



V2X: trafiksäkerhet och miljöfördelar i ITS

Examensarbete

IoT-Developer - kyh

Student: Malte Mindedal

Tel: 072-312 68 13

Mejl: malte.mindedal@student.kyh.se

Abstract

This thesis explores the transformative potential of Vehicle-to-Everything (V2X) communication within Intelligent Transportation Systems (ITS) to enhance road safety and environmental sustainability. Through a comprehensive review of existing literature, detailed case studies, and simulation analyses, the study highlights several key findings.

V2X communication significantly reduces collision rates and improves safety at intersections and for pedestrians by facilitating timely alerts and better coordination among vehicles. Additionally, V2X technologies contribute to reduced fuel consumption and emissions, promoting better urban air quality through optimized driving patterns.

Despite these benefits, several challenges hinder the widespread adoption of V2X technologies, including security and privacy concerns, substantial infrastructure investments, the need for standardization and interoperability, and consumer acceptance.

To address these challenges, the thesis recommends incorporating primary data collection through field experiments, conducting longitudinal studies, expanding research to diverse contexts, developing robust security protocols, fostering interdisciplinary collaboration, implementing public awareness campaigns, and encouraging continuous technological innovation.

Sammanfattning

Denna avhandling undersöker den transformativa potentialen hos Vehicle-to-Everything (V2X) kommunikation inom intelligenta transportsystem (ITS) för att förbättra trafiksäkerheten och miljömässig hållbarhet. Genom en omfattande genomgång av befintlig litteratur, detaljerade fallstudier och simuleringsanalyser lyfter studien fram flera nyckelfynd.

V2X-kommunikation minskar kollisionfrekvensen avsevärt och förbättrar säkerheten i korsningar och för fotgängare genom att underlätta snabba varningar och bättre samordning mellan fordon. Dessutom bidrar V2X-teknologier till minskad bränsleförbrukning och utsläpp, vilket främjar bättre stadsluftkvalitet genom optimerade körmönster.

Trots dessa fördelar hindrar flera utmaningar den utbredda användningen av V2X-teknik, inklusive säkerhets- och integritetsproblem, betydande infrastrukturinvesteringar, behovet av standardisering och interoperabilitet och konsumentacceptans.

För att ta itu med dessa utmaningar rekommenderar avhandlingen att man integrerar primär datainsamling genom fältexperiment, genomför longitudinella studier, utökar forskningen till olika sammanhang, utvecklar robusta säkerhetsprotokoll, främjar tvärvetenskapligt samarbete, implementerar kampanjer för allmänhetens medvetenhet och uppmuntrar kontinuerlig teknisk innovation.

Lista över förkortningar

V2X	Vehicle-to-Everything
V2V	Vehicle-to-Vehicle
V2I	Vehicle-to-Infrastructure
V2P	Vehicle-to-Pedestrian
V2N	Vehicle-to-Network
ITS	Intelligent Transport systems
CV	Connected Vehicle
CVLLA	Connected Vehicle with Lower Level Automation
BEV	Battery Electric Vehicle
CA	Collision Avoidance

Innehåll

Abstract	ii
Sammanfattning	iii
Lista över förkortningar	iv
Innehåll	v
1. Inledning.....	1
1.1 Syfte.....	1
1.2 Problemformulering.....	2
1.3 Avgränsningar	3
1.4 Metod.....	5
2. Teori	7
2.1 Intelligent Transport Systems	7
2.2 Vehicle-to-Everything-kommunikation.....	7
2.2.1 Vehicle-to-Vehicle (V2V).....	7
2.2.2 Vehicle-to-Infrastructure (V2I).....	7
2.2.3 Vehicle-to-Network (V2N).....	8
2.2.4 Vehicle-to-Pedestrian (V2P)	8
2.3 Cooperative Driving	8
2.3.1 Konvojkörning	9
2.3.2 Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC):	9
3. Resultat.....	10
3.1 Säkerhetsförbättringar	10
3.1.1 Minskad kollisionfrekvens	10

3.1.2 Förbättrad säkerhet för utsatta trafikanter	10
3.2 Miljöfördelar	11
3.2.1 Minskad bränsleförbrukning	11
3.2.2 Minskade utsläpp	12
3.2.3 Förbättrad luftkvalitet i städerna	12
3.3 Utmaningar och hinder	13
3.3.1 Säkerhets- och integritetsproblem	13
3.3.2 Investeringar i infrastruktur	13
3.3.3 Standardisering och interoperabilitet	13
3.3.4 Konsumentacceptans	13
4. Diskussion	14
4.1 Utvärdering av forskningsmetodik	14
4.1.1 Litteraturgenomgång	14
4.1.2 Case-studier och simuleringar	15
4.2 Undersökningens styrkor och svagheter	15
5. Slutsats och rekommendationer	17
5.1 Rekommendationer	17
6. Referenser	18

1. Inledning

Trots framsteg inom fordonsteknik är traditionella körmönster fortfarande begränsade av mänskliga förmågor. Reaktionstider och begränsad uppfattning kan bidra till olyckor, medan ineffektiva körmönster förvärrar trängsel och bränsleförbrukning. För att överskrida dessa begränsningar krävs nya tekniker.

Inom området Intelligent Transport Systems (ITS) har uppkopplade och autonoma fordon, potential att förändra världen. Ett nyckelbegrepp är Cooperative Driving, där fordon delar information med varandra genom Vehicle-to-Everything-kommunikation (V2X), vilket utökar fordonens situationsmedvetenhet och möjliggör samordnat beslutsfattande.

1.1 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka de potentiella effekterna av CD som underlättas av V2X-kommunikation på trafiksäkerhet och miljömässig hållbarhet. Genom att analysera aktuell forskning, fallstudier och verkliga tillämpningar syftar denna avhandling till:

Bedöma säkerhetsförbättringar: Utvärdera hur V2X-kommunikation kan förbättra trafiksäkerheten genom att minska olycksfrekvensen, förbättra säkerhet i korsningar och för fotgängare samt effektivisera uttryckningstider.

Utvärdera effekt på miljö: Undersöka miljöfördelarna med cooperative driving, inklusive minskad bränsleförbrukning, minskade utsläpp, främjande av miljövänlig körning och förbättrad luftkvalitet i städer.

1.2 Problemformulering

Trots betydande framsteg inom fordonsteknologi förblir traditionella körmetoder begränsade av mänskliga faktorer, vilket bidrar till trafikolyckor, trängsel och överdriven bränsleförbrukning.

Det centrala problemet som tas upp i denna avhandling är:

Hur kan cooperative driving genom V2X-kommunikation förbättra trafiksäkerheten och miljömässig hållbarhet?

För att lösa detta problem kommer följande frågor utforskas:

Hur förbättrar V2X-kommunikation fordonens situationsmedvetenhet och minskar sannolikheter för olyckor?

Vilka är de specifika metoder som genom V2X-tekniken bidrar till säkrare korsningar och förbättrad fotgängarsäkerhet?

På vilka sätt minskar kooperativ körning bränsleförbrukning och utsläpp, och hur påverkar detta luftkvaliteten i städerna?

1.3 Avgränsningar

För att bevara en fokuserad och hanterbar omfattning kommer detta arbete att exkludera vissa områden och aspekter relaterade till V2X-kommunikation. Begränsningarna är följande:

Ekonomisk analys: Arbetet kommer inte att innehålla en analys av kostnaderna och fördelarna förknippade med implementeringen av V2X-teknologier. Även om de potentiella kostnadsbesparingarna från minskade olyckor och förbättrad bränsleeffektivitet kommer att nämnas, ligger en omfattad ekonomisk analys utanför ramen för denna studie.

Regler och policy: Arbetet kommer inte fördjupa sig i de specifika regelverk och policyramar som behövs för att stödja distributionen av V2X-teknologier. Även om betydelsen av reglering för datasekretess, säkerhet och standardisering kommer att erkännas, kommer avhandlingen inte att ge en detaljerad undersökning av detta.

Detaljerade tekniska specifikationer och protokoll för V2X-teknologier, såsom de exakta algoritmerna som används för kommunikation, specifika hårdvarukrav eller detaljer om mjukvaruimplementering, kommer inte att täckas.

Mänskliga faktorer och förarbeteende: Studien kommer inte i stor utsträckning att täcka de psykologiska och beteendemässiga aspekterna av hur förare interageras med V2X-aktiverade fordon. Även om avhandlingen kommer att beröra allmänna fördelar för förares medvetenhet och reaktionstider ligger djupgående analys av mänskliga faktorer och beteendeförändringar utanför ramen för denna studie.

Marknadsantagande och konsumentacceptans: Arbetet kommer inte att undersöka marknadsantagande och konsumenternas acceptans av V2X-teknologier. De potentiella utmaningarna relaterade till allmänhetens uppfattning, acceptans och adoption kommer att nämnas, men en detaljerad analys kommer inte att inkluderas.

Långsiktiga effekter på infrastrukturen: Studien kommer inte ta upp de långsiktiga effekterna på infrastrukturutveckling och underhåll, såsom hur V2X-tekniken kan påverka vägdesign, stadsplanering eller kollektivtrafik under de kommande decennierna.

Tillämpningar utanför fordonsindustri: V2X-kommunikation utanför området för fordonstransporter, såsom dess användning i sjö- eller luftfartssammanhang, kommer inte att utforskas. Fokus kommer att förbli strikt på vägfordon och deras interaktioner inom stads- och motorvägsmiljöer.

Genom att tydligt avgränsa dessa områden syftar avhandlingen till att upprätthålla en koncentrerad undersökning av de primära forskningsfrågorna relaterade till säkerhets- och miljöpåverkan av samkörning genom V2X-kommunikation.

Detta fokuserade tillvägagångssätt säkerställer en grundlig och sammanhängande analys inom de definierade gränserna för studien.

1.4 Metod

För att ta itu med frågeställningarna och uppnå målen med denna avhandling kommer en nyanserad metod användas:

Studien inleds med en omfattande litteraturgenomgång för att etablera en teoretisk grund och identifiera aktuella trender inom V2X-kommunikation och samarbetskörning.

Databaser som IEEE Xplore, Google Scholar, Scopus och ScienceDirect samt Google kommer att sökas med hjälp av nyckelord som "V2X-kommunikation", "cooperative driving", "intelligent transport systems", "Vehicle-to-Everything", "Vehicle-to-Vehicle", "Vehicle-to-Pedestrian", "Vehicle-to-Infrastructure", "trafiksäkerhet" och "miljöpåverkan".

Granskningen kommer att fokusera på litteratur som publicerats under de senaste 10 åren, inklusive vetenskapliga tidskriftsartiklar, konferensartiklar, branschrapporter, relevanta offentliga publikationer samt online-källor. Relevanta titlar och sammanfattningar kommer att granskas och fulltextartiklar kommer att analyseras för att extrahera nyckelinformation och sammanställa resultat.

För att få praktiska insikter kommer detaljerade fallstudier av viktiga V2X-projekt att analyseras. Studier kommer att väljas baserat på projektets skala, geografisk mångfald, typer av V2X-teknologier och datatillgänglighet. Data kommer att samlas in från projektrapporter, tekniska papper och genomförandedokument. Analysen kommer att utvärdera använda tekniker, projektresultat, säkerhets- och miljöfördelar samt utmaningar.

V2X-kommunikationens inverkan på säkerhets- och miljöfaktorer kommer att bedömas genom dataanalys. Data kommer att samlas in från akademiska studier, statliga rapporter och pilotprojektresultat med fokus på kvantitativa mätvärden som kollisionshäufigkeit, bränsleförbrukning, utsläppsnivåer och trafikflöden.

Sammanställning av studiernas resultat från litteraturöversikten och fallstudier görs för att identifiera gemensamma teman, fördelar och utmaningar förknippade med V2X-kommunikation. För att förstå de allmänna effekterna av V2X-tekniker på trafiksäkerhet och miljömässig hållbarhet, sammanställs information från flera källor för att ge en övergripande bild av situationen för V2X-implementering och dess möjligheter.

Genom att följa denna detaljerade metodik syftade arbetet till att ge en heltäckande och replikerbar bedömning av V2X-kommunikationens inverkan på trafiksäkerhet och miljömässig hållbarhet, samtidigt som arbetet identifierade viktiga utmaningar och områden för framtida förbättringar.

2. Teori

Detta Kapitel innefattar koncept som är viktiga för att kunna för att förstå resten av arbetet.

2.1 Intelligent Transport Systems

Intelligent Transport systems (ITS) representerar en bred kategori av teknologier och system utformade för att förbättra effektiviteten, säkerheten och hållbarheten hos transportnätverk. ITS integrerar avancerad kommunikationsteknik, databehandling och realtidsövervakning för att förbättra trafikledning, fordonsdrift och resenärsinformation (Intelligent Transport Systems, n.d.).

De primära målen för ITS är att minska trängsel, minimera miljöpåverkan och förbättra transportsystemens övergripande säkerhet och effektivitet. Genom att utnyttja modern teknik kan ITS underlätta bättre beslutsfattande och samordning mellan alla transportintressenter.

2.2 Vehicle-to-Everything-kommunikation

Vehicle-to-Everything-kommunikation (V2X) är en viktig del i ITS. V2X omfattar olika kommunikationstekniker som gör det möjligt för fordon att interagera med varandra samt med andra delar av transportinfrastrukturen (Vehicle-to-Everything, 2024).

2.2.1 *Vehicle-to-Vehicle (V2V)*

V2V-kommunikation gör att fordon kan utbyta information direkt med varandra. Detta inkluderar data om bland annat hastighet, plats, acceleration och bromsning. V2V-kommunikation kan förbättra situationsmedvetenheten och möjliggör koordinerade manövrar, såsom konvojkörning eller kooperativa filbyten (Avnet, n.d.)

2.2.2 *Vehicle-to-Infrastructure (V2I)*

V2I-kommunikation gör det möjligt för fordon att interagera med infrastruktur, såsom trafiksignaler, vägskyltar, och trafikledning. Denna kommunikation kan ge fordon information om trafikljusfaser, vägförhållanden och vägarbeten, vilket underlättar informerade körbeslut (RGSBI, n.d.)

2.2.3 Vehicle-to-Network (V2N)

V2N-kommunikation kopplar fordon till bredare nätverk, som mobilnät eller internet. Detta gör att fordon kan komma åt molnbaserade tjänster, ta emot programuppdateringar och kommunicera med andra nätverkssystem. V2N kan stödja ett brett utbud av applikationer, från navigering till fjärrdiagnostik (AutoPi, n.d.).

2.2.4 Vehicle-to-Pedestrian (V2P)

V2P-kommunikation gör det möjligt för fordon att upptäcka och interagera med fotgängare och cyklister, vanligtvis via deras mobila enheter. Denna teknik ökar säkerheten genom att varna både förare och fotgängare om potentiella kollisioner (Mpirical, n.d.).

Types of V2X communication

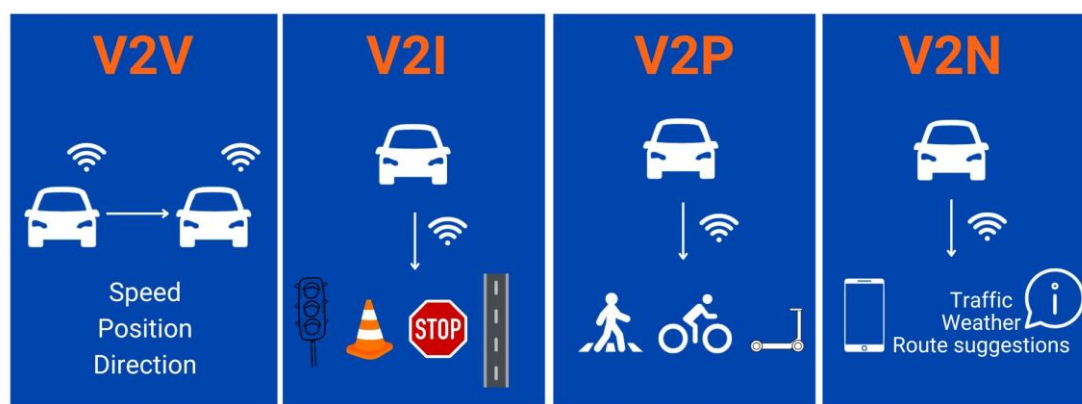


Fig. 1 Kort beskrivningsbild av V2X system

2.3 Cooperative Driving

Begreppet Cooperative Driving hänvisar till konceptet där fordon använder V2X-kommunikation för att samarbeta på ett koordinerat sätt, vilket förbättrar deras kollektiva situationsmedvetenhet och beslutsfattande förmåga (ScienceDirect, 2016)

2.3.1 Konvojkörning

Vid konvojkörning färdas en grupp fordon tätt tillsammans i höga hastigheter, med det ledande fordonet som bestämmer takten och riktningen. V2V-kommunikation säkerställer att alla fordon i konvojen kan accelerera, bromsa och styra gemensamt, vilket minskar det aerodynamiska motståndet och förbättrar bränsleeffektiviteten (Platoon (automobile), 2024).

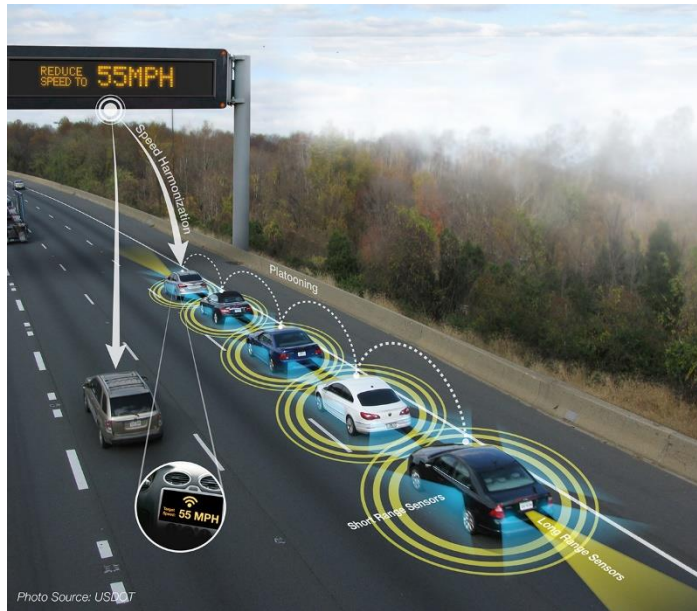


Fig. 2 Exempel för konvojkörning, där flera bilar agerar tillsammans som en grupp

2.3.2 Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC):

CACC utökar traditionell adaptiva farthållare genom att integrera V2V-kommunikation. Fordon utrustade med CACC kan reagera smidigare på förändringar i trafikflödet, bibehålla optimala hastigheter och säkra följavstånd (Cooperative Adaptive Cruise Control, 2023)

3. Resultat

Detta kapitel presenterar resultaten från litteraturoversikten av Cooperative Driving och Vehicle-to-Everything-kommunikation (V2X) inom Intelligent Transport Systems (ITS).

Resultaten fokuserar på V2X-kommunikationens inverkan på trafiksäkerhet och miljömässig hållbarhet, samt på utmaningarna och hindren för dess implementering.

Data samlades in från befintliga studier för att ge en heltäckande översikt över V2X-teknikens nuvarande tillstånd och framtidsutsikter.

3.1 Säkerhetsförbättringar

Implementeringen av V2X-kommunikationsteknologier har visat betydande förbättringar av trafiksäkerheten genom olika studier och pilotprogram.

3.1.1 Minskad kollisionshäufigkett

Shah (2019) visade att V2X-kommunikationsteknik förbättrar trafiksäkerheten genom att minimera kollisioner. Den föreslagna V2X-baserade Collision Avoidance (CA) algoritmen, implementerad med simulatören Simulation of Urban Mobility (SUMO), visade betydande förbättringar av säkerheten genom att minska tiden till kollision.

Rahman, Abdel-Aty, Lee och Rahman (2019) undersökte säkerhetseffekterna av uppkopplade fordon med lägre nivåer av automatisering. Studien fann att både Connected Vehicles (CV) och Connected Vehicles with Lower Lever Automation (CVLLA) avsevärt minskar riskerna för krockar i segment och korsningar. Speciellt CVLLA visade större säkerhetsförbättringar vid högre marknadspenetration.

3.1.2 Förbättrad säkerhet för utsatta trafikanter

Casademont et al. (2019) presenterade en pilot där fordon utrustade med V2X-system kunde varna förare om potentiella kollisioner med utsatta trafikanter, såsom cyklister. Denna pilot visade potentialen hos V2X att avsevärt minska antalet olyckor i korsningar genom att ge förarna varningar i rätt tid.



Fig. 4 Översikt av V2X system i korning

3.2 Miljöfördelar

Miljöpåverkan från V2X-kommunikation har också varit positiv, där flera studier visar betydande fördelar när det gäller bränsleeffektivitet och utsläppsminskningar.

3.2.1 Minskad bränsleförbrukning

V2X-teknik kan minska bränsleförbrukningen genom att optimera körmönster. Du, Ahn, Farag och Rakha (2021) noterade att applikationer för Connected Vehicles (CV) som använder Cellular-V2X-teknologier har potential att minska fordonets energiförbrukning genom effektiv delning av data. Detta leder till effektivare körbeteenden och minskad bränsleförbrukning.

Li, Xu, Huang och Cheng (2015) fokuserade på eko-avgångsoperationer vid signalerade korsningar, och betonade att optimerade eko-starter avsevärt kan spara bränsle. De föreslagna strategierna för realtidsimplementering visade lovande förbättringar för bränsleeffektiviteten. Studien visade energibesparingar upp till 36,9% för BEVs (Battery Electric Vehicles) vid mild trafik och upp till 5,4% bränslebesparing för traditionella förbrännings-drivna bilar i kraftig trafik.

3.2.2 Minskade utsläpp

Minskningen av bränsleförbrukningen korrelerar direkt med minskade utsläpp. Du et al. (2021) rapporterade att implementering av CV:s (Connected Vehicles) kan minimera negativ miljöpåverkan genom att minska fordonsutsläppen genom förbättrad kommunikation och därmed optimerade körmönster.

Charoniti et al. (2020) använde en kombination av verklig, simulerad och artificiell data för att visa att undvikande av stopp kan minska CO₂-utsläppen med 13-45 %, beroende på hastighetsgräns och antal stopp per km.

3.2.3 Förbättrad luftkvalitet i städerna

Minskningen av utsläpp medför även en stor förbättring av luftkvalitetsindex, särskilt i överbelastade stadsområden. Denna förbättring har positiva effekter för folkhälsan, vilket bland annat minskar förekomsten av andnings- och andra hjärt- och kärlsjukdomar som förknippas med dålig luftkvalitet (Luftföroreningar och dess effekter, 2024)



Fig. 5 Smog i storstad

3.3 Utmaningar och hinder

Trots de lovande resultaten kvarstår flera utmaningar och hinder för den utbredda användningen av V2X-kommunikation.

3.3.1 Säkerhets- och integritetsproblem

Säkerhet och integritet är viktiga problem i V2X-kommunikation. Weerasinghe et al. (2023) betonade behovet av ett säkert V2X-kommunikationssystem som snabbt kan skapa förtroende och upprätthålla fordonens integritet. Det föreslagna threshold-kryptografibaserade protokollet i studien tar itu med dessa problem genom att tillhandahålla säker och privat kommunikation.

3.3.2 Investeringar i infrastruktur

Utbyggnaden av V2X-teknik kräver betydande investeringar i infrastruktur, såsom kraftfulla edge-enheter och kommunikationsnätverk. Shah (2019) påpekade att implementering av V2X-kommunikationsteknik och att kombinera dem med andra smarta strategier innebär betydande infrastrukturförändringar och investeringar.

3.3.3 Standardisering och interoperabilitet

Standardisering och interoperabilitet är avgörande för en sömlös drift av V2X-kommunikationssystem. I och med att V2X-kommunikation måste fungera sömlöst mellan olika fordonstillverkare är det stor vikt på att upprätta standarder och protokoll som säkerställer interoperabilitet mellan system från olika tillverkare och jurisdiktioner.

3.3.4 Konsumentacceptans

Att vinna allmänhetens förtroende och acceptans för V2X-tekniken är avgörande för dess framgång. För att fullt ut inse fördelarna med uppkopplade fordon måste framtida forskning ta itu med de varierande resultaten med marknaden, integrationen av flera applikationer och interaktionen mellan uppkopplade och människodrivna fordon.

4. Diskussion

Detta kapitel behandlar metodiken som använts i denna studie, utvärderar arbetets styrkor och svagheter samt föreslår förbättringar för framtida studier. Målet är att ge en heltäckande bedömning av processen och lyfta fram områden där framtida arbete kan bygga på dessa resultat för att främja utvecklingen av V2X-kommunikation inom intelligenta transportsystem (ITS).

4.1 Utvärdering av forskningsmetodik

Arbetet innefattade ett nyanserat tillvägagångssätt som inkluderade en genomgång av befintlig litteratur, analys av case-studier samt data från simuleringsmodeller och pilotprojekt. Denna metod gav en bred förståelse för de potentiella effekterna av V2X-kommunikation på trafiksäkerhet och miljömässig hållbarhet.

4.1.1 Litteraturgenomgång

Litteraturgenomgången var omfattande och täckte en rad studier som utforskade olika aspekter av V2X-kommunikation. Detta bidrog till en solid teoretisk grund och identifiering nyckelområden av intresse.

En av styrkorna med denna metod var dess omfattande täckning. Litteraturgenomgången täckte ett brett spektrum av källor, vilket gav en väl avrundad förståelse av ämnet.

Genom att granska flera studier identifierade forskningen vanliga trender och resultat som lyfter fram de potentiella fördelarna med V2X-kommunikation.

Dock fanns det också svagheter. Begränsad åtkomst till vissa relevanta studier, som låg bakom betalväggar, kan ha begränsat åtkomsten till värdefull data och insikter. Beroendet på publicerad litteratur kan ha infört publikationsbias, där studier med positiva resultat är mer benägna att publiceras.

4.1.2 Case-studier och simuleringar

Case-studier och simuleringar, till exempel de som använder SUMO-simulatoren för V2X-baserade Collision Avoidance (CA) algoritmer, gav praktiska insikter om de verkliga tillämpningarna och effektiviteten hos V2X-tekniker.

Styrkorna med denna metod inkluderade att case-studier gav praktiska exempel på hur V2X-kommunikation kan implementeras och dess potentiella effekter.

Användningen av simuleringsverktyg möjliggjorde detaljerad analys av trafikscenarier och effektiviteten hos V2X-tekniker under kontrollerade förhållanden.

Svagheter inkluderade dock att simuleringar kanske inte fångar alla verkliga variabler, vilket potentiellt begränsar resultatens tillämplighet. Resultat från specifika case-studier är möjligtvis inte generaliserbara till alla sammanhang eller regioner.

4.2 Undersökningens styrkor och svagheter

Undersökningen inkorporerade insikter från olika områden, inklusive transportteknik, kommunikationsteknik och miljövetenskap, vilket ger en helhetssyn på effekterna av V2X-kommunikation.

Användningen av flera datakällor stärkte resultatens validitet. Integreringen av simuleringsdata med verkliga case-studier gav ett nyanserat perspektiv.

Undersökningen belyste effektivt de viktigaste utmaningarna inför implementeringen av V2X-teknologier, såsom säkerhet, infrastrukturinvesteringar och standardisering. Detta sätter en tydlig agenda för framtida forskning och policyutveckling.

Det fanns dock svagheter i undersökningen. Beroendet på sekundär data från befintliga studier och simuleringar kan ha begränsat analysens omfattning. Primär datainsamling genom fältexperiment skulle kunna ge mer direkt bevis på effekterna.

De specifika resultaten från case-studier och simuleringsmodeller gör att resultaten kanske inte är helt tillämpliga i alla regioner eller trafikförhållanden. Framtida forskning bör syfta till att inkludera en mer mångsidig uppsättning förhållanden och platser.

Dessutom utvecklas V2X-kommunikationstekniken snabbt, vilket innebär att undersökningen kan bli föråldrad när nya framsteg och innovationer dyker upp. Kontinuerliga uppdateringar och uppföljningsstudier är nödvändiga för att hålla resultaten relevanta, särskilt då de flesta av källorna i detta arbete är från mer än ett år sedan.

5. Slutsats och rekommendationer

Genom en omfattande genomgång av befintlig litteratur, detaljerade fallstudier och simuleringsanalyser visar studien att V2X-kommunikation avsevärt minskar kollisionfrekvensen och ökar säkerheten för andra fordon samt för fotgängare och utsatta trafikanter.

Dessutom bidrar V2X-teknologier till minskad bränsleförbrukning och utsläpp, vilket främjar bättre stadsluftkvalitet genom optimerade körmönster och tekniker som eko-starter och automatiserade kontrollsystém.

Flera utmaningar måste dock lösas innan omfattande användning kan möjliggöras, inklusive säkerhets- och integritetsproblem, betydande infrastrukturinvesteringar, behovet av standardisering och interoperabilitet samt konsumentacceptans.

5.1 Rekommendationer

För att främja V2X-kommunikationsteknik bör framtida forskning innefatta primär datainsamling genom fältexperiment och pilotprogram för att ge direkta bevis på effekter under verkliga förhållanden.

Att utöka forskningen till att omfatta olika geografiska, demografiska och trafikförhållanden kommer att hjälpa till att skräddarsy V2X-lösningar för specifika sammanhang.

Det är också mycket viktigt att forska om och utveckla robusta säkerhetsprotokoll för att skydda framtida V2X-kommunikation mot cyberattacker och för att säkerställa användarnas integritet.

Genom dessa rekommendationer kan identifierade utmaningar lösas och fullt ut utnyttja V2X-kommunikationens potential för att skapa säkrare, mer effektiva och hållbara transportsystem, som formar framtiden till ett smartare och säkrare samhälle för alla.

6. Referenser

Casademont, J., Barceló, M., & Cano, J. C. (2019). Cooperative-intelligent transport systems for vulnerable road users safety. *IEEE Xplore*.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8972810>

Qiu, H., Ma, X., & Zheng, Z. (2019). Secure V2X communication network based on intelligent PKI and edge computing. *IEEE Xplore*.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8823876>

Shah, P. (2019). V2X in intelligent transportation systems. *Sacramento State Scholars*.

<https://scholars.csus.edu/esploro/outputs/99257830804901671>

Weerasinghe, N., Zhang, H., & Shi, Y. (2023). Threshold cryptography-based secure vehicle-to-everything (V2X) communication in 5G-enabled intelligent transportation systems. *MDPI*.

<https://www.mdpi.com/1999-5903/15/5/157>

Du, J., Ahn, K., Farag, M., & Rakha, H. (2021). Environmental and safety impacts of vehicle-to-everything enabled applications: A review of state-of-the-art studies. *arXiv*.

<https://arxiv.org/abs/2202.01675>

Li, S. E., Xu, S., Huang, X., & Cheng, B. (2015). Eco-departure of connected vehicles with V2X communication at signalized intersections. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*.

https://www.researchgate.net/publication/282468766_Eco-Departure_of_Automated_Vehicles_with_V2X_Communication_at_Signalized_Intersections

Ahn, K., Du, J., Farag, M., & Rakha, H. (2022). Evaluating an eco-cooperative automated control system. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*.

https://www.researchgate.net/publication/362557226_Evaluating_an_Eco-Cooperative_Automated_Control_System

Rahman, M. S., Abdel-Aty, M., Lee, J., & Rahman, M. H. (2019). Safety benefits of arterials' crash risk under connected and automated vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0968090X18310349>

Charoniti, E., Klunder, G., Schackmann, P.-P., Schreuder, M., Schwartz, R. de S., Spruijtenburg, D., Stelwagen, U., & Wilmink, I. (2020). Environmental benefits of C-V2X for 5GAA. *5G Automotive Association E.V.*

<https://5gaa.org/environmental-benefits-of-c-v2x/>

Intelligent Transport Systems. (n.d.). ITS standards. *ITS Standards*.

<https://www.itsstandards.eu/>

Vehicle-to-everything. (2024). *Wikipedia*.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-everything>

Avnet. (n.d.). V2V communication. *Avnet*.

<https://my.avnet.com/abacus/solutions/markets/automotive-and-transportation/automotive/communications-and-connectivity/v2v-communication/>

RGBSI. (n.d.). What is V2I technology? *RGBSI*.

<https://blog.rgsi.com/what-is-v2i-technology>

AutoPi. (n.d.). Vehicle-to-network (V2N). *AutoPi*.

<https://www.autopi.io/glossary/vehicle-to-network/>

Mpirical. (n.d.). V2P (Vehicle-to-Pedestrian). *Mpirical*.

<https://www.mpirical.com/glossary/v2p-vehicle-to-pedestrian>

ScienceDirect. (2016). Cooperative driving. *ScienceDirect*.

<https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/cooperative-driving>

Platoon (automobile). (2024). *Wikipedia*.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Platoon_\(automobile\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Platoon_(automobile))

Cooperative Adaptive Cruise Control. (2023). *Wikipedia*.

https://en.wikipedia.org/wiki/Cooperative_Adaptive_Cruise_Control

Naturvårdsverket. (2024). Luftföroreningar och dess effekter. *Naturvårdsverket*.

<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/luft/luftfororeningar-och-dess-effekter/>