

En co-simuleringsmiljö för körsimulering av oskyddade trafikanters interaktion med självkörande fordon

Slutrapport

Publik rapport



Författare: Mattias Hjort, Anders Andersson, Laban Källgren, Björn Blissing, Martin Insulander, Linus Lindvall, Jon Friström

Datum: 2021-04-29

Projekt inom Elektronik, mjukvara och kommunikation

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	3
3 Bakgrund.....	4
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	5
5 Mål	5
6 Resultat och måluppfyllelse	6
7 Spridning och publicering	10
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	10
7.2 Publikationer.....	10
8 Slutsatser och fortsatt forskning	11
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	11

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.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

En co-simuleringsmiljö som innefattar kör-, gång- (VR) och trafik-simulering har realiserats där interaktionen mellan oskyddade trafikanter och automatiserade fordon kan studeras. Ett område runt Vallastaden i Linköping har modellerats med hjälp av verktyg som utvecklades inom projektet och som omvandlar geodata till körbara trafikmiljöer och körscenarier. Dessa miljöer kan sedan utrustas med AI-baserade trafikaktörer (fordon, gångtrafikanter, cyklister, m.fl.) som är generiska. Denna ansats som bygger på konstruktion av en "digital tvilling" är kostnadseffektiv och möjliggör användarcentrerad utveckling.

De direkta projektresultaten utgörs av de utvecklingsverktyg som behövdes för miljöutvecklingen samt en demonstrator av en co-simulering. Utvecklingsverktygen möjliggör specifikation, design, test och validering av hållbar mobilitet i form av självkörande fossilfria fordon på en given geografisk yta. Tillämpningar är bland annat design av körvägar, hållplatslägen och transferpunkter, men också utformning av själva fordonen och deras gränssnitt, såväl externt som internt. Ett annat resultat är den metod- och teknikkunskap som byggts upp hos Scania, underleverantören Geistt (SME) och VTI. Ett tidigare verktyg för kartdata vidareutvecklades och användes för att modellera vissa vägsträckor i Vallastaden för körsimulering och VR-simulering.

2 Executive summary in English

A multi-player co-simulation environment that includes driving, walking (VR) and traffic simulators has been realized where the interaction between vulnerable road users and automated vehicles can be studied. An area around Vallastaden in Linköping has been modelled using tools that were developed within the project and that convert geodata into drivable simulator traffic environments and driving scenarios. These environments can then be equipped with AI-based traffic actors (vehicles, pedestrians, cyclists, etc.) that are generic. This approach, which is based on the construction of a "digital twin", is cost-effective and enables user-centered development.

There is general consensus regarding the fact that attaining sustainable travel and transport in the future will require an increased share of public and shared solutions. Within public transport (PT), prioritized routes are considered part of such a solution. With prioritized PT, infrastructure and vehicles are designed for efficient on- and off-loading of passengers, and higher average speeds, with longer distance between stops. This, in combination with safe and timely operations, reasonable ticket fares, short waiting times etc. is expected to provide realistically competing alternatives to commuting and running errands using private cars. One problem, however, is that the "first" and "last" mile of such trips must also be catered for. While walking, biking or e-biking are certainly all part of the answer – and, additionally, beneficial from a public health perspective – there are many use cases, including those related to individual needs or shortcomings, which call for supplementary local transport to complement prioritized PT. From an economical perspective, a bus route can hardly be operated when passenger averages drop below 8-10 people, due to the increasingly high relative cost of the driver. Therefore, self-driving (or "automated driving, AD), electrified small "pods" or shuttles have in the past few years been developed as an alternative, and trials are on-going in many cities around the world, and now also around Vallastaden incorporating Linköping University. One crucial question in this context is how to ensure traffic safety in the interaction between vulnerable road users (VRUs) and the self-driving vehicles.

Therefore, the focus of the present project was on developing re-usable tools and a flexible multi-player co-simulation driving environment which can be used for research, feasibility testing, requirements specifications and planning.

Specifically, the following goals were set:

- Develop geodata conversion tool
- Model in VR + driving simulator
- Develop multi-player simulator with AI-driven actors
- Increase technical and methodological knowledge

The co-simulation architecture was based on the Geistt Run-Time Infrastructure (RTI). This RTI uses a cloud-based server responsible for aggregating and distributing all signals from all dynamic objects inside the co-simulation. The software for various simulators in the project was developed to incorporate the RTI. The open-source traffic simulation tool SUMO (Simulation of Urban Mobility) was also made available for co-simulation. This was done by controlling SUMO through its Python-based Traffic Control Interface. In this work, the SUMO has been connected to the RTI such that all co-simulated vehicles know each other.

Utilizing the developed environment, a co-simulation with 7 connected actors, including an autonomous bus, a pedestrian simulator and SUMO, was successfully demonstrated as shown in a video at <https://www.vti.se/multiplayer>.

The direct project results consist of the implemented development tools for environmental development and a demonstrator of a co-simulation. The development tools enable the specification, design, testing and validation of sustainable mobility in the form of self-driving fossil-free vehicles in a given geographical area. Applications include design of driveways, bus stops and transfer points, but also design of the vehicles themselves and their interfaces, both externally and internally. Another result is the method and technology knowledge built up at Scania, the subcontractor Geistt (SME) and VTI. An earlier tool for map data was further developed and used to model certain road sections in Vallastaden for driving simulation and VR simulation.

3 Bakgrund

Det finns en allmän enighet om att hållbara resor och transporter i framtiden kommer att kräva en ökad andel offentliga och delade lösningar. Inom kollektivtrafiken anses prioriterade rutter vara en del av en sådan lösning. Med prioriterad kollektivtrafik är infrastruktur och fordon utformade för effektiv på- och avlastning av passagerare och högre medelhastigheter med längre avstånd mellan stopp. Detta, i kombination med säkra och tidsprecisa resor, rimliga biljettpriser, korta väntetider etc. förväntas ge alternativ som kan konkurrera med pendling och ärenden med privata bilar. Ett problem är dock att den "första" och "sista" milen av kollektiva resor också måste tillgodoses. Medan promenader, cykling eller e-cykling helt klart är en del av svaret - och dessutom fördelaktigt ur ett folkhälsoperspektiv - finns det många användningsfall, inklusive sådana som är relaterade till individuella behov eller brister, som kräver komplement till den lokala prioriterad kollektivtrafiken. Ur ett ekonomiskt perspektiv kan en busslinje knappast köras när genomsnittet för passagerare sjunker under 8-10 personer på grund av den ökande relativa kostnaden för föraren. Därför har autonom (eller "automatiserad körning", AD) av elektrifierade små "poddar" eller "skyttlar" de senaste åren utvecklats som ett alternativ, och försök pågår i många städer runt om i världen, inklusive flera i nuvarande drift eller under planering i Sverige, inklusive i Barkarby (Stockholm) och Lindholmen (Göteborg). Internationella exempel är CityMobil2-projektet med implementeringar och prövningar i Finland och Schweiz (CityMobil2-konsortiet), WEPods-projektet i Nederländerna (WEPods-konsortiet, 2015), Ile-de-France Mobilités i Paris (Cities Today, 2017), "Kip" Shuttle vid Curtin University, Perth, Australien (Curtin University), och "Olli"-bussarna med samtalsgränssnitt från IBM, med i National Harbor, MD, USA (IBM), för att bara nämna några. En omfattande sammanställning finns på <https://imovecrc.com/its-projects-trials-list/>. Nationellt har flera svenska städer precis börjat, eller

planerar provningar med självkörande skyttlar. De första som kom igång var Autopiloten i Kista (Drive Sweden (januari-nyheter), 2018) och ett liknande projekt i Göteborg (Drive Sweden (maj-nyheter), 2018). Flera sådana projekt inkluderar också visualiseringskomponenter, med 3D VR-återgivning av avsedd ombyggnad av gator och stadsmiljöer, som visar hur AD-skyttlar kan vara en del av smart mobilitet. En partner (Geistt) har tidigare erfarenhet från det ovan nämnda Barkarby-projektet. En avgörande fråga i detta sammanhang är hur man kan säkerställa trafiksäkerhet i samspelet mellan oskyddade trafikanter och de självkörande fordonen. Fokus för det aktuella projektet var därför att utveckla återanvändbara verktyg och en flexibel co-simuleringsmiljö med flera samverkande aktörer/simulatorer, multi-player, som tillsammans återger denna nya komplexa trafikmiljö och kan användas för forskning, genomförbarhetstestning, kravspecifikationer och planering.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Projektets syfte har varit att utveckla en mängd möjliggörande verktyg för co-simulering med flera aktörer, samt en återanvändbar miljö med många användningsområden. Både Scania och VTI kommer att ha omedelbar användning av verktyget i både gemensamma och separata projekt. Då ett nystartat projekt i Linköping - "Vallastaden", finansierat av Naturvårdsverket, stod i begrepp att introducera ett par autonoma bussar för att trafikera en slinga runt Universitetsområdet (förbi VTI) var det bestämt att en digital tvilling av detta område skulle skapas och användas i projektet, tillsammans med en modell av den självkörande bussen.

Arbetet delades upp i följande delar:

- Utveckling av verktyg för att konvertera geodata till en miljö användbar för körsimulering
- Applicera verktygen på det relevanta området och skapa återanvändbar miljö
- Utveckla autonoma och AI-baserade modeller för automatiserad styrning av fordon och oskyddade trafikanter för simuleringsmiljön
- Utveckla möjlighet att genomföra co-simulering med flera mänskligt styrda aktörer i en uppkopplad Virtual Reality- (VR) och körsimulatormiljö.
- Demonstrera ett scenario
- Identifiera forskningsfrågor som kan adresseras med de utvecklade verktygen, samt definiera 1-2 användbara scenario för att studera interaktion mellan oskyddade trafikanter och självkörande fordon.

Metoderna utgörs huvudsakligen av mjukvaruutveckling. Den sista punkten använde sig av en intern workshop med trafikforskare.

5 Mål

Målen för projektet så som de redogjordes för i projektansökan var:

- Utveckla ett konverteringsverktyg för geodata
- Ta fram omvärldsmodell för användning i VR-simulator och körsimulator
- Utveckla en multi-player simulator med AI-drivna aktörer
- Ökad teknisk och metodmässig kunskap

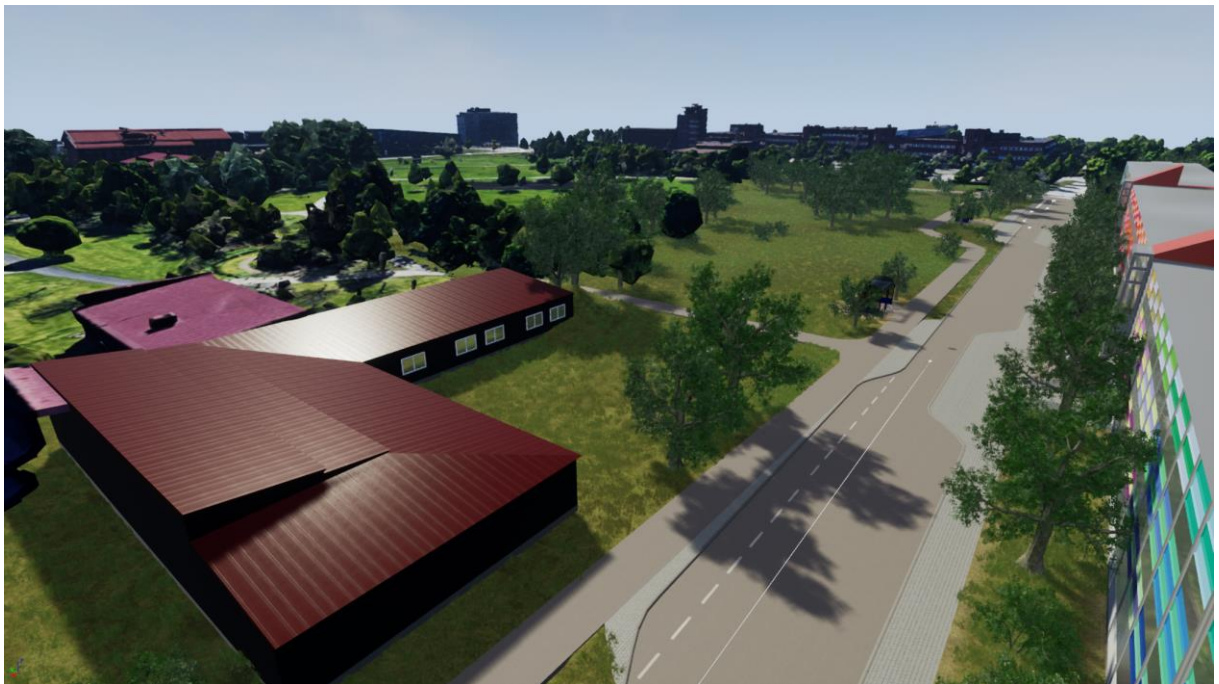
6 Resultat och måluppfyllelse

Utveckling av konverteringsverktyg för geodata, samt ta fram omvärldsmodell för användning i VR-simulator och körsimulator:

Efter att ha undersökt marknaden för kommersiella mapping-verktyg för framtagning av körsimuleringsmiljöer så valdes det mest lovande, Trian3DBuilder, ut för utvärdering. En provlicens av verktyget användes för att generera en basmodell av den digitala tvillingen av det aktuella testområdet. Geodata från OpenStreetmap har använts som indata till verktyget, i vilket förfiningar av vägmodellen har genomförts för hand. Slutsatserna var att verktyget inte var tillräckligt moget för att kunna användas utan en avsevärd mängd manuell efterbearbetning. Bland annat så är den genererade vägbeskrivningen väldigt enkel med avseende på vägars kurvatur, vilket kan vara ett problem för många simulatorer. Vidare så fanns en hel del artefakter bland genererade objekt, så som byggnader, och i många fall saknades byggnader helt.

Verktyg för att komplettera basmodellen från Trian med korrekta byggnader togs därför fram, vilket gjorde det möjligt att automatgenerera byggnader i modellen från data tillgängligt i OpenStreetmap. En metod för att texturera byggnader från egen-tagna fotografier har också utvecklats, och använts för att färdigställa byggnaderna i modellen. Vägbeskrivningen, vilken följer den öppna standarden OpenDrive, omarbetades delvis med ett av VTI tidigare utvecklat verktyg för en lämpligare beskrivning av vägens kurvatur.

Slutförandet av modellen med mindre objekt såsom vegetation i form av buskar och träd gjordes för hand då geodata för dessa objekt inte existerar. Simulatormodellen av den del av Vallastaden som trafikeras av den autonoma bussen är därmed slutförd. Tillsammans med en modell av den självkörande bussen kan den nu användas för simulatorbaserade studier av interaktion mellan oskyddade trafikanter och autonoma fordon.



FIGUR 1: Den skapade simulatormodellen sedd ovanifrån



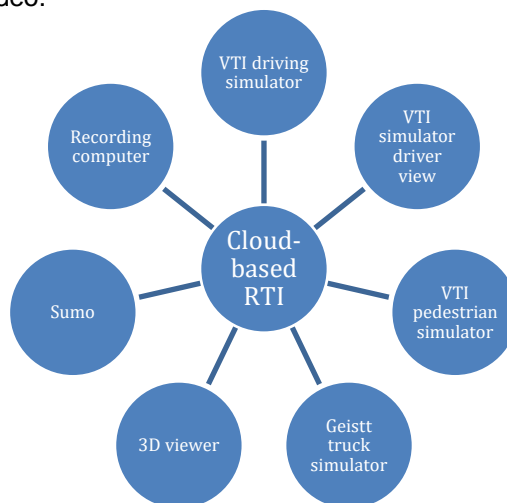
FIGUR 2: Den skapade modellen: vy av VTI-byggnaden sedd från två olika riktningar

Utveckla en multi-player simulator med AI-drivna aktörer:

En co-simuleringsarkitektur har tagits fram genom att specificera ett kommunikationsgränssnitt för kommunikation mellan olika simulatorer/datorer. Krav på gränssnittet är att det ska vara tillräckligt generellt för att kunna hantera flera typer av aktörer, från renodlade kör-simulatorer och VR simulatorer till trafiksimuleringsprogram för fordon och fotgängare. En viktig komponent i denna arkitektur är spelmotorn Unreal Engine (Epic Games') som används dels för att generera den grafiska miljön i simulatorerna, men som också har funktioner för att skapa exempelvis AI-baserade fotgängare.

Kommunikationsprotokollet bygger på ett Run-Time Infrastructure (RTI) utvecklat av Geistt. Denna RTI använder en molnbaserad server för att aggregera och distribuera signalerna från alla dynamiska objekt i co-simuleringen. RTI:et är baserat på en publish-subscribe-arkitektur med SocketCluster (en WebSocket-baserad meddelandemäklare) som en mekanism för utbyte av meddelande och Google Protobuf (protokollbuffertar) för serialisering av överförda data. Vidare behövde RTI-komponenterna integreras i de olika simulatorerna. Här användes C++ - gränssnittet för att knyta ihop olika simulatorprogramvarukomponenter. RTI:et innehåller också en webbaserad applikation för körning och övervakning av co-simuleringen i realtid.

Co-simuleringens-arkitekturen testades genom att simultant koppla 7 olika aktörer till det molnbaserade RTI:et och genomföra en simulering med ett scenario framtaget i projektet för att studera interaktion mellan fotgängare och självkörande fordon, med ytterligare trafik inblandad. Trots att de olika aktörerna var fysiskt separerade på avstånd upp till 200 km så löpte simuleringen på utan problem och inspelningar från de olika aktörerna synvinklar dokumenterades på video.



FIGUR 3: Schematisk bild över det testade co-simuleringsfallet

Aktörerna var i detta fall:

- VTI körsimulator: VTI:s körsimulatorkärna användes för att styra den självkörande bussen.
- VTI simulator förarvy: En passagerare i den självkörande bussen kan uppleva färden inifrån bussen via ett VR-headset.
- VTI fotgängarsimulator: En person med VR-headset i fotgängarsimulatorens promenerar i miljön.
- Scania lastbilssimulator: En förare i simulatorens framför en lastbil.
- SUMO: AI-baserade personbilar från trafiksimuleringsverktyget SUMO (Simulation of Urban Mobility).
- 3D-viewer för extern monitorering av simuleringen.
- Inspelningsutrustning för att spela in utvalda vyer i simuleringen på video.

AI-drivna aktörer var i detta fall omgivande trafik från SUMO, men skulle också kunna vara intelligent trafikgenerering från VTI:s simulatorkärna, eller autonoma fotgängare styrda av Unreal Engine.

För Scania-simulatorens, visualiseringssystemet för VTI-skrivbordssimulatorens och VTI-fotgängarsimulatorens utfördes RTI-integrationen genom att bygga ett Unreal Engine-plugin. Detta plugin gör det möjligt att integrera simuleringstillstånd i en Unreal Engine-applikation, antingen via ett C++ - gränssnitt eller via Unreals Blueprint Visual Scripting-system.

VTI-simulatorens kärnprogramvara integrerades via ett C++ gränssnitt mot RTI:et. Integrationen med SUMO realiserades genom att kontrollera SUMO via sitt Python-baserade Traffic Control Interface. I detta arbete har SUMO kopplats till RTI så att alla co-simulerade fordon känner av varandra.

Fotgängarsimulatorens behövde anpassas för att överföra personens tillstånd i simulatorens, såsom position, hastighet och orientering. Detta tillstånd visualiserades i de andra simulatorens som en animerad avatar. Fotgängaravataren stödde två animeringslägen; stillastående och gång, och fotgängarens avatarriktning justerades för att matcha personens synriktning i simulatorens.



FIGUR 4: Fotgängare i fotgängarsimulatorens (till vänster) och hur denne uppfattas i simuleringen (till höger)

De mål avseende co-simuleringsmöjligheter som beskrivs i projektansökan är därmed fullt uppnådda, med en fungerande miljö som är redo att användas i framtida forskning och utveckling.

Inom projektet så har också en intern workshop genomförts med trafikforskare för att ta fram ett användbart scenario för att kunna studera interaktionen mellan fotgängare och självkörande fordon. Scenariot, vilket implementerades i co-simuleringstestet, involverar en försöksperson i

fortgångarsimulator som ska interagera med en självkörande buss genom att passera vägen. Den självkörande bussen styrs av simulatorkärnan med algoritmer för hur den ska anpassa sig till omgivande objekt och trafik, alternativt via en "Wizard of Oz"-lösning där en person får agera autonomt fordon. Bussens hastighet, samt avståndet där bussen först siktas av fotgängaren kan alterneras.

Ökad teknisk och metodmässig kunskap:

Projektet har huvudsakligen bestått av teknisk utveckling inom ett för parterna förhållandevis nytt område. Det nära samarbetet mellan VTI och Scantias underleverantör Geistt har lett till ett stort utbyte av kunskap och idéer, samt en ökad gemensam teknisk nivå inom området.

Projektet har bidragit till följande FFI-mål:

- Öka svensk kapacitet för forskning, utveckling och innovation, förbättra konkurrenskraften och skapa jobb inom fordonsindustrin
- Främja deltagande av små och medelstora företag genom att införliva Geistt
- Främja samarbete mellan industri, små och medelstora företag och forskningsinstitut

Inom FFI-delprogrammet "Elektronik, mjukvara och kommunikation" bidrar projektet främst till följande områden:

1. "Off-board" -arkitektur och anslutna fordon - De automatiska pendlarna och prioriterade PT-fordon som simuleringsmodellen bygger på är en del av en MaaS-lösning (Mobility as a Service), där trafiken styrs både av tidtabeller och individuell efterfrågan. Detta projekt utvecklar teknik så att denna typ av transportlösning kan studeras i en virtuell "digital tvilling" -miljö.
2. Mänsklig maskininteraktion (HMI) och användarupplevelse (UX) - genom att möjliggöra riskfri interaktion mellan oskyddade trafikanter och fordon möjliggörs många interaktions- och beteendestudier.
3. Verifiering och validering - projektet tillhandahåller verktyg och en mjukvarumiljö som kan användas för validering av digitalt specificerade mobilitetslösningar mot den verkliga världen. Det modellerade området "Vallastaden" används i ett pilotprojekt i Linköping som har som mål att flytta privata bilpendlare till allmänna, elektrifierade transporter, vilket innebär att de transportpolitiska målen för gröna och hållbara transporter också tas upp, om än indirekt.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatsspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Områden: geodataverktyg för scenarioutveckling; VR och körsimulering; co-simulering; AI-metoder för simulerade trafikanter; scenarioplanering för trafiksäkerhetsforskning i co-simulerade miljöer.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Kommer att vara en resurs för forskningsplattformen som utgörs av Vallastadenprojektet i Linköping. Kommer också att användas i R&D projekt hos Scania och VTI.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Scania planerar att använda resultaten i flera faser av deras utvecklingsprocess.
Introduceras på marknaden	X	Geistt kan komma att återanvända, marknadsföra och sälja produkter baserad på know-how och teknologi som tagits fram i projektet.
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut	X	Många aspekter av trafiksäkerhet kopplat till självkörande fordon av varierande grad av automation (speciellt SAE nivå 3) återstår att lösa. Dessa kan studeras med hjälp av de verktyg och modeller som utvecklats i projektet.

Projektets resultat är av teknisk natur och den huvudsakliga kunskapsspridningen sker genom en presentation på den årligt förekommande Driving simulation and Virtual Reality Conference. I samband med detta kommer också en vetenskaplig artikel att publiceras i form av ett konferensproceeding.

En mindre teknisk presentation av projektet och dess resultat sprids till allmänhet via en dedikerad websida på vti.se (<https://www.vti.se/multiplayer>). Här finns även en video som demonstrerar hur sex olika simulatorer kopplas ihop i en co-simulering med hjälp av tekniken som utvecklats i projektet. Videon kommer också att spridas via sociala medier.

De utvecklade metoderna kommer bl.a. att användas i det av Vinnova finansierade projektet Smarta Gator, där VTI:s fotgängarsimulator kommer att användas för att demonstrera tänkbara lösningar för framtidens gator i storstäder.

Vidare kommer den framtagna modellen av Universitetsområdet i Linköping med självkörande buss att vara ett användbart verktyg för kommande studier av interaktion mellan trafikanter av olika slag och självkörande fordon.

7.2 Publikationer

Anders Andersson, Martin Insulander, Björn Blissing, Mattias Hjort, Andreas Jansson, Jon Friström, Linus Lindvall. **Co-simulation architecture with pedestrian, vehicle, and traffic simulators.** Proceeding at the 20th Driving simulation and Virtual Reality Conference, DSC 2021, September 14-17, 2021 Munich.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

En flexibel simulatorplattform som använder en co-simuleringsarkitektur möjliggör ett snabbt sätt att ansluta simulatorkomponenter och testa komplexa trafiksituationer. Hantering, distribution och synkronisering av miljö- och visuella modeller förenklades av att alla interaktiva simulatorer använde samma renderingverktyg för grafik (Unreal Engine). Co-simuleringsmöjligheten gör det lätt att använda olika simulatorer och trafikmiljöer när man undersöker vilka möjligheter som finns för en full studie. Det går att uppleva miljön från förar-, cyklist- eller fotgängarperspektiv med olika trafikvolymmer i vår installation.

Användningen av SUMO som trafikgenerator för interaktiva körsimulatorer utvärderades och bedömdes generellt som användbart. Den ansågs dock vara otillräcklig för mycket interaktiva simuleringsscenarier med avseende på realism, särskilt vid laterala rörelser som körfältsbyten. Detta är inte förvånande då SUMO i grunden inte är utvecklad för denna typ av simulering, och det finns säkerligen möjlighet att förbättra fordonens beteende även för körsimulering.

Introduktion av nätverksmeddelanden mellan fysiskt separerade simulatorer introducerar naturligtvis latens, vilket omedelbart märks i mycket interaktiva simulatorer som de som används här. I det här fallet var svarstiderna mellan anslutna simulatorer cirka 65 ms. Vid behov kan denna latens troligen förbättras genom att använda en mer direkt anslutning i stället för en molntjänst. En annan förbättring kan vara att införa algoritmer för latenskompensation eller på ett intelligent sätt välja var olika komponenter som ska anslutas och välja vilken information som ska gå via servern eller skickas direkt mellan noder. Hur man löser specifika latensproblem är ett prioriterat område för fortsatt forskning.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

VTI:	Mattias Hjort: mattias.hjort@vti.se Anders Andersson: anders.andersson@vti.se Björn Blissing: bjorn.blissing@vti.se
Scania:	Stas Krupenia: stas.krupenia@scania.com Jon Friström: jon.fristrom@scania.com Linus Lindvall: linus.lindvall@scania.com
Geistt:	Martin Insulander: martin.insulander@geistt.com

