

# Tudományos Diákköri Konferencia

2019.

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
VILLAMOSMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR  
HÁLÓZATI RENDSZEREK ÉS SZOLGÁLTATÁSOK TANSZÉK

**Kooperatív járműkonvojok ETSI ITS-G5 alapú V2X  
kommunikációjának szimulációs vizsgálata**

**Wippelhauser András**

A tervfeladatot összeállította és a tervfeladat tanszéki konzulense:

dr. Bokor László  
egy. docens

Külső konzulens:

Váradi András

# Tartalomjegyzék

## Kivonat

Közlekedési rendszereink jelenleg rengeteg kihívással küzdenek, amelyeket mérnöki megoldásokkal is igyekszünk megoldani. Ilyen kihívás például a széndioxid-kibocsátás csökkentése, a balesetek hatékonyabb megelőzése, valamint az egyre nagyobb közlekedési torlódások, és a járművek növekvő száma okozta gondok kezelése. A V2X (Vehicle-to- Anything) jármű-kommunikációs technológiák napjainkban elérték az érettségnek azt a fokát, hogy integrálhatóvá váltak a mindennapi közlekedésbe és az ezen alapuló megoldások képesek lehetnek a fentebb felvetett problémákra választ, megoldásokat találni. A jármű- kommunikáción alapuló alkalmazásokban hatalmas potenciál rejlik közlekedésünk megreformálásában, hatékonyabbá tételében. Ilyen alkalmazás például a dolgozatom fókuszpontjába állított járműkonvoj alkalmazás is, amelytől azt várjuk, hogy csökkentse a balesetek számát, növelje az autópályák kihasználtságát, csökkentse a torlódások valószínűségét, valamint segítsen csökkenteni a járművek fogyasztását, amivel egyszerre csökken a károsanyag kibocsátás és a tulajdonos/üzemeltető üzemanyagköltsége. A járműkonvoj alkalmazás ötlete azon alapszik, hogy ha több jármű sorban egymás után haladva kis követési távolságot tartva halad, akkor a nem sorvezető járművek a mérsékelt légellenállásnak köszönhetően képesek üzemanyagot megtakarítani, egymást balesetmentesen autonóm, vagy félautonóm üzemmódban követni, a kis követési távolság hatására az utak átbecsátóképességét növelni, valamint a valós idejű, megbízható járműadatoknak köszönhetően a járművek oszcillálását megszüntetni -egyfajta csillapítóként részt véve a közlekedésben- és ezzel a túlzott forgalom miatt keletkezett dugókat megszüntetni. A kooperatív járműkonvoj alkalmazás során a konvoj első járművének vezérlését megoldottnak tekintjük, ilyen értelemben ez lehet akár autonóm, akár egy professzionális sofőr által vezetett jármű. A konvoj többi járműve úgynevezett kooperatív adaptív menetvezérlést valósít meg, tehát a megfelelő sebességet egy erre tervezett vezérlési algoritmus valósítja meg. Az algoritmusnak egyszerre kell határozottnak lennie, hogy a hirtelen fékezéseket kezelni tudja, de elég finomnak is, hogy a konvoj belengéseit ne vegye át. Ez utóbbi tulajdonságot hívjuk String Stability tulajdonságnak, amivel ha egy jármű nem rendelkezik, akkor nem alkalmas járműkonvoj vezérlésére az alkalmazás, mert ha bizonyos frekvenciával gerjesztik, egyre nagyobb kilengéseket fog produkálni egészen addig, amíg neki nem ütközik egy másik járműnek. Ilyen algoritmusok megalkotásához feltétlenül szükséges kommunikáció, ugyanis az egy matematikailag igazolt tény, hogy nem lehetséges csupán az

előttünk haladó jármű ismeretében String Stability tulajdonsággal rendelkező algoritmust készíteni. Ha nem szomszédos járművekről szeretnénk információt szerezni, a kommunikációt meg kell oldani. A dolgozat során kooperatív járműkonvojok kommunikációját fogom az Arterynek nevezett, OMNeT++ és SUMO alapú, Vanetza és INET protokoll modellekre támaszkodó, diszkrét idejű, eseményvezérelt szimulációs keretrendszerben vizsgálni. A munka során egy, a keretrendszerben eddig elérhető fizikai és MAC modelleknél pontosabb, a u-blox cég által fejlesztett ETSI ITS-G5 implementációt fogok bevezetni az Artery modelljébe. A szimulációs rendszerben különböző vezérlési algoritmusokat fogok vizsgálni, különböző valós, veszélyt jelentő forgatókönyvekben. Ilyen forgatókönyv a hirtelen fékezés, valamint a konvojt vezető jármű szinuszos sebességprofilja, ami a menetvezérlő algoritmusok egy úgynevezett string stability tulajdonságának vizsgálatára alkalmas. A vizsgálat célja az, hogy szimulációs módszerekkel bizonyítsuk a járműkonvoj alkalmazás működőképességét, biztonságosságát leterhelt csatorna esetén is, és így következtetéseket tudjunk levonni az alkalmazás szolgáltatás-minőségre való érzékenységről.

## Abstract

The transportation systems nowadays faces many challenges which we want to solve with engineering methods. Such challenges are the decreasing of green gas emissions, the efficient avoidance of accidents, the increasing number of traffic jams and the issues related to the increasing number of vehicles on the roads. The V2X (Vehicle-to-Anything) communication technologies nowadays have the maturity to be integrated in the transportation systems, and the solutions built on top of this communication technology have the ability to answer the above mentioned challenges. The V2X communication has a huge potential in reform our traffic and making it more efficient. One of these applications is the cooperative platooning which is the focus of this work, and which is expected to reduce the number of accidents, to increase the utilization of the highways, to decrease the probability of traffic jams and decrease the fuel consumption, which also reduces the green gas efficient and the fuel expenses of the owner/operator company. The cooperative platooning application is based on the idea of vehicles following each other with a short inter-vehicle gap, which decreases the air drag at the follower vehicles resulting in reduced fuel consumption, increases the throughput of the highways thanks to the short inter-vehicle gap, reduces the oscillation of the traffic thanks to the reliable and real time information about the motion state of the surrounding vehicles - which also makes roads safer and reduces the traffic jams created by the natural oscillation in dense traffic. In the cooperative platooning applications we assume that the control of the leading vehicle in the platoon is solved, either with a professional driver or using autonomous driving. The rest of the vehicles are controlled by a so called cooperative adaptive cruise control algorithm, where the desired speed or acceleration is calculated based on various information sources like radars or V2X transmission. The algorithm has to be mean and smooth as well to handle the hard brake situations and to decrease the oscillation of the platoon. This property is called string stability, which is a strict requirement against the platooning applications. If an algorithm is not string-stable, then if we induce it with a specific frequency, it starts to oscillate until it crashes into a neighboring vehicle. It is a mathematically proven fact that creating such an algorithm requires information about the non neighboring vehicles, which requires communication. In the scope of this work I will examine the communication of cooperative platoons in a framework named Artery. This framework is based on OMNeT++ and SUMO, it uses Vanetza and INET for protocol

modelling, and it is basically a discrete-timed event driven simulation framework. During the work I will introduce a well detailed ETSI-G5 based physical and MAC layer model which was not available in Artery formerly and is developed by a u-blox. In the framework I will examine different control algorithms to be applied in various, dangerous traffic circumstances. Sudden hard braking and sinusoidal gain of the leader vehicles are examples of such scenarios. The sinusoidal scenario is a way to examine the string stability property of the control algorithms. The aim of the examination is to prove the security and robustness of the platooning application even in highly loaded channels using simulation methods and to make conclusions about the QoS resistance of the applications.

# 1. fejezet

## A V2X járműkommunikáció

### 1.1. A V2X céljai

A V2X (Vehicle to Everything) járműkommunikációs technológiák célja, hogy közlekedésünket hatékonyabbá, biztonságosabbá tegyék. A V2X kommunikáció által elért eredmények jelentősen hozzájárulhatnak az Európai Unió által lefektetett úgynevezett zéró vízió célokhoz. Ennek keretében az EU olyan célokat határozott meg, hogy meg kell előzni a halálos közúti baleseteket és a torlódásokat. Ez a kommunikációs forma arra lett tervezve, hogy rendkívül kis késleltetéssel működjön, robosztusan, központi infrastruktúra nélkül, nagy sebesség esetén is. Ennek a kommunikációs formának a megvalósításával lehetőségünk nyílik újfajta alkalmazások implementálására, amelyek segítségével a definiált célok elérhetőek.

### 1.2. Az alapvető protokollok

A V2X kommunikáció architektúráját tekintve egy elosztott típusú kommunikáció, amelyben a vonatkozó szabványok négy rétegből álló kommunikációs stacket határoztak meg. A két legfőbb, egymással versengő rádiós protokoll a jelenleg LTE-alapú C-V2X protokoll, valamint a 802.11-es szabványcsaládba tartozó, tehát WiFi alapú 802.11p protokoll, ami az ITS-G5 szabványcsaládnak is a része. A magasabb rétegbeli protokollok között alapvetően európai és amerikai szabványcsaládot különböztetünk meg. A dolgozat során az európai szabványokat használtam. A fizikai réteg felett az európai szabványban a GeoNet protokoll található. A hálózati réteg fölött találhatóak az alkalmazások -mint a platooning- számára közvetlen információfor-



rást jelentő protokollok, mint például a CAM és a DENM protokoll. A legfelsőbb réteg az alkalmazásokat jelenti. Ilyen alkalmazás lehet például a járműkonvoj is.

### 1.3. A járműközlelési alkalmazások típusai

A V2X járműközlelési alkalmazások között bonyolultság, valamint megvalósított funkciók alapján az alábbi alkalmazás típusokat tudjuk megkülönböztetni. Az alkalmazások egészen Day 5 típusig definiálva vannak, a dolgozat keretén belül azonban csupán a Day 1 és Day 2 alkalmazásokról esik szó.

#### 1.3.1. A Day 1 alkalmazások

Az úgynevezett Day 1 alkalmazások közös jellemzője, hogy viszonylag egyszerűek, alapvetően nem avatkoznak be a vezetésbe, csak plusz információkat szolgáltatnak. Alapvetően humán sofőr modellben gondolkodnak. Ilyen alkalmazás például az FCW - Forward Collision Warning - , az IMA - Intersection Movement Assist - , vagy a GLOSA - Green Light Speed Advisory. Ezek az alkalmazások mára tipikusan jól ki vannak dolgozva, elérték az érettség azon fokát, hogy telepíthetők közúti járművekbe.

#### 1.3.2. A Day 2 alkalmazások jelenlegi helyzete

A Day 2 alkalmazások jóval bonyolultabbak, mint a Day1-os társaik. Többségében valamilyen autonóm vezetést segítő alkalmazásról beszélhetünk. Ilyen például a Platooning, de az autonóm vezetést segítő CPM protokollon is ugyanez a szemlélet figyelhető meg. Közös jellemzőjük, hogy a Day 1 alkalmazásoknál jóval nagyobb sávszélességet igényelnek, azoknál sokkal biztonság-kritikusabbak.

### 1.4. A járműközlelési aktualitása

A V2X járműközlelési technológiának eredetileg az alapját képező 802.11p protokollt lassan 10 éve, 2010-ben szabványosították. Ez alatt a 10 év alatt a technológia éretté vált arra, hogy a mindennapi közlekedés részeként bevezessék a komerciális járművekbe is.

### 1.4.1. A technológia bevezetése

A járműkommunikációs technológia bevezetése az EU területén jelenleg folyamatban van. 2019 őszén bemutatták az első olyan személygépkocsit - a Volkswagen Golf 8. generációját - , amely tartalmazza a V2X kommunikációs technológiát. Emellett fontos megemlíteni a folyamatban lévő pilot projekteket, mint például a C-ROADS. Ezeknek a projekteknek a mentén megkezdődtek az első infrastruktúra telepítések is, például Magyarországon az M1-es autópálya mentén.

### 1.4.2. A Day 2 alkalmazások

A Day 2 alkalmazások, amelyek közé a vizsgálat tárgyát képező kooperatív járműkonvojok is tartoznak, jelenleg definiálás és kidolgozás alatt állnak. Ennek megfelelően gyakran nincs még szabványosítva az alkalmazás számára megfelelő kommunikációs protokoll. A Day 2 alkalmazások tipikusan közelebb állnak a vezetés közvetlen befolyásolásához, így különlegesen érzékenyek lehetnek a kommunikációs paraméterek romlására. Ez a dolgozat is arra a kérdésre keresi a választ, hogy egy adott Day 2 alkalmazás - a járműkonvoj alkalmazás - milyen szolgáltatásminőségi paraméterek mentén valósítható meg, pontosabban arra, hogy egy tipikus autópálya szituációban elég megbízhatóan teljesítenek-e a menetvezérlő alkalmazások.

## 2. fejezet

# A járműkonvoj alkalmazás

A járműkonvoj alkalmazás egy járműkommunikációhoz szorosan köthető úgynevezett Day 2 alkalmazás. Az alapötletet már az 1960-as években felvetették, amely arra épül, hogy ha a járműveink megfelelően koordinálva vannak, az irányításuk elég precíz és gyors válaszidejű, akkor a jelenleginél sokkal kisebb követési távolság tartása is elegendő lenne. A kisebb követési távolság pedig jelentős előnyöket jelentene mind az utak üzemeltetőinek, mind az úthasználóknak. A járműkonvoj alkalmazás az alábbi előnyöket képes nyújtani.

- A járművek sűrűsége megnövekedik az utakon azonos sebesség mellett, ami az utak kapacitásának növekedését jelenti. Ez áttételesen csökkenti a dugók kialakulásának az esélyét.
- A járművek közötti távolság csökkentésével a járművek légellenállása is számottevően csökken, így ennek megfelelően a fogyasztás is. Ez leginkább tehergépjárműveknél jelentkezik. A jelenlegi üzleti modell szerint a járműkommunikációs technológia kiépítésének a költségét a járműtulajdonosok fogják állni, így a várható hasznot is feléjük kell felmutatni. Ennek megfelelően tipikusan a tehergépjármű-gyártó vállalatok fejlesztik a legelkötelezettebben a járműkonvoj technológiát, ugyanis ezen az alkalmazási területen lehet a legegyszerűbben számszerűsíteni az elérhető hasznot. Különböző kutatások akár 15%-os fogyasztáscsökkenéssel is kecsegtetnek.
- A járműkonvoj alkalmazás használatával a forgalom olyan szereplővel bővül, amely képes együtt mozogni, rendelkezik az úgynevezett string stability tulajdonsággal. Ez a tulajdonság stabilabbá változtathatja a telített autópályákon a járművek sebességét, elkerülhetőek lehetnek a kocsioszlopok fluktuációi.

- A járműkonvoj alkalmazás egy speciális önvezetés szituációt valósít meg, így annak számos előnyével is rendelkezik. Ilyen a sofőrök terheltségének csökkentése, a hatékonyabb üzem, a balesetmentes üzem ígérete.

A járműkonvoj alkalmazás esetén a konvojt vezető jármű irányítását megoldottnak tekintjük, ez jelenthet professzionális sofőrt, vagy valamilyen autonóm működést is, míg az őt követő többi járművet egy alkalmas menetvezérlő algoritmus irányítja a környezetéből származó információk alapján.

## 2.1. Kihívások

A járműkonvoj alkalmazások esetén a nem konvojt vezető járművek menetvezérlő algoritmusainak biztonsággal kell vezetniük a konvoj járműveit. Ehhez elengedhetetlen, hogy az úgynevezett string stability tulajdonságot biztosítani tudják a járműkonvoj számára. A string stability tulajdonság lényege, hogy az adott vezérlési algoritmus az általa kapott gerjesztésre - ami jelen esetben a környezetében található járművek különböző állapot paraméterei - lecsengő választ adjon, tehát a hirtelen manőverek hatásait ne felnagyítsa, hanem lecsökkentse. Ahhoz, hogy ezt a tulajdonságot biztosítani tudja az algoritmus, matematikailag bizonyított tény, hogy szüksége van nem szomszédos járműtől származó menetdinamikai információra is. Ezt az információt legegyszerűbben vezeték nélküli kommunikáción keresztül tudja megszerezni. Ennek megfelelően a járműkonvoj alkalmazás esetében a járműkommunikáció biztonságkritikus szerepet játszik, ami indokolja a kommunikációs szolgáltatásminőségi paraméterek a valósághoz minél közelebb álló környezetben való vizsgálatát.

## 2.2. Az alkalmazott protokollok

A járműkonvoj alkalmazás által támasztott szigorú késleltetési követelmények miatt a kommunikáció alapvetően a hagyományos cellás működés (legacy 3G, 4G LTE) helyett a 802.11p vagy a C-V2X fizikai réteg (4G vagy 5G C-V2X) felett valósítható meg. A járműkonvoj alkalmazás esetén alapvetően a következő típusú protokollokat különböztethetjük meg egymástól.

- A státusz üzenetek azért felelnek, hogy a járművek egymás állapotáról információt szerezzenek. Státusz üzenetként lehet használni például a CAM üzeneteket.

- A menedzsment üzenetek a konvoj létrejöttéért, a konvojok összefésüléséért, a tagok azonosításáért, fenntartásáért felelnek.

A dolgozat során alapvetően a menetvezérlő algoritmusokat vizsgáltam, így a platoonok menedzsmentjéért felelős üzenetek nem kerültek kidolgozásra.

## 3. fejezet

# A szimulációs környezet

A szimulációhoz szükséges egy olyan szimulációs keretrendszer, amely képes egy ITS-G5 hálózat szimulációjára, a szimulációban részt vevő járműveket képes egyenként egy adott útvonalon végigvezetni. Az egyik klasszikus, a kritériumoknak megfelelő keretrendszer a Plexe, a Veins járműkonvoj kiteresztése, amelyben a járműkonvoj alkalmazás többféle forgatókönyve többféle vezérlési algoritmussal együtt implementálva van. A Plexe emellett implementál saját státuszinformáció és menedzsment protollokat is. A választás végül az Artery keretrendszerre esett, amely a Plexe-hez hasonló alapokra épül, de annál sokkal általánosabb célú. Az Artery például pontosabb modellt ad a radar szenzorról, a státuszinformációk gyűjtéséről, valamint a vanteza keretrendszert használva valós CAM üzenetek reprezentációjára képes a plexe saját, nem valóság-hű üzeneteivel szemben.

### 3.1. Architektúra

Az Artery[?] szimulációs keretrendszer alapját az alábbi két rendszer képezi.

- A hálózatszimulációt az OMNeT++[?] szimulációs környezet végzi. Ez egy diszkrét idejű, eseményvezérelt rendszer, amely egy egyszerűen bővíthető és konfigurálható környezetet biztosít számunkra.
- A forgalomszimulációt a SUMO[?] szimulációs környezet végzi. Ez egy diszkrét idejű, mikroszkopikus szimulációs rendszer, amely járműnkénti szimulációt tesz lehetővé. Rendelkezik egy TraCI elnevezésű API-val, aminek segítségével a járművek állapotát módosíthatjuk.

Az Artery emellett számos, zömében OMNeT++ alapú projektet használ saját funkcióinak kiterjesztésére. Az keretrendszerben ezeket a modulokat szabadon testreszabhatjuk, módosíthatjuk, kiterjeszthetjük, konfigurálhatjuk. A legfontosabbak a következők.

- A Vanetza modul implementál különböző ITS-G5 protokollokat. Megvalósítja a szimulációban használt CAM protokoll mellett például a DENM protokollt is.
- A Veins[?] modul definiál üzenet- valamint hálózat típusokat, valamint a SUMO elindítására paramétereket.
- Az INET modul számtalan hálózati egységet definiál. Ennek a kiterjesztésével lett az új rádiós modul bevezetve. A 802.11p protokollt használó rádió is ebben a modulban lett bevezetve.
- A SimuLTE modul segítségével C-V2X szimulációt végezhetünk.

Az Artery alapvetően beemeli ezeket a projekteket, használhatóvá teszi a modulokat számunkra, lehetőséget ad rá, hogy azok működését megváltoztassuk, személyre szabjuk. Az Artery emellett definiál néhány fontos komponens, amelyek segítségével egyszerűen valósíthatunk meg alkalmazásokat a járműkommunikációs infrastruktúra felett. Ilyen komponensek a következők.

- A LocalDynamicMap segítségével az aktuális V2X üzeneteket tarthatjuk karban.
- A Storyboard komponens segítségével különböző feltételek együttállása esetére tudunk következményt meghatározni. Ez egy rendkívül hasznos minta biztonsági alkalmazások megvalósítására.
- A Service komponensekkel egyszerűen helyezhetünk el szolgáltatásokat járművek egy előre definiált csoportja felett. A szolgáltatás küldhet, fogadhat üzeneteket, valamint a jármű egyéb tulajdonságaihoz is hozzáfér.
- Az Artery képes arra, hogy különböző szenzorokat egységesen kezeljünk és azok méréseit az alkalmazásainkban felhasználjuk.

## 3.2. Az új rádiós modell

A megvalósítás során az eddigi INET alapú rádiós modell ki lett egészítve egy pontosabb reprezentációval. Az új rádiós modellt a UBlox nevű cég fejlesztette. A régi rádiós modell működését tekintve gyakorlatilag az adó és vevő közötti távolság alapján kiszámolt egy időtartamot, amíg a jel az adó és vevő közötti utat megteszi, valamint a távolság és az adóteljesítmény alapján kiszámolta a vevőnél fogható jel erősséget, majd a vevő antenna érzékenységének függvényében fogadta a csomagot, vagy eldobta azt. Az új modell ezzel szemben a jelnek egy fizikai reprezentációját veszi. Ezt követően ehhez a reprezentációjához ad hozzá zajt, majd a vevő oldalán ezt próbálja visszaalakítani normál üzenetté. Ha sikeres a dekódolás, akkor az átvitel is sikeres volt. A szimuláció során a két modellt kombinált módon használtam, az átvitel akkor számított sikeresnek, ha mindkét átvitel sikeres volt.

## 3.3. A járműkonvoj alkalmazás az Artery keretrendszerben

A járműkonvoj alkalmazást az Artery keretrendszerben a Plexe-vel ellentétben nem a forgalomszimulációs oldalon, hanem a hálózati oldalon végeztem. Az a megközelítés, hogy a biztonsági alkalmazás a kommunikációs oldalon fut, általánosnak számít a létező V2X megvalósításokban is. A járműkonvoj alkalmazáshoz az Artery keretrendszer fentebb említett moduljai lettek felhasználva. Létre lett hozva egy járműkonvoj vezérlő szolgáltatás, ami minden SUMO állapotfrissítés esetén triggerel a hozzá tartozó járművön egy állapotfrissítő folyamatot. Ez beállítja a menetvezérlő algoritmus által számolt gyorsulásnak megfelelő sebesség értéket a járművön. Az adatokat ehhez a követő járműveken megtalálható elülső radar és a megfelelő CAM üzenetek szolgáltatják. Összesen négy különböző menetvezérlő algoritmus lett implementálva, név szerint az Acc, a Cacc, a Flatbed és a Ploeg.



## 4. fejezet

# A szimuláció

### 4.1. A futtatás körülményei

A szimuláció során négy különböző menetvezérlő algoritmus lett megvizsgálva. A menetvezérlő algoritmusok között volt három különböző kooperatív algoritmus, ami figyelembe veszi a követett jármű mellett más jármű - tipikusa a konvojt vezető jármű - menetállapotát is. Emellett volt egy olyan algoritmus is, ami csak a követett jármű menetállapotát ismerte, ez két külön konfigurációban lett lefuttatva. A szimuláció során három fajta forgatókönyvnek megfelelően futott a szimuláció.

- A fékezés forgatókönyv során a vezető jármű a szimuláció egy pontján erős fékezésbe kezd. Ez tulajdonképpen egy vészfékezés teszt, azt lehet megállapítani, hogy a menetvezérlő algoritmusok képesek-e elég agresszíven beavatkozni.
- A szinuszos forgatókönyv a string stability tulajdonságát vizsgálja a járműkonvojnak. A konvojt vezető jármű szinuszos hullámnak megfelelő sebességprofillal mozog, így különösen alkalmas arra, hogy kiszűrje, ha valamelyik algoritmus nem lecsengő választ ad a gerjesztésre.
- A gyorsítás és fékezés forgatókönyv során azt lehet vizsgálni, hogy a menetvezérlő algoritmusok mennyire szorosan követik az előttük haladót, hogy képesek-e felismerni időben annak a vészfékezését.

A szimuláció során a járművek pozíciója, sebessége, gyorsulása rögzítésre került az OMNeT++ beépített rögzítő metódusai segítségével.

## 4.2. Eredmények

Az eredmények azt mutatják, hogy a csatorna nem érte el azt a kritikus telítettséget, hogy a szolgáltatás minősége olyan szintre essen, hogy az érdemben befolyásolja az algoritmusok működését.

Az elvártaknak megfelelően a kooperációt használó kontroller nem képes megakadályozni az ütközést abban az esetben, ha túl közel vannak egymáshoz a járművek a konvojban. Ha megfelelő időköz áll rendelkezésre a két jármű között, akkor viszonylag megbízhatóan képes követni az előtte lévő járművet az algoritmus. Ez rámutat arra, hogy adott esetben ha a kommunikáció blokkolódik valamilyen oknál fogva, akkor ez egy ideiglenes segítő megoldás lehet, azonban önállóan nem alkalmazható egyrészt azért, mert egy hosszabb út során a konvojban bizonyos oszcillációkat valószínűleg képtelen kezelni, másrészt nem képes a járműkonvoj alkalmazás egyik legnagyobb előnyének tekintett fogyasztáscsökkentés elérésére.

A többi algoritmus alapvetően megbízhatóan működött, annak ellenére, hogy kisebb követési távolságokkal is dolgoztak, mint a kooperációt nem igénylő algoritmus. A követési távolságok eltérő mérete megnehezíti a kiértékelést, ugyanis más hasznosságot lehet így elérni az algoritmusokkal. Ennek ellenére nem változtattam az algoritmusokon, mert az algoritmusoknak fontos alkotóeleme a paraméterezés, adott esetben a string stability tulajdonság is csak adott paraméterekkel van bizonyítva. Az algoritmusok így a követési távolságtól függően lehetnek érzékenyek a csomagvesztésre, vagy a késleltetésre. A vizsgált kooperatív vezérlési algoritmusok mindegyike megfelelt a követelményeknek, nem okozott ütközést, ami bizonyítja az alkalmazás életképességét, valamint a kommunikáció minőségének megfelelőségét.

## 5. fejezet

# Összegzés

### 5.1. Konklúzió

A járműkonvoj alkalmazásban kritikusnak tekinthetjük a menetvezérlő algoritmusok működését, ami hatalmas szerepet tölt be a járműkonvojok biztonságos üzemelésében. A mérésből egyértelműen kitűnik, hogy a járműkommunikáció használata elengedhetetlen, az azt nélkülöző alkalmazások csak megfelelően nagy követési távolság mellett működnek biztonsággal. A nagyobb követési távolság azonban veszélyezteti az elért hasznok jelentős részét. Összességében a szimuláció tapasztalata az, hogy a járműkonvoj alkalmazás a jelenlegi technológiával megvalósítható, a sűrű forgalmú autópálya járműkommunikációs forgalma által keltett zaj mellett is.

### 5.2. Továbbfejlesztési lehetőségek

A szimulációs rendszer többféle irányban is fejleszthető lenne. Valószínűbb szimulációt kapnánk, ha a járműkonvoj alkalmazás menedzsment üzenetei is meg lennének valósítva. Tovább lehetne javítani a szimuláció hitelességét, ha egy valós autópályáról származó térképet használnánk a szimulációban. Emellett implementálni lehetne egyéb, Day 1 és Day 2 alkalmazásokat is, ehhez alkalmazni lehetne egy, a jelenleginél fejlettebb érzékelési modellt a jármű környezetéről. A továbbfejlesztés része lehetne a komplexebb forgatókönyvek beemelése a modellbe. Vizsgálható lenne emellett a járművek üzemanyagfogyasztása is, amivel az alkalmazás egyik legfontosabb előnye lenne számszerűsíthető.

# Irodalomjegyzék

## Knyvek

- [Ellenhorst82] Ellenhorst, W., „*Handbuch der Orgelkunde I–II.*” Frits Knuf, Buren, 1975.

## Disszertiplomatervek

- [Angster90] Angster J., „*Orgona ajaksk megsznek eznek korszer msei redmei*”, kandidsi ekez MTA MMSz Akusztikai Kutatoratma, Budapest, 1990.

## Cikkek, konferenciaanyagok

- [Pli86] Pli, G., „A common structure for recursive discrete transforms,” *IE-EE Transactions on Circuits and Systems*, CAS-33., 1035–36. o., 1986.

## Eladsorozatok

- [Horvn] Horv Istv., „Mszaki akusztika” eladorozat, BME Hdechnikai Tansz BME VIHI 4107, Budapest, 1998.

## Internet

- [Rodgers] Rodgers organs, „Paralell digital imaging,”  
URL: *http://www.rodgerscorp.com*  
*/features/pdi.html*, 1999.

## Egyorrk

- [Gravis] Advanced Gravis Computer Technology Ltd., „*Gravis Ultrasound  
Play & Play User's Guide*,” Appendix D (Technical Specifications),  
Gravis Ultrasound P&P CD-ROM, 1996.

*Megjegyz ezer haszni BibTeX-et (l a forrban).*

# Rövidítések

|        |   |
|--------|---|
| V2X    | Vehicle to Everything   |
| C-V2X  | Cellular V2X  |
| WiFi   | Wireless Fidelity   |
| LTE    | Long Term Evolution mobil hálózati szabvány                           |
| GeoNet | Az ITS-G5 hálózati rétegbeli protokollja                              |
| CAM    | Cooperative Awareness message   |
| DENM   | Decentralized Environmental Notification Message                      |
| CPM    | Cooperative Perception Message  |
| EU     | Európai Unió  |
| ITS-G5 | Ez egy európai szabványcsalád az intelligens közlekedési rendszerekre |
| FCW    | Forward Collision Warning   |
| IMA    | Intersection Movement Assist  |
| GLOSA  | Green Light Speed Advisory  |

*Utolsó oldal alja: ide jöhet hálaadás, logo, ISBN, stb.*