika nivåer av omgivande dagsljus.

Som delvis nämnts tidigare är det möjligt att använda olika tillvägagångssätt för utvärdering av ljudkommunikation beroende på var i utvecklingsfasen mot en färdig produkt som ett utvecklingsprojekt befinner sig. I tidiga faser kan testpersoner få lyssna på olika ljud och tala om hur de tolkar dem. Som ett andra steg för att uppnå ökad kvalitet går det att lägga till inspelade filmer från VR förutom ljuden så att testpersonerna även får en upplevelse av specifika trafiksituationer. Vill man åstadkomma större kvantitet av svar på ett effektivt sätt går det att låta upp till fem testpersoner delta i samma VR-studie som en av dem leder genom buren VR-utrustning. Motsvarande kan även uppnås genom att spela in filmer från en VR-studie som sedan ytterligare testpersoner upplever och ger svar på i efterhand. Om det däremot är högsta kvalitet hos resultat som efterfrågas är det bättre att endast ha en testperson åt gången som är helt inkluderad / försänkt i VR-miljön.

För att få ut maximalt av laboratoriemiljön där testet utförs, bör följande väljas eller kontrolleras med omsorg:

- VR-utrustningen så att siktfältet är stort nog för att stödja en realistisk uppfattning av omgivningen.
- HiFi-hörlurar för att högkvalitativt representera ljud och buller (eftersom VR-utrustning oftast inte har tillräcklig kvalitet och inte sluter an tillräckligt tätt mot testpersoners huvuden).
- En större skärm för att testledaren, alternativt ytterligare testpersoner som deltar simultant, ska kunna följa med i testade scenarier.
- Etablerade menyer i simuleringsgränssnittet så att testledaren enkelt kan välja bland olika testade koncept och scenarier.
- Markeringar i det fysiska rummet där testpersoner bör placeras för att hamna rätt i den virtuella miljön.
- Kontrollerad temperatur och ljudnivå i försöksrummet (för att minimera oönskade influenser och eventuella obehag).



Figur 3. Laboratoriemiljö som använts vid studier

När det gäller utvärderingsproceduren har det visat sig att ljudutvärdering är så pass specifikt att det varit en fördel att inkludera både experter på utvärderade aspekter, och noviser som möter det utvärderade för första gången. Samtidigt har det också varit viktigt att ha koll på vilken erfarenhet testpersoner har av de roller de tilldelas under testet (t.ex. som fotgängare eller cyklister). När testpersoner bjuds in verkar det vara en fördel att matcha dem så att de säkert kan representera avsedd grupp av väganvändare (t.ex. oskyddad trafikant eller lastbilsförare). Detta ökar kvaliteten hos resultaten. Samtidigt bör naturligtvis testpersoner mer generellt bjudas in för att kunna representera en bredd av olika kategorier av användare som kommer stöta på fordonen.

För att få ut högkvalitativa resultat visade det sig vara lämpligt att lägga upp ljudutvärderingen i VR enligt följande sekvens:

1. Introduktion för att säkra förståelse av testet och samla bakgrundsdata (på GDPR-säkert sätt⁷)
2. Låta testpersonen bekanta sig med utvärderingsmiljön i VR (roll och placering liksom orientering i trafikmiljön).
3. Få ett första intryck av en hel sekvens med ett typiskt ljudkoncept som innehåller de aspekter som sedan kommer utvärderas.
4. Egentlig utvärdering som kan innehålla endera eller bägge av:
 - a) Högnivåkoncept i ett holistiskt skeende,
 - b) Detaljerad utvärdering av specifika aspekter hos koncept i uppdelade skeenden.
5. Slutlig utvärdering med sammanfattande bedömning utifrån gjorda erfarenheter.

Frågeformulär för subjektiv utvärdering av ljud har tagits fram och testats. Målet har varit att kunna få besked om den generella upplevelsen som testpersoner har av t.ex. upplevd säkerhet, personliga preferenser, hur de beskriver upplevelsen med egna ord, nivån av urskiljbarhet, liksom nivån av att vara störande. Kvalitetsaspekter har också utvärderats med hjälp av frågeformulären: lämpligheten hos ljuden för vad de är avsedda att kommunicera, hur förfinade de uppfattas vara, och det har även varit möjligt att gräva djupare i något område som identifierats i en tidigare utvecklingsfas. Slutligen har även informationsinnehållet hos ljuden utvärderats vad gäller budskapen de ger, vilken typ av fordon de indikerar, storleken hos fordon, liksom hur väl det gått att tolka fordons placering i den virtuella miljön.

Bakgrundsfrågorna i frågeformulären har utnyttjat kryssrutor och Likert-skalar⁸ för personlig data, erfarenhetsnivåer och intressen. Första intryck har utvärderats med hjälp av öppna frågor, Likert-skalar och kryssrutor. Den detaljerade utvärderingen av delhändelser under en typisk transportsekvens använde Likert-skalar stödda av förklarande kommentarer. Den slutliga utvärderingen använde Likert-skalar och en standardiserad skala för subjektiv utvärdering (som samtidigt möjliggör jämförelser med resultat från tidigare studier). Avslutningsvis användes öppna frågor för att samla erfarenheter och rekommendationer för den fortsatta utvecklingen, både vad gäller testade koncept, använd VR-miljö och utvärderingsmetodik.

Typiska kategorier av resultat som erhöles genom applicering av detta upplägg har varit:

- Beskrivning av testpersoner.
- Konceptbeskrivningar utifrån deltagarnas erfarenheter.
- Ändamålsenlighet hos ljudtyper.
- Uppföljning av utveckling sedan föregående utvärderingstillfälle (ifall tidigare utvärdering gjorts).
- Slutbedömningar som skalvärden kompletterade med förklarande kommentarer.
- Upplevelse av att delta i utvärdering.
- Rekommendationer för kommande utvärderingar.

⁷ (EU) 2016/679 "General Data Protection Regulation", the European Parliament)

⁸ Likert scale, Wikipedia The Free Encyclopedia

För att få fram och sammanfatta resultaten har följande analysmetoder använts. Excel har använts för att tidigt "neutralisera" information så den blir personoberoende, sortera och ge en överblick över insamlad data. Genom beräknade medelvärden och standardavvikelser för de numeriska svarsalternativen kan vägledande resultat av särskilt intresse delas vidare i ett tidigt skede, även innan en fullständig rapport färdigställts. Vid sorteringen av svaren har även liknande kommentarer grupperats för att också kunna ge kvantitativa mått som tillägg till medelvärden från bedömningar enligt skalor. Det har även varit möjligt att räkna antalet kommentarer från utvärdering av respektive aspekt för att därigenom få ett mått på hur starka åsikter olika aspekter leder till. När kommentarer från utvärderingen i sin helhet har kunnat sammanfattas, hjälper de även till att överskådligt förklara gjorda bedömningar. Om man under analysen identifierar möjliga samband mellan svar och bakgrundsinformation för olika testpersoner, finns även möjligheten att samköra dessa mot varandra för att ytterligare styrka att det föreligger sådana samband (t.ex. mellan åldersspann och upplevelsen av en särskild ljudaspekt).

6.2 Cykelsimulator

En cykelsimulator har utvecklats i projektet som planerat i ansökan. Simulatoren består av en cykel som är monterad i en så kallad "cykeltrainer" (Wahoo kickr snap) med en styrplatta (ELITE Sterzo Smart) som gör det möjligt att använda styret för att svänga i simuleringen. VR utrustningen består av en HTC Vive Pro 2, 1 HTC Vive Controller och 1 HTC Vive Tracker. Figuren nedan visar hur simulatoren ser ut.



Figur 4. Cykelsimulatorn

Mjukvaran för simulatoren har utvecklats i spelmotorn UNITY⁹ och består i huvudsak av 3 olika delar:

1. Kod för all rörelse på cykeln (trampa, bromsa, svänga). Denna del av koden är öppen och kan laddas hem här: <https://github.com/Whampaz/LU-VR-Bicycle-2022>
2. En virtuell miljö baserat på Bondevägen i Lund¹⁰. Miljön består av en cirka 500 meter lång väg inom ett industriområde i Lund. Platsen valdes eftersom det är en av få platser i Lund där cyklister vanligen interagerar med lastbilar. Platsen byggdes upp i Unity manuellt och bilden nedan visar en del av området.

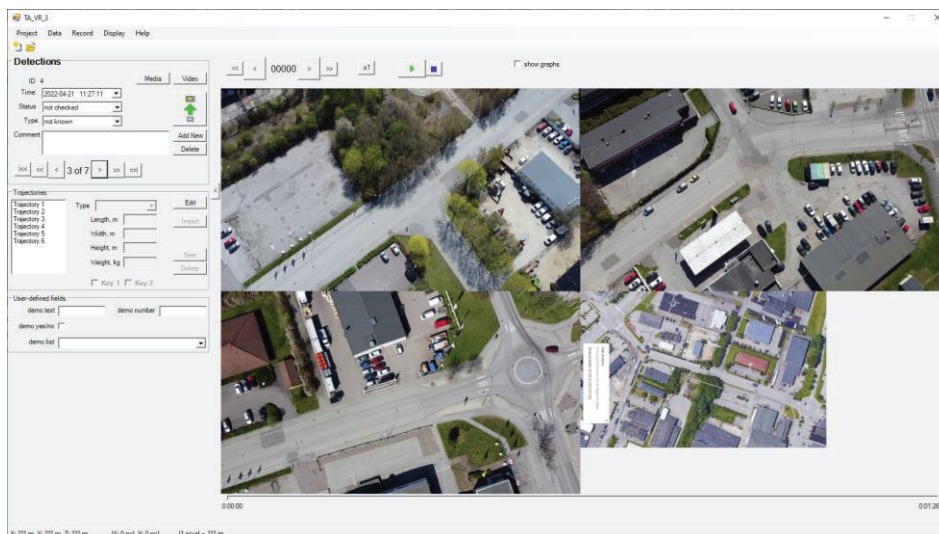
⁹ <https://unity.com/>

¹⁰ <https://goo.gl/maps/ZhsRLPUxtJ4BuTsu6>



Figur 5. En del av den virtuella miljön.

- Realistisk trafik i simuleringen har skapats genom att först filma platsen med drönare och sedan studera och spåra hur trafiken på platsen rör sig. Tre stycken DJI mini 2 drönare användes samtidigt för att kunna filma hela sträckan. Spårningarna av trafiken har sedan importerats in i simuleringen vilket gör det möjligt att "spela upp" trafik som observerats i drönarfilmen. Videoanalysen har gjorts med hjälp av mjukvaru-biblioteket Vid.stab¹¹ samt mjukvaran T-Analyst¹² som gör det möjligt att manuellt spåra fordon och cyklister ifrån film och översätta deras plats på skärmen till deras position på vägen (se bilden nedan).



Figur 6. T-Analyst mjukvaran med drönarfilmerna

En mer detaljerad beskrivning av utvecklingsprocessen av simulatormen går att läsa i kandidatarbetet "Developing a Virtual Reality Bicycle Simulator in Unity for Traffic Safety Research Integration" av H. Norén (2022).

¹¹ <https://github.com/georgmartius/vid.stab>

¹² <https://bitbucket.org/TrafficAndRoads/tanalyst/downloads/>

6.3 Resultat ifrån experiment

Ett experiment har genomförts där ett konceptuellt audio/visuellt scenario har testats. Dessutom testades hur realistiskt testpersoner cyklade jämfört med cyklister från drönarfilmerna, hur verklighetstrogen simuleringen uppfattades, och huruvida testpersonerna upplevde något illamående.

Experimentet bestod av ett antal olika scenarion som varje testperson fick uppleva samt ett övningsområde där testpersonerna kunde testa och vänja sig vid att cykla i VR (området med konerna i figur 5). Efter experimentet fyllde testpersonerna i ett antal frågeformulär baserade på hur de uppfattade den audio/visuella designen, simulatoren och miljön i allmänhet¹³ samt om simulatorsjuka¹⁴. Resultatet från experimentet består därför av både en kvantitativ analys av testpersonernas beteende i simuleringen samt en kvalitativ del baserat på frågeformulären.

Totalt deltog 24 testpersoner med en medelålder på 28 år (16 män och 8 kvinnor).

Elektriska lastbilar

Elektriska lastbilar avger betydligt mindre ljud än traditionella lastbilar och hur detta påverkar cyklisters interaktioner med lastbilar valdes som test-scenari i projektet. Testpersonerna deltog som cyklister och fick uppleva två olika scenarier där hälften interagerade med en elektrisk lastbil och hälften med en traditionell diesel-lastbil.

Resultatet från experimentet visade att testpersonerna generellt cyklade långsammare när de interagerade med en elektrisk lastbil och att fler valde att bromsa när den närmade sig. En möjlig anledning till detta resultat kan vara att testpersonerna var osäkra på vilket typ av fordon som närmade sig och därför var lite mer försiktiga. Resultatet visade också att inbromsningen skedde lite senare jämfört med motsvarande scenario med diesel-lastbil vilket kan tyda på att det var svårt att uppfatta hur långt bort den elektriska lastbilen var. Svaren på frågeställningarna tyder också på att det var svårare att uppfatta hur stort fordonet som närmade sig bakifrån var samt hur snabbt det rörde sig jämfört med diesel-lastbilarna.

Upplevelse och simulatorsjuka

Efter experimentet fyllde testpersonerna själva i frågeformulär om upplevelsen i sin helhet ("immersion"), samt ifall de kände av någon form av simulatorsjuka. Inkluderingen i VR-miljön, d.v.s. "Immersion", bedömdes vara måttlig till hög med ett indexvärde av 3,6 vilket motsvarar andra VR simulatorstudier (Norén, 2022). Resultatet från frågorna om simulatorsjuka visade också på typiska resultat jämfört med andra VR-simuleringar med ett indexvärde på 25,66 (Norén, 2022). En relativt stor andel av testpersonerna upplevde någon form av simulatorsjuka och två personer avbröt experimentet på grund av illamående.

Realistiskt cyklande

I en del av experimentet ombads testpersonerna cykla genom området på samma sätt som en av cyklisterna från drönarfilmerna gjorde. Testpersonerna tog i dessa scenarier en annan cyklist "plats" vilket gör det möjligt att jämföra hur testpersonerna väljer att cykla jämfört med verkliga cyklister i samma scenario. Totalt skapades 6 olika scenarier och varje testperson upplevde 2 olika situationer.

¹³ Hartmann, T., Wirth, W., Schramm, H., Klimmt, C., Vorderer, P., Gysbers, A., . . . Sacau, A. (2015). The Spatial Presence Experience Scale (SPES). *Journal of Media Psychology: Theories, Methods, and Applications*, 1, 1-15. doi:10.1027/1864-1105/a000137

¹⁴ Kim, H. K., Park, J., Choi, Y., & Choe, M. (2018). Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Applied Ergonomics*, 69, 66-73. doi:https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.12.016

Den kvantitativa analysen av detta test har inte hunnits färdigställas i projektet men tidiga resultat tyder på att testpersonerna cyklar betydligt snabbare i simuleringen jämfört med de observerade cyklisterna. Det verkar också som att testpersonerna cyklade mer aggressivt när det kommer till att till exempel väja för andra fordon. Bilden nedan visar hur testpersonernas snabbare cykling (gröna linjer) har tagit dem längre jämfört med den observerade cyklisten (blå linje).



Figur 1. En bild ifrån en uppspelning av alla testpersonernas cykling (gröna linjer) som kan jämföras med den observerade cykeln (blå linje).

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utvecklingen av simulatoren kommer att publiceras. 2. Delar av koden som utvecklats kommer att göras tillgänglig via Github 3. Tillvägagångssätt för att filma och spåra verkliga väganvändare så att deras rörelsemönster kan återskapas i simulerade miljöer. 4. Valideringen av simulatoren planeras att publiceras i en vetenskaplig tidskrift.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Framtida projekt inom Traffic Safety Virtual Reality Hub på LTH kommer att använda plattformen. Ett fortsättningsprojekt planeras för att titta djupare på hur verktygen och metodiken kan användas för att utvärdera Functional Safety i kommunikationen mellan oskyddade trafikanter och uppkopplade självkörande fordon.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt		
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

7.2 Publikationer

- *Norén, H., Developing a Virtual Reality Bicycle Simulator in Unity for Traffic Safety Research Integration*, 2022, Bachelor's Thesis in Game Development, Malmö University (<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1674666&dswid=-1646>)
- Öppen källkod till cyklingen i simulatoren: <https://github.com/Whampaz/LU-VR-Bicycle-2022>

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Projektets mål har uppnåtts och resultatet är generellt positivt men det finns även utvecklingspotential hos identifierade områden, både när det kommer till cykelsimulatorens och experimentdesignen men särskilt när det kommer till hur detta bör appliceras i en utvecklingsprocess av audio/visuella kommunikationstekniker.

Angående simulatoren så har den utvecklade cykelsimulatorens funktionsområde ungefär som planerat. Det är relativt smidigt att skapa virtuella miljöer och att skapa realistisk trafik utifrån en vald verklig miljö. Det finns dock en antal saker som kan förbättras. Exempel på detta är att fotbromsen i cykelsimulatorens inte har fungerat perfekt och att det saknas en handbroms, och att det inte är möjligt att luta cykeln i vare sig den fysiska eller virtuella miljön, vilket kan göra upplevelsen av cyklandet lite konstig beroende på trafiksituation.

Hur VR-simulering skulle kunna användas mer effektivt i utvecklingsprocessen är en mer komplicerad fråga som behöver hanteras i framtida fotsättningsprojekt. Resultatet ifrån detta projekt visar att det är relativt snabbt och enkelt att testa ett audio/visuellt kommunikationskoncept i VR men att det fortfarande är oklart exakt hur värdefullt resultatet är när det kommer till utvecklingen av ny teknik / nya produktlösningar. Det är till exempel inte säkerställt att ett realistiskt beteende i simuleringen innebär att bedömningen av en ny teknik också går att lita på fullt ut. En mappning har dock gjorts av state-of-art för vilka aspekter som behöver kunna hanteras i en utvecklingsprocess för att säkerställa beteenden och representativa resultat. Framtida forskning borde fokusera på hur VR-simulering inkluderas i utvecklingsprocessen samt studera hur väl resultatet överensstämmer med verkliga tester som hittills främst kunnat göras senare i utvecklingsprocessen. När det gäller kommunikation mellan olika väganvändare finns det även uppenbara användningsområden kopplade till funktionell säkerhet, ett högprioriterat område när det kommer till utvecklandet av nya transportlösningar som är beroende av elektronik.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Lunds universitet - Institutionen för teknik och samhälle

Carmelo D'Agostino, Koordinator, Lund University –
Transport & Roads Division,
carmelo.dagostino@fft.lth.se



Volvo Lastvagnar

Patrik Blomdahl, Projekt-koordinator på
Volvo, Volvo Technology: Cab Engineering,
Cab Safety & EUF,
patrik.blomdahl@volvo.com

