

Wpływ komunikacji bezprzewodowej między pojazdami jadącymi w konwoju na jego właściwości dynamiczne



Krzysztof Wesołowski
Politechnika Poznańska
25 maja, 2018



Plan prezentacji

1. Wprowadzenie – podstawowe fakty o systemach 5G
2. Informacja o autonomicznych samochodach i wspomaganiu za pomocą systemów bezprzewodowych w poruszaniu się w konwojach
3. Wpływ formowania konwojów na środowisko i zużycie energii
4. Sterowanie konwojem za pomocą ACC i CACC
5. Krótka prezentacja standardów komunikacyjnych dla transmisji między pojazdami (802.11p, C-V2X)
6. Wyniki badań symulacyjnych dynamiki konwoju z CACC i transmisją według określonych standardów
7. Wyzwania i możliwości rozszerzeń
8. Wnioski

Wprowadzenie

- Aktualna sytuacja w sieciach bezprzewodowych:
 - Pełne nasycenie terminalami użytkowników,
 - Pod względem wolumenu danych usługi transmisji głosu ustąpiły miejsca usługom multimedialnym i dostępu do sieci Internet,
 - Zmiana sposobu korzystania z sieci komórkowej z powodu masowego korzystania ze smartfonów – multimedia, sieci społecznościowe, usługi w kontekście lokalnym, itp.,
 - Równoległy rozwój sieci WLAN,
 - Rozwój Internetu rzeczy (IoT) – rozwój komunikacji między wieloma urządzeniami bez obecności człowieka,
 - **Rozwój systemów komunikacji pomiędzy pojazdami i pojazdami i infrastrukturą – istotne wymagania niezawodności i małego opóźnienia transmisji,**
- **Poważne wyzwania dla przyszłych systemów 5G**

Wyzwania stojące przed telekomunikacją bezprzewodową po roku 2020



- Wymagania stawiane przyszłym systemom 5G:
 - 1000-krotny wzrost wolumenu danych na jednostkę powierzchni pokrywanej przez system bezprzewodowy,
 - 10 - 100-krotny wzrost liczby urządzeń będących w fazie połączenia,
 - 10 - 100-krotny wzrost typowej szybkości danych użytkownika,
 - 10-krotnie dłuższe życie baterii w terminalach o niskiej mocy stosowanych w transmisji pomiędzy urządzeniami (*Machine-to-Machine Communications*),
 - 5-krotna redukcja opóźnienia pomiędzy końcami pełnego łącza.
- **Bardzo istotna aktywność UE mająca na celu utrzymanie wysokiej pozycji UE w świecie w rozwoju systemów i sieci telekomunikacyjnych 5G**

Wizja 5G wg projektu METIS II

- Podstawowe rodzaje usług:
 - **eMBB (enhanced Mobile Broadband)** – serwis skoncentrowany na użytkownikach, wzbogacony dostęp do treści multimedialnych i danych o wysokiej jakości i rosnącym poczuciu jakości przez użytkowników; różne wymagania:
 - **Hotspot** – duża gęstość użytkowników, duży wolumen ruchu, niska mobilność użytkowników
 - **Pokrycie o dużej powierzchni** – o znacząco wyższej przepustowości niż obecnie dla użytkowników o średniej i wysokiej mobilności
 - **URLLC (ultra-reliable low latency communications)** – ostre wymagania pod względem przepustowości, opóźnienia i dostępności
 - Bezprzewodowe sterowanie procesami przemysłowymi
 - Operacje medyczne na odległość
 - **Bezpieczeństwo w transporcie**
 - Rozproszona automatyzacja w inteligentnych sieciach energetycznych

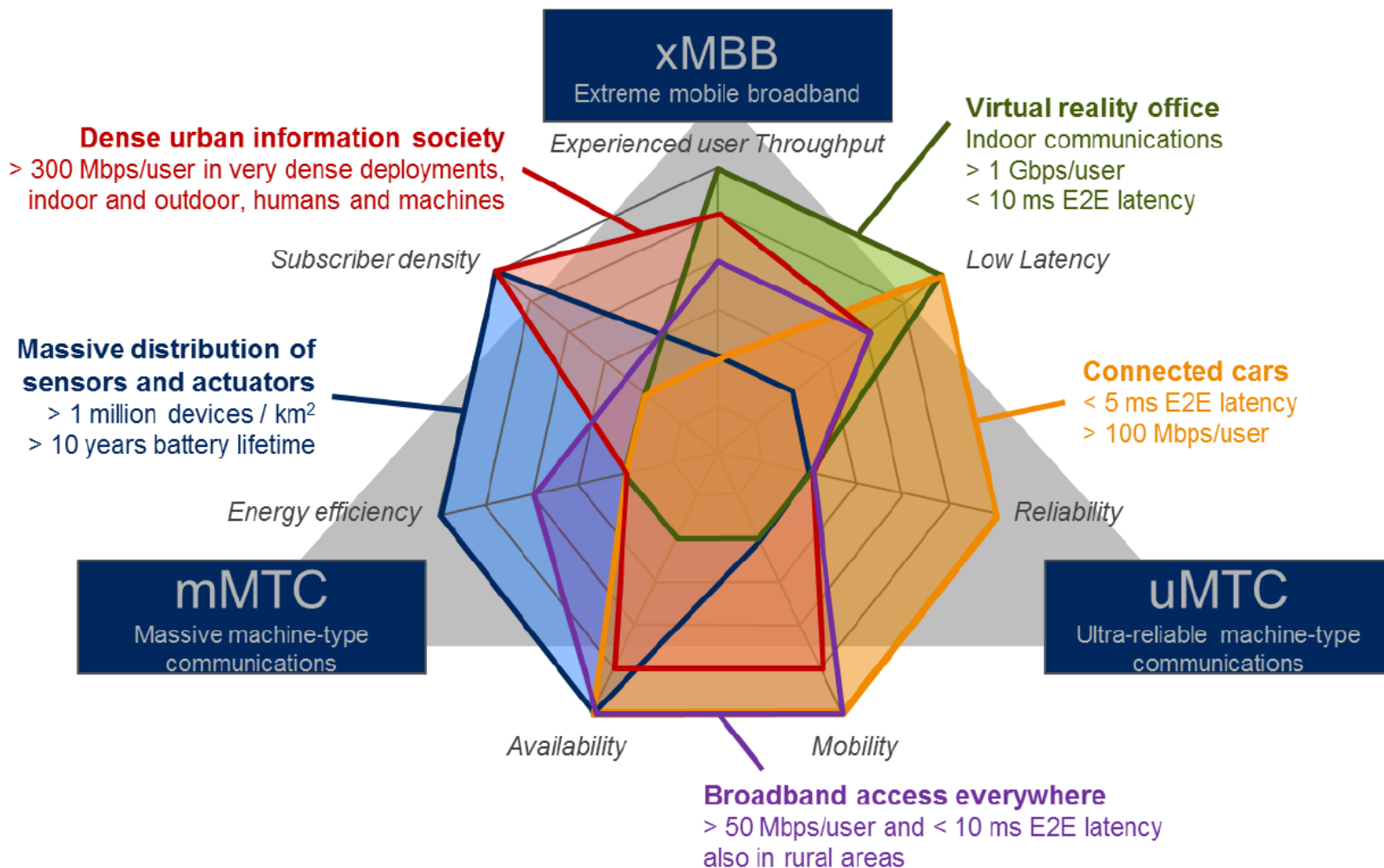
Wizja 5G wg projektu METIS II

- Podstawowe rodzaje usług (c.d.)
 - **mMTC (machine machine type communications)** – wielka liczba połączonych urządzeń generujących zazwyczaj stosunkowo niewielki ruch danych niewrażliwych na opóźnienie;
 - Wymaganie: proste sensory o niskim koszcie i długim czasie życia baterii (10 lat)
- Główne scenariusze (*Use cases*):
 - Społeczeństwo informacyjne w gęstym środowisku miejskim
 - Biuro wirtualnej rzeczywistości (ewolucja aktualnie realizowanych wideokonferencji do wersji 3D o wysokiej rozdzielczości)
 - Wszechobecny szerokopasmowy dostęp – rosnące żądanie wysokich przepływności danych
 - Masowe zastosowanie sensorów i elementów wykonawczych
 - **Połączone pojazdy (V2V oraz V2I) dla wzrostu bezpieczeństwa transportu**

Wyzwania stojące przed telekomunikacją bezprzewodową po 2020 wg 5GPPP



Główne rodzaje typów transmisji/usług 5G i reprezentatywne przypadki zastosowań



Komunikacja V2X

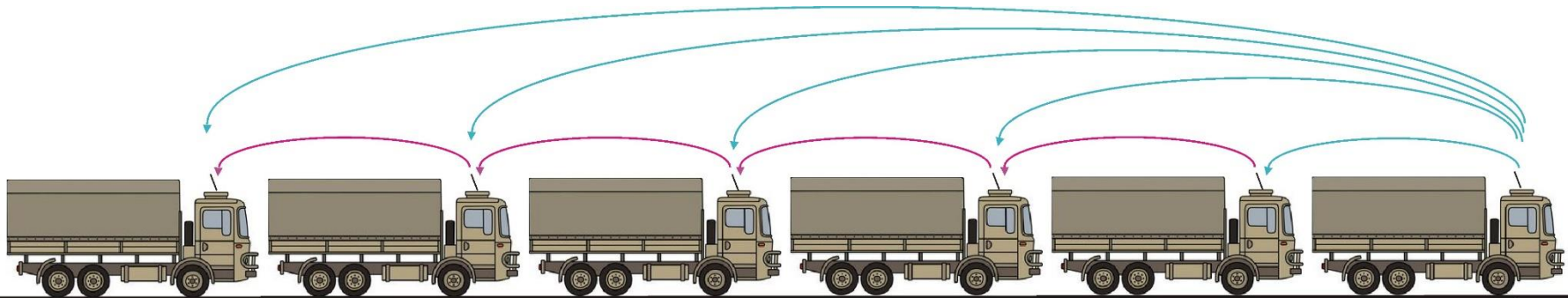
- **Komunikacja V2X – jeden z ważnych scenariuszy w 5G!**
- Coraz większa liczba producentów samochodów wyposaża je w zaawansowane systemy bezpieczeństwa stosujące radary, lidary kamery, itp., co czyni pojazdy świadomymi otaczającego je środowiska i ruchu.
- ACC – *Adaptive Cruise Control* system sterowania w pojedynczym pojeździe kontrolujący odległość do poprzedzającego pojazdu i podejmujący odpowiednie krok w przypadku nagłych zmian w ruchu.
- Komunikacja pomiędzy pojazdami znacząco podnosi możliwości sterowania nimi oraz ich bezpieczeństwo i pozwala na łączne działanie pojazdów (sterowanie ruchem, wymiana wiadomości bezpieczeństwa, itp.)

V2X communications

- CACC – *Cooperative Adaptive Cruise Control* – jest zastosowana komunikacja bezprzewodowa między pojazdami, aby wzbogacić ich możliwości poruszania się
 - Platooning – organizacja poruszania się pojazdów w konwojach
 - Możliwość znaczących oszczędności:
 - Do 15 procent w zużyciu paliwa ciężarówek (projekt SATRE)
 - Gdy poziom ciężarówek poruszających się w konwojach dojdzie do 40%, emisja CO₂ na autostradzie może zostać zmniejszona o 2.1 procent (projekt Energy ITS)
 - Jazda w konwojach może nawet podwoić pojemność autostrad
 - Zależnie od zastosowania algorytmu sterującego (ACC czy CACC) można utrzymywać stały tzw. **headway time** albo stałą odległość pomiędzy pojazdami w konwoju
-

Jazda w konwoju

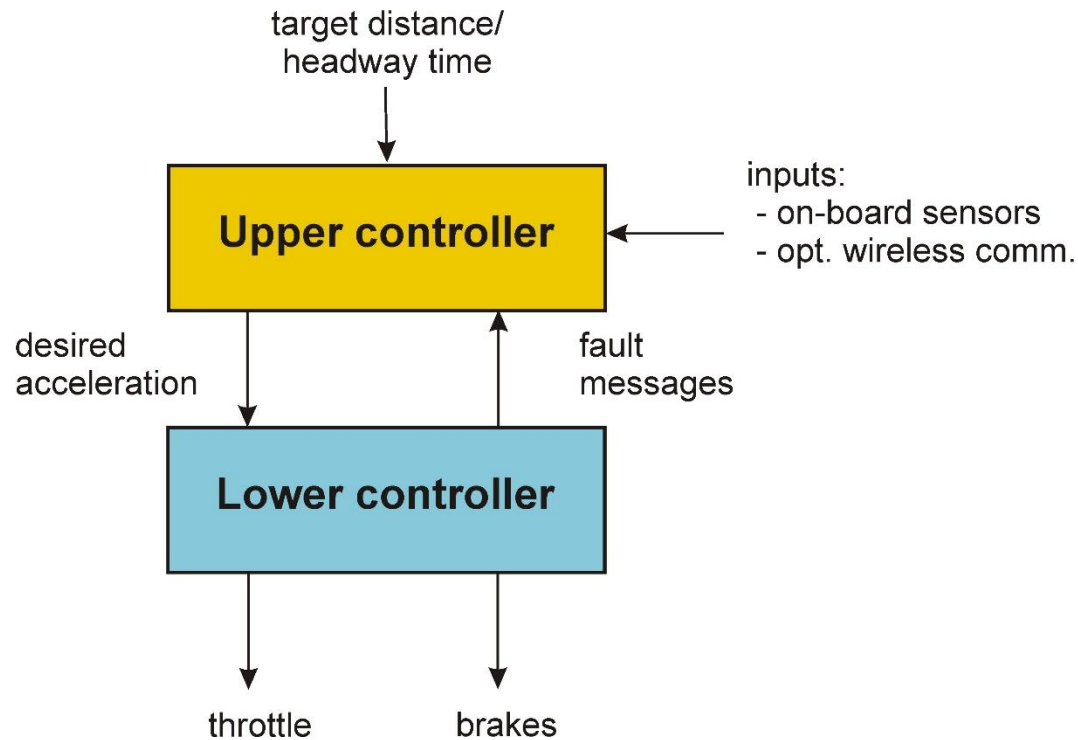
- Ilustracja idei konwoju z CACC



- Lider konwoju transmituje swoje dane do wszystkich pojazdów w konwoju
- Każdy pojazd informuje następujący po nim pojazd o swoich parametrach
- Możliwe są również inne konfiguracje systemu transmisji
- Lider konwoju działa zgodnie z algorytmem ACC
- Pozostali członkowie konwoju działają wg CACC

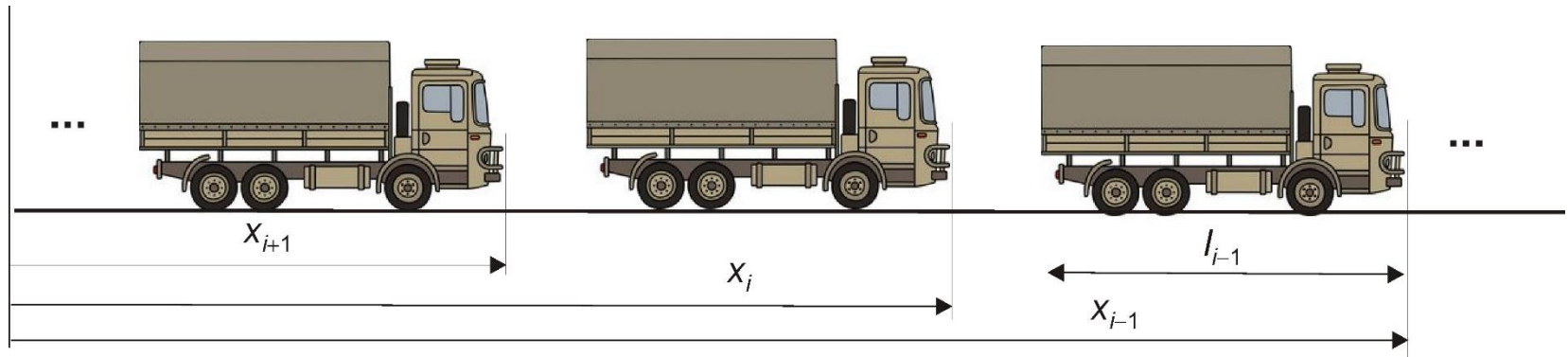
System sterowania pojazdem

- Dwupoziomowy system sterowania



System sterowania pojazdem

- Podstawowe równania dla górnego sterownika ACC



- Błąd odległości

$$\delta_i = x_i - x_{i-1} + l_{i-1} + h\dot{x}_i = \varepsilon_i + h\dot{x}_i$$

gdzie $\varepsilon_i = x_i - x_{i-1}$

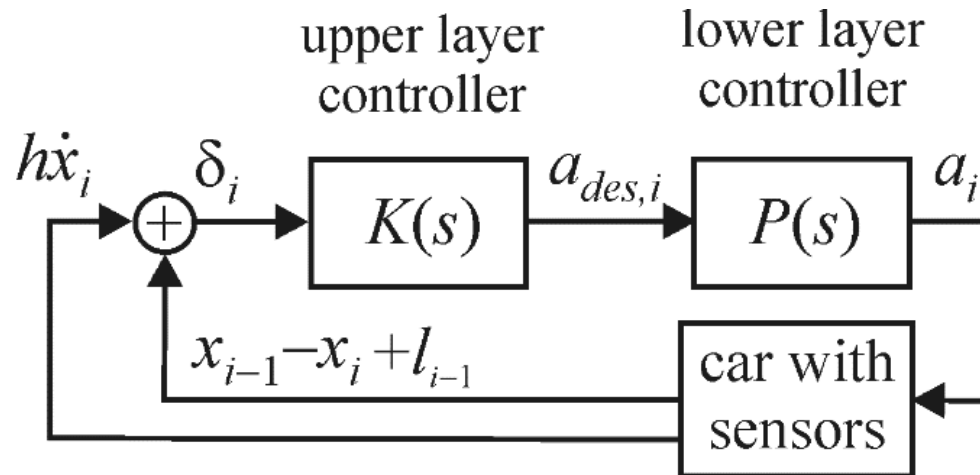
- Pożądane przyspieszenie i -tego pojazdu

$$\ddot{x}_{des,i} = -\frac{1}{h} (\dot{\varepsilon}_i + \lambda\delta_i)$$

gdzie h to tzw. **headway time**, λ jest parametrem projektowym

System sterowania pojazdem

- Schemat sterowania systemu ACC



- Zazwyczaj modeluje się dolny sterownik za pomocą systemu inercyjnego pierwszego rzędu

$$P(s) = \frac{1}{\tau s + 1}$$

System sterowania pojazdem

- Równania dla górnego sterownika CACC:
 - Wiodący pojazd ma indeks zerowy (np. a_0 – przyspieszenie lidera)
 - *Metoda sterowania ślizgającej się powierzchni (Sliding surface control)* (stabilność łańcucha pojazdów jest zapewniona)

$$S_i = \dot{\varepsilon}_i + \frac{\omega_n}{\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}} \frac{1}{1 - C_1} \varepsilon_i + \frac{C_1}{1 - C_1} (v_i - v_0)$$

$$\dot{S}_i = -\lambda S_i \quad \text{and} \quad \lambda = \omega_n \left(\xi + \sqrt{\xi^2 - 1} \right)$$

gdzie v_i oraz v_0 – prędkości i -tego i wiodącego pojazdu,
 C_1 , ξ and ω_n - stałe

[R. Rajamani, Vehicle Dynamics and Control, Springer, New York, 2012]

System sterowania pojazdem

- Równania CACC (kont.)

$$\begin{aligned}
 a_{i,des} = \ddot{x}_{i,des} = & (1 - C_1) \ddot{x}_{i-1} + C_1 \ddot{x}_0 \\
 & - \left(2\xi - C_1 \left(\xi + \sqrt{\xi^2 - 1} \right) \right) \omega_n \dot{\varepsilon}_i \\
 & - \left(\xi + \sqrt{\xi^2 - 1} \right) \omega_n C_1 (v_i - v_0) - \omega_n^2 \dot{\varepsilon}_i
 \end{aligned}$$

- Zaproponowana przez nas modyfikacja algorytmu sterowania:

$$\begin{aligned}
 a_{i,des} = \ddot{x}_{i,des} = & (1 - C_1) \ddot{x}_{i-1,des} + C_1 \ddot{x}_{0,des} \\
 & - \left(2\xi - C_1 \left(\xi + \sqrt{\xi^2 - 1} \right) \right) \omega_n \dot{\varepsilon}_i \\
 & - \left(\xi + \sqrt{\xi^2 - 1} \right) \omega_n C_1 (v_i - v_0) - \omega_n^2 \varepsilon_i
 \end{aligned}$$

- Dowiedliśmy, że konwój sterowany za pomocą tego algorytmu cechuje się stabilnością łańcucha

System sterowania pojazdem

- W regularnym działaniu algorytmy CACC wymagają:
 - Przyspieszenia pierwszego i poprzedzającego pojazdu – wymagana komunikacja bezprzewodowa
 - Prędkości pierwszego i poprzedzającego pojazdu – wymagana komunikacja bezprzewodowa
 - Kilku innych parametrów uzyskiwanych w wyniku działania radarów i/lub lidarów
- Standardy komunikacji bezprzewodowej zaprojektowane dla V2V lub V2I:
 - **IEEE 802.11p**
 - **Techniki 3GPP/LTE-based C-V2X**

Przegląd standardów komunikacji V2X

● IEEE 802.11p

- Adaptacja standardów IEEE 802.11 do dynamicznego środowiska poruszających się pojazdów
- Poprawki w warstwie MAC pozwalają na dogodne ustanowienie grupy logicznie powiązanych urządzeń bez konieczności ustanawiania BSS (Basic Service Set) tak jak w warstwie MAC IEEE 802.11.
- IEEE 802.11p MAC działa w trybie bezkontekstowym BSS (OCB - Outside the Context of a BSS).
- Warstwa PHY IEEE 802.11p jest podobna do IEEE 802.11a.
 - 10 MHz kanały zamiast kanałów 20 MHz aby lepiej dopasować się do podniesionej wartości rozproszenia RMS kanału w środowisku ruchomych pojazdów.
 - Podwojenie wszystkich parametrów czasowych systemu OFDM i spadek do połowy maksymalnej szybkości danych z 54 Mb/s do 27 Mb/s.

Przegląd standardów komunikacji V2X

- **IEEE 802.11p**

Parametry	Wartość
Wymiar IFFT	64
Liczba użytych podnośnych	52
Liczba podnośnych danych	48
Liczba podnośnych pilotowych	4
Pasma całkowite	10 MHz
Odstęp między podnośnymi	156.25 kHz
Możliwe modulacje na podnośnych	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Sprawności kodowania	1/2 , 2/3, 3/4
Odstęp IFFT/FFT	6.4 μ s
Długość CP	1.6 μ s
Całkowita długość symbolu OFDM	8 μ s
Całkowita długość preambuły	32 μ s

Przegląd standardów komunikacji V2X

- **IEEE 802.11p**

- Działa w sposób w pełni rozproszony (bez centralnego sterownika)
- Zapewnia niski opóźnienie wiadomości dzięki komunikacji bezpośredniej ad-hoc między sąsiadującymi pojazdami,
- Narzut sygnalizacyjny jest zminimalizowany w porównaniu z IEEE 802.11a.
- Niektóre starsze cechy nie są dobrze dopasowane do komunikacji między pojazdami:
 - Synchronizacja i estymacja kanału są suboptymalne w przypadku szybkozmiennych kanałów radiowych
 - Oczekiwana znacząca zmienność kanału w trakcie transmisji pakietu – wyzwanie dla estymacji kanału w odbiorniku.

Przegląd standardów komunikacji V2X

- **IEEE 802.11p:**

- Bazuje na nieskoordynowanym dostępie o kanału wg strategii Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA).
 - CSMA/CA niezbyt dobrze działa w przypadku dużej liczby terminali.
 - Wraz z rosnącą liczbą nadajników rośnie opóźnienie w dostępie do kanału i prawdopodobieństwo kolizji pakietów.
 - Udowodniono, że optymalna częstotliwość wysyłania wiadomości CAM wynosi ~10 Hz.
- **CAMs** - *Cooperative Awareness Messages* – wiadomości rozgłaszane przez wszystkie pojazdy wyposażone w transceivery systemu bezprzewodowego

Przegląd standardów komunikacji V2X

● 3GPP C-V2X

- Standard wprowadzony w Wydaniu 14 3GPP LTE.
- Standard zawiera wsparcie dla komunikacji V2V, w której zastosowano łącze bezpośrednie pomiędzy pojazdami (tj. sidelink/PC5).
- Bazuje na komunikacji sidelink/PC5 dla usług zbliżeniowych (ProSe) wprowadzonych w Wydaniu 12 standardów 3GPP.
- ProSe (Proximity Services) to technika D2D (Device-to-Device) pozwalająca urządzeniom LTE dokonywać detekcji innych urządzeń LTE i komunikować się z nimi bezpośrednio.
- Ponieważ komunikacja między pojazdami ma inne wymagania niż ProSe (dot. np. gęstości węzłów, mobilności, opóźnienia, niezawodności) wprowadzono ulepszenia dla sidelink/PC5 w Release 14 C-V2X:
 - **Efektywna alokacja zasobów radiowych**
 - **Łagodzenie efektu bliski-daleki**
 - **Zapewnianie wysokich szybkości i płynnej mobilności**

Przegląd standardów komunikacji V2X

● 3GPP C-V2X

● Efektywna alokacja zasobów radiowych

- Wyzwanie dla rozdziału zasobów radiowych w przypadku dużych gęstości pojazdów.
- Dwa tryby działania systemu C-V2X dla sidelink/PC5:
 - Stacja bazowa eNodeB koordynuje rozdział zasobów (Mode-3)
 - Scentralizowana bezkolizyjna alokacja zasobów dla pojazdów,
 - Zastosowano mechanizm Semi-Persistent Scheduling (SPS)
 - Autonomiczna alokacja zasobów (Mode-4)
 - bez infrastruktury sieciowej (jak w IEEE 802.11p)
 - Zastosowany mechanizm Semi-Persistent Transmission (SPT)

Przegląd standardów komunikacji V2X

- **3GPP C-V2X**

- **Efektywna alokacja zasobów radiowych**

- W Trybie 3 wykorzystuje się fakt, że wiele wiadomości V2X takich jak CAM jest generowanych okresowo.
- Mechanizmy SPT i SPS pozwalają, aby pojazd używał w powtarzalny sposób te same zasoby radiowe przez pewną liczbę kolejnych wiadomości CAM.
- Unika się potrzeby częstych ponownych wyborów zasobów.
- Pojazd może przewidzieć wykorzystanie zasobów przez otaczające pojazdy na podstawie historii korzystania z kanału uzyskanej przez sensing kanału.
- **To główna różnica w stosunku do bazującej na konkurencji zasadzie CSMA/CA w IEEE 802.11p.**

Przegląd standardów komunikacji V2X

- **3GPP C-V2X**

- **Łagodzenie efektu bliski-daleki**

- W C-V2X, komunikacja typu sidelink/PC5 jest rozgłaszana w otwartej pętli sterowania mocą – przyczyna efektu bliski-daleki
- W Wydaniu 14 3GPP wprowadzono koncepcję tzw. geo-zoning.
- Geo-zoning pozwala na grupowanie pojazdów z pewnej lokalizacji w jednej geo-strefie oraz innych grup pojazdów w sąsiednich strefach na działanie w trybie multipleksacji czasowej na podstawie ich współrzędnych GPS.
- Geo-strefy mogą być skonfigurowane przez eNodeB albo pre-konfigurowane, gdy pojazdy są poza pokryciem sieci.
- Pojazdy stosują pule zasobów odwzorowane poszczególnym strefom.

Przegląd standardów komunikacji V2X

- **3GPP C-V2X**

- **Zapewnianie wysokich szybkości i płynnej mobilności**

- W systemie C-V2X wzrosła liczba symboli referencyjnych stosowanych w demodulacji (DRS - demodulation reference symbols) w trybie sidelink/PC5 z 2 symboli (zdefiniowanych dla ProSe w Wydaniu 12) do 3 lub 4 symboli na podramkę, aby poradzić sobie z dużymi przesunięciami Dopplera.
- Polepszenie randomizacji symboli DRS (lesze tłumienie interferencji).
- Zapewnienie płynnej mobilności: Gdy stosowany jest geo-zoning przy przejściu z jednej strefy do drugiej pojazdy korzystają z wyjątkowej, predefiniowanej puli zasobów

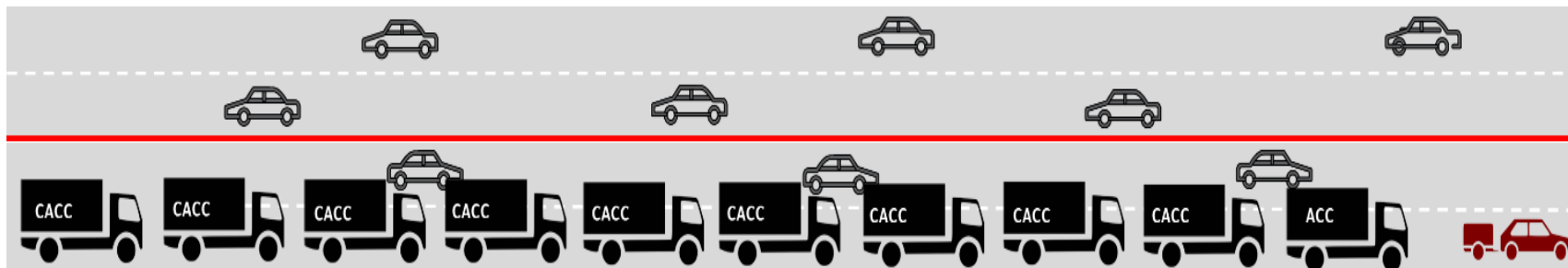
Parametry standardów V2X i konfiguracja symulacji



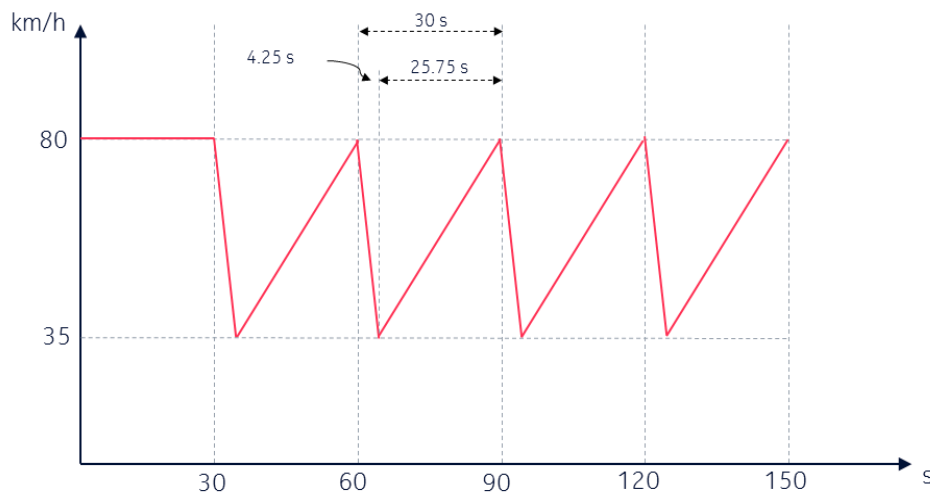
Parameter	IEEE 802.11p	3GPP C-V2X
Spectrum band	ITS-G5A (5895-5905 MHz)	
Channel estimation	Ideal	
Channel model	ITU Vehicular-A	
Path loss model	Winner+ B1 LOS	
Antenna height	3.5 m	
Shadowing distribution	Log-normal	
Shadowing standard deviation	3 dB	
Decorrelation distance	25 m	
TX power density	23 dBm/MHz	
Noise power	-174 dBm/Hz	
Noise figure	9 dB	
Number of TX/RX antennas	1/1	
Power control	Off	
Modulation and Coding Scheme	QPSK, R = 1/2	
Number of used subcarriers	52	600
Subcarrier spacing [kHz]	156.25	15
FFT size	64	2048
OFDM symbol duration	8 μ s	1/14 ms
Number of sub-channels	n.a.	2
Selection window size [TTIs]	n.a.	20 (Mode-4) / n.a. (Mode-3)
Resource re-selection counter	n.a.	rand[1,3] (Mode-4) / n.a. (Mode-3)

Działanie konwoju z IEEE 802.11p oraz C-V2X

- Scenariusz symulacyjny:



- Poruszanie się zakłócającego pojazdu:



- Dwa pasy w każdym kierunku
- Auta poza konwojem na pozostałych pasach (0, 5, 10, 20 aut)
- Okresy wiadomości CAM nie są zsynchronizowane czasowo w różnych pojazdach

Działanie konwoju z IEEE 802.11p oraz C-V2X

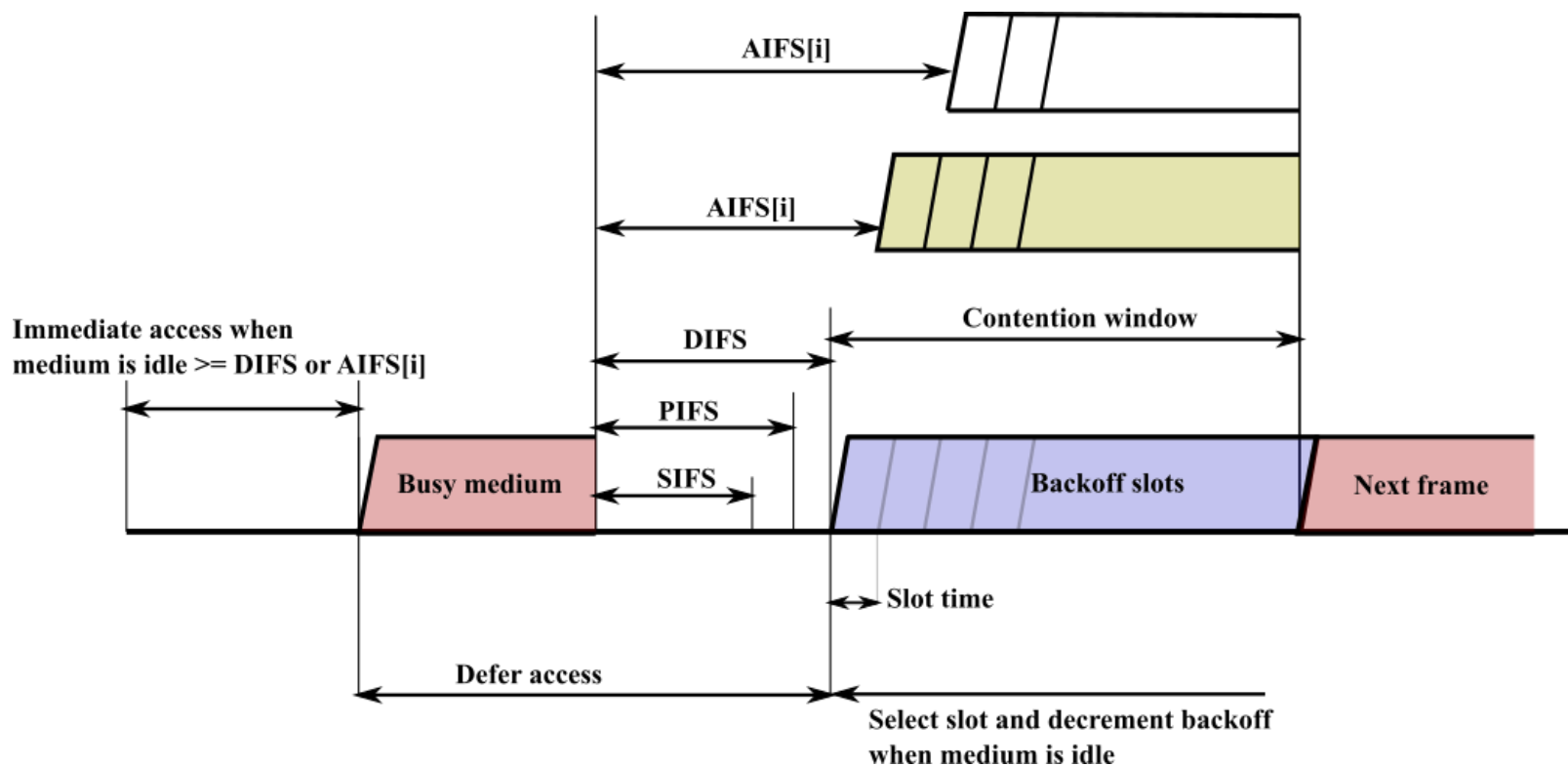


- Ruch na autostradzie i parametry modelu ciężarówek

Parametr	Wartości
Liczba pasów w danym kierunku	2
Szerokość pasa	4 m
Liczba ciężarówek w konwoju	10
Długość ciężarówki	16.5 m
Prędkość maksymalna	100 km/h
Maksymalne przyspieszenie ciężarówek	Liniowy spadek z 2 m/s^2 @ 0 km/h do 0 m/s^2 @ 100 km/h
Maksymalne opóźnienie ciężarówek	$0.3g$ (= 2.94 m/s^2)
Stała czasowa dynamiki pojazdu τ	20 ms
Gęstość samochodów poza konwojem	0, 5, 10, 20 aut/km/pas
Szybkość samochodów poza konwojem	130 km/h (constant)
Odstęp pomiarowy radarów	60 ms
Interwał transmisji wiadomości CAM	100 ms
Wielkość wiadomości CAM	300 bajtów

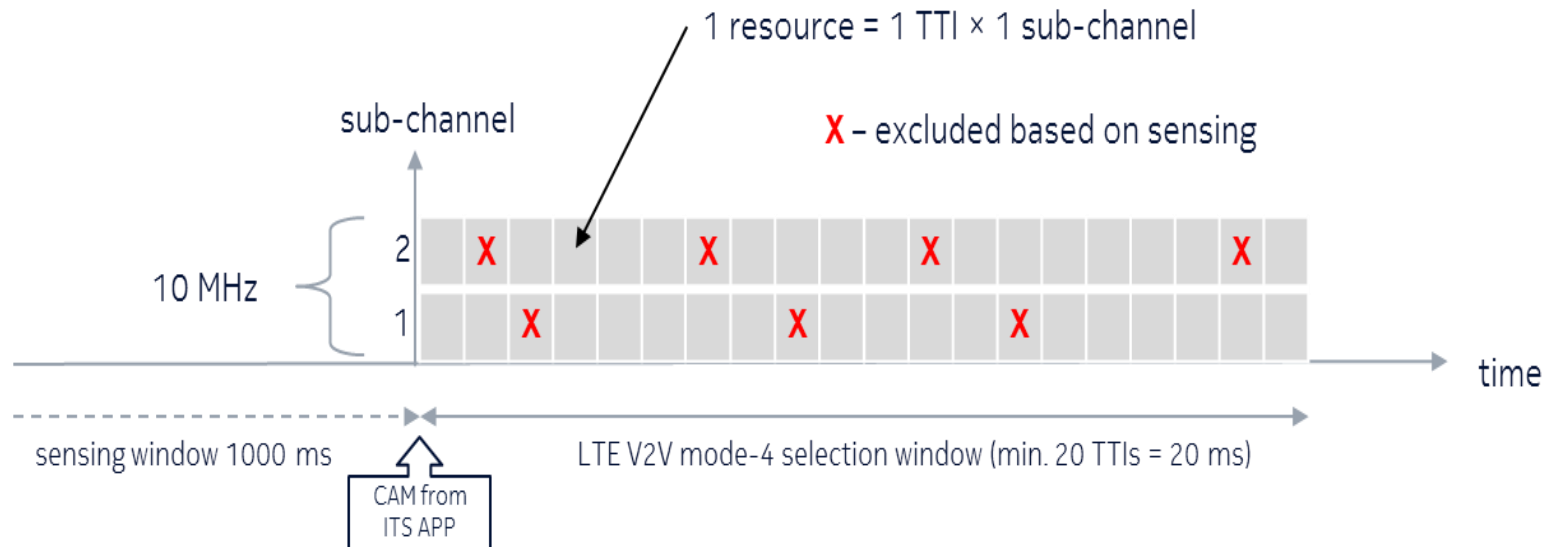
Działanie konwoju z IEEE 802.11p oraz C-V2X

- IEEE 802.11p – EDCA timing



Działanie konwoju z IEEE 802.11p oraz C-V2X

- W C-V2X 10 MHz kanał sidelink/PC5 jest podzielony na k podkanałów.
- Każda transmisja wiadomości CAM zajmuje jeden podkanał.
- Do k pojazdów może transmitować równocześnie wiadomości CAM przez różne podkanały bez wzajemnych kolizji.
- W przeprowadzonych eksperymentach $k=2$ (TTI=1 ms)



Działanie konwoju z IEEE 802.11p oraz C-V2X



- Pożądane działanie systemu CACC jest zdefiniowane jako “nie więcej niż jedna kolizja w 100 przebiegach symulacyjnych”, tj. stopa kolizji $\leq 1\%$.
- Inne mechanizmy łagodzące kolizje , np. hamowanie awaryjne, zapewni działanie wolne od kolizji.
- Metryki oceny jakości:
 - **Średnia odległość między ciężarówkami**
 - **Opóźnienie (zwłoka) wiadomości CAM**
 - **Stopień odbioru CAM** (wiadomość CAM wysłana przez lidera konwoju i odebrana przez każdą ciężarówkę w konwoju)

Działanie konwoju z IEEE 802.11p oraz C-V2X



- Średnia odległość między ciężarówkami dla minimalnej osiągalnej odległości dla algorytmu CACC, która zapewnia nie większe niż 1% prawdopodobieństwo kolizji pojazdów.

Gęstość ruchu (auta/km/pas)	IEEE 802.11p		3GPP C-V2X Mode-4		3GPP C-V2X Mode-3	
	Min. żądana odległość CACC	Śr. odległość między pojazdami	Min. żądana odległość CACC	Śr. odległość między pojazdami	Min. żądana odległość CACC	Śr. odległość między pojazdami
0	1.0	1.0	1.6	1.6	0.8	0.8
5	3.4	3.4	2.0	2.0	0.8	0.8
10	5.4	5.4	2.4	2.4	0.8	0.8
20	11.0	10.9	2.4	2.4	0.8	0.8

Działanie konwoju z IEEE 802.11p oraz C-V2X



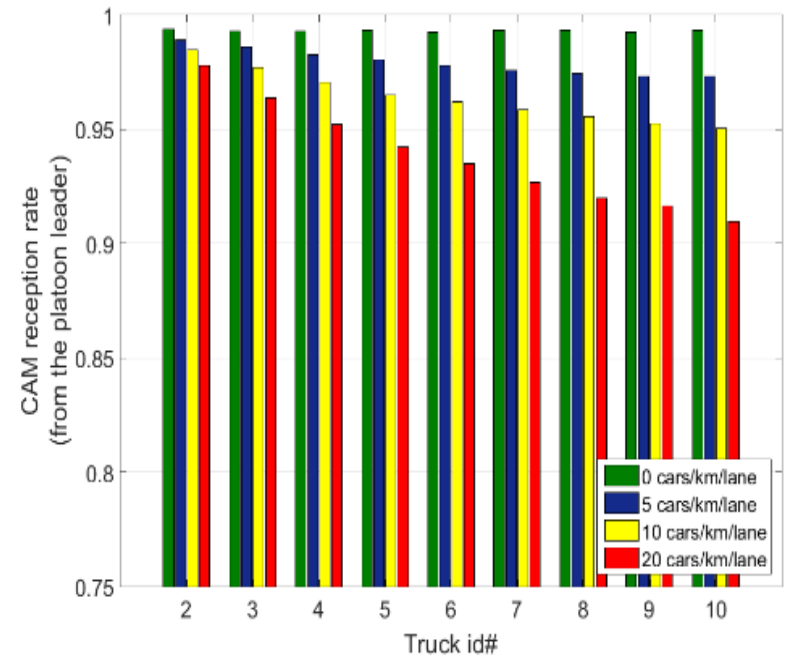
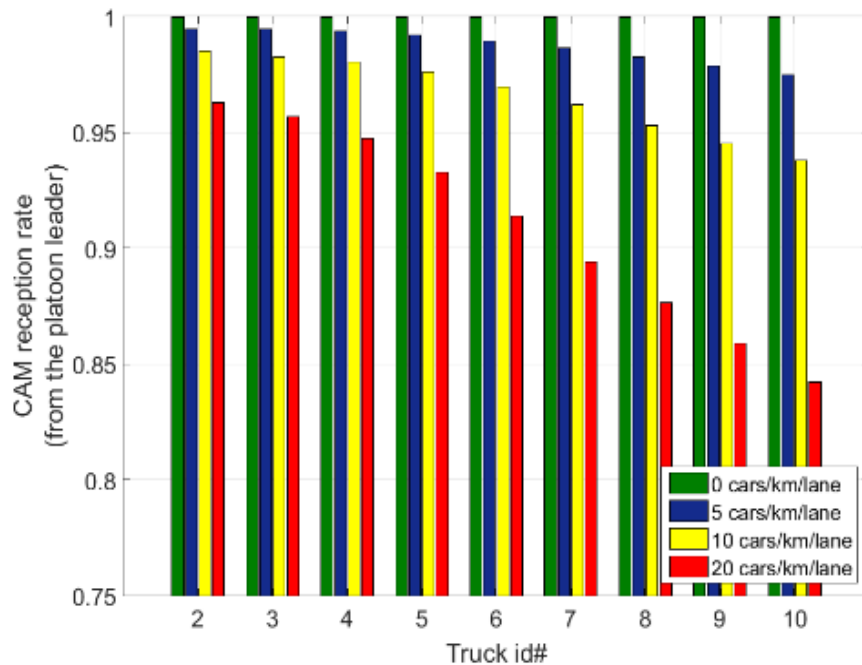
- Opóźnienia w odbiorze wiadomości CAM generowanych przez ciężarówki w konwoju: średnia, 5-ty, 50-ty, oraz 95-ty percentyl (w milisekundach).

Gęstość ruchu (auta/km/pas)	IEEE 802.11p				3GPP C-V2X Mode-4				3GPP C-V2X Mode-3			
	średnia	5%	50%	95%	średnia	5%	50%	95%	średnia	5%	50%	95%
0	0.23	0.06	0.17	0.31	7.87	1.94	6.79	16.44	6.79	6.72	6.79	6.85
5	0.26	0.06	0.18	0.62	7.97	1.94	6.77	16.71	6.80	6.73	6.83	6.95
10	0.30	0.06	0.19	0.74	7.81	1.93	6.52	16.67	6.85	6.73	6.87	7.21
20	0.40	0.06	0.22	1.09	7.53	1.92	6.09	16.57	7.12	6.73	6.90	8.46

Działanie konwoju z IEEE 802.11p oraz C-V2X



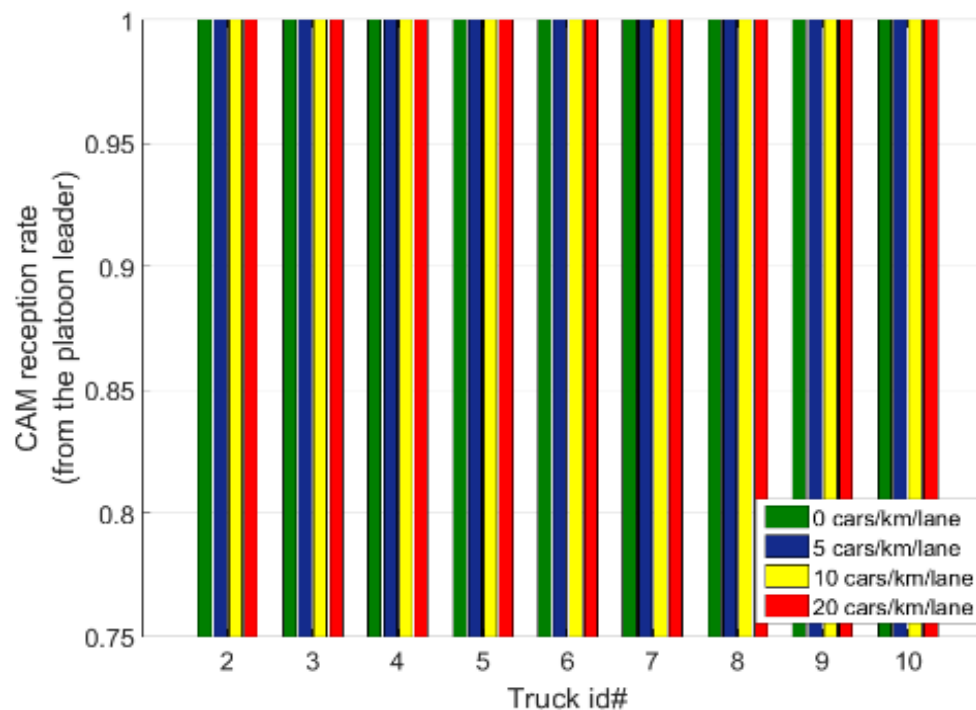
- Sprawność odbioru wiadomości CAM transmitowanych przez lidera konwoju w przypadku zastosowania IEEE 802.11p (z lewej), C-V2X Mode-4 (z prawej)



Działanie konwoju z IEEE 802.11p oraz C-V2X



- Sprawność odbioru wiadomości CAM transmitowanych przez lidera konwoju w przypadku zastosowania C-V2X Mode-3



- Transmisja w trybie 3 C-V2X zapewnia najwyższą jakość działania

Działanie konwoju z IEEE 802.11p oraz C-V2X



- **Możliwe ulepszenia i rozszerzenia:**
 - Liczba pojazdów w konwoju jest ograniczona przez sprawność odbioru wiadomości CAM
 - Długość konwoju może być zwiększona przez wprowadzenie funkcji wirtualnych liderów w konwoju:
 - Każdy L -ty pojazd emuluje działanie lidera dla k następujących po nim pojazdów
 - Wynik: znaczące wydłużenie konwoju
- **Podstawowe wyzwania:**
 - Nidokładność sensorów (np. radarów, lidarów) wpływa znacząco na dopuszczalną odległość między pojazdami w konwoju
 - **Bezpieczeństwo transmisji i odporność na ataki hakerskie będą mieć istotny wpływ na prawdopodobieństwo kolizji/wypadków**

Niniejsza prezentacja jest oparta na poniższej wspólnej publikacji



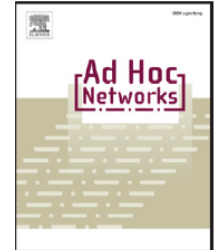
Ad Hoc Networks 74 (2018) 17–29



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Ad Hoc Networks

journal homepage: www.elsevier.com/locate/adhoc



3GPP C-V2X and IEEE 802.11p for Vehicle-to-Vehicle communications in highway platooning scenarios



Vladimir Vukadinovic^{a,*}, Krzysztof Bakowski^a, Patrick Marsch^{a,1}, Ian Dexter Garcia^b,
Hua Xu^b, Michal Sybis^c, Pawel Sroka^c, Krzysztof Wesolowski^c, David Lister^d,
Ilaria Thibault^d

^a *Nokia Networks, Wroclaw, Poland*

^b *Nokia Networks, Arlington Heights, IL, USA*

^c *Poznan University of Technology, Poznan, Poland*

^d *Vodafone Group R&D, Newbury, United Kingdom*

Autorzy badań

- Z Politechniki Poznańskiej:
 - Dr inż. Michał Sybis,
 - Dr inż. Paweł Sroka,
 - Mgr inż. Marcin Rodziewicz
 - Mgr inż. Karolina Lenarska
 - Prof. Krzysztof Wesołowski
- Z Nokia Bell Labs/Nokia Networks (Wrocław):
 - Dr Vladimir Vukadinovic
 - Dr Patrick Marsch
 - Mgr inż. Krzysztof Bąkowski.
- **Adnotacja:** *This work in part related to IEEE 802.11p transmission was performed by PUT within the contract with Nokia Solutions and Networks entitled „**Investigation of 5G Communication Solutions for Latency- and Reliability-Critical Use Cases**”*

Dziękuję za uwagę