



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

Turi-Kováts Szilárd

# **SZOLGÁLTATÁSHIRDETÉS PROTOKOLL MODELLEZÉSE**

Többsatornás járműkommunikáció szimulációs vizsgálatához

KONZULENS

**Dr. Bokor László; Váradi András**

BUDAPEST, 2021

# Tartalomjegyzék

<b>1 A járműkommunikáció létjogosultsága, alapjai .....</b>	<b>4</b>
1.1 Motivációk .....	4
1.2 A saját szenzoros rendszerek korlátai .....	5
1.3 Biztonsági alkalmazások.....	6
1.4 Nem biztonsági alkalmazások .....	6
1.5 A technológia bevezetéséről .....	7
<b>2 V2X architektúra .....</b>	<b>8</b>
2.1 A felépítése .....	8
2.2 Spektrum kiosztás .....	10
2.3 Fizikai réteg .....	11
2.4 Hozzáférési réteg .....	11
2.5 Hálózati és szállítási réteg.....	12
2.6 Képesség réteg .....	12
2.7 Alkalmazás réteg.....	13
<b>3 A kollektív észlelés .....</b>	<b>14</b>
3.1 Collective Perception .....	14
3.2 CPM üzenetformátum és adatelemek .....	15
<b>4 Torlódásszabályozás a járműkommunikációban .....</b>	<b>17</b>
4.1 A szabályozás szükségessége .....	17
4.2 Az algoritmusok paraméterei .....	18
4.3 Elosztott torlódásszabályozás .....	18
4.4 DCC teljesítménymutatók.....	19
4.5 DCC példák.....	20
4.6 MCO .....	21
<b>5 Szolgáltatáshirdetés .....</b>	<b>22</b>
5.1 A szolgáltatáshirdetés célja.....	22
5.2 Service Announcement interfészei .....	23
5.3 SA Essential Message felépítése.....	23
5.3.1 Törzs komponens részei.....	24
5.3.2 Szolgáltatás információ szegmens .....	25
5.3.3 Csatorna információ szegmens .....	25

<b>6 MCO hatékonyság mérése .....</b>	<b>27</b>
6.1 Célkitűzés.....	27
6.2 Artery szimulációs környezet .....	27
6.3 A forgatókönyv .....	29
6.4 A többsatornás kommunikáció szimulációja .....	30
6.5 SA forgalmazása .....	32
<b>7 Összefoglalás, továbbfejlesztési lehetőségek.....</b>	<b>35</b>
<b>8 Hivatkozások .....</b>	<b>36</b>
<b>9 Ábrajegyzék.....</b>	<b>39</b>
<b>10 Rövidítések jegyzéke.....</b>	<b>40</b>
<b>11 Függelék.....</b>	<b>41</b>

# 1 A járműkommunikáció létjogosultsága, alapjai

Az elmúlt években tovább folytatódott a járműkommunikációs szolgáltatások rohamos terjedése és fejlődése. Ebben a fejezetben azt szeretném bemutatni, hogy hol tart ma ez a technológia, és hogy miért ilyen fontos manapság ez a téma.

## 1.1 Motivációk

A technológia bevezetésének három fő hajtóereje van. A legfontosabb ok ezek közül a közlekedés biztonságosabbá tétele. A világon szinte mindenhol gondot jelent, a közúti balesetek évente közel 20-50 millió embert érintenek, melyből átlagosan 1,5 millió (2018) halálos kimenetelű. Az incidensekből származó gazdasági veszteség éves szinten 518 milliárd dollárra rúg (összehasonlításképpen Magyarország 2018-as GDP-je ~155 milliárd USD).

A második számú mozgatórugó a hatékonyság növelése. A forgalmi dugók és torlódások elkerülésével rengeteg idő takarítható meg, nem beszélve a tétlen helyzetben elfogyasztott üzemanyag áráról. Az előző motiváló erőhöz képest kisebb, de elhanyagolhatónak nem mondható évi 88 milliárd dollár és 99 munkaóra megy pocsékba az Egyesült Államokban, de az EU-ban se sokkal jobb a helyzet, ott közel 3 milliárd euró és 60 munkaóra ment el a várakozásra 2019-ben. Ráadásul a járműkommunikáció használatával haladás közben is hatékonyabbá tehető például a fuvarozás, a teherszállító járművek konvojban való haladásával csökkenthető a légellenállás, így javul a fogyasztás.

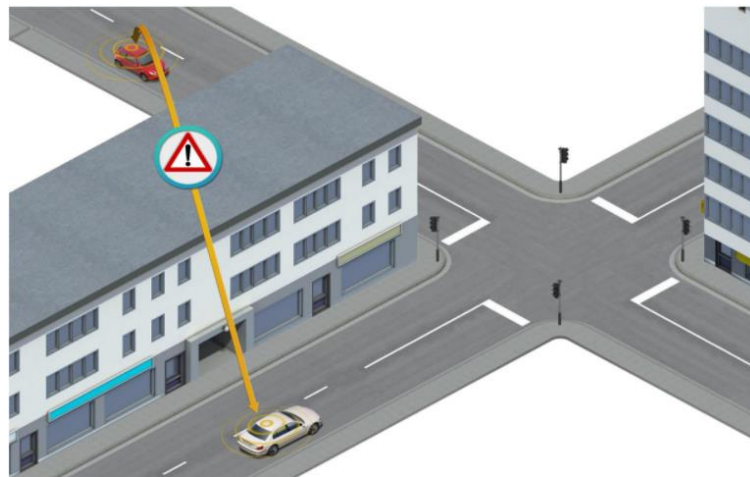
A harmadik pillér az egészség és a környezet védelme. A fenti bekezdésekben elpazarolt erőforrások a gazdasági következményein túl súlyos egészségügyi hatásai is vannak. A közlekedésből adódó károsanyag kibocsátás ugyan globális szinten csak nagyjából az összes kibocsátás 10 százalékáért felelős, mégis ennek van a legnagyobb hatása a szervezetünkre, mert a járművek lokálisan szennyeznek minket. A nagyvárosokban élő emberek légúti megbetegedéseire pedig újabb erőforrások mennek el, hogy a megfelelő gyógyszereket és ellátás kapja meg mindenki.

A fenti problémák nyilvánvalóan meg nem szüntethetők, ugyanakkor jelentős mértékben csökkenthetők, mely változásnak gyökeres részét képezi a V2X járműkommunikációs szolgáltatások használata.

## 1.2 A saját szenzoros rendszerek korlátai

A felsorolt akadályokra rögtön rávágthatnánk, hogy erre már ismert a megoldás, hiszen mára már autók milliói futnak az utakon radarokkal, lidarokkal és kamerákkal felszerelve, minek nekünk a kommunikációs hálózatot fejleszteni.

Minden érzékelőnek megvannak a maga előnyei és hátrányai. A kamerák előnye, hogy rendkívül nagy felbontásúak, de hátrányuk, hogy például a napfény megvakíthatja őket. A kontraszt is kérdéses, és a mélységre vonatkozó ismeretek sem állnak rendelkezésre (legalábbis egy kamera esetén). A radarok nagy előnye, hogy rossz időjárás esetén is nagyon jól képes detektálni, de vannak korlátai is, a radarnak nem olyan jó a felbontása. A lidar az egyetlen érzékelő, amely nagy hatótávolságban is jó felbontást biztosít: a tárgyakat nagyon finoman és nagyon pontosan ismeri fel a térben, gyengesége viszont az, hogy nem képes átlátni a rossz időjárást.



1.1. ábra: Beláthatatlan kereszteződés [1]

Az egyéni tulajdonságokon kívül elmondható, hogy a szenzorok közös gyengesége a hatótávolság, mely a legjobb esetben is pár száz méter, ami nagy sebességnél rendkívül kis idejű reakciókat jelent. Ehhez még hozzájönnek azok a használati esetek, amikor egyszerűen az észlelendő objektumok takarásban vannak, így azokról saját érzékelők alapján lehetetlen tudomást szerezni. Ezen gondolatok mentén jutunk el odáig, hogy a biztonságos közlekedéshez mindenféleképpen szükség van a járműközi kommunikációra.

### **1.3 Biztonsági alkalmazások**

A világ és ezen belül az Európai Unió is az első számú indok, tehát a közlekedés biztonságossá tételét tűzte ki elsődleges célul. A V2X kommunikációhoz fejlesztett alkalmazások első üteme is első sorban a biztonság megteremtését célozzák. A legfontosabb üzenet típusok Európában: CAM, DENM, CPM, IVIM, MAPEM, SPaTEM.

A Cooperative Awareness üzeneteket (CAM) [2] információt nyújtanak a közlekedésben résztvevő állomások jelenlétéről, helyzetéről, valamint a szomszédos állomások állapotáról, amelyek egyetlen ugrási távolságon belül helyezkednek el. A Decentralized Environmental Notification üzenet (DENM) [3] a megszokottól eltérő, a közlekedési rendet befolyásoló hirtelen események közlésére alkalmas szolgáltatás. Ilyen lehet például egy hirtelen fékezés, vagy egy útestre került akadály. A Collective Perception üzenet (CPM) [4] azzal egészíti ki az előző protokollok tudását, hogy nem csak a V2X eszközökkel felszerelt objektumokról képes információt továbbítani, hanem az adott jármű képes megosztani a többiekkel az általa (saját szenzorokkal) érzékelt tárgyakat és azok állapotát. Így képes hozzáadni a V2X ökoszisztémához olyan elemeket is, akik nem rendelkeznek saját állomással. Az Infrastructure to Vehicle Information üzenet (IVIM) [5] a közúti jelzőtáblákról ad információt, a MAP (topology) Extended üzenet és a Signal Phase And Timing Extended üzenet pedig a kereszteződések topológiájáról és a jelzőlámpák állapotát írja le [5].

Ezen üzenetek segítségével minden forgalomban résztvevő entitás meg tudja alkotni a saját virtuális környezetét, ahol ismeri a körülötte lévő tárgyak állapotát, sőt azok jövőbeni viselkedését is, és ezt felhasználva képes számításokat végezni, hogy esetlegesen elkerüljön egy balesetet vagy kiválassza a megfelelő sebességet a leghatékonyabb utazáshoz.

### **1.4 Nem biztonsági alkalmazások**

A fejlesztés alapja viszont minden esetben a pénz, amit a biztonsági alkalmazásoknál sokkal hatékonyabban lehet beszerezni további kereskedelmi és szórakoztató szolgáltatásokkal, melynek a V2X megfelelő egységes platformot biztosít. Egy ilyen alkalmazás lehet az elektromos autók számára a töltőhálózat foglaltságának és a töltés folyamatának ismertetése. Az Electric Vehicle (EV) üzenet típus pont erre lett

definiálva és kapott helyet a járműkommunikációs üzenetek között. Természetesen a hálózatra kapcsolt autók kiegészülhetnek minden olyan egyéb szolgáltatással is melyet otthonunkból is elérhető az interneten keresztül.

A fizikai erőforrások használatára komoly szabályozás van, mely szigorú szabályok között kiköti, hogy a biztonsági alkalmazások mindig előnyt élveznek a kommunikációban, sőt van olyan csatorna ahol kifejezetten csak biztonság kritikus üzenetváltások folyhatnak.

## **1.5 A technológia bevezetéséről**

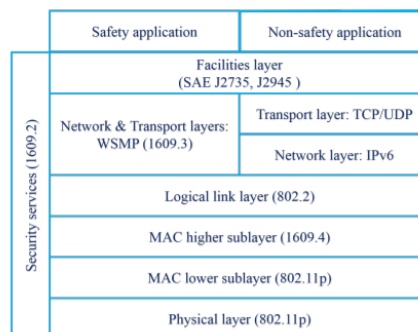
A V2X kommunikációra képes elemek telepítése megkezdődött az EU-ban az elmúlt években. [6] Mind az útmenti infrastruktúra, mind a tömeggyártott autók oldalán is találni példát erre. Hazánkban az M1-es autópálya mellé [7], [8], valamint az újonnan forgalmazott Volkswagen Golfokba kerültek ilyen eszközök. [9]

A V2X kommunikáció bevezetése jelentősen növelheti a járművek érzékelési távolságát. A technológia azonban hálózati hatásnak van kitéve, vagyis az alkalmazások működéséhez a kommunikációs partnerek minimális számának egy hatókörön belül kell lennie. Figyelembe véve a járműcsere gyorsaságát a jelenlegi piacon a technológia terjedése a most adott körülmények között nagyon lassú folyamat. A piaci bevezetés ideje pedig rendkívül kritikus, mivel a korai belépők valószínűleg nem profitálnak a technológiából, miközben számolniuk kell a fejlesztés hatalmas költségeivel.

## 2 V2X architektúra

A járműkommunikációs technológiák fejlesztésében egyelőre nem született globális szintű megegyezés. Attól függően, hogy a világ mely pontján járunk más-más elképzelések születtek a kommunikáció megvalósítására. Az egyik fő csapásirány a cellás hálózatok következő generációjának kiterjesztése és alkalmassá tétele a járművek számára. A másik megoldás a Wi-Fi (802.11p [10] szabványcsalád) alapú közvetlen kommunikáció mely a gyakorlatban jóval a cellás megoldás előtt jár (egyelőre) azonban ezen belül is két féle megközelítés létezik. A SAE [11] (Society of Automotive Engineers) egy egyesült államokbeli, globálisan aktív szakmai szövetség és szabványfejlesztő szervezet, melynek európai párja az ETSI [12] (European Telecommunications Standards Institute). Mindkét szervezet megalkotta a saját V2X szerkezetet, amelyeket a következő fejezetekben rétegenként szeretnék bemutatni.

### 2.1 A felépítése

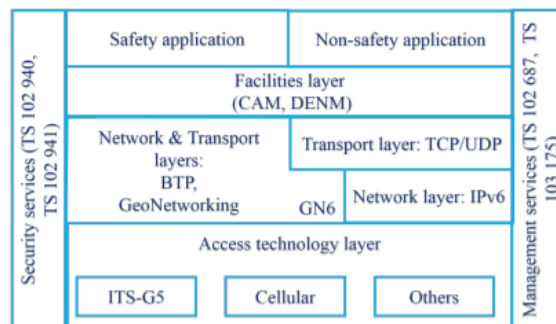


2.1. ábra: DSRC protokoll rétegek [13]

A DSRC (Dedicated Short-Range Communications) technológia a 2.1. ábrán bemutatott szabványokból áll. A verem tetején a SAE J2735 és SAE J2945 szabványokat alkalmazzák, melyek számos üzenetformátumot határoznak meg, figyelembe véve a biztonsági követelményeket az alkalmazási esetek széles körében. A SAE J2945 másrészt meghatározza a fedélzeti egységek (OBU - On Board Unit) rendszerkövetelményeit a V2V (Vehicle-to-Vehicle) kommunikációhoz, például az ilyen üzenetek felhasználásának eszközeit, a kommunikációs teljesítmény követelményeit és a csatorna torlódás szabályozási stratégiáját.



A WAVE (Wireless Access for Vehicular Environment), amelyet az IEEE 1609 határoz meg [14], a DSRC protokollok kulcsfontosságú részét képezi. Az IEEE 1609.2 kommunikációra vonatkozó biztonsági (security) szolgáltatásokat nyújt az alkalmazások és a felügyeleti csomagok számára, védve a kommunikációt a támadásoktól és védve a felhasználók magánéletét. Az IEEE 1609.3 a WAVE Short Message Protocol (WSMP) protokollt érinti, amely közlekedésbiztonsági (safety) és menedzsment üzenetküldési szolgáltatásokat nyújt a DSRC eszközök között. A nem biztonsági üzenetek internetes protokollokat használnak a hálózati és szállítási rétegekhez, például az Internet Protocol 6-os verzióját (IPv6), a User Datagram Protocol-t (UDP) és a Transmission Control Protocol-t (TCP).



**2.2. ábra: C-ITS protokoll rétegek [15]**

A C-ITS protokoll hierarchiáját Európában az Európai Távközlési Szabványügyi Intézet, Intelligens Közlekedési Rendszerek, Műszaki Bizottsága (ETSI ITS TC) fejlesztette ki a C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems) támogatására, ami a 2.2. ábrán látható. A szerkezet mellett bizonyos biztonsági alkalmazások specifikációit és követelményeit is szabványosították. A képesség réteg szabványosítja a CAM, DENM és más üzenetek formátumát. Az ITS-G5 a GeoNetworking [16] protokollt, valamint a hálózati és a szállítási rétegben a Basic Transport Protocol (BTP) használja, ugyanakkor más hálózati protokollok is használhatók. A kommunikációs profil megválasztása, legyen az GeoNetworking protokoll vagy IPv6, az alkalmazástól függ. A biztonsági és adatvédelmi szolgáltatásokat olyan szabványok nyújtják, mint az ETSI TS 102 940 [17, p. 940] és az ETSI TS 102 941 [18, p. 941]. A különféle felügyeleti szolgáltatások, például a DCC (Decentralized Congestion Control) [19] megvalósítására szolgáló architektúrát is megadják.

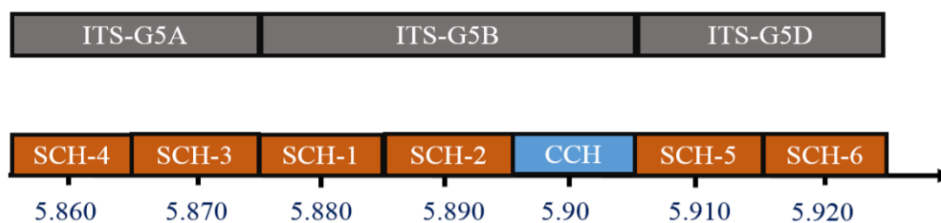
## 2.2 Spektrum kiosztás

Az Egyesült Államok Szövetségi Kommunikációs Bizottsága (FCC - Federal Communications Commission) 1999-ben 5,850 és 5,925 GHz között külön 75 MHz-es frekvenciasávot osztott ki a dedikált rövidtávú kommunikáció számára [20]. A spektrum hét 10 MHz-es csatornára oszlik, 5 MHz-es védősávval (Guard Band) az alsó végén. Mindegyik csatornát vagy szolgáltatási csatornának (SCH - Service Channel), vagy vezérlő csatornának (CCH - Control Channel) jelöljük, a használatra vonatkozó speciális szabályokkal. Pontosabban, a CCH a biztonsági (safety) alkalmazások üzeneteinek cseréjére és a más csatornákon nyújtott szolgáltatások bejelentésére van fenntartva. A nem biztonsági alkalmazások adatait a szerviz csatornákon továbbítják.



2.3. ábra: DSRC spektrum [21]

Kissé eltérő spektrumot rendeltek el a kooperatív intelligens közlekedési rendszerek számára Európában. Az **5,855 GHz és 5,925 GHz** közötti spektrum három ITS-G5B, ITS-G5A és ITS-G5D címkejű frekvencia tartományra oszlik [22]. Mindegyik tovább oszlik egy vagy több **10 MHz**-es csatornára. A CCH, SCH1 és SCH2 csatornákat a C-ITS biztonsági alkalmazásoknak szánják. A nem biztonsági alkalmazások kommunikációja az SCH3-ra és az SCH4-re korlátozódik. Az SCH5 és SCH6 a jövőbeli C-ITS alkalmazások számára van fenntartva.



2.4. ábra: C-ITS spektrum [21]

## 2.3 Fizikai réteg

Parameter	IEEE 802.11a	IEEE 802.11p	Changes
Data-rate	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 and 54 <i>Mbps</i>	3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24 and 27 <i>Mbps</i>	Half
Modulation mode	BPSK, QPSK, 16 QAM and 64 QAM	BPSK, QPSK, 16 QAM and 64 QAM	No change
Code rate	1/2, 2/3, and 3/4	1/2, 2/3, and 3/4	No change
Number of subcarriers	52	52	No change
Symbol duration	4 $\mu s$	8 $\mu s$	Double
Guard time	0.8 $\mu s$	1.6 $\mu s$	Double
FFT period	3.2 $\mu s$	6.4 $\mu s$	Double
Preamble duration	16 $\mu s$	32 $\mu s$	Double
Subcarrier spacing	0.3125 <i>MHz</i>	0.15625 <i>MHz</i>	Half

2.5. ábra: 802.11p újdonságai [23]

Az ITS-G5 és a DSRC is **IEEE 802.11p** [10] alapú fizikai hozzáférést használ. Az IEEE 802.11p az IEEE 802.11a-ból származik. Ortogonális frekvenciaosztásos multiplexálás (OFDM) modulációs sémát alkalmaz, és az IEEE 802.11a szabványban használt 20 MHz helyett csökkentett 10 MHz-es sáv szélességet használ. Ezenkívül az olyan paraméterek, mint a szimbólum időtartama és a 802.11a vivőtávolsága módosulnak, hogy kompenzálják az idő és a frekvencia szelektív gyengítő hatásait a csatlakoztatott jármű környezetében. Az IEEE 802.11p lehetővé teszi az átviteli teljesítmény, az adatsebesség és a vivőérzékelési küszöb dinamikus megváltoztatását minden üzenet esetében, ha a felső rétegek ezt igénylik. Ez a szolgáltatás a szűk keresztmetszetek kezelésére szolgál.

## 2.4 Hozzáférési réteg

A MAC réteg (közeghozzáférés-vezérlő) koordinálja a csatornához való hozzáférést, amelyet az összes jármű (csomópont) megoszt. A cél az üzenetek ütközésének minimalizálása és az üzenetek fogadás valószínűségének növelése. Az IEEE 802.11p a **CSMA/CA** sémát használja, hasonlóan a többi IEEE 802.11 protokoll családdhoz, valamint az Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) [24] protokollt. A CSMA/CA a csatornát tétlennek érzékeli, ha a vett jelerősség alacsonyabb, mint a vivőérzékelési küszöb. Ebben az esetben az érzékelő entitás arra a következtetésre jut, hogy a csatornán nincs üzenetátvitel. A CSMA/CA-ban minden csomópont hallgatja a csatornát, és ha egy előre meghatározott időintervallumig tétlennek érzékeli, akkor a

csomópont üzenetet továbbít. Ha a csatornát foglaltnak érzi, a csomópontnak el kell végeznie egy visszalépési eljárást: egy véletlen időintervallum szerint késlelteti a csatornához való hozzáférését. Ez a megközelítés jól működik alacsony és közepes adatterhelés esetén, de a hálózat növekvő terhelésével a vezeték nélküli csatorna telítetté válik, ami instabil rendszert eredményez, alacsony adatátviteli sebességgel és nagyon magas csomagvesztéssel. Az EDCA versenymentes hozzáférést biztosít a csatornához egy ideig, mely lehetővé teszi a nagyobb adatcsomagok gyors továbbítását.

## 2.5 Hálózati és szállítási réteg

A **GeoNetworking** ad hoc hálózatot biztosít az ITS-egységek földrajzi címzése és földrajzi útválasztása alapján. A GeoNetworking különféle ITS hozzáférési technológiákon keresztül futtatható. Támogat több címzési (pl. Unicast, multicast, broadcast) és továbbítási mechanizmust (pl. Egy ugrás / Több ugrás), hely információkkal kiegészítve. Fejlett forgalomirányító mechanizmusokat használ, mint például elosztott torlódásszabályozás, adóteljesítmény-szabályozás és adási intervallum-vezérlés az ITS állomások közötti adatátvitel megbízhatóságának és hatékonyságának növelése érdekében. Támogatja a modern titkosítás alapú védelmet, hitelesítést, engedélyezést és integritásvédelmi mechanizmusokat a biztonságos kommunikáció érdekében.

## 2.6 Képesség réteg

A biztonsági alkalmazások beacon és eseményvezérelt üzenetekre támaszkodnak. Beacon üzeneteket rendszeresen, periodikusan sugároznak és információkat tartalmaznak a járművek viselkedéséről, például a helyről, a sebességről, a haladási irányról és a gyorsulásról, ami elősegíti a környezet dinamikus térképének elkészítését. A beacon üzeneteket az Egyesült Államokban Basic Safety Messages (BSM) [25], Európában a Cooperative Awareness Messages (CAM) [2] néven említik. Európában eseményvezérelt üzenetek, úgynevezett Decentralized Environmental Notification Messages (DENM) [3] generálódnak olyan események esetén, mint hirtelen fékezés, valamint baleseti és baleset utáni ismeretek továbbításához is. Az Egyesült Államokban hasonló eseményvezérelt információkat csatolnak a periodikusan küldött BSM-hez. A jelzőbitet aktiválva egy opcionális konténer csatolható az eredeti üzenethez, ami tartalmazza egy esemény kódját (például vészfékezés), mely kódok feloldása a Message Set Dictionary elnevezésű listában található a SAE szabványa szerint.

A periodikusan küldött CAM üzenetek célja a szereplők egymásról való tájékoztatása, a kooperatív tudatosság megteremtése és fenntartása, valamint a közlekedési ágazat bármely szereplője közötti együttműködési magatartás támogatása, legyen szó járműről, gyalogosról vagy infrastruktúráról.

A DEN alapszolgáltatást főként a járművek és az útszéli infrastruktúra használja arra, hogy a V2X kommunikációs technológiákon keresztül értesítse az úthasználókat az utakon zajló valódi eseményekről.

A fentiek mellett további facilities réteg-béli protokollok állnak rendelkezésünkre. Az IVIM információt nyújt a fizikai útjelző táblákról, például statikus vagy változó útjelző táblákról, virtuális táblákról vagy útépitésekről. A MAPEM az út / sáv topológiájáról és az ajánlott forgalmi manőverekről küld üzenetet. A CPM (Collective Perception Messages) [4] lehetőséget nyújt az ITS állomásoknak arra, hogy információkat osszanak meg a környező objektumokról, amelyeket érzékelők, kamerák vagy más, a forgalom résztvevőire szerelt információforrások észleltek, főként olyan forgalomban résztvevő entitásokról, melyek nem képesek önmaguk részt venni a kommunikációban.

## **2.7 Alkalmazás réteg**

A CAM-eket főként közlekedésbiztonsági alkalmazásokhoz használhatjuk fel, mint például az ütközésetektálás, holtter figyelés, kanyarodás és előzés asszisztens stb., de hatékonyságnövelő célra is alkalmazható, például az adaptív kooperatív sebességtartó automatika (Cooperative Adaptive Cruise Control - C-ACC) esetében. A DENM információkat tartalmaz a kereszteződés ütközési kockázat figyelmeztetés (Intersection Collision Risk Warning - ICRW), a közúti veszélyekre vonatkozó információkról (Road Hazard Signalling - RHS), a tilos jelzésen való áthaladás (Red Light Violation Warning - RLW) vagy az útépités figyelmeztetés (Road Works Warning - RWW) alkalmazáshoz.

## 3 A kollektív észlelés

A CP alapszolgáltatás (Collective Perception Service) lehetőséget nyújt az ITS állomásoknak arra, hogy egy külön erre a célra kialakított üzenet segítségével ismereteket osszanak meg egymás között a környező tárgyokról, amelyeket érzékelők, kamerák vagy más, a forgalom résztvevőire szerelt érzékelőkkel észlelnek. Az megosztott ismeretek sokfélék lehetnek, ezek két nagy csoportba oszthatók: objektumok érzékelése (a többi közlekedő, akadályok, terep adottságai) vagy szabad terület érzékelése (pl. az éppen nem használt forgalmi sáv, parkolóhely). A szimulációhoz ezt az üzenet típust választottam forgalom generálására. A célom nagy adatmennyiség létrehozása volt, mivel azt akartam megvizsgálni, hogy mi történik, ha a csatorna kapacitásának nagy része használatban van. ACPM mérete pedig dinamikusan nő az érzékelt objektumok számával.

### 3.1 Collective Perception

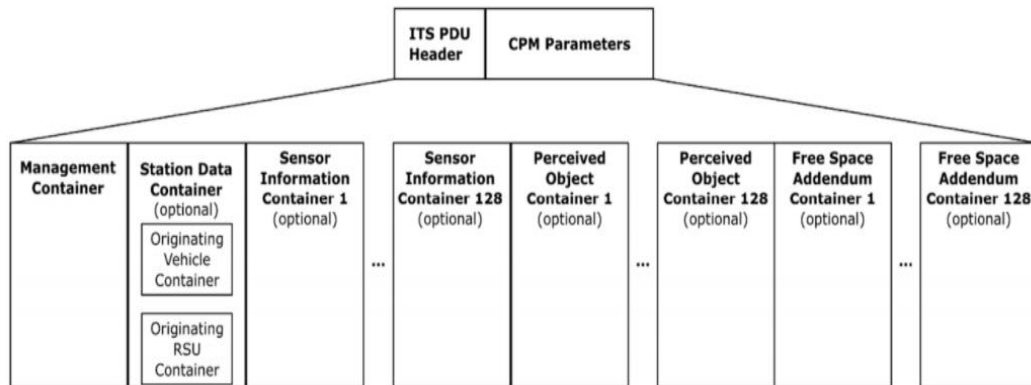
A legrosszabb esetben helyi szenzorok hiányában saját maguknak sem tudunk információt gyűjteni a környezetükről. A többi úthasználón kívül lehetnek olyan nemkívánatos tárgyak az út sávján vagy annak közelében, amelyek potenciális biztonsági kockázatot jelentenek a közlekedők számára. Például ilyen tárgy lehet egy másik jármű, farönk vagy törmelék. A szenzorok segítségével ugyan képesek vagyunk észlelni a közvetlen környezetünket, de az észlelés tartománya az érzékelők látómezőjére korlátozódik, ami különösen kritikus az épületek, autók és egyéb akadályok által árnyékolt tárgyak és más közlekedők esetében. A CA és a DEN alapszolgáltatás segítségünkre lehet, ha a szenzoros adataink nem lennének elegendőek, azonban egy ITS csak más V2X kommunikációt támogató jármű jelenlétéről és állapotáról tud információt szerezni. A nem kapcsolódó úthasználók, akik nem képesek önmagukban kommunikálni nem fogják tudni jelenteni magukat. Még a járművek esetében is, azok átlagos élettartama miatt, sokáig ezek lesznek többségben.

A modern, V2X kommunikációt támogató járművek viszont rengeteg érzékelővel vannak felszerelve, amelyek érzékelik ezeket a tárgyakat. Ezért természetesnek tűnik nemcsak a saját helyzetének, hanem az érzékelt tárgyokról szerzett információknak a közvetítése is, a többi állomás számára. Ennek további előnye, hogy olyan tárgyakat is észlelhet, amelyek soha nem képesek kommunikálni, például gyalogosokat, kerékpárosokat és egyéb akadályokat is, például kidőlt fákat.

Erre a célra találták ki a kollektív észlelést, ami a Collective Perception Message segítségével továbbítja az információkat. A CP szolgáltatással jelentősen megnövelhető az ITS állomások által felismert és megosztott úthasználók száma. Növelhető a becsült paraméterek pontossága (például a tárgy helyzete, sebessége stb.), amikor az ITS állomások ugyanarról az objektumról osztanak meg információt. Ebben az esetben a vevőknek meg kell egyezniük és össze kell olvasztaniuk a több üzenetből származó információkat. A biztonság szempontjából kritikus objektumokról szóló információk megosztása lehetővé teszi a biztonsági alkalmazások számára, hogy figyelmeztessék az úthasználót az ITS állomáshoz közeledve az észlelt veszélyről. A CPM-n alapuló alkalmazások széles skálája mind hozzájárul a közlekedés minőségének javításához.

### 3.2 CPM üzenetformátum és adatelemek

A CPM-et egy közös ITS PDU fejléc és több, csoportokba rendezett tároló alkotja. Az üzenet általános felépítését a 3.2.1 ábrán láthatjuk. [4] Az ITS PDU fejléc egy általános fejléc, amely tartalmazza a protokoll verzióját, az üzenet típusát és a kiinduló ITS azonosítóját. [4]



3.1. ábra: CPM üzenetformátum [4]

A Management Container (Kezelő konténer) az állomás típusáról és az ITS állomás referencia helyzetéről nyújt információt. Az üzenet terjeszthető mozgó ITS állomással (OBU, On Board Unit), például járművekkel, vagy álló ITS állomással, például RSU-val (Road Side Unit).

A jármű által generált CPM esetén az Station Data Container (Állomás adat konténer) tartalmazza a kiinduló ITS dinamikus információit. Az mozgó ITS állomások esetén a kitöltése kötelező. RSU által generált CPM esetén az eredeti RSU konténer

hivatkozásokat adhat az azonos RSU által terjesztett MAP üzenet által megadott azonosító számokra. Ezekre a hivatkozásokra azért van szükség, hogy a CPM által szolgáltatott adatokat hozzá lehessen egyeztetni egy kereszteződés vagy útszakasz geometriájához, amint azt a MAP üzenet biztosítja.

A Sensor Information Container (Érzékelő információ konténer) lehetőséget nyújt arra, hogy információt szolgáltatson az ITS szenzoros képességeiről. Az ITS állomás típusától függően különböző leírások állnak rendelkezésre az érzékelő tulajdonságainak kódolásához. Minden érzékelőt külön konténerben tárol, de egy konténer felhasználható már több szenzorból származtatott információ küldésére is. Az alapvető kamera és radar szenzorokon túl egy szenzor akár időjárás állomás vagy fény mennyiség mérő szenzorok is lehetnek, mindegyik hasznos információ lehet az észlelés pontosságában.

Egy Perceived Object Container (Érzékelt objektum konténer) hozzáadható minden olyan objektumhoz, amelyet egy ITS észlelt. Információt nyújt az észlelt objektumról. Az útdatokhoz illeszthető osztályozások és pozíciók is megadhatók. Ez a konténer típus csak akkor kerül hozzáadásra, ha van érzékelt objektum. Több érzékelt objektum esetén, azokat azonosítóval látja el, annak érdekében, hogy ha egy másik állomás is észleli a tárgyat, akkor megállapítható legyen, hogy ugyanazt érzékelték, vagy egy másik objektumról van szó. Minél több bemenő adat van egy tárgyról, annál biztosabban kalkulálható a jelenléte és a viselkedése.

A Free Space Addendum Container (Szabad hely kiegészítés konténer) hozzáadható a kiszámított szabad hely változásainak leírására. Furcsának tűnhet, de igen is van jelentősége az üres hely érzékelésének is. Sőt a területhez azt is hozzá lehet párosítani, hogy mennyire vagyunk biztosak abban, hogy üres. Például radar esetén a visszaverésből megállapítható, hogy nem található tárgy az adott helyen vagy csak nem jött visszaverődő jel, ami szintén arra utal, hogy üres a hely, de azt csak kisebb biztonsággal állítja.



## 4 Torlódásszabályozás a járműkommunikációban

A torlódásszabályozás azt a mechanizmust jelenti, amikor egy adott rádiós közegben annyira megnő az forgalmazott üzenetek száma, hogy az átvitel hatékonysága jelentős mértékben romlik és ilyenkor egy erre a célra készített entitás képes leszabályozni az üzenetek generálását és küldését, hogy a kommunikáció helyreálljon és a nagyobb prioritású üzenetek célt érjenek.

### 4.1 A szabályozás szükségessége

A CSMA/CA csatornaérzékeléssel segít elkerülni az üzenetek ütközését, azonban nem akadályozhatja meg azt teljes mértékben, és egy idő után túl sok lesz belőle, mivel a csatorna terhelése egy bizonyos küszöböt elérve nagyon megnő, ami a csatorna torlódásához vezet. Ez a csomag vételi arány (PRR - packet reception rate) súlyos romlásához vezet, ami befolyásolja az alkalmazások teljesítményét.

A CCH tartalmaz beacon és eseményvezérelt üzeneteket. Az eseményvezérelt üzenetek nagyobb prioritással rendelkeznek, mint a periodikusan küldött üzenetek. A jármű környezetében bekövetkező események kiszámíthatatlan jellege miatt a csatorna egy részét le kell foglalnunk a biztonság szempontjából kritikus eseményvezérelt üzenetek számára.

Egy becslés szerint az alapértelmezett kommunikációs paraméterekkel, azaz 10 Hz-es üzenetküldési sebességgel, 300 bájtos üzenetmérettel, 6 Mbps-os adatátviteli sebességgel és 25 dBm átviteli teljesítménnyel (500 m-es kommunikációs tartomány) a csatorna maximális támogatással képes 200 jármű kiszolgálására. [26] Vannak azonban olyan esetek, amikor a járművek száma meghaladja a 200 járművet, például egy 8 sávós autópálya-forgatókönyvben, ahol a járművek távolsága 20 m, megközelítőleg 400 jármű van. Ilyen esetekben külön intézkedések nélkül torlódások lépnek fel, és a kommunikáció már nem lehetséges. A torlódások elkerülése érdekében tehát torlódásszabályozó algoritmusokra van szükségünk, melyek segítségével biztosíthatjuk a biztonságkritikus üzenetek forgalmát.

## 4.2 Az algoritmusok paramétereai

A torlódásszabályozó algoritmusok célja tehát a járművek kommunikációs paramétereinek beállítása, amelyek hozzájárulnak a csatorna terheléséhez. Ilyen például az adási teljesítmény, az üzenetsebesség, az adatsebesség és a vivőérzékelési küszöb. Adási teljesítmény alatt azt a rádiófrekvenciás energiát értjük, melyet a küldő antenna sugároz a vezeték nélküli kommunikáció során. A vivőérzékelési küszöb pedig azt mondja meg, hogy milyen jelszint alatt tekintjük a kommunikációs csatornát üresnek. Az előbbi két paraméter hangolja a jármű érzékelési tartományát, amely az a jármű körüli terület, amelyen belül a jármű foglaltnak érzékeli a csatornát, ha egy másik jármű továbbít rajta egy üzenetet. A vivőérzékelési küszöb és az adási teljesítmény DCC algoritmusai az érzékelési tartomány méretének változtatásával próbálják meg elérni, hogy a csatornát megosztó járművek által folytatott kommunikáció csatorna terhelése csökkenjen. Maga a terület azonban nem mindig befolyásolja a csatorna terhelését, mivel az a szomszédos járművek sajátos térbeli eloszlásától is függ. Az üzenet és adat sebesség az egységi idő alatt átvihető elemek számát jelenti. A beacon üzenetek gyakoriságának csökkentésével szintén állítható a terhelés. Ezeknek a kommunikációs paramétereknek a megválasztása azonban befolyásolhatja az alkalmazások megbízható működését. A DCC algoritmusoknak úgy kell megválasztaniuk a megfelelő kommunikációs paramétereket, hogy elkerüljék a torlódásokat, és egyidejűleg kielégítsék az alkalmazás minimális megbízhatósági és biztonsági követelményeit.

## 4.3 Elosztott torlódásszabályozás

A torlódásszabályozó algoritmusok központosított vagy decentralizált módon működtethetők. A központosított megközelítésnek egyetlen koordinátora van, például egy RSU (Road Side Unit), amely a csatornaterhelés szabályozásáért felel. A koordinátor eljuttatja a kommunikációs paramétereket a hatósugarában lévő többi járműhöz. Egy másik megközelítés a decentralizált torlódásszabályozás, ahol minden csatornát megosztó járműnek külön kell beállítania kommunikációs paramétereit a torlódások elkerülése érdekében. A DSRC és az ITS-G5 központosított infrastruktúra nélküli működésre készült. A decentralizált torlódásszabályozási stratégiákat az ETSI és a SAE szabványügyi testületei implementálták. A decentralizált mechanizmus azonban új kihívásokat jelent, például a méltányosságot (fairness).

A méltányosság ebben az összefüggésben a csatornát megosztó összes jármű egyenlő csatornahasználati idejére utal. A jármű csatornahasználati ideje az az idő, amelyet a jármű a beacon üzenetek továbbítására használ. A tisztességtelen csatornahasználati idő az alkalmazás teljesítményének romlásához vezethet.

## 4.4 DCC teljesítménymutatók

Az DCC teljesítménye számszerűsíthető az alkalmazások megbízhatóságának és az észlelési tartományban történő kommunikáció megfigyelésével, mérésével. [19]

A DCC algoritmusok célja azonos osztályú forgalom hatékony ütemezése az ITS-S-ek között, valamint több forgalmi osztály forgalmának szervezése ITS-S-enként. Az ITS alkalmazásokat több forgalmi osztályba sorolják be a csatorna erőforrásokban megkövetelt arányuk szerint. Az ITS-alkalmazások között a csatorna erőforrások megosztásának mérésére, adaptálására és tesztelésére szolgáló közös eszköz az az idő, amely alatt az egyes ITS-S-ek hozzáférést kapnak az média ad hoc hálózatában történő továbbításához. A SAE és az ETSI szabványok által használt mérték a CBR (Channel Busy Ratio). [27]

$$CBR = \frac{T_{busy}}{T_{CBR}}$$

4.1. ábra: CBR számítás

Ezt az értéket úgy kapjuk meg, hogy vesszük az arányát a mérés időtartamának és annak az időintervallumnak, amikor a csatornát foglaltnak érzékeljük. Az átlagos CBR az észlelési tartományban a járművek által tapasztalt CBR értékek átlaga, mely mérték a csatorna terhelését jellemzi. A DCC algoritmusok feladata a torlódási küszöbérték (CTH - congestion threshold) alatt tartani az átlagos CBR értéket, minden használt rádiós csatornán.

Az alkalmazás megbízhatóságát a T-window-val (TAR) mérhetjük, amely az információfrissítési követelményeknek való megfelelés valószínűsége. Tehát, hogy az adott üzenet mekkora eséllyel érkezik meg időben a címzetthez. Adott távolságon mért átlagos TAR az alkalmazások megbízhatóságának értékelésére szolgál. Ez a mérték alsó határként szolgálhat a szabályozó algoritmusok számára, mert képes megadni a DCC paraméterek azon minimális értékeit, melyeket alkalmazva biztosítható az alkalmazások megbízható működéses.

## 4.5 DCC példák

Az ETSI a jármű dinamikája, például a helyzet, a sebesség és a haladási irány alapján javasolta a CAM üzenetek létrehozását. Ez más néven Triggering DCC (T-DCC), amely folyamatosan igazítja az üzenetsebességét. CAM üzenet akkor jön létre, ha az aktuális és az utolsó CAM-ben jelölt haladási irány abszolút különbsége nagyobb lesz, mint  $4^\circ$ , ha az aktuális pozíció és az előző CAM üzenet pozíciója közötti távolság meghaladja a 4 m-t, vagy ha az abszolút értéke az aktuális és az utolsó sebesség közötti különbségnek meghaladja a 0,5 m / s-ot. Az, hogy a CAM üzenetet továbbítani kell-e vagy sem, 0,1 másodpercenként értékelődik ki. Az ilyen járműdinamikai alapú üzenetsebesség-algoritmusok sokszor egyidejű üzenetek generálását jelentik, például amikor az egymást követő járművek egyszerre alkalmazkodnak a sebességhez.

Az ETSI meghatározott egy keretet a DCC számára, amely számos paramétert képes befogadni a csatorna terhelésének szabályozására, mint például az adási teljesítmény, az üzenetsebesség, az adatsebesség és a vivőérzékelési küszöb. Ezek közül az ETSI javaslatot tett egy egyszerű reaktív DCC-re (R-DCC), amely egy keresőtábla és a mért CBR segítségével alkalmazkodik a járművek üzenetsebességéhez. A DCC keresőtáblákat többféleképpen lehet létrehozni. Egyes esetekben az állapotok között szabadon lehet ugrálni, másoknál csak egyesével lépkedhetünk és az állapotnak megfelelően állíthatjuk a DCC paramétereit. Az ETSI TS 102 687 [2] keretrendszerben kifejlesztettek egy állapotalapú reaktív DCC megközelítést, amely az előbb felsorolt paraméter szabályozási technikák közül számos megoldást támogat a hálózati terhelés szabályozásához: [19]

Relaxed	<0,3	20 Hz	50 ms
Active 1	0,3-0,39	10 Hz	100 ms
Active 2	0,4-0,49	5 Hz	200 ms
Active 3	0,5-0,65	4 Hz	250 ms
Restrictive	0,65<	1 Hz	1000 ms

4.2. ábra: Reaktív DCC keresőtábla [19]

## 4.6 MCO

A ma ismert alkalmazások és a forgalomban résztvevő csekély számú V2X rendszerrel felszerelt járművek miatt egyelőre bőven elegendő a CCH használata a kommunikációhoz. A DCC egy adott csatorna üzeneteit irányítja, azonban a nagyszámú alkalmazások igényeinek kielégítésére ma már több csatorna is rendelkezésre áll. Így a továbbiakban szükségünk van egy új entitásra, mely azért lesz felelős, hogy egyes szolgáltatások több csatornán való alkalmazását is zökkenőmentessé tegye, akárcsak a csatornán belül a DCC. Ezt a működést hívjuk MCO-nak (Multi-Channel Operation).

A többcsatornás kommunikációban a hálózat tagjai egyszerre több rádiós csatornán kommunikálnak. Ennek akkor van jelentősége, ha egy adott csatornán olyan mennyiségű szolgáltatás érhető el, hogy azok megtelítik a közeget az üzeneteikkel. A megfelelő torlódásszabályozással ugyan a prioritásos üzenetek célba érnek, de nagyon nagy terhelés esetén ez sem biztosított, és az egyéb alkalmazások számára egyáltalán nem hagy csatorna használati időt. Ilyenkor érdemes bizonyos szolgáltatásokat egy másik csatornán biztosítani.

Azt, hogy bizonyos szolgáltatások melyik csatornán érhetőek el arra nincs meghatározott előírás. Az egyik lehetőség, hogy az állomás végig pásztázza az összes frekvenciát, belehallgat mindegyikbe, és eldönti, hogy melyik csatorna számára hasznos. Ezzel viszont az a baj, hogy az áthangolás rendkívül lassú folyamat, és egy biztonság kritikus rendszernél nem fér bele, hogy ennyi üzenet kimaradjon, amíg a rádió átáll.

A megoldás a más csatornákon elérhető szolgáltatásokat hirdető (Service Announcement - SA) szolgáltatás lehet, mely a CCH-n működik és az éppen elérhető szolgáltatásokat képes kihirdetni, azzal az ismerettel együtt, hogy az melyik csatornán érhető el.

## 5 Szolgáltatáshirdetés

### 5.1 A szolgáltatáshirdetés célja

Egyes alkalmazások megkövetelik, hogy az ITS-állomások (szolgáltatás felhasználók) ismerjenek bizonyos számukra érdekes szolgáltatásokat, amelyeket más ITS-állomások (szolgáltatók) nyújtanak meghatározott kommunikációs hozzáférési technológiákon keresztül. A Services Announcement (SA) szolgáltatás egy protokoll szolgáltatás (ETSI 102 890-1 [28]), amely a C-ITS architektúra képesség illetve a menedzsment rétegében dolgozik. Az SA szolgáltatás a rendelkezésre álló szolgáltatásokról nyújt információt a Services Announcement protokoll alkalmazásával. A protokoll az előbbi megnevezésen túl Service Advertisement néven is megtalálható, a két kifejezés ugyanazt takarja. A protokoll a SAEM (SA Essential Message) üzeneteket használja az információk továbbításához.

Az SA a következő funkciókkal rendelkezik:

- A képesség réteg üzenetfeldolgozó funkciója felelős a SAEM periodikus továbbításáért és/vagy vételért. Ez felel az üzenatkódolásért és az átvitel kezelésért.
- A menedzsment entitás felelős az alkalmazások regisztrálásáért, frissítéséért és törléséért.

Az SA szolgáltatás különböző konfigurációkat támogat a szolgáltató szerepkör és a szolgáltatást bejelentő szerepkör tekintetében, például:

- A szolgáltató és a szolgáltatás bejelentője ugyanabban az ITS rendszerben valósul meg.
- A szolgáltató és a szolgáltatás bejelentője külön ITS rendszerekben valósul meg.

A szolgáltatások hirdetésének több célja is van. Ezek közül a legfontosabb a több csatornán zajló kommunikáció biztosítása. Az alkalmazások egyre növekvő száma miatt, a kommunikációhoz több fizikai erőforrást szükséges rendelni, mely több frekvencia sávban kerül megvalósításra. Az SA segítségével olyan szolgáltatásokról is tudomást szerezhethetünk, amelyek más rádiós csatornán működnek anélkül, hogy a másik csatornába bele kéne hallgatni. Emellett segíti a prioritásos (közlekedés biztonsági) üzenetek koordinációját, hogy azok például kevésbé terhelt csatornán, gyorsabb kiszolgálásban részesüljenek. A protokoll a hozzáférési technológiák közötti váltásban is szerepet játszik.

## 5.2 Service Announcement interfészei

Az alkalmazás és a menedzsment réteg között

- A szolgáltató alkalmazás megadott paraméterek felhasználásával regisztrálhatja, frissítheti vagy törölheti a menedzsment entitás nyilvántartásából az általa kínált szolgáltatást.
- A szolgáltatást használó alkalmazás a megadott paraméterekkel regisztrálhatja, frissítheti vagy törölheti a számára potenciálisan érdekes szolgáltatásokat a menedzsment egységnél lévő listában.
- A szolgáltatást használó alkalmazást értesíteni lehet az egyik regisztrált érdekes szolgáltatásnak megfelelő SAEM fogadásáról a menedzsment entitás által a megadott paraméterek felhasználásával.

A képesség és a menedzsment réteg között

- A képesség rétegben allokált SA szolgáltatási funkciók és a menedzsment entitás információkat cserélnek egymással a szolgáltatás bejelentése céljából.

A képesség és a hálózati és szállítási réteg között

- Az SA szolgáltatás eljuttatja a SAEM-et a Networking & Transport réteghez annak terjesztése céljából.
- A Networking & Transport réteg jelzi a SAEM vételét az SA szolgáltatásnak.

## 5.3 SA Essential Message felépítése

Az ETSI által elfogadott üzenetformátum két részből épül fel. Az első összetevő egy fejléc, a második pedig egy SAM üzenet, amit ily módon SAEM üzenetbe csomagolunk:

A SAEM fejléc komponens struktúráját az ETSI TS 102 894-2 [29] határozza meg:

- A fejléc “protokollVersion” (verziószám) komponensét "1" értékre kell állítani.
- A fejléc “messageID” (üzenet azonosító) tagját "SAEM" értékre kell állítani szintén az ETSI TS 102 894-2 meghatározása szerint.
- A “stationID” (állomás azonosító) komponens a hirdető ITS-állomás azonosítójára kell állítani.

A SAEM “sam” komponensének SAM típusúnak kell lennie, az ISO / TS 16460 [30] szabványban meghatározottak szerint. Az ábra a Service Advertisement Message (SAM) alap formátumát szemlélteti.

SAM							
Header				Body			
4 bits	4 bits	4 bits	4 bits	Optional Variable	Optional Variable	Optional Variable	Optional Variable
Version	Option Selector	SAM-ID	SAM-Count	SAM Extensions	Service Info Segment	Channel Info Segment	IPv6 Routing Advertisement

5.1. ábra: SAM üzenet felépítése [28]

### 5.3.1 Törzs komponens részei

- Szolgáltatás információ szegmens, opcionális. (2. bit)
- Csatorna információ szegmens, opcionális. (1. bit)
- IPv6 útvonalválasztás hirdetés, opcionális. (0. bit)

Az alábbi ábra azt szemlélteti, hogy az említett szegmensek milyen jellegű információk terjesztésére alkalmasak. [28]

Szolgáltatás információ szegmens	Csatorna információ szegmens	Útvonalválasztás hirdetés	Informatív magyarázatok
hiányzik	hiányzik	hiányzik	Üres SAM üzenet.
van	hiányzik	hiányzik	Szolgáltatás hirdetése, amely ugyanazon a rádiós csatornán érhető el, mint ahol a SAM üzenetet küldjük.
hiányzik	van	hiányzik	Felhívás a rádióvevő jelzett csatornára való átváltására.
van	van	hiányzik	Szolgáltatás hirdetése, ahol egy vagy több szolgáltatás más rádiós csatornán érhető el, mint ahol a SAM üzenetet küldjük.
hiányzik	hiányzik	van	IPv6-hálózathoz (pl. Internet) való hozzáférés hirdetése ugyanazon rádiócsatornán, mint amelyen a SAM-et használjuk.
van	hiányzik	van	Szolgáltatás hirdetése, amely ugyanazon a rádiós csatornán érhető el, mint ahol az üzenetet küldjük. IPv6 kommunikáció használata.

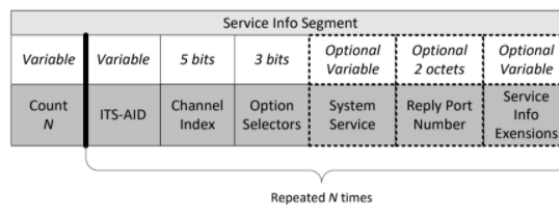


hiányzik	van	van	IPv6-hálózathoz (pl. Internet) való hozzáférés hirdetése más rádiócsatornán, mint amelyen a SAM-et használjuk.
van	van	van	Szolgáltatás hirdetése, ahol egy vagy több szolgáltatás más rádiós csatornán érhető el, mint ahol a SAM üzenetet küldjük. IPv6 kommunikáció használata.

5.2. ábra: A terjeszthető információk kombinációi

### 5.3.2 Szolgáltatás információ szegmens

Az ábrán bemutatott szolgáltatás információ szegmens információkat nyújt a hirdetett szolgáltatásokról. Az elején egy "Count N" nevű mezőt tartalmaz, amely a későbbi szolgáltatási információ készletek N számát (maximum 32) jelöli.

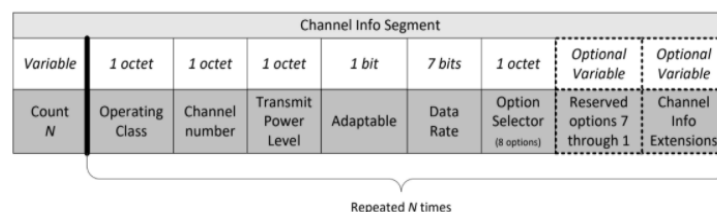


5.3. ábra: A szolgáltatás információ szegmens felépítése [28]

- "ITS-AID" (serviceID) változó hosszúságú mező, amely tartalmazza a meghirdetett szolgáltatás azonosítóját.
- "Channel Index" (csatorna index) mező, amely azt a szolgáltatási csatornát jelzi, ahol a meghirdetett szolgáltatást kínálják.

### 5.3.3 Csatorna információ szegmens

Az ábrán bemutatott csatorna információ szegmens információt nyújt a SAM-ekben hirdetett szolgáltatások által használt csatornákról. Az elején egy "Count N" nevű mezőt tartalmaz, amely a későbbi csatorna információ készletek N számát (maximum 32) jelöli.



5.4. ábra: A csatorna információ szegmens felépítése [28]

- Az "Operating Class" és „Channel number” mező. Megadja annak a csatornának a számát, amely egyedi módon azonosít egy csatornát egy országon belül.
- "Transmit Power Level" átviteli teljesítményszintet tartalmazó mező, a társított csatornán történő átvitelhez. Megadja az effektív sugárzott energiát a -128 dBm és 127 dBm közötti tartományban, amellyel a társított csatornán kell továbbítani.
- Az "Adaptable" bitet tartalmazó mező, amely jelzi, hogy az "Data Rate" határértéket vagy rögzített értéket tartalmaz. 0 rögzített érték, 1 minimum érték.
- “Data Rate” egy 7 bites részmező, amely a csatornán használt adatsebességet jelzi.

## 6 MCO hatékonyság mérése

### 6.1 Célkitűzés

A szimuláció célja azt megmutatni, hogy egy bizonyos szolgáltatás mennyiség után érdemes áttérni az egyszerűbb egycsatornás kommunikációról a többcsatornás kommunikációra. A megfelelő csatorna megtalálásához segítségül hívható a szolgáltatáshirdetés protokoll, viszont érdemes lehet azt is megnézni, hogy ez az új szolgáltatás vajon mennyi többlet forgalommal jár, milyen nagyságú forgalom után érdemes ilyet alkalmazni.

A csatorna használatának azért van nagy jelentősége, mert a rádiós közeg kifejezetten drága erőforrásnak számít, egyéb telekommunikációs cégek is gyakran egymást túlllicitálva versenyeznek a frekvenciákért, irdatlan pénzeket kifizetve. Tehát az, hogy a járműkommunikáció hatékony legyen kulcsfontosságú a jövőre nézve, mind a technológiát használóknak, mind azoknak, akik ezt az erőforrást az intelligens közlekedési rendszerekre szánta.

A ma használt alkalmazások és V2X-et használó járművek kis száma miatt azt híhetnénk, hogy ez a kérdéskör még nem időszerű, de ez nem így van. A technológia fejlődése és terjedése exponenciális gyorsaságú, a következő nemzedék szinte már magától értetődően fogja használni. És ha még nem is a kivitelezés szintjén, de a tervezési időszakban is érdemes megvizsgálni a többcsatornás működést, mely segítséget adhat a most kidolgozás alatt álló szabványok megalkotásához.

### 6.2 Artery szimulációs környezet

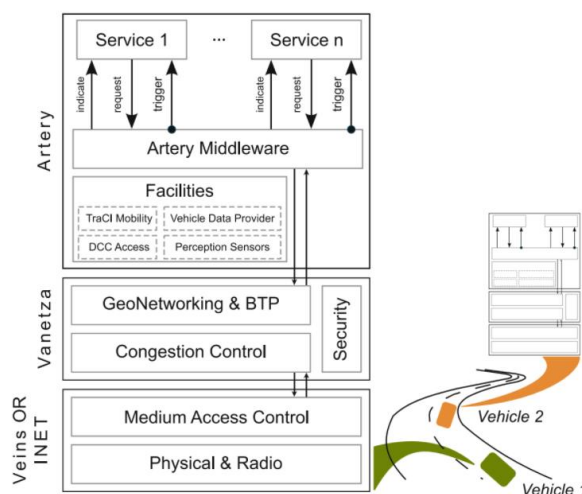
Az Artery [31] egy kifejezetten ITS-G5 szimulációkhoz fejlesztett rendszer, mely képes a járműveket hálózati csomópontokként is értelmezni és az európai standardokat alkalmazni (ETSI). Elnevezése onnan ered, hogy párja a Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) kommunikációt modellező rendszer a Vehicles in Network Simulation (VeINS) rövidítésre lett keresztelve, mely kifejezetten a SAE szabványokat követi. Az elnevezések, azon kívül, hogy rendkívül hangzatosak, még arra is utalást tesznek, hogy az emberi keringési rendszer bizony nagyon hasonlít ezekhez a hálózatokhoz.

A rendszer fő alkotó elemei a Simulation of Urban MObility (SUMO) és az Objective Modular Network Testbed in C++ (OMNet++). Előbbi a járművek szimulációját teszi lehetővé, míg utóbbi a hálózatok és topológiák változását utánozza.

A SUMO képes összetett úthálózatok létrehozására, ahol az útszakaszokat keresztezésekkel köti össze. Az utak szabadon konfigurálhatók, hogy mennyi forgalmi sáv legyen elérhető, hozzáadható további kerékpár vagy gyalogos sáv. Állítható ezek mérete vagy akár a sebességkorlátozás értéke is. A keresztezésekben eldönthető, hogy mely irányok engedélyezettek, és ehhez illeszkedően, hogy melyik sávból milyen irányban lehet tovább haladni. A közlekedési lámpák is innen vezérelhetők, illetve ezen túl maguk a járművek (melynek típusa szintén beállítás kérdése) is szimulálnak néhány belső viselkedést, például az irányjelzők és fényszórók működését.

Az OMNet++ a forgalomban résztvevő járműveket felruhazza a képességgel, hogy őket, mint mozgó vezeték nélkül kapcsolódó hálózati eszközökként is értelmezni tudjuk. Ilye formán lemodellezhető a V2X architektúra minden részlete, kezdve a fizikai közegek és az útvonalválasztási protokollokkal.

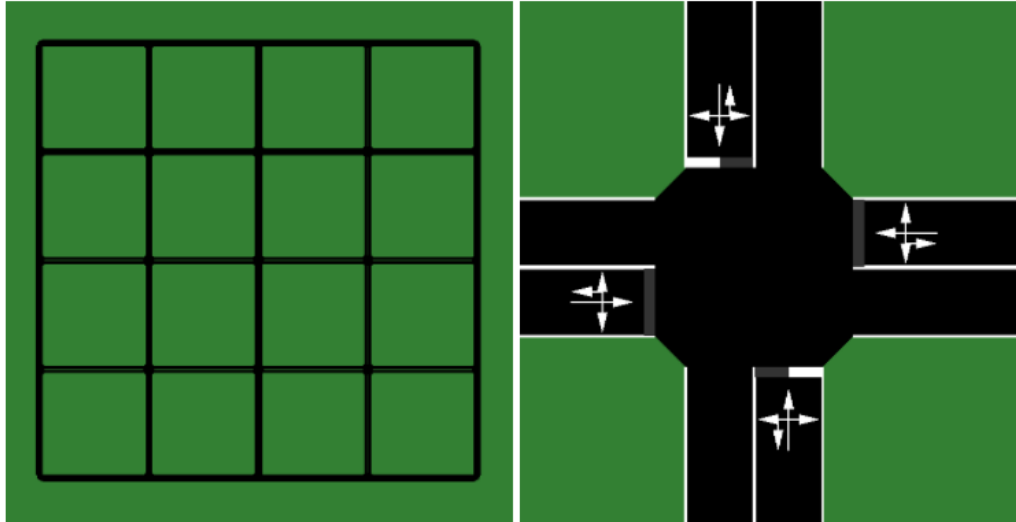
Ezt a két tulajdonságot összegyúrva készült el az Artery, mely képes használni az 5,9 GHz-es dedikált frekvenciasávot, implementálja a GeoNetworking protokollt és az alapvető biztonsági alkalmazásokat. Sőt a rétegrendes szerkesztés miatt, a V2X stack minden eszközön megtalálható, így minden middleware-ben arra is van lehetőség, hogy például a torlódásszabályozás helyet kapjon a futó szolgáltatások alatt. Támogatja, és egyben eredendően implementálja a CAM és DENM üzeneteket és az azokhoz tartozó szolgáltatásokat.



6.1. ábra: Artery – Járművekhez csatolt stack felépítése [31]

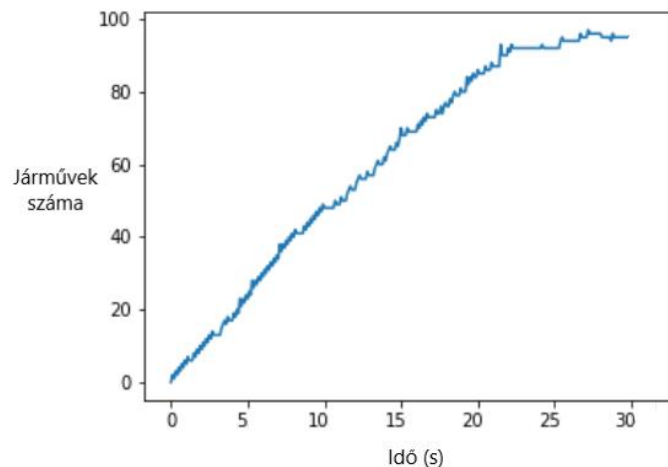
## 6.3 A forgatókönyv

A terep kialakításánál arra törekedtem, hogy minél nagyobb forgalom generálódjon és az autóknak minél nagyobb rálátása legyen egymásra. A párhuzamos utak közötti távolság 100 méter, így a teljes terület 400x400 méteres.



6.2. ábra: Úthálózat és kereszteződés

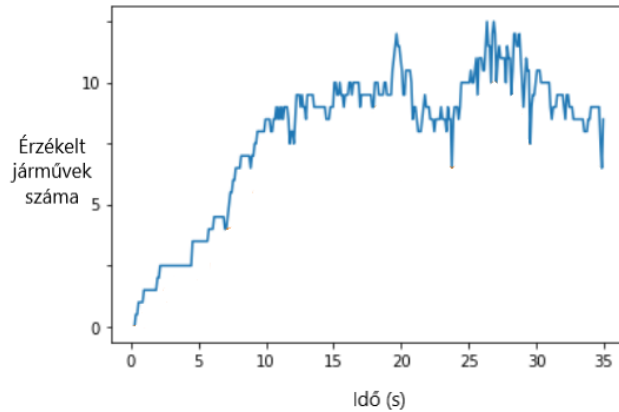
A járművek véletlenszerűen kerülnek az úthálózatba és egy előre megadott véletlenszerű útvonalat járnak be, majd eltűnnek. A kereszteződéseknel bármely irányban tovább haladhatnak.



6.3. ábra: A járművek számának alakulása a szimuláció alatt

A szimulációkat minden esetben 30 másodpercig futtattam, a járművek maximális száma 100 környékén ingadozott. Egy autó átlagosan 10 másikat érzékelt. Az autók egységesen fel lettek konfigurálva, hogy azok minden szolgáltatást használjanak és

minden üzenet típust küldjenek ki. CAM és CPM üzenetek esetén az alap érték 0,1 másodperc volt. A CA esetén pedig 1 másodperc.



6.4. ábra: Érzékelt járművek átlagos száma

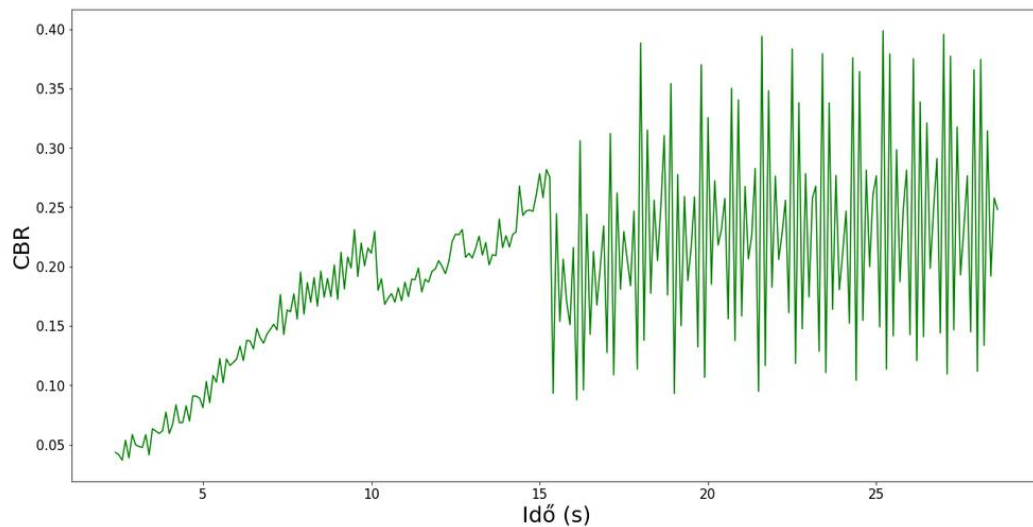
sim-time-limit	30s
node[*].wlan[*].radio.carrierFrequency	5,9GHz
node[*].wlan[*].radio.transmitter.power	200mW
node[*].middleware.updateInterval	0,1s
traci.mapper.vehicleType	artery.envmod.Car
environmentModel.FrontShortRangeRadar.fovRange	165m
environmentModel.FrontShortRangeRadar.fovAngle	170
environmentModel.RearShortRangeRadar.fovRange	165m
environmentModel.RearShortRangeRadar.fovAngle	170
node[*].numRadios	2
node[*].wlan[0].radio.channelNumber	180
node[*].wlan[1].radio.channelNumber	176

6.5. ábra: szimulációs paraméterek

## 6.4 A többcsatornás kommunikáció szimulációja

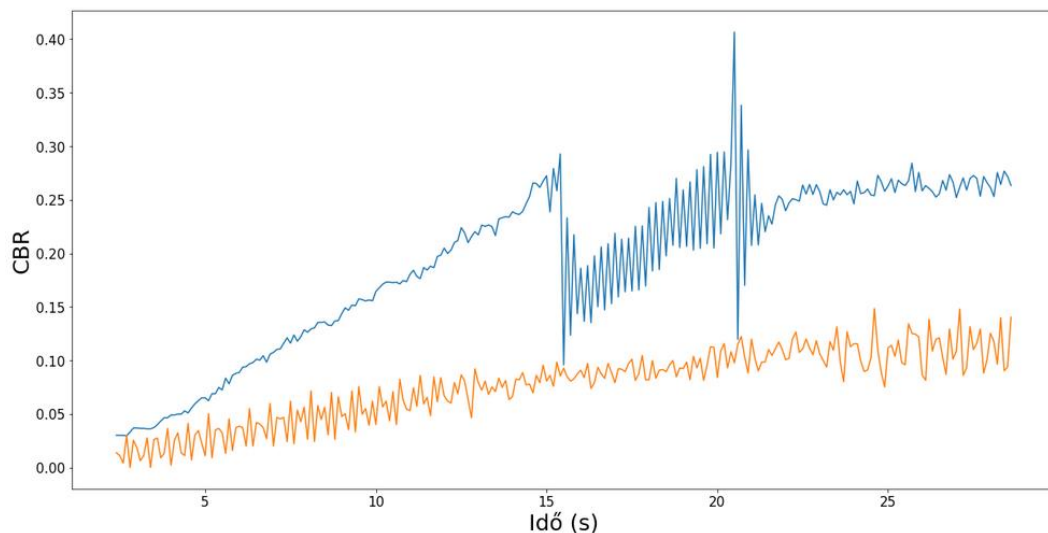
A program lehetőséget biztosít több csatornás kommunikáció modellezésére is, melyekhez hozzá lehet rendelni a szolgáltatásokat. Első körben azt vizsgáltam meg, hogy hogyan viselkedik a rádiós közeg, ha a két szolgáltatás külön, illetve ha egy csatornán működik.

Egy csatornát használva a csatorna foglaltsága igen nagy lesz néha a 0,4-es CBR értéket is eléri. Az elosztott torlódás szabályozás itt az üzenetek generálásának gyakoriságát visszább véve megpróbálja a kommunikációt tartósabbá tenni, tehát azért, hogy ne vesszen el annyi üzenet, inkább egy kicsit nagyobb időközönként küldi ki őket, de még így is gyakrabban meg fognak érkezni, mintha gyakrabban küldenénk ki őket, de annak a fele nem érkezne meg a torlódás miatt. Persze az újabb és újabb járművek, melyek 0,2 másodpercenként érkeznek a területre mindig el fogják rontani és mindig le kell szabályozni a küldési gyakoriságot.



**6.6. ábra: CBR alakulása CAM és CPM egy csatornán forgalmazva**

Két csatorna esetén, amikor a CA szolgáltatás marad a CCH-n (180), és a CP szolgáltatást áthelyezzük az SCH1-re (176), akkor a két üzenet típus nem befolyásolja egymás működését. A fizikai közeg így sokkal kevésbé terhelt és az átlagos CBR is 0,1, illetve CPM esetén 0,25 körül állandósul.



6.7. ábra: CBR alakulása CAM (sárga) és CPM (kék) két külön csatornán forgalmazva

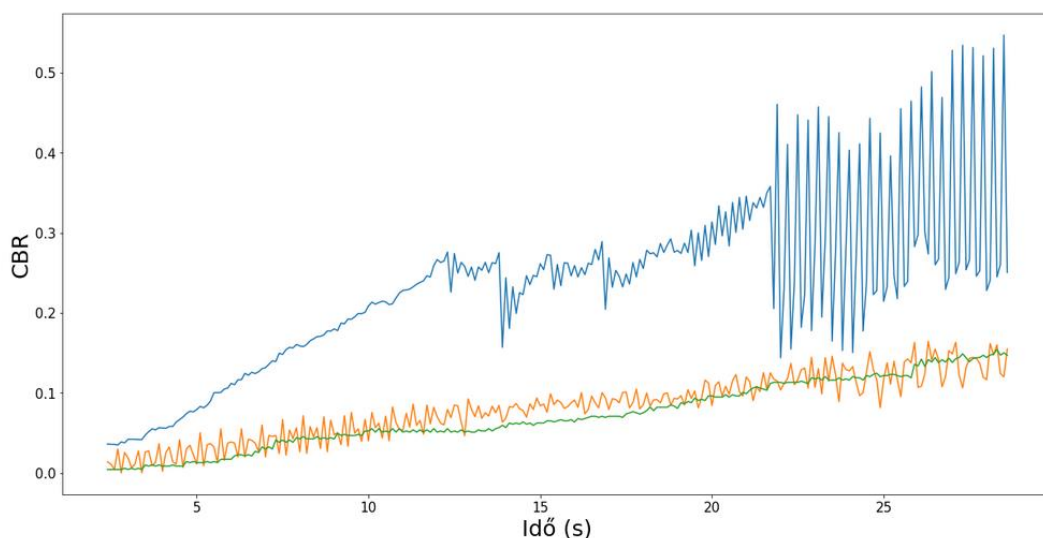
Ebből a felosztásból jól kivehető, hogy amennyiben sok szolgáltatás használja egyszerre a csatornát, akkor az a hatékonyság romlásához vezet, és ezért lehet szükséges a jövőben a járművek és az alkalmazások gyors térnyerésével az újabb csatornák bevonására.

## 6.5 SA forgalmazása

Az már látjuk, hogy a több fizikai erőforrás felhasználása javít a kommunikáció minőségén. De vajon megéri-e egy újabb szolgáltatást elindítani azért, hogy a többi csatornán működő szolgáltatásokról értesüljünk? Ha pedig megéri, akkor ez mekkora többletforgalmat jelent, tehát mikortól érdemes azt bevezetni?

Ennek eldöntéséhez egy olyan forgatókönyvet készítettem, amelyben az SA szolgáltatás egy külön (harmadik) csatornán küldi az üzeneteket, csak azért, hogy látható legyen a forgalom mértéke.

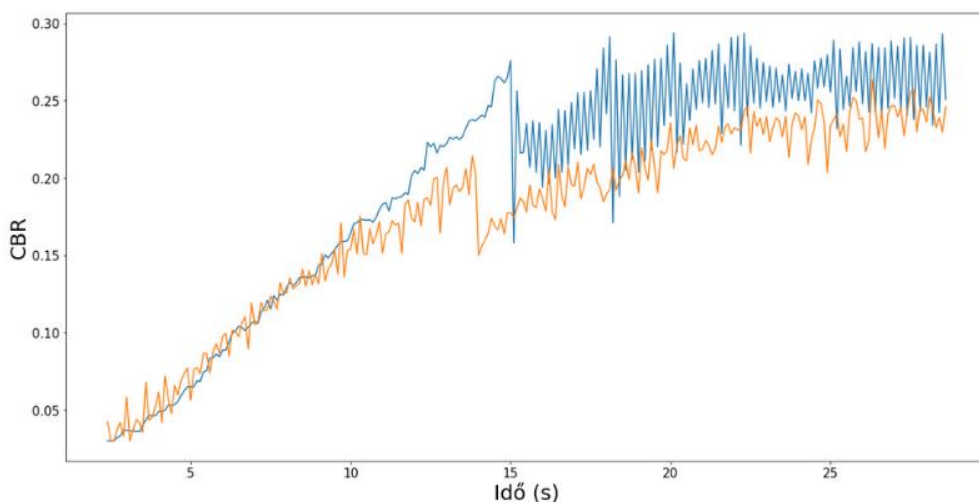




**6.8. ábra: CBR alakulása CAM (sárga), CPM (kék) és SA (zöld) három külön csatornán forgalmazva**

A szolgáltatások hirdetése nem igényel nagy üzenet mennyiséget, a rádió foglaltsága a járművek számának növekedésével arányosan nő, abban az esetben, amikor csak ez a kommunikáció van csak a csatornán.

A következő, valóságot tükröző forgatókönyvben már az SA a CCH-n került kiküldésre a CAM üzenetekkel együtt. A szabvány szerint az SA üzenetek legritkábban 5 másodpercenként kerülnek kiküldésre (leggyakrabban 0,02), azonban a szimulációban ezt 1 másodpercre választottam. A közösen használt csatornán jól látszik a CBR változása. A két protokoll együtt már majdnem akkora forgalmat jelent, mint a CPM egymagában.



**6.9. ábra: CBR alakulása CAM+SA (sárga) CCH-n és CPM (kék) SCH1-en forgalmazva**

A csatorna hasznátság viszont mindenhol 0,3 alatt maradt, tehát a torlódásszabályozásnak sem kell belemélyednie az üzenetek küldésébe. Kiderült tehát, hogy igenis van létjogosultsága a szolgáltatáshirdetés szolgáltatásnak. És a vele járó „overhead” nem olyan hatalmas, hogy elronthassa a kommunikációt.

## 7 Összefoglalás, továbbfejlesztési lehetőségek

A mérésekből az derült ki, hogy nagy forgalom esetén, például nagyvárosi környezetben, amikor olyan szolgáltatások, mint a CP vagy a CA, amik viszonylag nagy mennyiségű adatküldéssel járnak, bizony telíteni tudják a csatornát. Így akár csak lokálisan is, de érdemes új csatornákat bevonni a kommunikációba. A jövőben tehát nem lehet ritka majd az az eset, hogy egy városhoz érve egyes alkalmazások más frekvencián érhetőek el. Ahhoz, hogy tudomást tudjunk szerezni azok helyéről és típusáról, a szolgáltatáshirdetés lesz segítségünkre. Az állomásnak ilyen formán egyszerű dolga lesz, mert nem kell végig hallgatnia az összes csatornát, hanem csak a CCH-n sugárzott hirdetésből rögtön megtudja, hogy melyik csatornák érdekesek számára. Illetve ha egy szolgáltatásra igényt tart, azt is bejelentheti, hogy amit az elérhetővé válik, azonnal értesüljön róla.

A hirdető szolgáltatás használatakor nem volt mérhető jelentős plusz forgalom, így annak használata már közepesen nagy terheltségnél is hatékony lehet. Nagyobb előnyt jelent az új csatornák használatának lehetősége, mint az hogy elvesz egy kis időt a csatorna használatból a saját működéséhez.

Az SA egyelőre csak egy szolgáltatás, mely segítségével tudomást szereznek az állomások a többi csatorna állapotáról. Azonban ezt érdemes lenne tovább fejleszteni olyan irányban, hogy a forgalmazási csatornájukat dinamikusan változtató szolgáltatásokat a rádiók dinamikusan képesek legyenek követni. Tehát a beérkező SA alapján az „MCO entitás” képes legyen az új ismereteknek megfelelően csatornát váltani.

Ami pedig a legérdekesebb lenne, hogy az érvényes terheltségi adatok (CBR, késleltetés) alapján maga az infrastruktúra is úgy tudna dönteni, hogy egyes prioritásos üzenetváltást átrak egy másik kevésbé terhelt csatornára.

## 8 Hivatkozások

- [1] CAR 2 CAR Communication Consortium, ‘Examples of various scenarios’ Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: <https://www.cmc-info.net/applications.html>
- [2] European Telecommunications Standards Institute, ‘Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service’ Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/102600\\_102699/10263702/01.02.01\\_60/ts\\_10263702v010201p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/10263702/01.02.01_60/ts_10263702v010201p.pdf)
- [3] European Telecommunications Standards Institute, ‘Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service’ Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302600\\_302699/30263703/01.02.01\\_30/en\\_30263703v010201v.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263703/01.02.01_30/en_30263703v010201v.pdf)
- [4] European Telecommunications Standards Institute, ‘Intelligent Transport System (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Specification of the Collective Perception Service (ETSI TS 103 324 V0.0.16)’, Mar. 01, 2020
- [5] European Telecommunications Standards Institute, ‘Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Facilities layer protocols and communication requirements for infrastructure services’ Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/103300\\_103399/103301/01.02.01\\_60/ts\\_103301v010201p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103300_103399/103301/01.02.01_60/ts_103301v010201p.pdf)
- [6] C-Roads, ‘The platform of harmonised C-ITS deployment in Europe’ Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: <https://www.c-roads.eu/platform.html>
- [7] Magyar közút, ‘C-ITS pilot’ Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: [https://internet.kozut.hu/wp-content/uploads/2019/06/C-ITS\\_sz%C3%B3r%C3%B3anyag-%C3%BAj\\_ANGOL\\_updated\\_high.pdf](https://internet.kozut.hu/wp-content/uploads/2019/06/C-ITS_sz%C3%B3r%C3%B3anyag-%C3%BAj_ANGOL_updated_high.pdf)
- [8] magyarepitok.hu, ‘Így tervezték az M76-os legkülönlegesebb, zalai tesztpályát támogató elemeit’ Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: <https://magyarepitok.hu/utepites/2021/05/igy-terveztek-az-m76-os-legkulonlegesebb-zalai-tesztpalyat-tamogato-elemeit>
- [9] Huanyu Gu, NXP.com, ‘NXP, Volkswagen and Partners Continue to Accelerate the V2X Rollout’ Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: <https://www.nxp.com/company/blog/nxp-volkswagen-and-partners-continue-to-accelerate-the-v2x-rollout:BL-THE-V2X-ROLLOUT>
- [10] Institute of Electrical and Electronics Engineers, ‘802.11p’ Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: [https://standards.ieee.org/standard/802\\_11p-2010.html](https://standards.ieee.org/standard/802_11p-2010.html)
- [11] Society of Automotive Engineers, ‘SAE’ Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: <https://www.sae.org/>
- [12] European Telecommunications Standards Institute, ‘ETSI’ Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: <https://www.etsi.org/>
- [13] SAE, ‘DSRC architecture’ Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/DSRC-Architecture-in-VANET-system-CHANNEL-ALLOCATION-FOR-DSRC\\_fig3\\_331112066](https://www.researchgate.net/figure/DSRC-Architecture-in-VANET-system-CHANNEL-ALLOCATION-FOR-DSRC_fig3_331112066)

- [14] Institute of Electrical and Electronics Engineers, 'IEEE 1609 szabványcsalád' Accessed: Jan. 27, 2021. [Online]. Available: [https://standards.ieee.org/standard/1609\\_12-2019.html](https://standards.ieee.org/standard/1609_12-2019.html)
- [15] ETSI, 'ITS-G5 architecture' Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Implementation-of-ETSI-ITS-G5-based-inter-vehicle-Abunei-Comsa/603d49a20fd08b201221a1fa1b85a8996af50fe5>
- [16] European Telecommunications Standards Institute, 'Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to-multipoint communications; Sub-part 1: Media-Independent Functionality' Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302600\\_302699/3026360401/01.04.00\\_20/en\\_3026360401v010400a.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/3026360401/01.04.00_20/en_3026360401v010400a.pdf)
- [17] European Telecommunications Standards Institute, 'Intelligent Transport Systems (ITS); Security; ITS communications security architecture and security management; Release 2' Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/102900\\_102999/102940/02.01.01\\_60/ts\\_102940v020101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102900_102999/102940/02.01.01_60/ts_102940v020101p.pdf)
- [18] European Telecommunications Standards Institute, 'Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Trust and Privacy Management' Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/102900\\_102999/102941/01.04.01\\_60/ts\\_102941v010401p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102900_102999/102941/01.04.01_60/ts_102941v010401p.pdf)
- [19] European Telecommunications Standards Institute, 'Intelligent Transport Systems (ITS); Decentralized Congestion Control Mechanisms for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz range; Access layer part', Jun. 01, 2015 Accessed: Apr. 11, 2021. [Online]. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/102600\\_102699/102687/01.02.01\\_60/ts\\_102687v010201p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/102687/01.02.01_60/ts_102687v010201p.pdf)
- [20] Federal Communications Commission, 'FCC allocates spectrum in 5.9 GHz range for intelligent transportation systems uses', Oct. 21, 1999 Accessed: Apr. 11, 2021. [Online]. Available: [https://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering\\_Technology/News\\_Releases/1999/nret9006.html](https://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/News_Releases/1999/nret9006.html)
- [21] Science Direct, 'ITS\_G5 and DSRC spectrums' Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864816300104#f0005>
- [22] European Telecommunications Standards Institute, 'Intelligent Transport Systems (ITS); Radiocommunications equipment operating in the 5 855 MHz to 5 925 MHz frequency band; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU (ETSI EN 302 571 V2.1.1)', Feb. 06, 2017 Accessed: Apr. 11, 2021. [Online]. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302500\\_302599/302571/02.01.01\\_60/en\\_302571v020101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302500_302599/302571/02.01.01_60/en_302571v020101p.pdf)
- [23] Mahdi Abbasi, Researchgate.net, '802.11a vs 802.11p' Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/1-Key-parameters-of-IEEE-80211p-PHY-and-IEEE-80211a-PHY-source-7\\_tbl4\\_242086444](https://www.researchgate.net/figure/1-Key-parameters-of-IEEE-80211p-PHY-and-IEEE-80211a-PHY-source-7_tbl4_242086444)
- [24] Institute of Electrical and Electronics Engineers, '802.11e EDCA Protocol' Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4351767>

- [25] Society of Automotive Engineers, ‘SAE J2735’ Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: [https://www.sae.org/standards/content/j2735\\_200911/](https://www.sae.org/standards/content/j2735_200911/)
- [26] Chetan Belagal Math, ‘Decentralized congestion control for reliable vehicular communication - Diploma thesis’, Feb. 25, 2019 Accessed: Apr. 11, 2021. [Online]. Available: [https://pure.tue.nl/ws/files/118577029/20190225\\_Belagal\\_Math.pdf](https://pure.tue.nl/ws/files/118577029/20190225_Belagal_Math.pdf)
- [27] Institute of Electrical and Electronics Engineers, ‘Understanding the channel busy ratio metrics for decentralized congestion control’ Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7297644>
- [28] European Telecommunications Standards Institute, ‘Intelligent Transport Systems (ITS); Facilities layer function; Part 1: Services Announcement (SA) specification (ETSI TS 102 890-1 V1.1.1)’, May 01, 2017 Accessed: Apr. 27, 2021. [Online]. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/102800\\_102899/10289001/01.01.01\\_60/ts\\_10289001v010101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/10289001/01.01.01_60/ts_10289001v010101p.pdf)
- [29] European Telecommunications Standards Institute, ‘Intelligent Transport Systems (ITS); Users and applications requirements; Part 2: Applications and facilities layer common data dictionary (ETSI TS 102 894-2 V1.2.1)’, Sep. 01, 2014 Accessed: Apr. 27, 2021. [Online]. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/102800\\_102899/10289402/01.02.01\\_60/ts\\_10289402v010201p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/10289402/01.02.01_60/ts_10289402v010201p.pdf)
- [30] International Organization for Standardization, ‘Intelligent transport systems — Localized communications — Communication protocol messages for global usage (ISO 16460:2021)’, Mar. 01, 2021 Accessed: Apr. 27, 2021. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/81066.html>
- [31] Raphael Riebl, Christina Obermaier, and Hendrik-Jörn Günther, ‘Artery: Large Scale Simulation Environment for ITS Applications’ Accessed: Oct. 27, 2021. [Online]. Available: [https://sci-hub.se/10.1007/978-3-030-12842-5\\_12](https://sci-hub.se/10.1007/978-3-030-12842-5_12)

## 9 Ábrajegyzék

1.1. ábra: Beláthatatlan kereszteződés [1] .....	5
2.1. ábra: DSRC protokoll rétegek [13].....	8
2.2. ábra: C-ITS protokoll rétegek [15] .....	9
2.3. ábra: DSRC spektrum [21] .....	10
2.4. ábra: C-ITS spektrum [21].....	10
2.5. ábra: 802.11p újdonságai [23] .....	11
3.1. ábra: CPM üzenetformátum [4] .....	15
4.1. ábra: CBR számítás.....	19
4.2. ábra: Reaktív DCC keresőtábla [19].....	20
5.1. ábra: SAM üzenet felépítése [28] .....	24
5.2. ábra: A terjeszthető információk kombinációi.....	25
5.3. ábra: A szolgáltatás információ szegmens felépítése [28].....	25
5.4. ábra: A csatorna információ szegmens felépítése [28] .....	25
6.1. ábra: Artery – Járművekhez csatolt stack felépítése [31] .....	28
6.2. ábra: Úthálózat és kereszteződés .....	29
6.3. ábra: A járművek számának alakulása a szimuláció alatt.....	29
6.4. ábra: Érzékelt járművek átlagos száma.....	30
6.5. ábra: szimulációs paraméterek.....	30
6.6. ábra: CBR alakulása CAM és CPM egy csatornán forgalmazva.....	31
6.7. ábra: CBR alakulása CAM (sárga) és CPM (kék) két külön csatornán forgalmazva .....	32
6.8. ábra: CBR alakulása CAM (sárga), CPM (kék) és SA (zöld) három külön csatornán forgalmazva .....	33
6.9. ábra: CBR alakulása CAM+SA (sárga) CCH-n és CPM (kék) SCH1-en forgalmazva .....	33

## 10 Rövidítések jegyzéke

**CAM – Cooperative Awareness Messages**

**CBR – Channel Busy Ratio**

**CCH – Control Channel**

**CPM - Collective Perception Messages**

**DCC - Decentralized Congestion Control**

**DENM - Decentralized Environmental Notification Messages**

**DSRC - Dedicated Short-Range Communications**

**EDCA - Enhanced Distributed Channel Access**

**ETSI - European Telecommunications Standards Institute**

**FCC - Federal Communications Commission**

**IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers**

**ISO - International Organization for Standardization**

**ITS - Intelligent Transport Systems**

**IVIM - Infrastructure to Vehicle Information**

**MAPEM - MAP Extended Messages**

**OBU – On Board Unit**

**RSU – Road Side Unit**

**SA - Services Announcement**

**SAE - Society of Automotive Engineers**

**SAEM - SA Essential Message**

**SCH – Service Channel**

**SPaTEM - Signal Phase And Timing Extended Messages**

**V2X – Vehicle-to-Everything**



# 11 Fügélék

[services.xml]

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<services>
  <service type="artery.application.CaService" name="CA">
    <listener port="2001" channel="180"/>
  </service>
  <service type="artery.application.CpService" name="CP">
    <listener port="3002" channel="176"/>
  </service>
</services>
```

-----

[omnetpp.ini]

```
*.traci.launcher.typename = "PosixLauncher"
*.traci.launcher.sumocfg = "grid.sumo.cfg"
```

Config inet\_mco

```
network = artery.inet.World
```

```
*.node[*].wlan[*].typename = "VanetNic"
*.node[*].wlan[*].radio.carrierFrequency = 5.9 GHz
*.node[*].wlan[*].radio.transmitter.power = 200 mW
```

```
*.node[*].middleware.updateInterval = 0.1s
*.node[*].middleware.datetime = "2021-10-24 12:35:00"
```

```
*.node[*].numRadios = 2
*.node[*].wlan[0].radio.channelNumber = 180 #CCH
*.node[*].wlan[1].radio.channelNumber = 176 #SCH1
```

```
*.node[*].middleware.services = xmldoc("services-mco.xml")
*.node[*].middleware.mcoPolicy = xml("<mco default=\"CCH\"></mco>")
```

```
network = artery.envmod.World
```

```
** .identityRegistryModule = "idRegistry"
*.traci.mapper.vehicleType = "artery.envmod.Car"
*.environmentModel.traciModule = "traci"
```

```
*.node[*].environmentModel.sensors = xmldoc("sensors.xml")
```

```
*.node[*].environmentModel.FrontShortRangeRadar.fovRange = 165m
*.node[*].environmentModel.FrontShortRangeRadar.fovAngle = 170
*.node[*].environmentModel.RearShortRangeRadar.fovRange = 165m
*.node[*].environmentModel.RearShortRangeRadar.fovAngle = 170
```

---

[sensors.xml]

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<sensors>
  <sensor name="FrontShortRangeRadar"
type="artery.envmod.sensor.FrontRadar" />
  <sensor name="RearShortRangeRadar"
type="artery.envmod.sensor.RearRadar" />
</sensors>
```

---

[CaService.ned]

```
simple CaService like ItsG5Service
{
  parameters:
    @signal[CamReceived](type=CaObject);
    @signal[CamSent](type=CaObject);

    @statistic[reception](source=CamReceived;record=vector(camStationId)?,vector(
camGenerationDeltaTime)?);
    @statistic[transmission](source=CamSent;record=vector(camStationId)?,vector(c
amGenerationDeltaTime)?);

    // evaluate DCC transmission interval restrictions
    bool withDccRestriction = default(true);

    // generation interval boundaries
    double minInterval @unit(s) = default(0.1s);
    double maxInterval @unit(s) = default(1.0s);

    // generate at fixed rate (using minInterval, optionally restricted by DCC)
    bool fixedRate = default(false);

    // change in orientation triggering CAM generation (in degree)
    double headingDelta = default(4.0);

    // change in position triggering CAM generation
    double positionDelta @unit(m) = default(4.0m);

    // change in speed triggering CAM generation (in meter/second)
    double speedDelta @unit(mps) = default(0.5mps);

    // length of path history
    volatile int pathHistoryLength = default(23);
}
```

---

[RsuSaService.ned]

```
simple RsuSaService like ItsG5Service
{
```

```

// Generation interval
double generationInterval @unit(s) = default(1.0s);

// announce protected communication zones (where vehicles need to reduce
transmission power)
xml protectedCommunicationZones = default(xml("<zones/>"));
}

```

---

[CpService.ned]

```

simple CpService like ItsG5Service
{
  parameters:
    @signal[CpmSent](type=CollectivePerceptionMockMessage);
    @signal[CpmReceived](type=CollectivePerceptionMockMessage);

    @statistic[transmission](source=CpmSent; record=count,vector(cpmSource)?);
    @statistic[reception](source=CpmReceived;
record=count,vector(cpmSource)?,vector(cpmGenerated)?);

    bool generateAfterCam = default(false);
    double cpmInterval @unit(s) = default(0.1s);
}

```

---

[omnetpp.ini]

```

*.numRoadSideUnits = 13

*.rsu[*].middleware.datetime = "2013-06-01 12:35:00"
*.rsu[*].middleware.services = xmldoc("services-rsu.xml")

*.rsu[*].mobility.initialZ = 10m
*.rsu[0].mobility.initialX = 0m
*.rsu[0].mobility.initialY = 0m
...
*.rsu[0].mobility.initialX = 400m
*.rsu[0].mobility.initialY = 400m

```

---

[rsu-services.xml]

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<services>
  <service type="artery.application.RsuSaService">
    <listener port="4003" />
  </service>
</services>

```

-----  
[route.rou.xml]

```
<routes xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/routes_file.xsd">
  <vehicle id="0" depart="0.00">
    <route edges="2/0to2/1 2/1to2/0 2/0to3/0 3/0to3/1"/>
  </vehicle>
  <vehicle id="1" depart="0.20">
    <route edges="1/1to2/1 2/1to1/1 1/1to0/1 0/1to0/0 0/0to0/1"/>
  </vehicle>
  <vehicle id="2" depart="0.40">
    <route edges="1/1to1/0 1/0to1/1 1/1to1/2 1/2to1/3 1/3to2/3 2/3to2/4"/>
  </vehicle>
  <vehicle id="3" depart="0.60">
    <route edges="0/1to0/0 0/0to0/1 0/1to1/1 1/1to1/0"/>
  </vehicle>
  <vehicle id="4" depart="0.80">
    <route edges="1/0to0/0 0/0to1/0 1/0to2/0 2/0to2/1"/>
  </vehicle>
  <vehicle id="5" depart="1.00">
    <route edges="0/2to0/1 0/1to1/1 1/1to1/0 1/0to2/0 2/0to3/0 3/0to4/0"/>
  </vehicle>
  ...
</routes>
```