



**Universidade de São Paulo**  
**Escola Politécnica**



**PTR5917 – Sistemas Inteligentes de Transporte**

# **Cooperative Intelligent Transport Systems**

## **Colaborative Mobility**

# **C - ITS**

Prof. Leopoldo Yoshioka

25 de outubro de 2017

# Cooperativa

Wikipedia:

*“Trata-se de uma **colaboração e associação de pessoas** unidos voluntariamente para alcançar **necessidades ou objetivos** econômicos, social ou culturais, **comuns**, por meio de uma organização, de propriedade conjunta (jointly-owned), controlada democraticamente”.*

# Sistemas Cooperativos



São sistemas que fornecem o suporte computacional e de comunicação para que os participantes “**se ajudam mutuamente**”, compartilhando dados e informações, com o intuito de alcançar necessidades e objetivos comuns.

Exemplos:



Digital Agenda  
100110010101110111000100 2010-2020  
for Europe



# Digital Agenda for Europe

## "Every Car Digital"

- Europe's strategy for a flourishing digital economy by 2020.
- Maximise economic and social benefits from ICT
- Reinforce ICT Research and Innovation
- In Mobility and Transport:
  - Support partnerships between ICT and major emitting sectors like transport and logistics to improve energy efficiency
  - Increase the speed of ITS take-up, in particular for road and urban transport



# Cooperative Intelligent Transport Systems

## Collaborative Mobility

A partir de 2010, surgiram várias iniciativas, mundialmente, com o objetivo de estudar e implementar soluções para o tráfego, buscando aumentar a segurança, melhorar eficiência, limpa e sustentável.

Exemplos: Drive-C2X (Europa), CITS (Austrália)

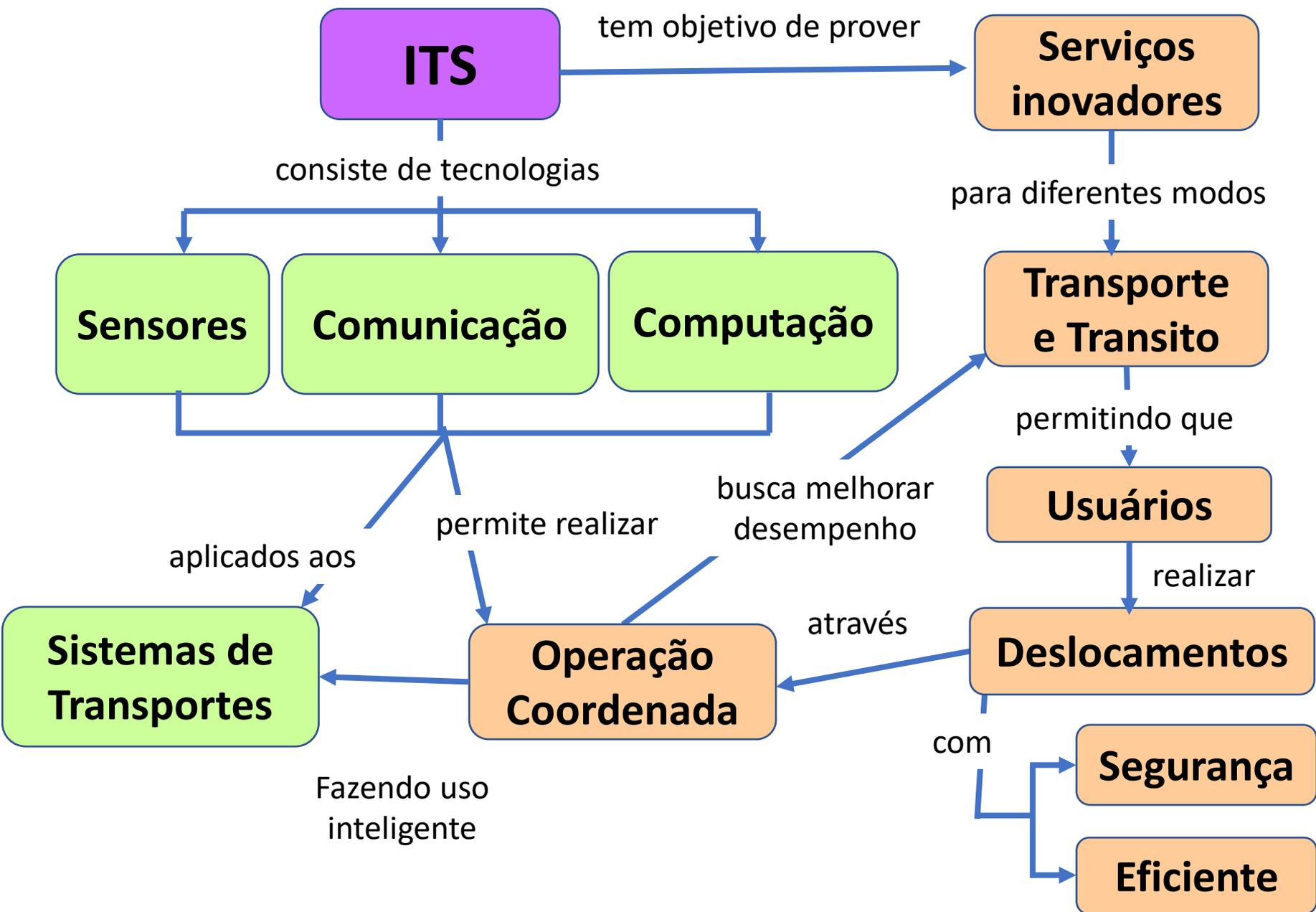
# O que é ITS?

Trata-se de uma aplicação avançada de tecnologias de sensoriamento, comunicação e computação voltada aos sistemas de transportes.

Tem como objetivo prover serviços inovadores referentes aos diferentes modos de transportes e trânsito.

Permite que os diversos usuários recebam informações, realizem deslocamentos, em segurança e de modo coordenado.

Fazendo assim, uso inteligente da rede de transportes.



# C-ITS

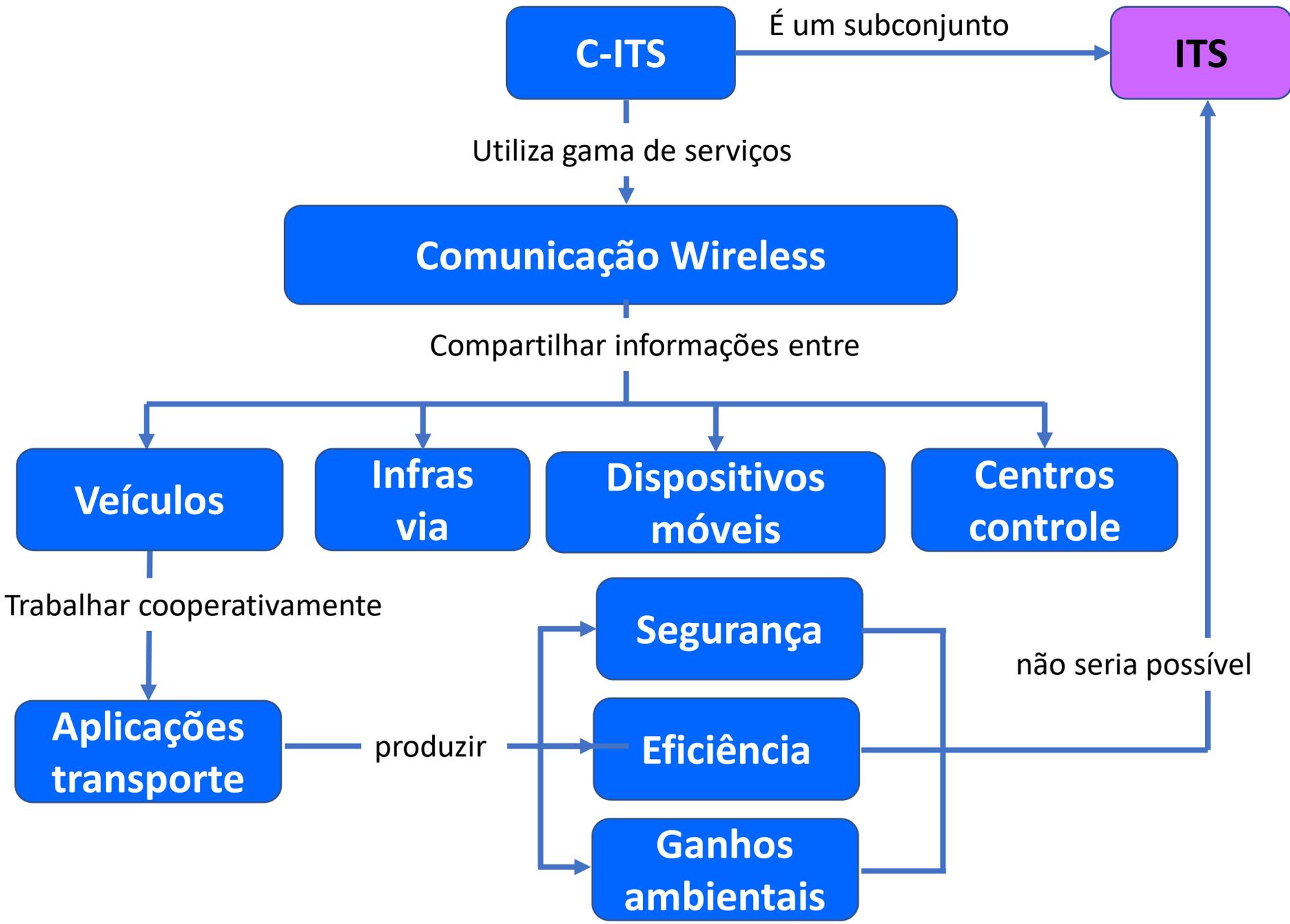
## Cooperative intelligent transport system

- Pode ser definido como um subconjunto de um ITS que utiliza a comunicação wireless para compartilhar informações entre veículos, infraestrutura de via (roadside), dispositivos móveis e centros de controle.
- Permite que veículos e aplicações de transporte trabalhem cooperativamente a fim de proporcionar segurança(safety), eficiência e benefícios ambientais que não seriam alcançáveis com o ITS e aplicações veiculares de forma independente.

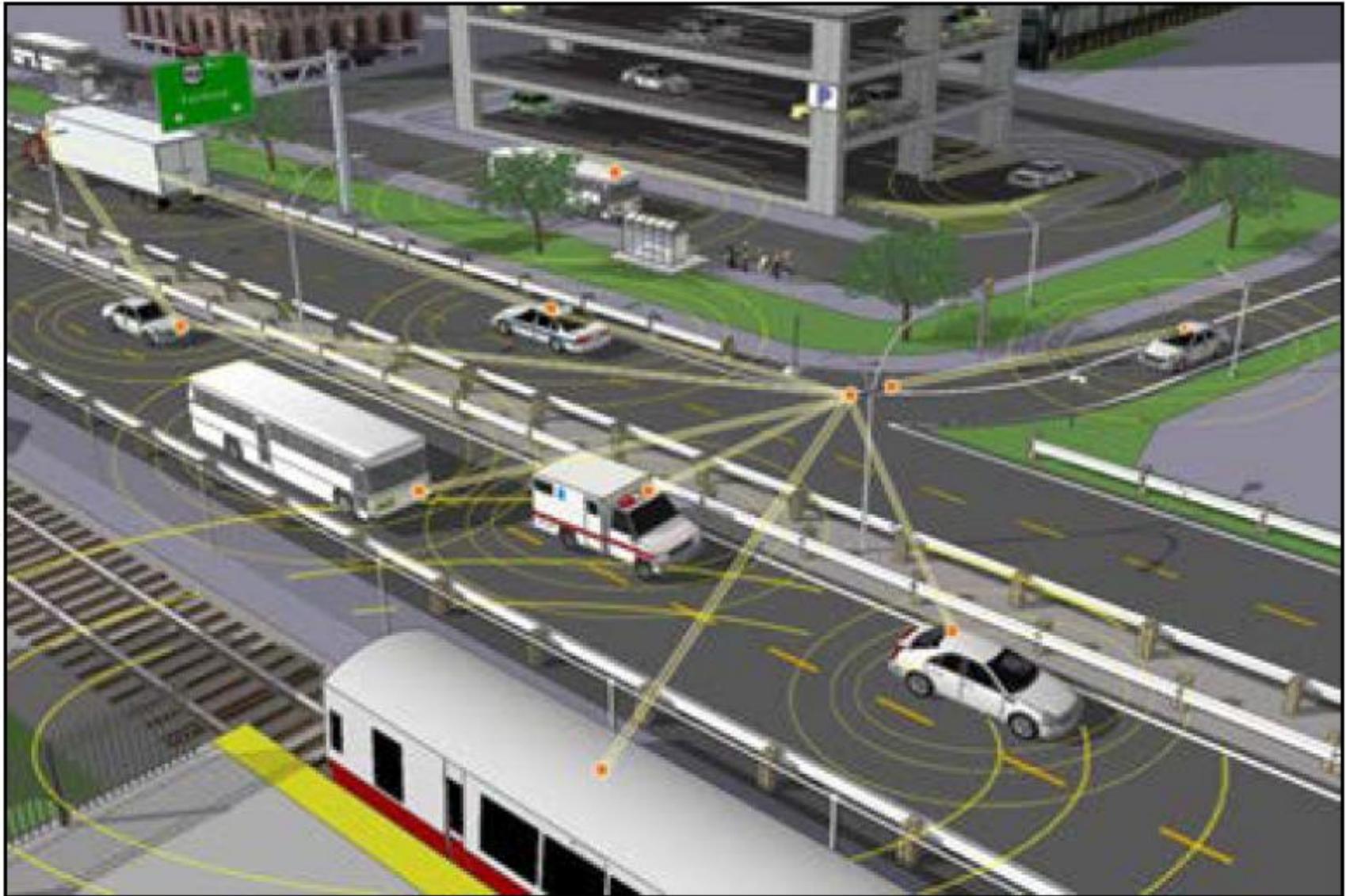
# C-ITS

## Cooperative intelligent transport system

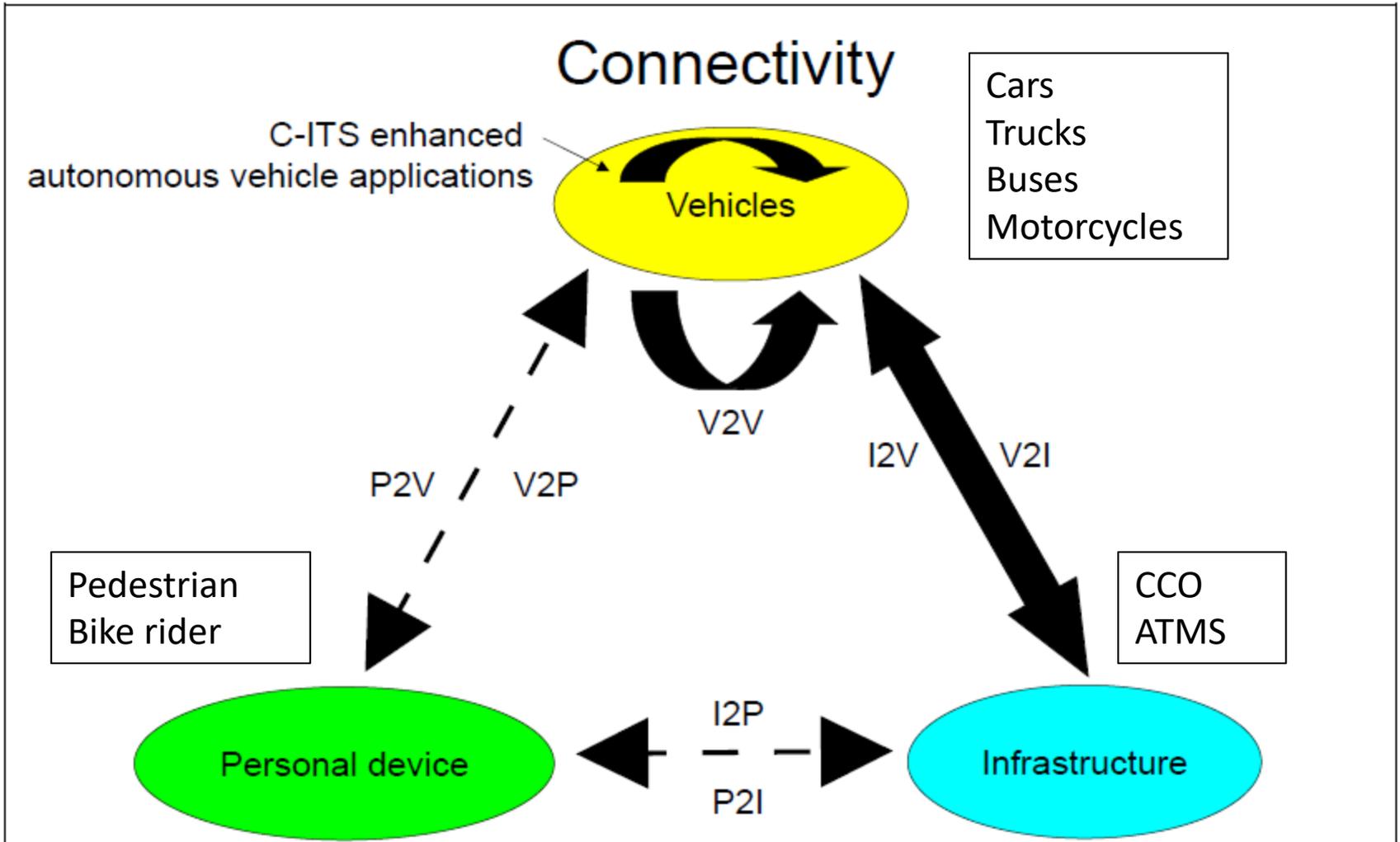
- Pode ser definido como um subconjunto de um **ITS** que utiliza a **comunicação wireless** para compartilhar informações entre **veículos, infraestrutura da via** (roadside), **dispositivos móveis** e **centros de controle**.
- Permite que **veículos** e **aplicações de transporte** trabalhem cooperativamente a fim de proporcionar **segurança**(safety), **eficiência** e **benefícios ambientais** que não seriam alcançáveis com o ITS e aplicações veiculares de forma independente.



# C-ITS – comunicação entre veículos e infraestrutura

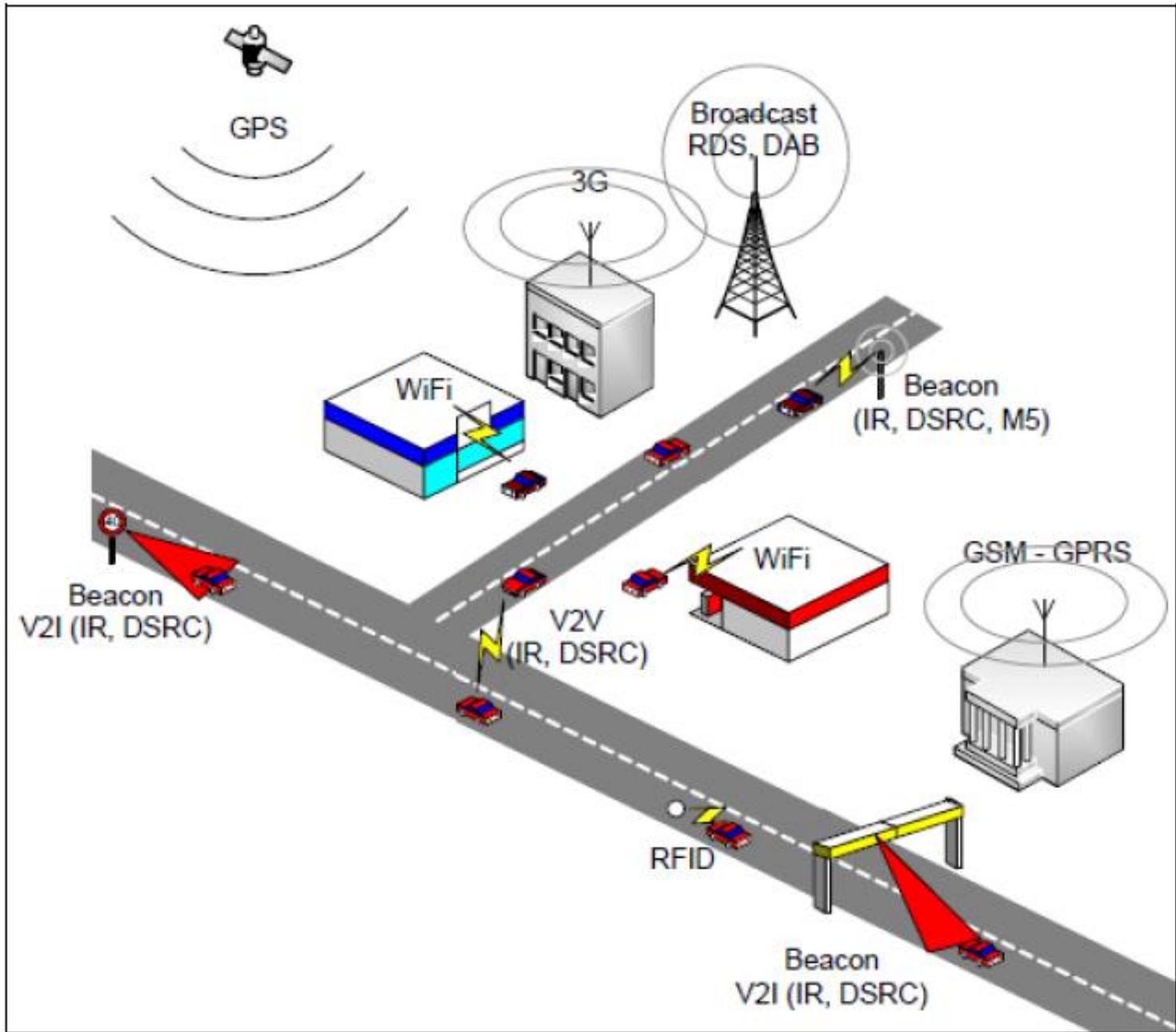


Fonte: Andersen and McKeever

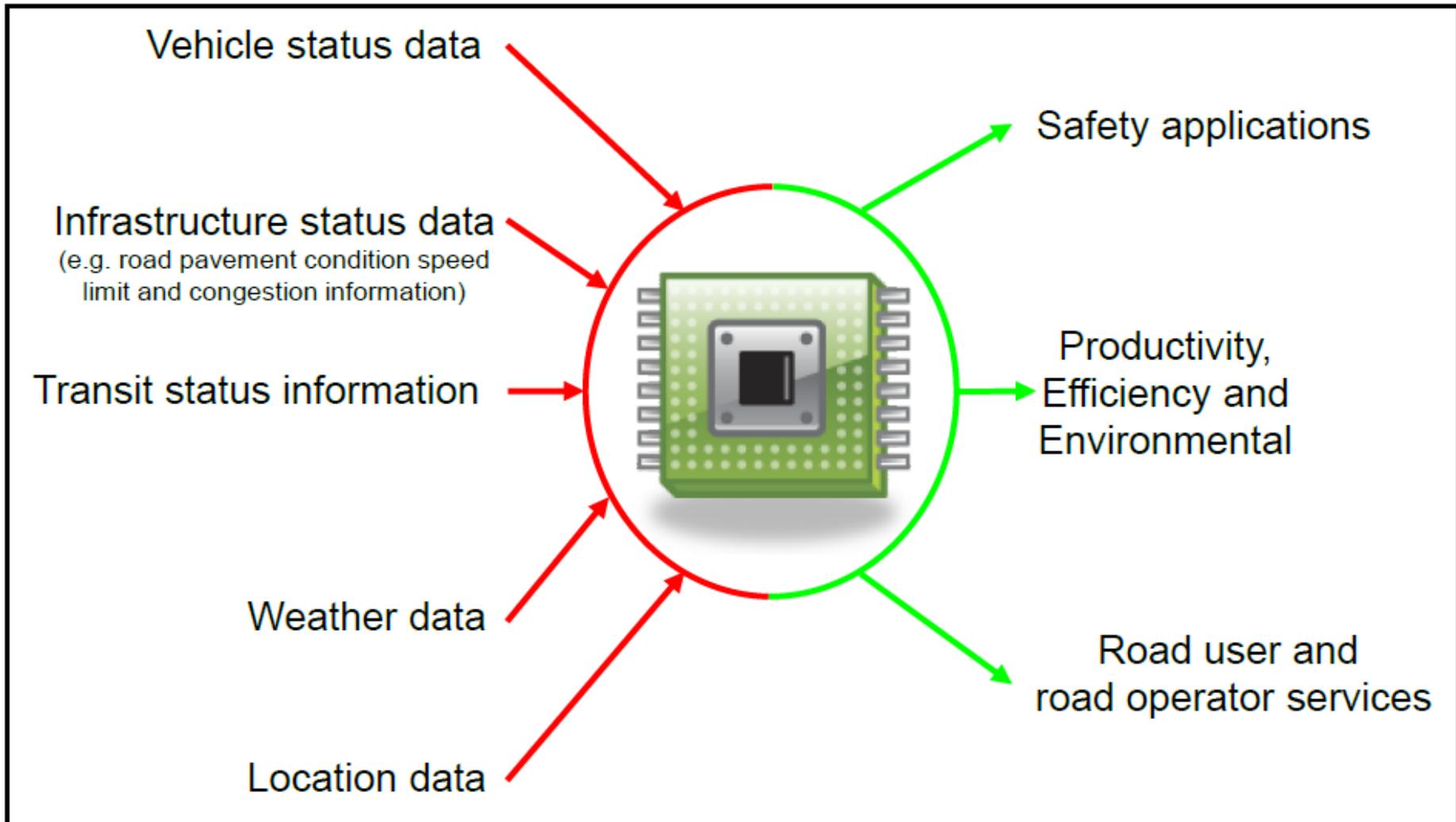


Notes:

- 1 Infrastructure may refer to both field infrastructure and central infrastructure.
- 2 Although at this stage the main focus of C-ITS is the connection between vehicles and between vehicles and infrastructure, C-ITS may evolve to extend connectivity to travellers such as pedestrians and bicycle riders through the use of a portable personal device.



# C-ITS – tipos de dados, informação e aplicações



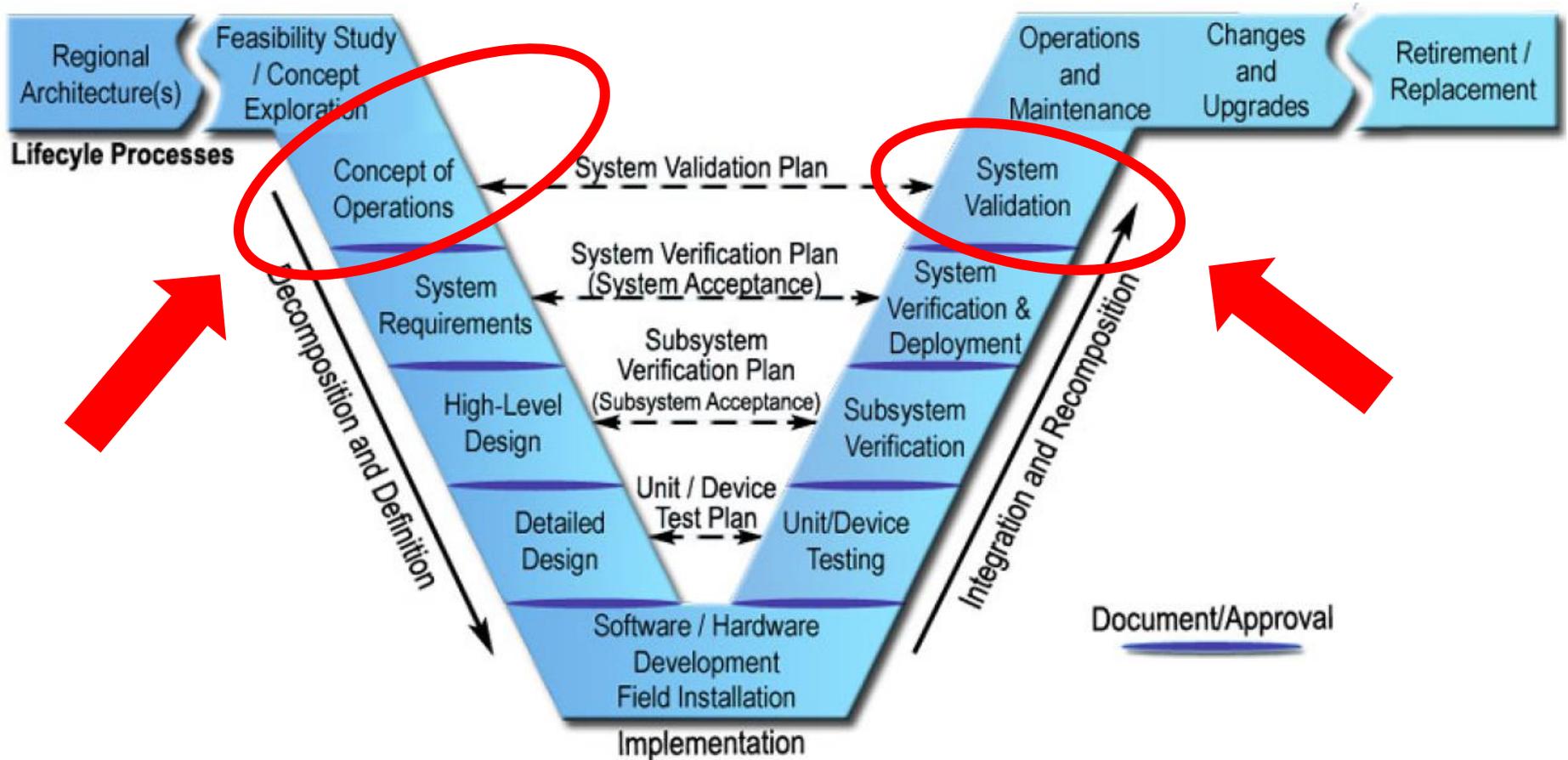


*Austroads*

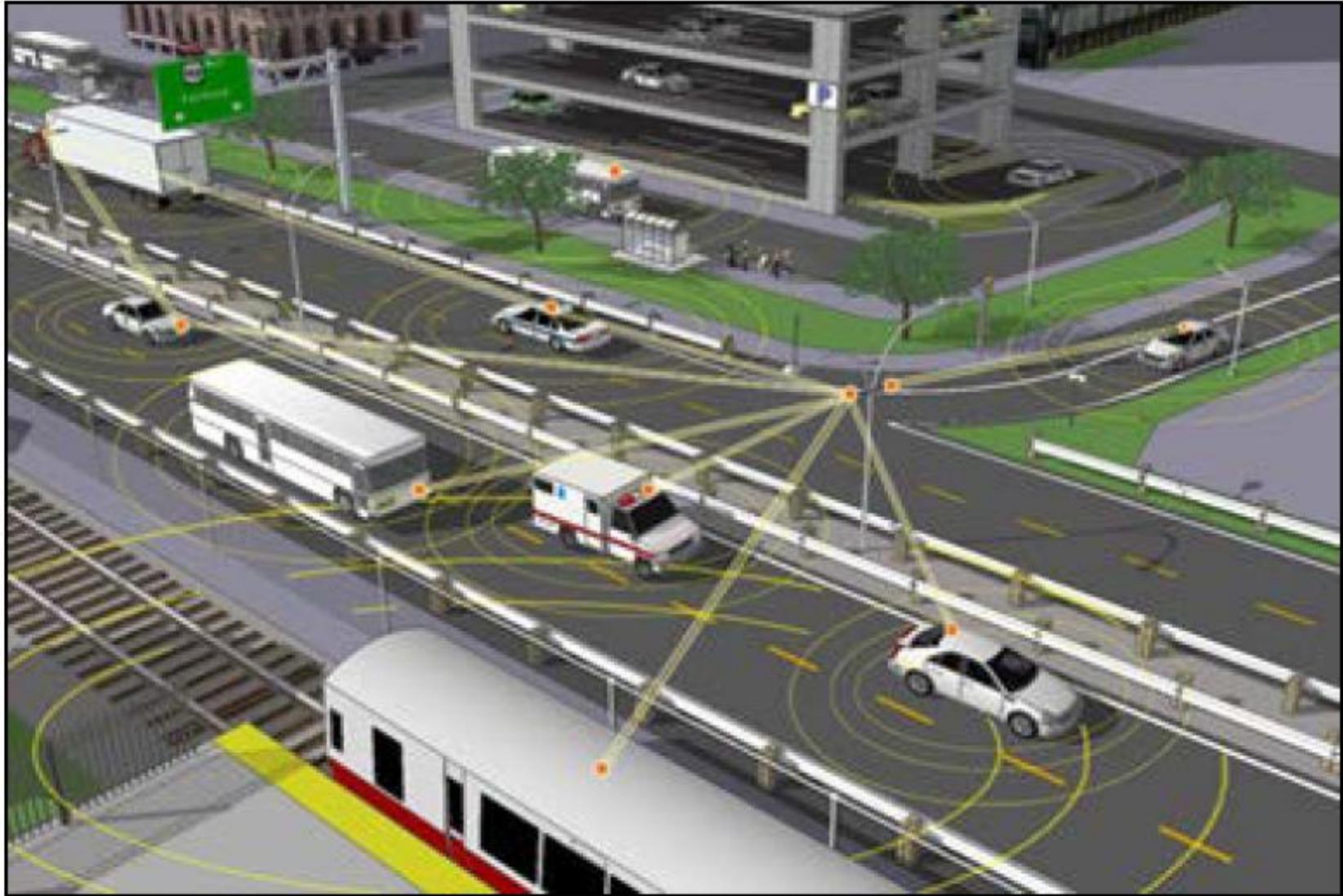
Research Report  
AP-R479-15

## Concept of Operations for C-ITS Core Functions

# System Engineering V-diagram



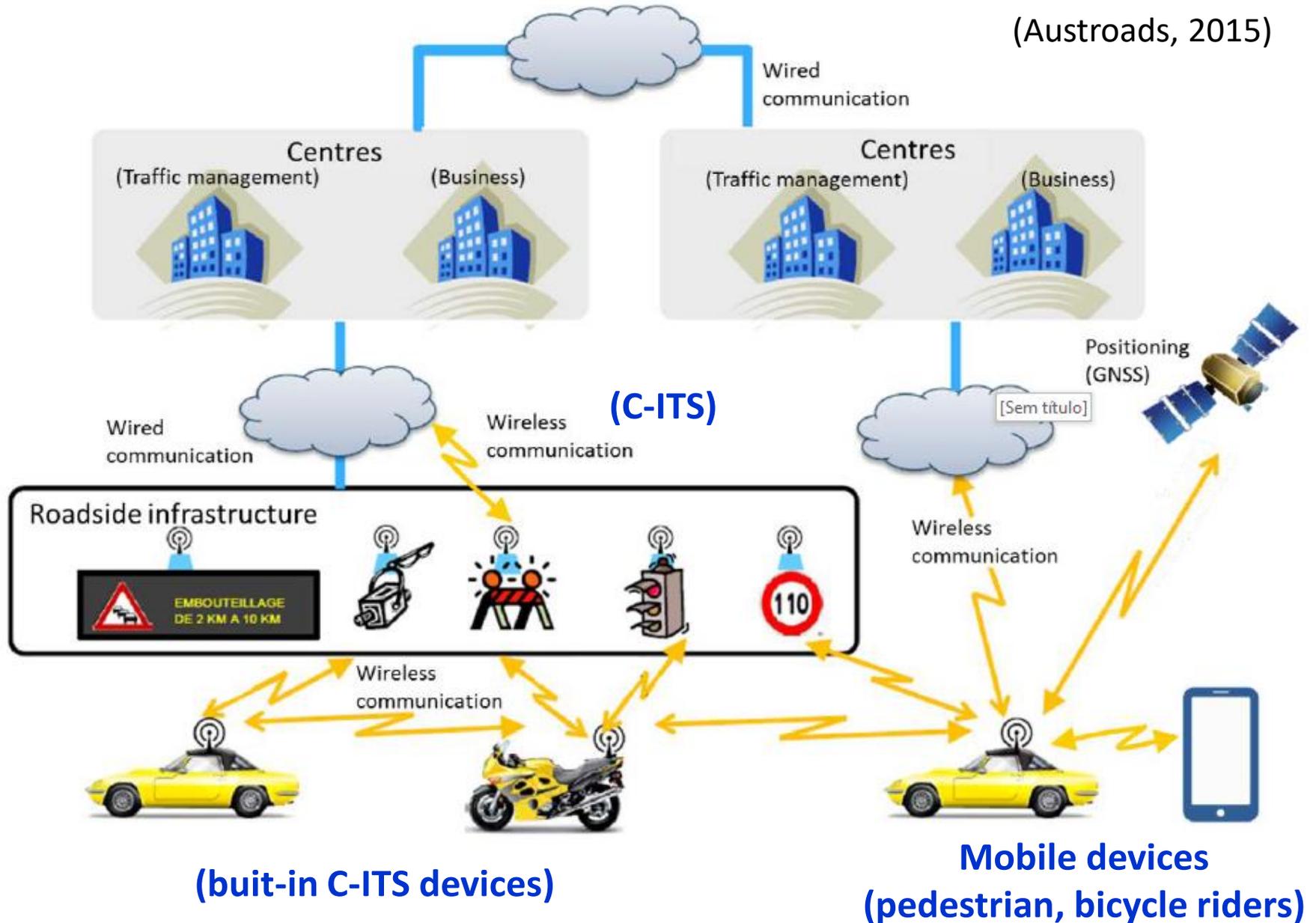
# C-ITS Multimodal



Fonte: Andersen and McKeever

# Conexões entre os elementos do C-ITS

(Austroads, 2015)



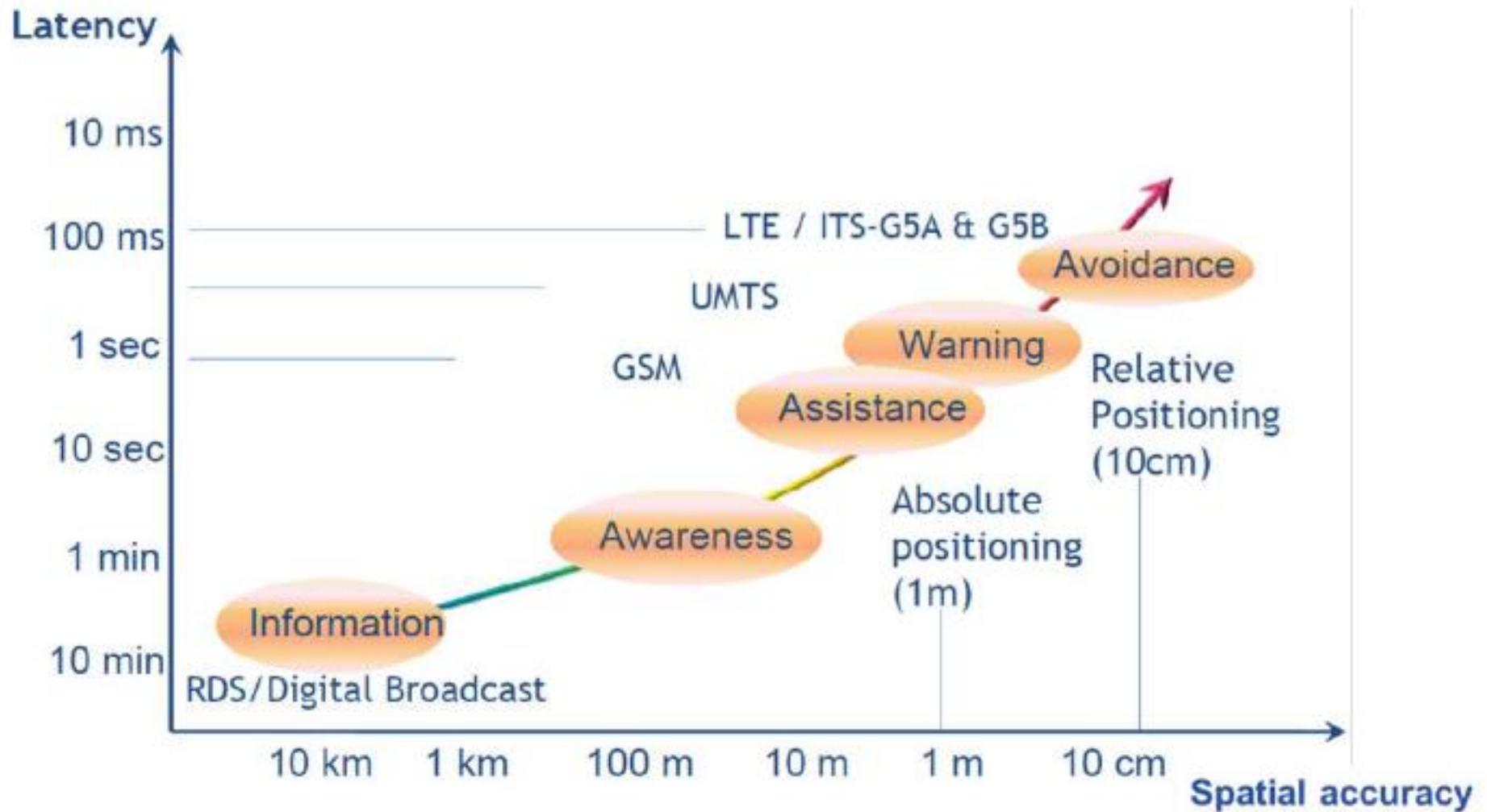
# Classificações de C-ITS

- **Níveis:** segurança no tráfego, eficiência da rede e impacto ambiental
- **Latência de comunicação:** *time-critical, non-time-critical* (menor que: 1ms, 10ms, 1s, 10s, 1min, 10 min ou 1h)
- **Precisão de posicionamento** (metros, submetros, decímetros)
- **Segurança:** *safety-critical, non-safety-critical*
- **Níveis de orientação:** informativo, alerta, automatizado
- **Direção:** planejamento de viagem, navegação, escolha de faixa ou velocidade, esterçamento, aceleração ou frenagem.
- **Tipo:** gestão de frota, gestão de tráfego ou aplicações comerciais.

# Categorias de influência de C-ITS na condução do veículo

- **Informação:** ex.: tempo de viagem
- **Conscientização:** ex.: alerta de obras na pista
- **Assistência:** ex.: adaptação automática de velocidade
- **Alerta:** ex.: alerta de colisão
- **Atuação ativa:** ex.: frenagem de emergência
- **Automatizado:** ex.: *cooperative adaptive cruise control*

Figure 1.4: Types of C-ITS by latency and spatial accuracy

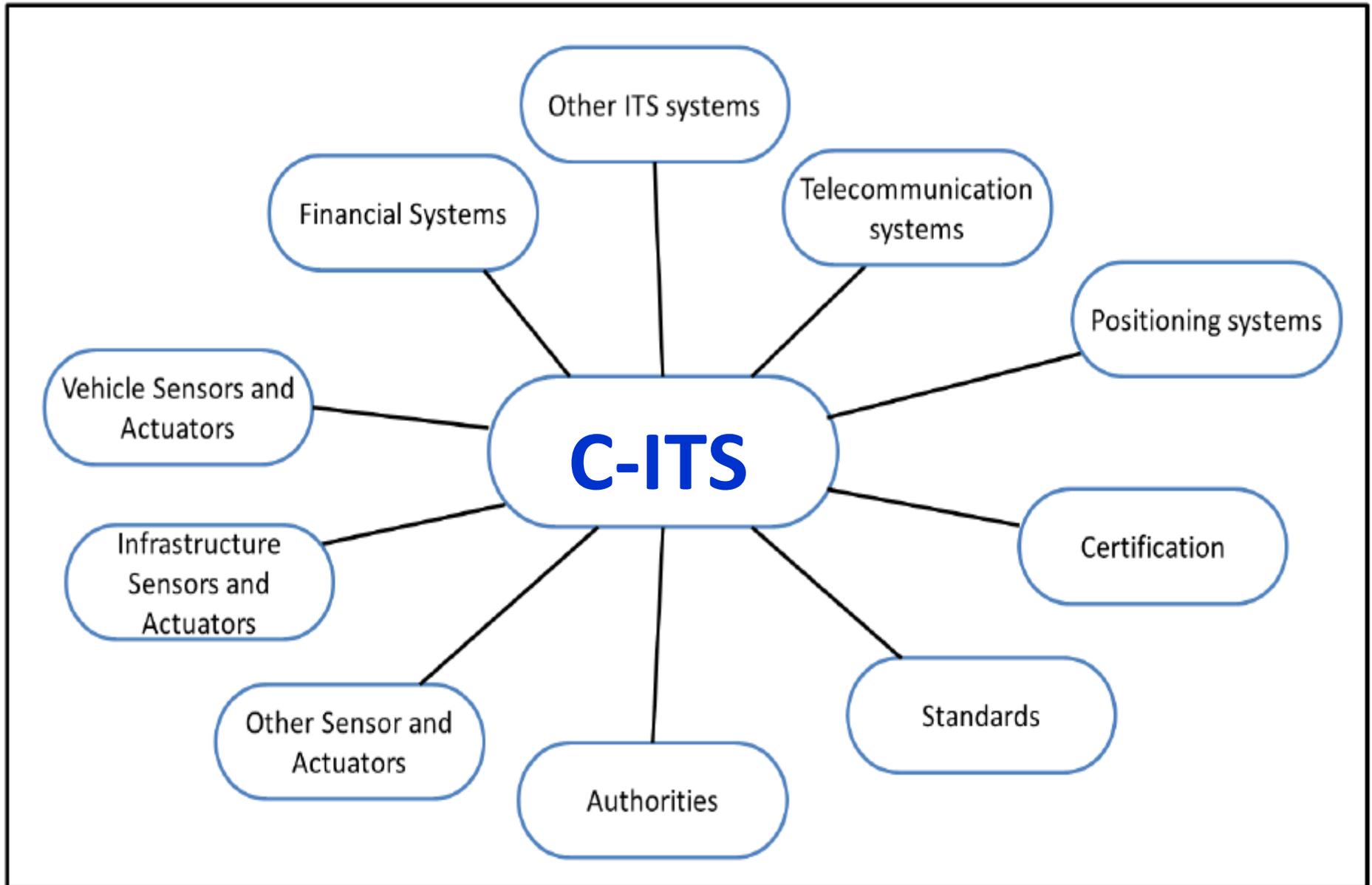


Source: Modified from ERTICO (2011).

# Tecnologias de comunicação wireless e seus atributos

Category	Communication technologies	Attributes
Short range communications	Examples include: <ul style="list-style-type: none"><li>• 5.9 GHz DSRC</li><li>• Wireless LAN (e.g. WiFi)</li><li>• Bluetooth</li><li>• Infra-red</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Short range</li><li>• Low to very low latency</li><li>• Two-way communications</li></ul>
Long range communications	Examples include: <ul style="list-style-type: none"><li>• Cellular networks, including:<ul style="list-style-type: none"><li>– UMTS (3G)</li><li>– LTE (4G)</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Long range</li><li>• Medium to low latency</li><li>• Two-way communications</li></ul>
Wide area broadcast	Examples include: <ul style="list-style-type: none"><li>• Digital radio (e.g. DAB+)</li><li>• Analogue radio</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Long range</li><li>• Medium to high latency</li><li>• One-way</li></ul>

# Ecosystema do C-ITS



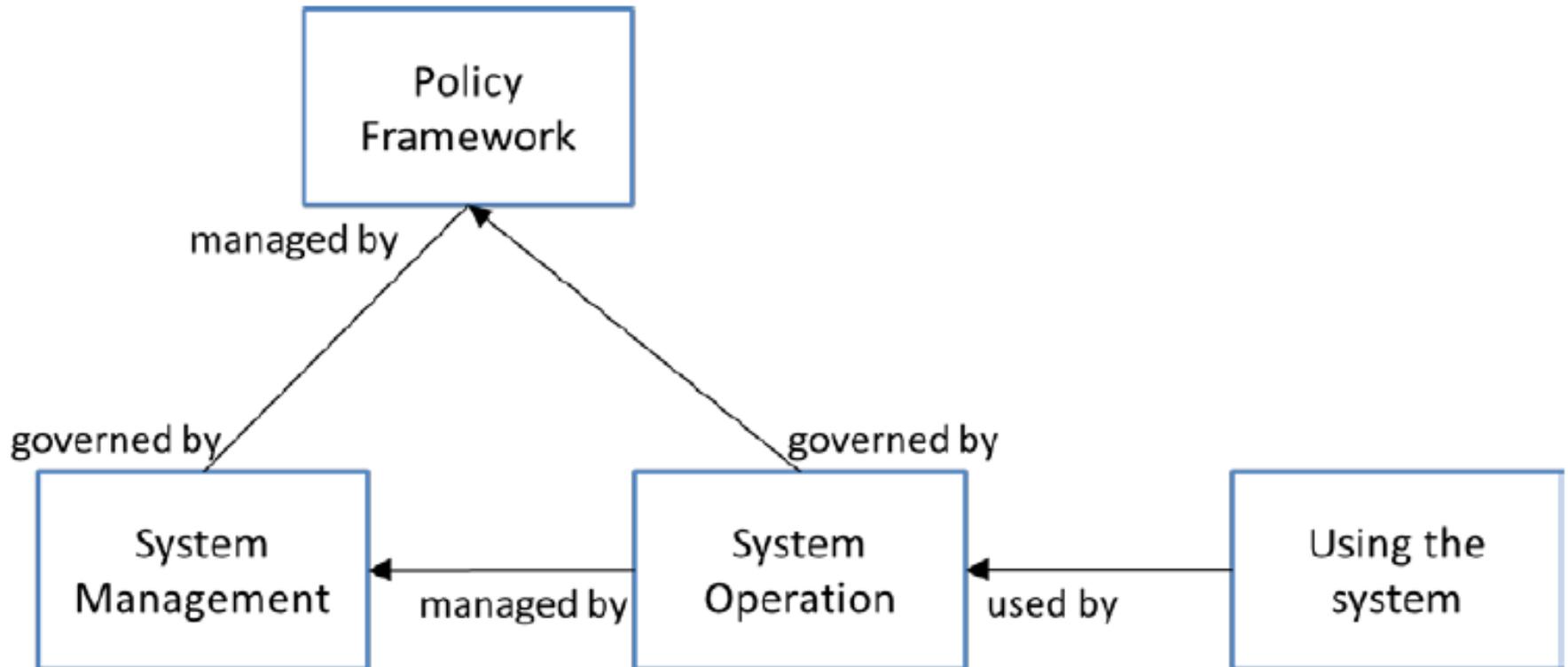
# C-ITS deve garantir

- **Troca segura de dados** entre usuários e aplicações
- **Confiança e integridade** dos dados
- **Privacidade** entre usuários e terceiros
- Facilidade da plataforma para **compartilhar os dados** e o **uso eficiente dos recursos**
- **Interoperabilidade** e **acesso consistente** a serviços em todo país

# C-ITS deve permitir

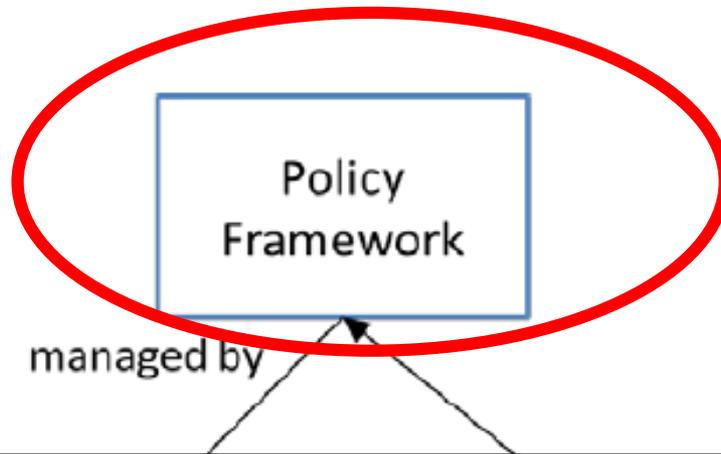
- uma **arquitetura de referência** comum
- o **compartilhamento** de informações entre os dispositivos C-ITS (*in-vehicle, roadside, CCO*, dispositivo móvel) num ambiente **peer-to-peer**
- o **compartilhamento de informações** entre **múltiplas aplicações** em **único dispositivo C-ITS**
- o **compartilhamento de recursos**(comunicação, posicionamento, segurança) por **múltiplas aplicações** em **único dispositivo C-ITS**
- uso autorizado de informações para **outros propósitos**
- Suporte de **múltiplas aplicações rodando simultaneamente**

# Arquitectura organizacional de C-ITS



Source: ISO 17427-1.

# Política pública do C-ITS



**Policy framework** – responsible for all governing and institutional activities in the system. This includes governing the system management and system operation roles. Responsibilities within this role include:

- defining the regulatory and non-regulatory policies relevant to C-ITS
- defining the standards and guidelines relevant to C-ITS
- ensuring that standards, guidelines, laws and regulations are followed and applied.

# Gestão do Sistema C-ITS

**System management** – responsible for the management activities within the system. This role is governed by the policy framework role, and provides direct management and support to the system operation role. Responsibilities within this role include:

- designing, testing and deploying C-ITS
- managing maintenance and support services for C-ITS
- managing availability and capacity of C-ITS
- managing access, security, confidentiality and integrity for C-ITS
- managing configuration, changes, and updates for C-ITS
- enabling communications within and between C-ITS devices
- maintaining the implemented C-ITS architecture.

governed by

governed by

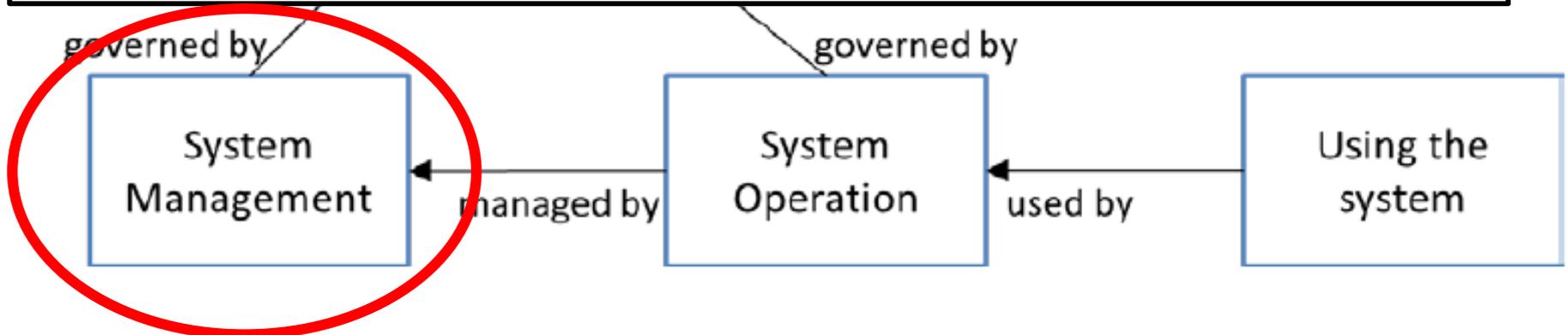
managed by

used by

System  
Management

System  
Operation

Using the  
system

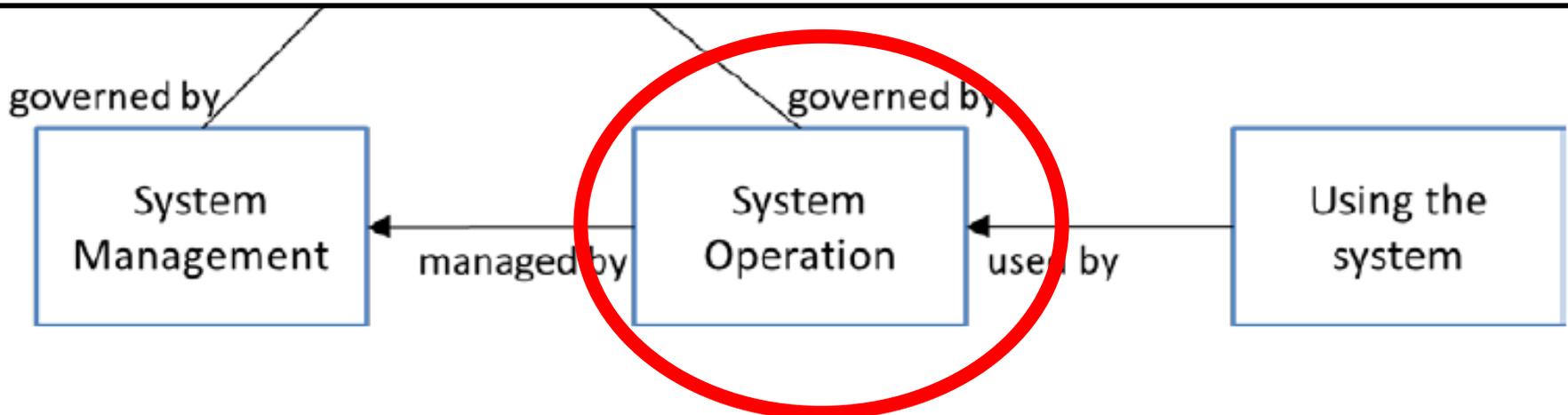


# Operação do Sistema C-ITS

**System operation** – responsible for activities related to the operation of the system. This role is supported by the system management role, and provides services directly to the end users.

Responsibilities with this role include:

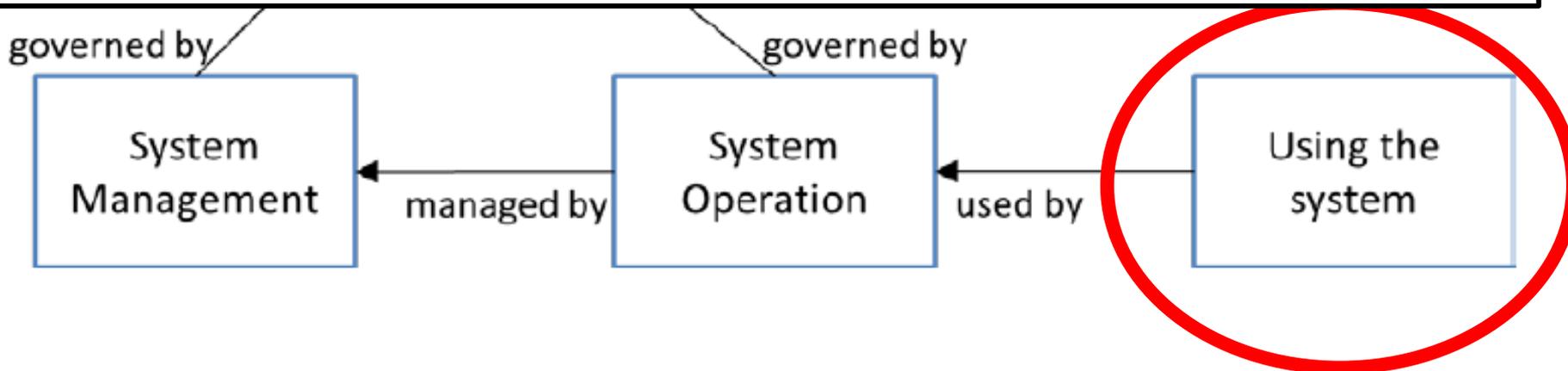
- provision of content, which could include any type of data
- provision of services, which include processing content to create the end service
- presentation of the service results to the end user.



# Usuário final do C-ITS

**End user** – responsible for requesting, receiving and using the end C-ITS application or service, (in some use cases the service may be imposed by the jurisdiction, or perhaps an insurer, or by a third party contracted to provide a service to the recipient. In terms of functionality, however, these are grouped as 'end user' operations). This role has a close relationship with the system operation role. Responsibilities within the role include:

- issuing a service request, and fulfilling any obligations (e.g. subscription conditions)
- recognition of service result presentation (which could be visual, audible, etc.)
- judging the need for reaction, and react accordingly.



# Stakeholders do C-ITS

**Usuários**

**Agências  
Trânsito**

**Operadores  
Transporte**

**Montadoras  
veículos**

**Fabricantes  
dispositivos**

**Operadores  
Telecom**

**Fornecedor  
Infra ITS**

**Provedores  
serviços**

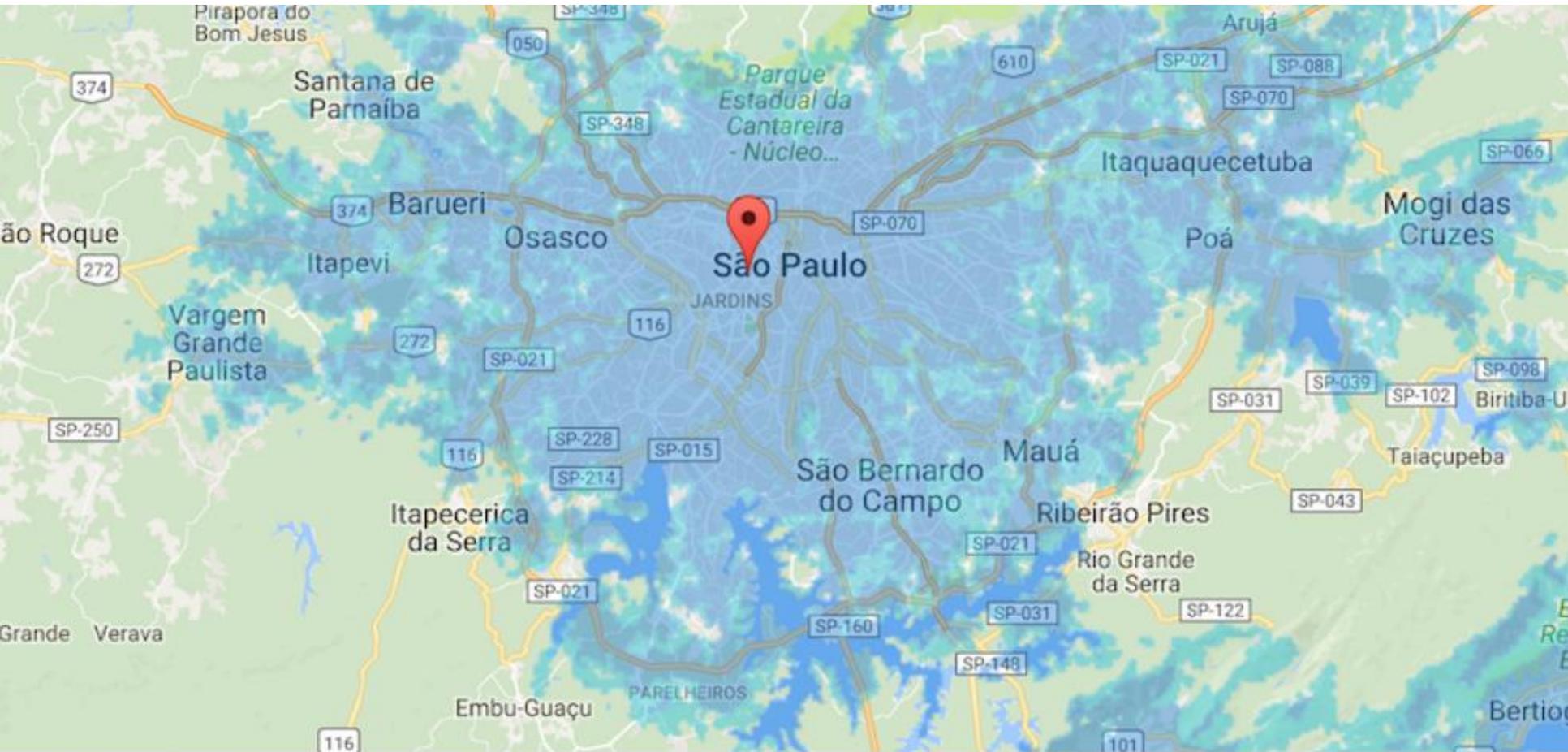
**Organizações  
normatização**

**Organizações  
certificação**

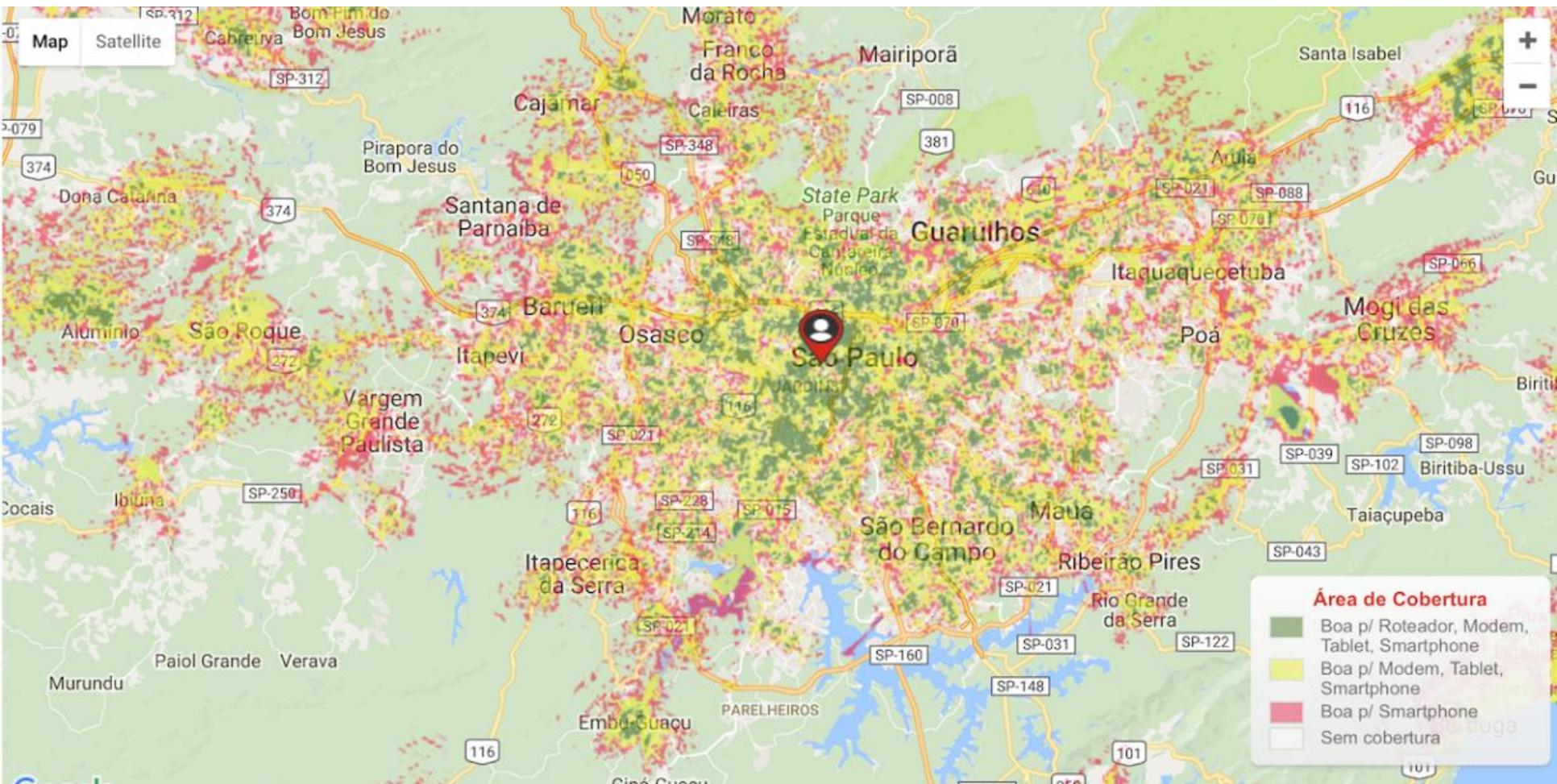
**Agências de  
regulação**

**Associações  
representat.**

# Mapa de cobertura 4G da TIM



# Mapa de cobertura 4G da Claro



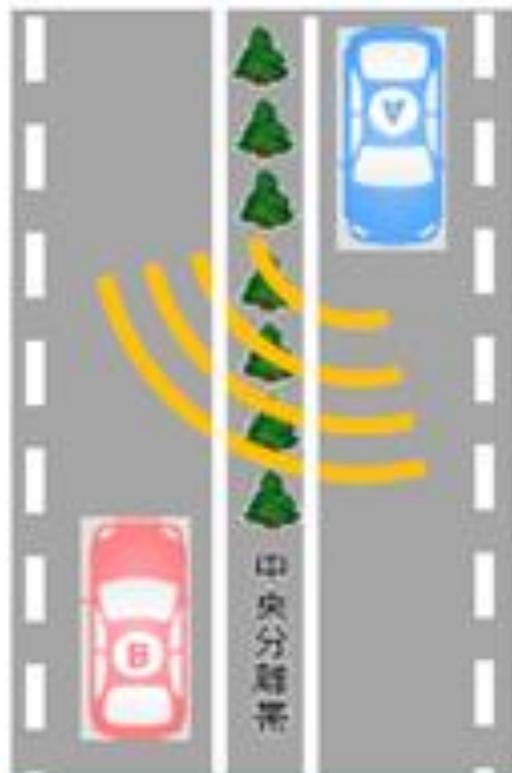
Category	Communication technologies	Range	Attributes
Short range communications –very low latency	<p>Examples include:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5.9 GHz DSRC</li> <li>• Infra-red</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 250 – 1000 metres</li> <li>• Up to 100 metres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Very low latency</li> <li>• Two-way communications</li> </ul>
Short range communications – low latency	<p>Examples include:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wireless LAN (e.g. WiFi)</li> <li>• Bluetooth</li> <li>• Mobile wireless broadband</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Up to 100 metres</li> <li>• Up to 30 metres</li> <li>• Up to 1000 metres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Short range</li> <li>• Low latency</li> <li>• Two-way communications</li> </ul>
Long range communications (up to around 35 km) – medium latency	<p>Examples include:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cellular networks, including</li> <li>• UMTS (3G)</li> <li>• LTE (4G)</li> </ul>	Apparent ‘seamless’ connectivity across cells	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Long range-seamless across cell network coverage</li> <li>• Medium latency</li> <li>• Two-way communications</li> </ul>
Very long range communications – medium to high latency	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Satellite telephony</li> <li>• Satellite broadcasting</li> </ul>	Can communicate in areas not covered by land-based networks	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Very long range</li> <li>• Access areas not available to land-based networks</li> </ul>
Wide area broadcast	<p>Examples include:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Digital radio (e.g. DAB+)</li> <li>• Analogue radio</li> </ul>	Communication distance varies greatly and depends on many factors including noise and sending power	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Long range</li> <li>• Large latency</li> <li>• One-way communications</li> </ul>

# Exemplos de Aplicação da Comunicação V2V

## Info collection & delivery via cars

A Info. re-deliverer

B Automated car



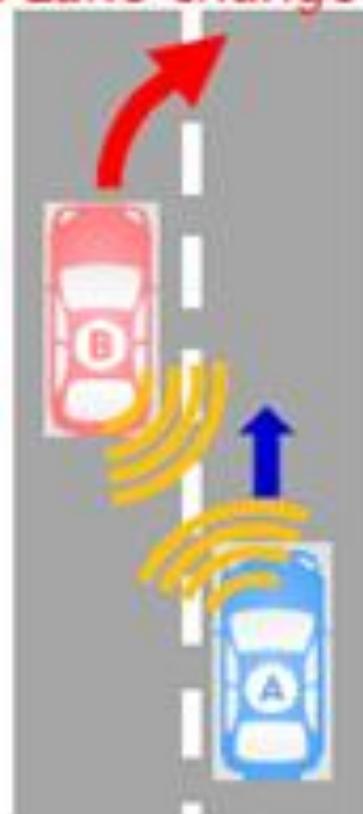
1. Automated car sensor picks up road obstacles like hazard info and return to road system. (supplement to road side sensors)

2. Road info. obtained from other on-coming traffic is re-delivered as prediction. mainly to supplement emergency road service

# At merging/lane change

A Coming from rear

B Lane change

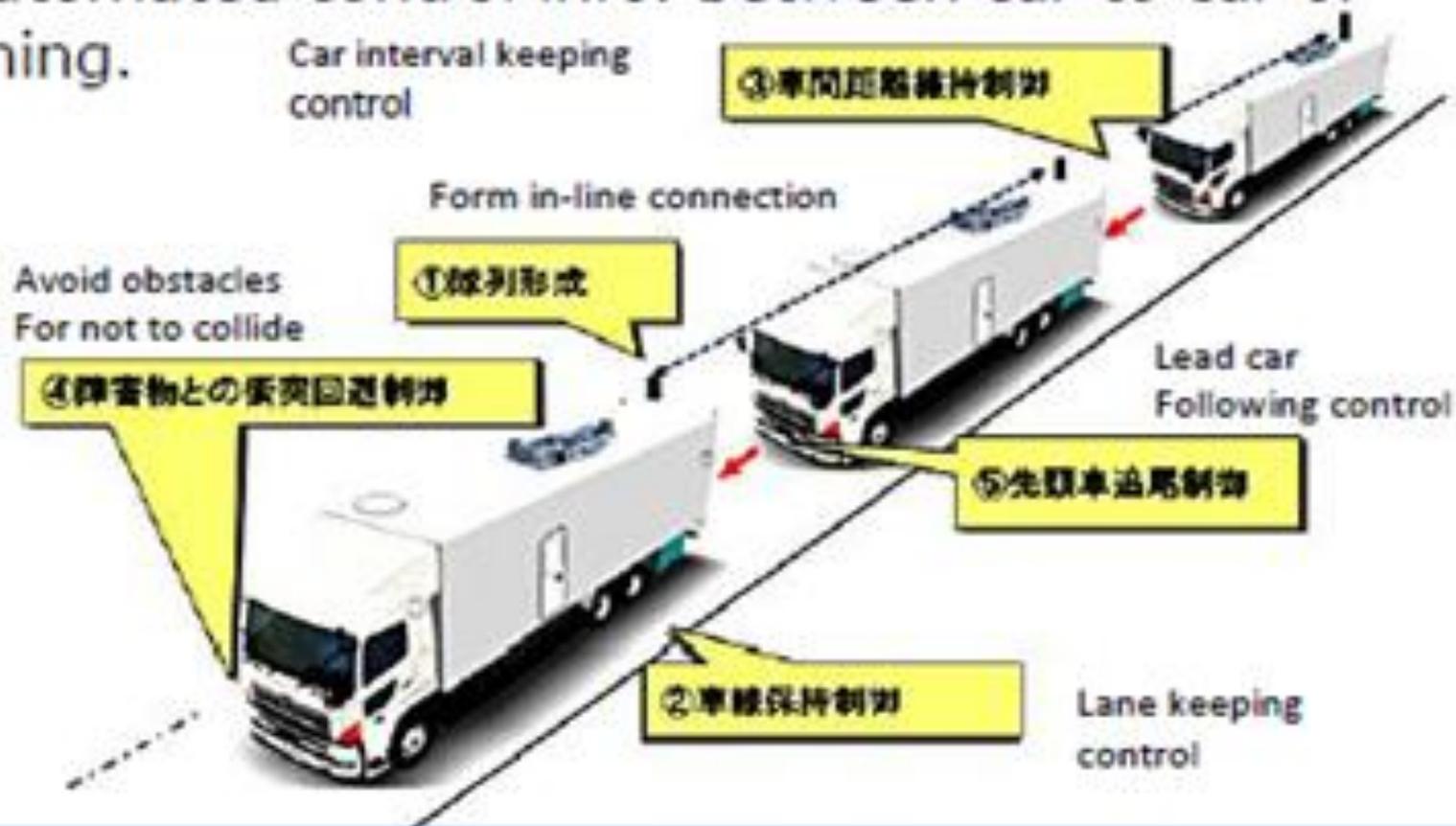


- ① Send lane change request to rear coming traffic upon changing lane.
- ② Rear coming car replies and control car to car interval to allocate.
- ③ Car of changing the lane confirms safety space from onboard sensor and control to change the lane.

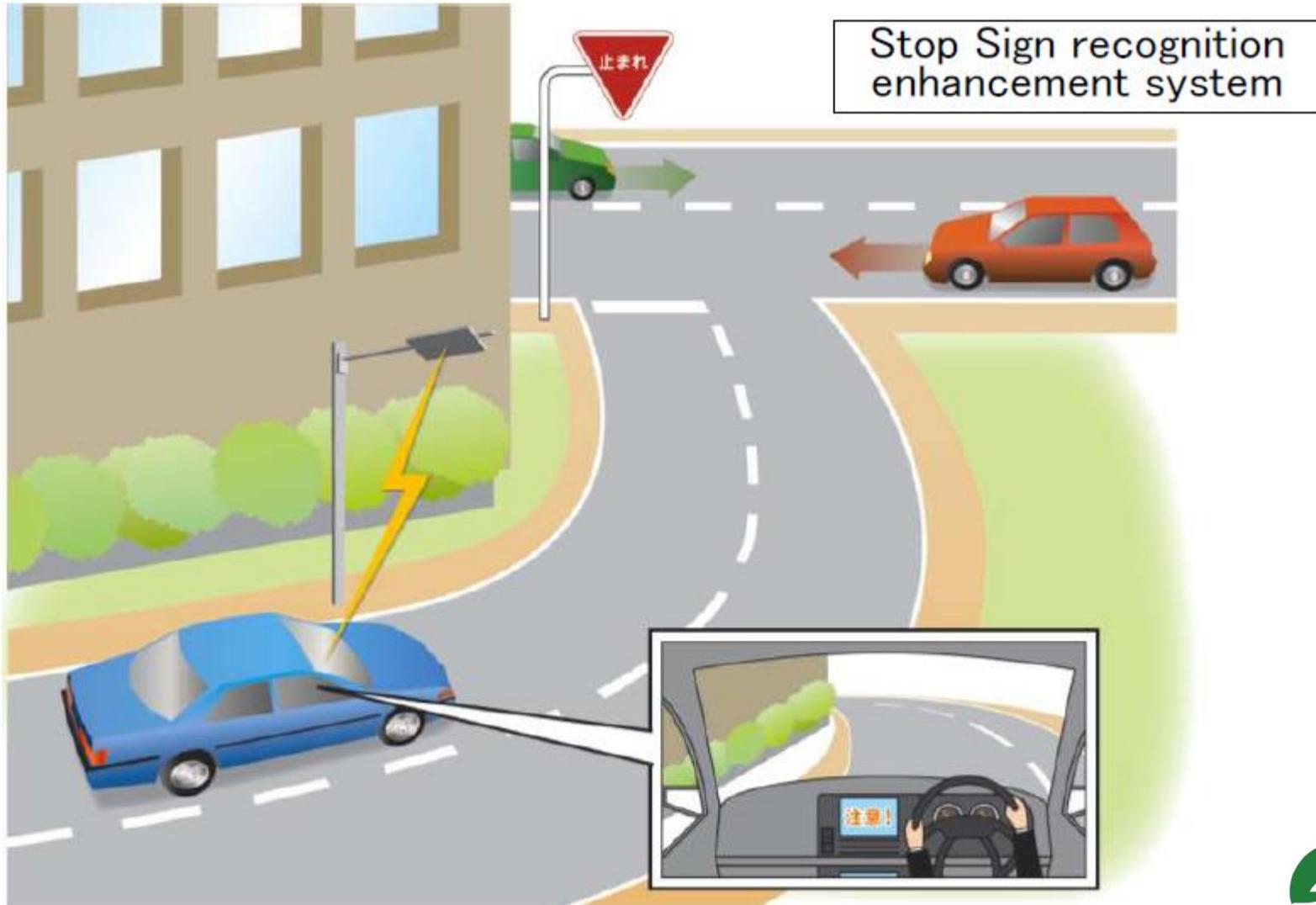
Realize safe and smooth merge/lane change.

# In-Line connected driving

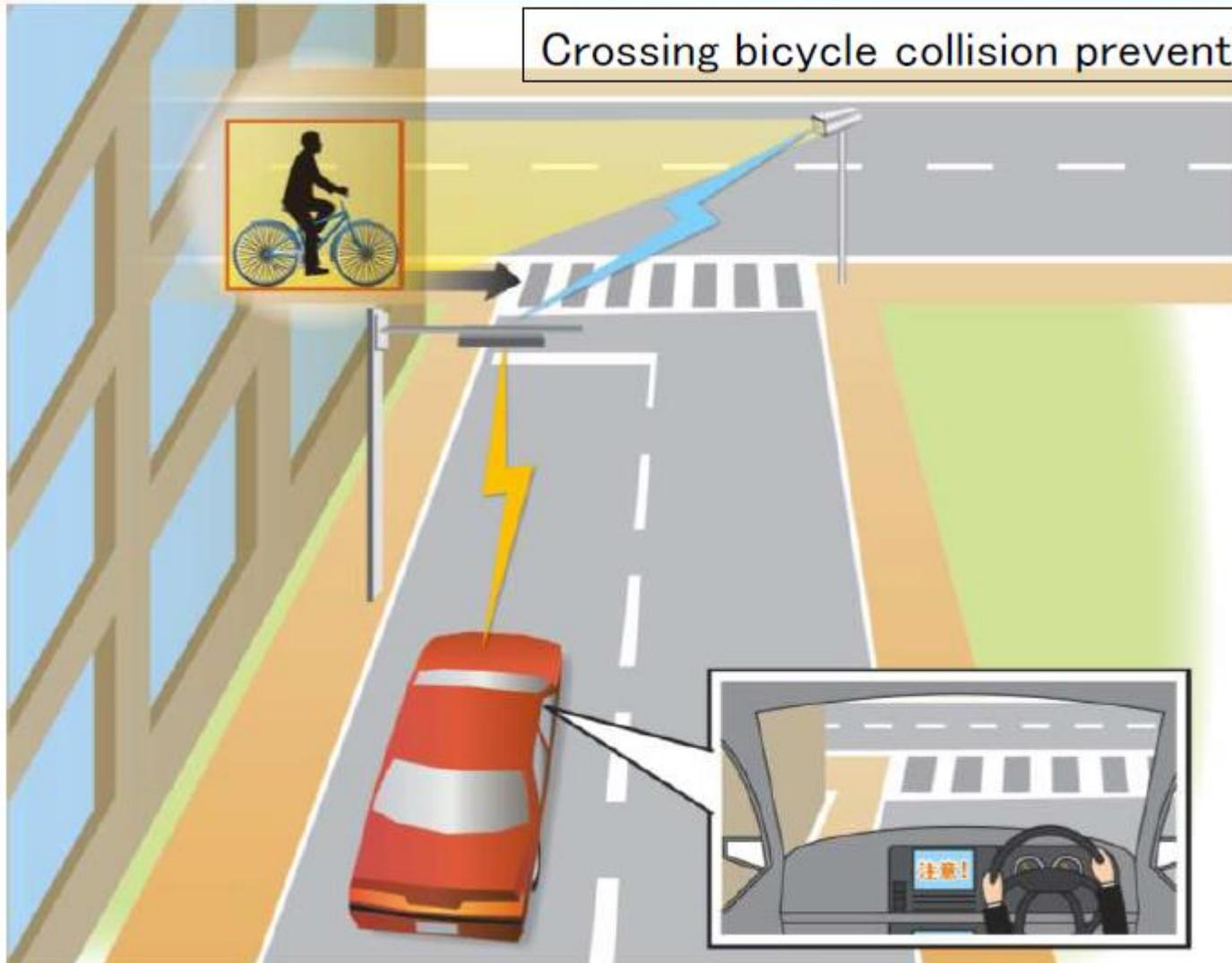
In-line connected driving is realized by exchanging automated control info. between car to car of lining.



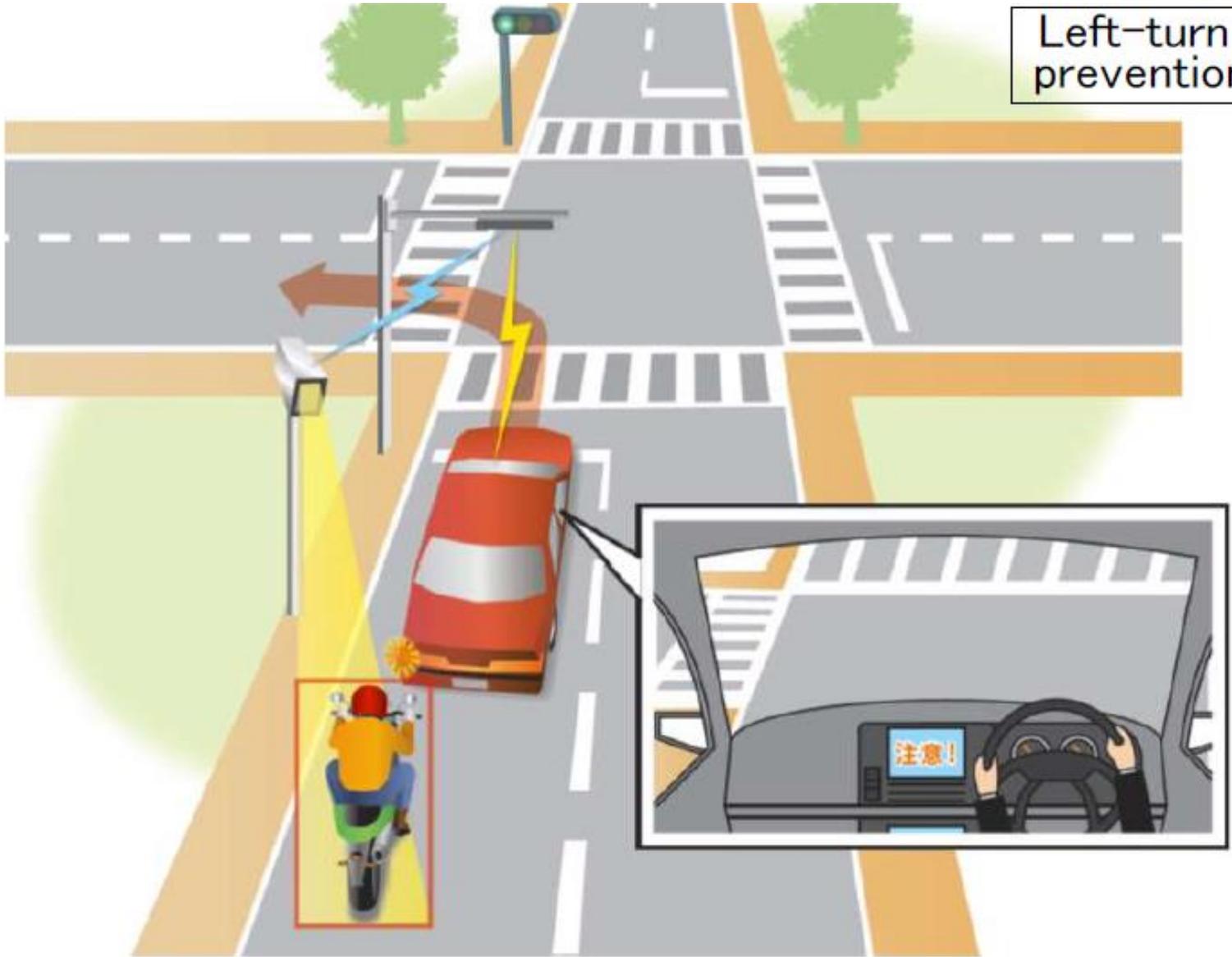
# Comunicação V2I

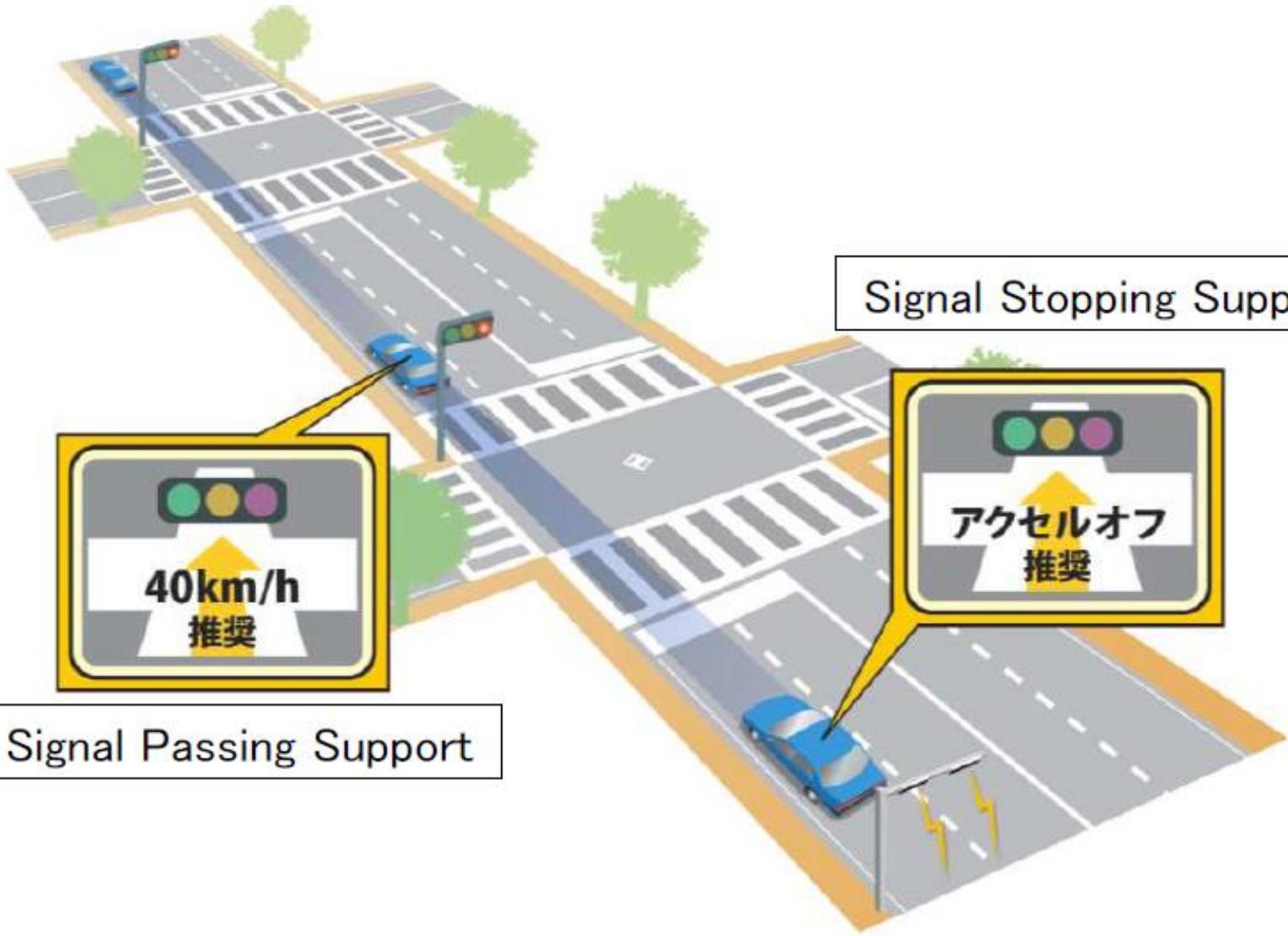


# Crossing bicycle collision prevention system



Left-turn collision prevention system





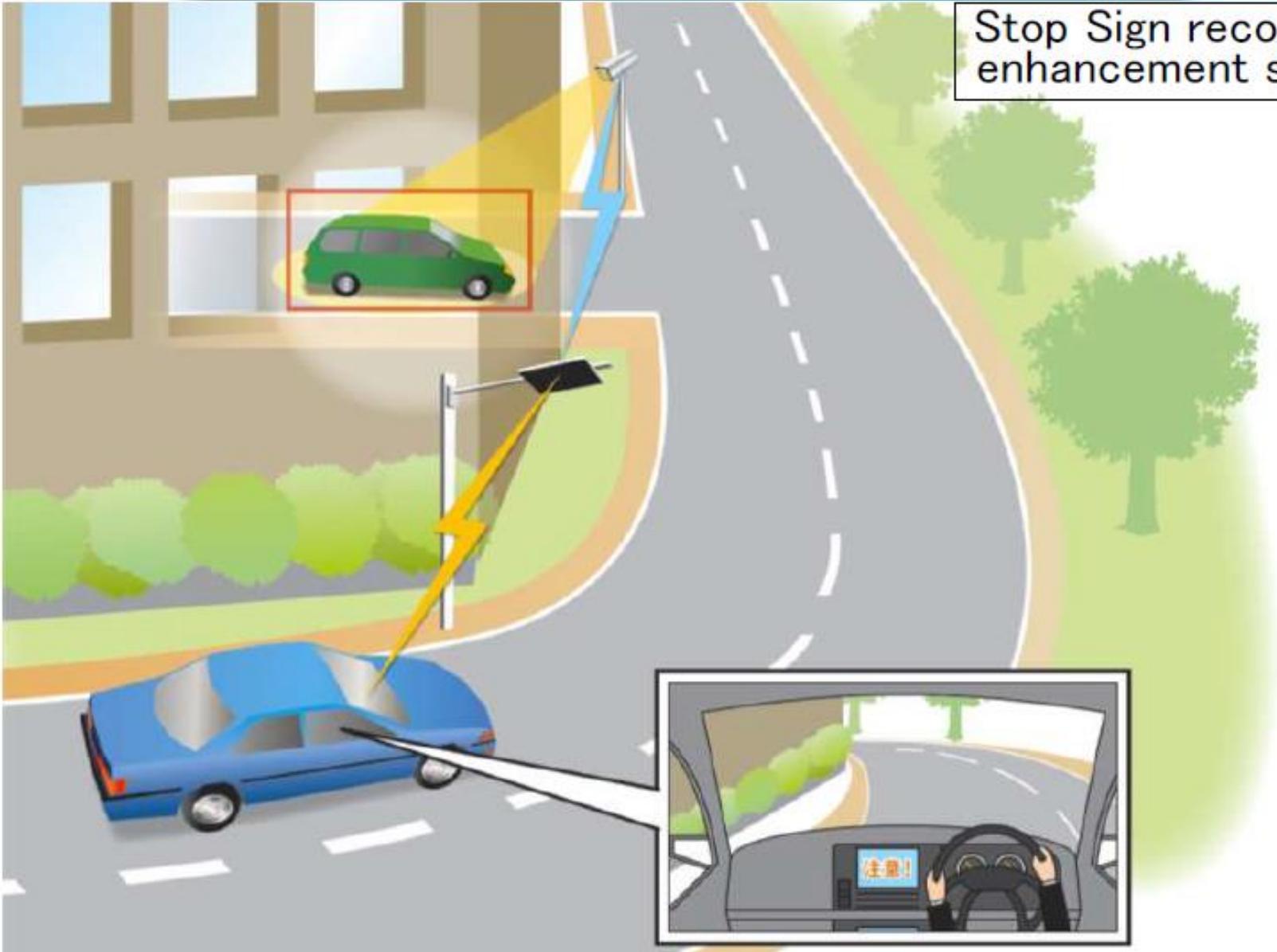
Signal Stopping Support

40km/h  
推奨

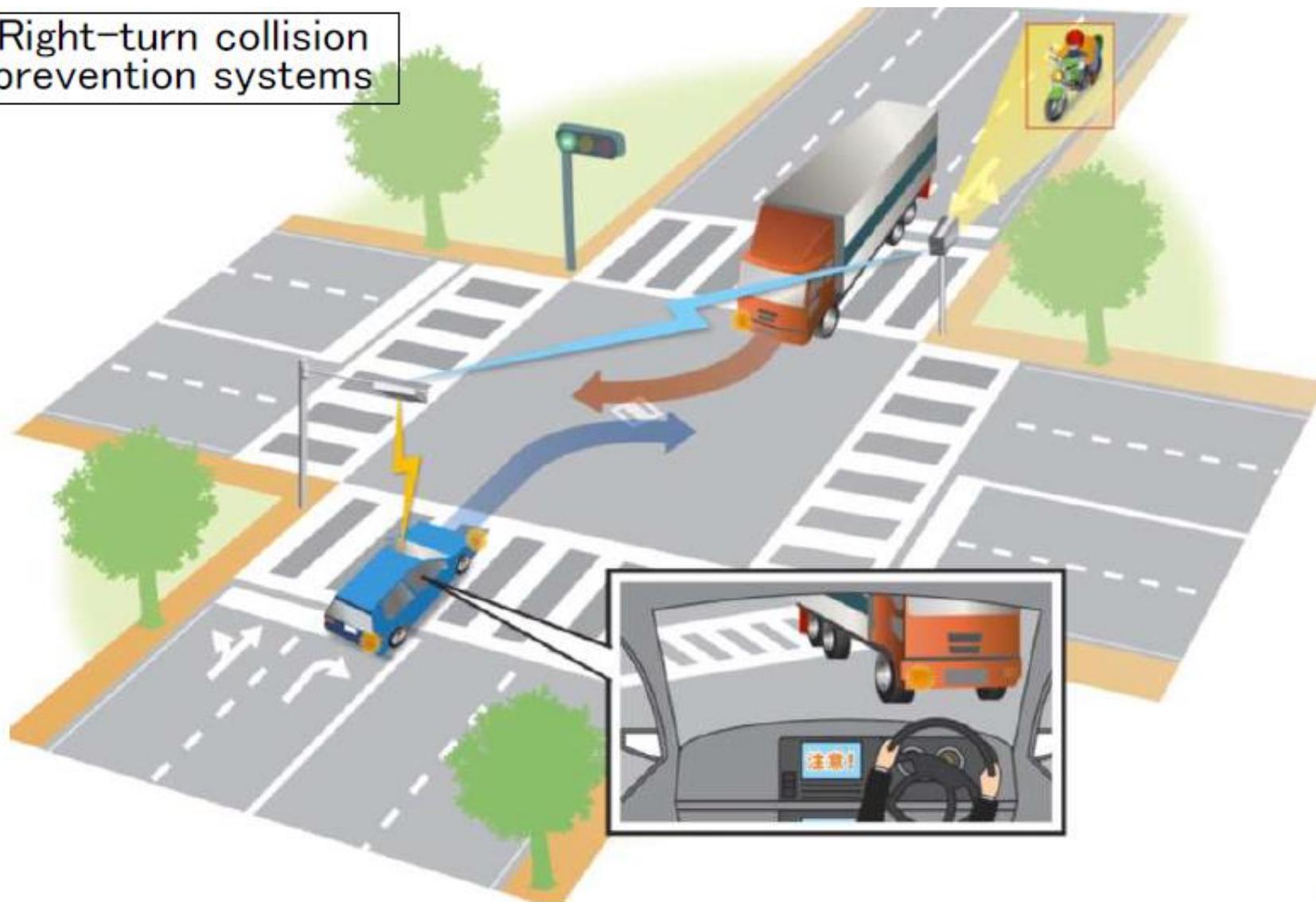
Signal Passing Support

アクセルオフ  
推奨

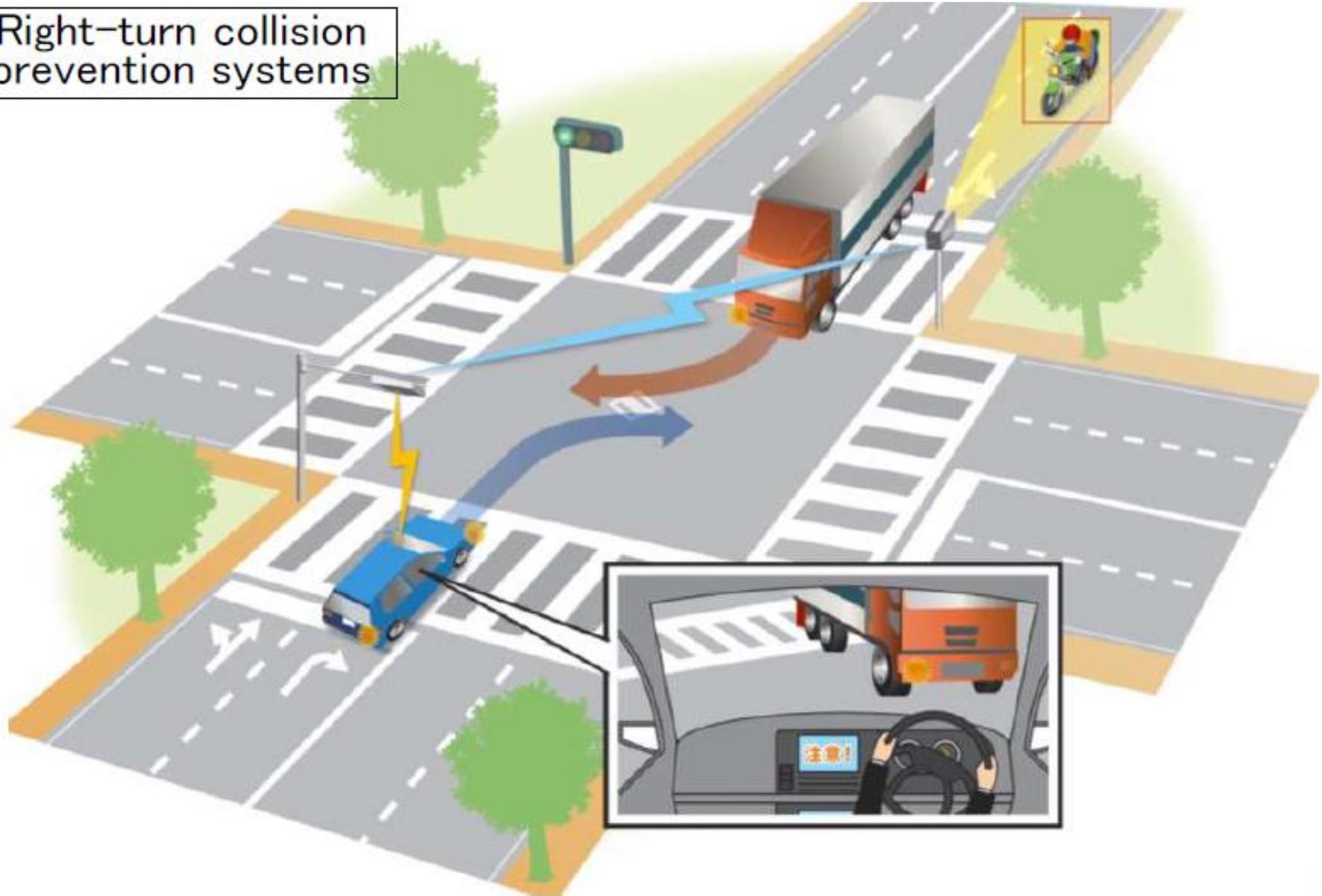
Stop Sign recognition enhancement system



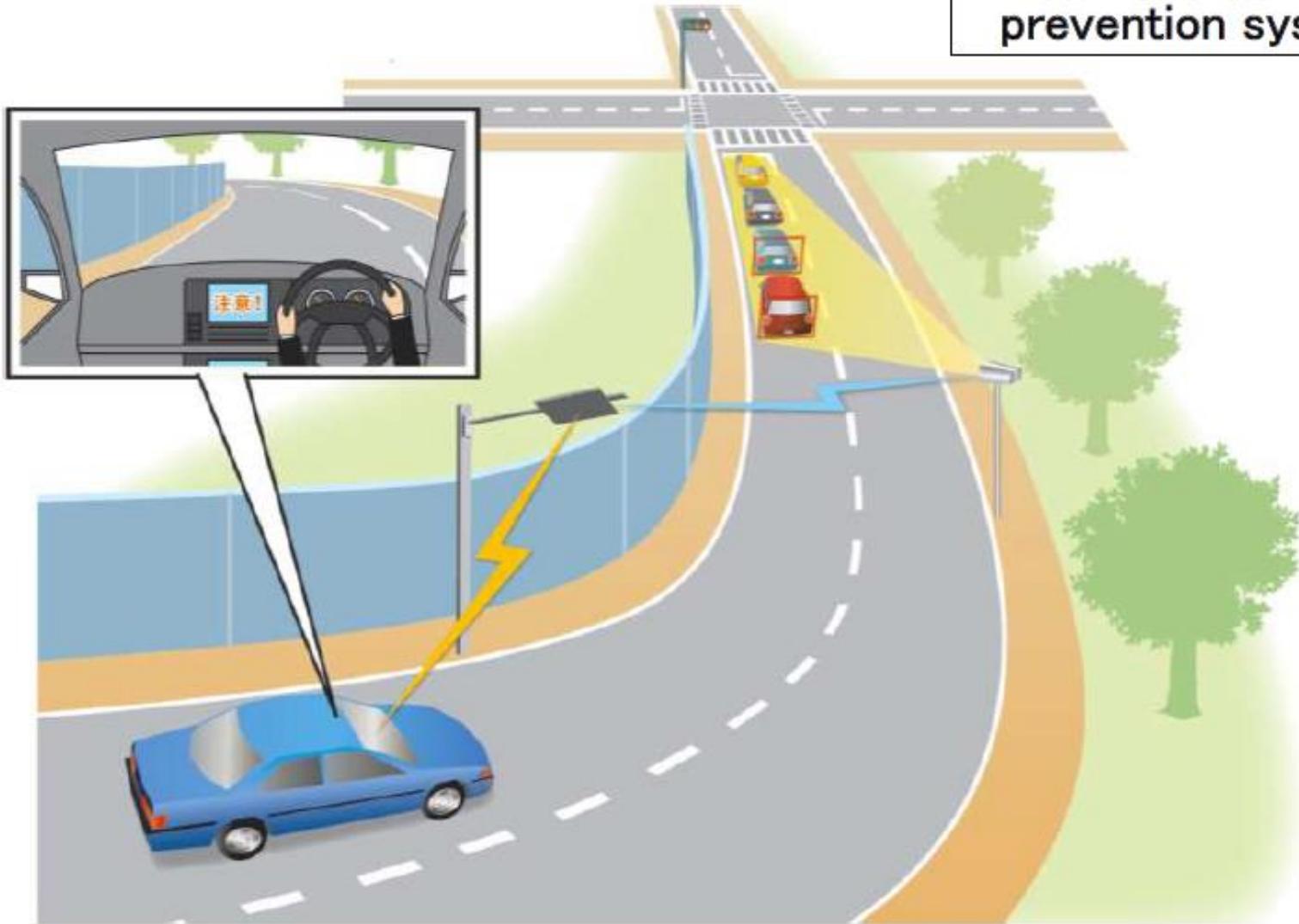
# Right-turn collision prevention systems



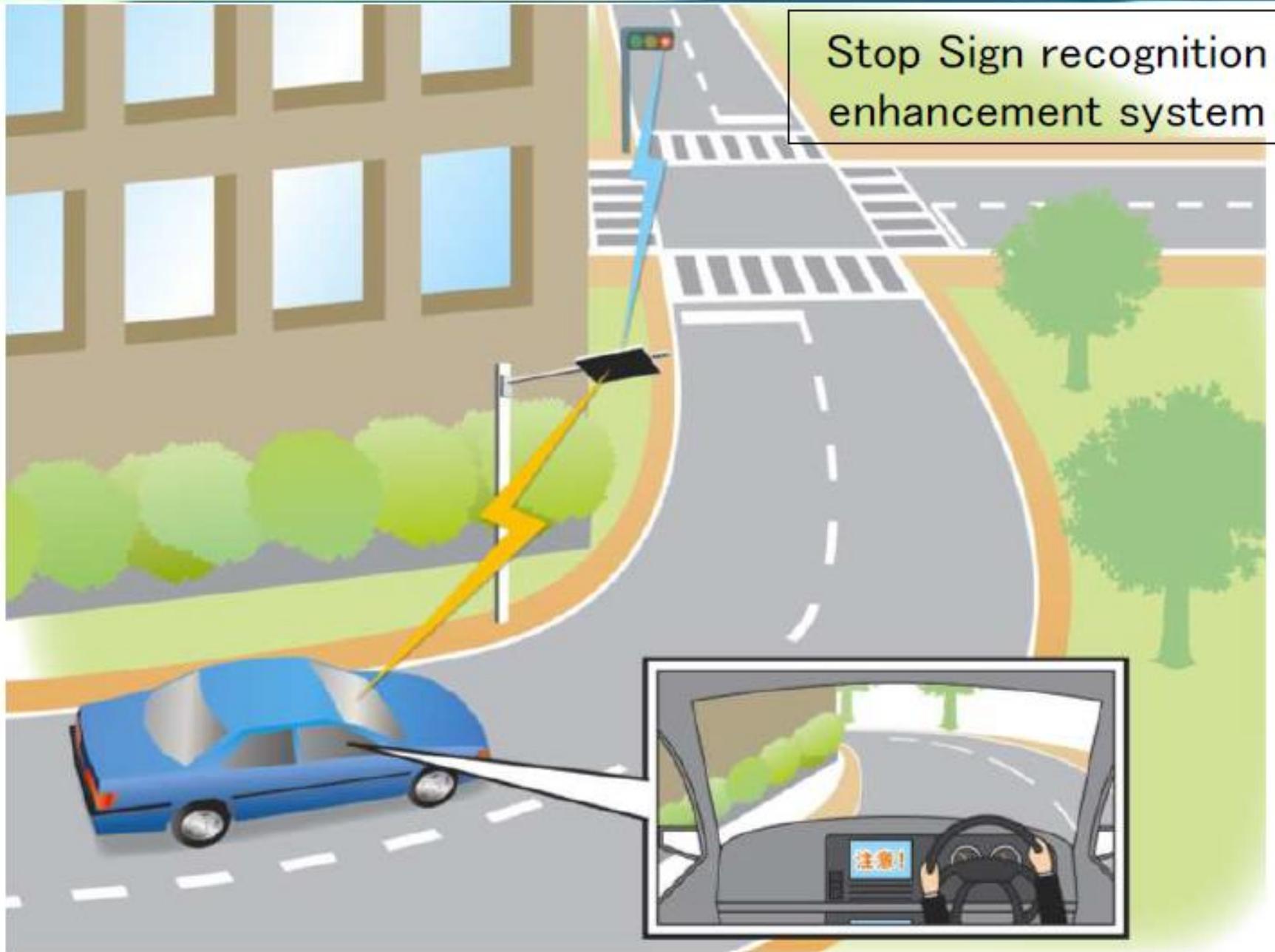
Right-turn collision prevention systems



# Rear-end collision prevention system



Stop Sign recognition  
enhancement system



# Análise de Artigo sobre “Cooperative Driving”



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Transportation Research Part B

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/trb](http://www.elsevier.com/locate/trb)



Enhanced cooperative car-following traffic model with the combination of V2V and V2I communication

Dongyao Jia, Dong Ngoduy\*

*Institute for Transport Studies, The University of Leeds, Leeds LS2 9JT, United Kingdom*



# Cooperative Driving System (CDS)

**Veículo**

São conectados com

Descrição do fluxo dinâmico:  
Car-following Model

**Veículo (V2V)**

**Infraestrutura (V2I)**

**Nuvem (V2C)**

Torna possível

**Troca de informações em tempo-real**

Redução de acidentes  
Eficiência da rede  
Impacto ambiental  
Novos serviços

Condições da via  
Tráfego  
Incidentes  
Perigos

# Gap:

- O *Car-following model* descreve o comportamento humano quanto à condução de um veículo na via tais como aceleração/desaceleração, mudança de faixa, mas não foram desenvolvidos para capturar os impactos da comunicação V2V e V2I.
- Estudos anteriores não consideraram os efeitos da imperfeições dos protocolos de comunicações quanto à perda de pacote de dados e os ruídos de comunicação.
- O estudo considera que todos os carros são “*fully connected*” e todos os veículos são autônomos. (Premissa)

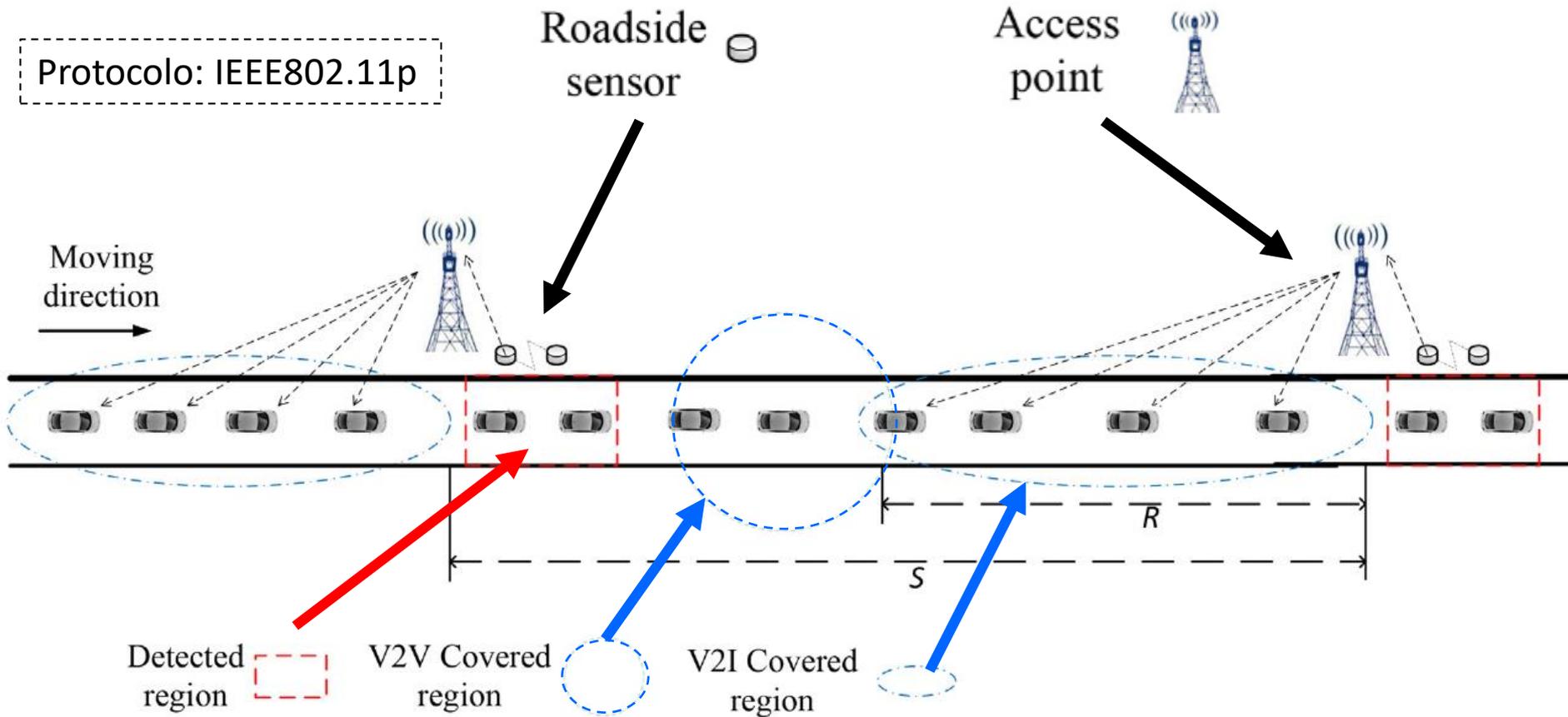
# Princípio básico do CDS:

- O veículo obtêm informações sobre veículos adjacentes via comunicação inter-veicular (IVC), e
- Adota uma lei de controle adequada para alcançar um determinado objetivo, tais como manutenção do espaçamento inter-veicular dentro do mesmo comboio (platoon).

# 4 elementos fundamentais do CDS :

- **Dinâmica veicular** (caracteriza o comportamento do veículo)
- **Informações trocadas:** posição, velocidade e aceleração
- **Topologia de comunicação:** predecesspr-follower, leader-follower, bidirecional.
- **Leis de controle** – regra de condução no contexto do fluxo de tráfego com veículos conectados.

# Cenário de aplicação com múltiplos veículos sendo conduzidos cooperativamente com a ajuda da comunicação V2X:



V2V: informações cinemáticas dos veículos

V2I: informações dinâmicas do tráfego medidos por sensores de via

# Contribuições do artigo:

- i. Criação de uma estratégia adequada de condução do veículo e proposta de um algoritmo “*improved consensus-based control*” para CDS.
- ii. Estudo teórico dos efeitos da comunicação V2X no desempenho do sistema, tais como atraso na transmissão, cobertura e níveis de ruído,
- iii. O desempenho do sistema baseado no modelo foi verificado por meio de simulação numérica em vários cenários.

# Variáveis utilizadas no modelamento:

## Index

$i, j$	vehicle index
$t$	time instant (s)

## Traffic dynamic variables

$p_i$	position of vehicle $i$ (m)
$v_i$	velocity of vehicle $i$ (m/s)
$\alpha_i$	acceleration of $V_L$ , $\bar{\alpha}$ is the maximum (m/s <sup>2</sup> )
$p_r$	position of the downstream reference (m)
$v_r$	velocity of the downstream reference (m/s)
$T$	desired time-headway (s)
$u_i$	control algorithm to minimise state errors
$u_{i,l}$	control algorithm with the only local traffic information
$u_{i,r}$	control algorithm with the only downstream traffic reference

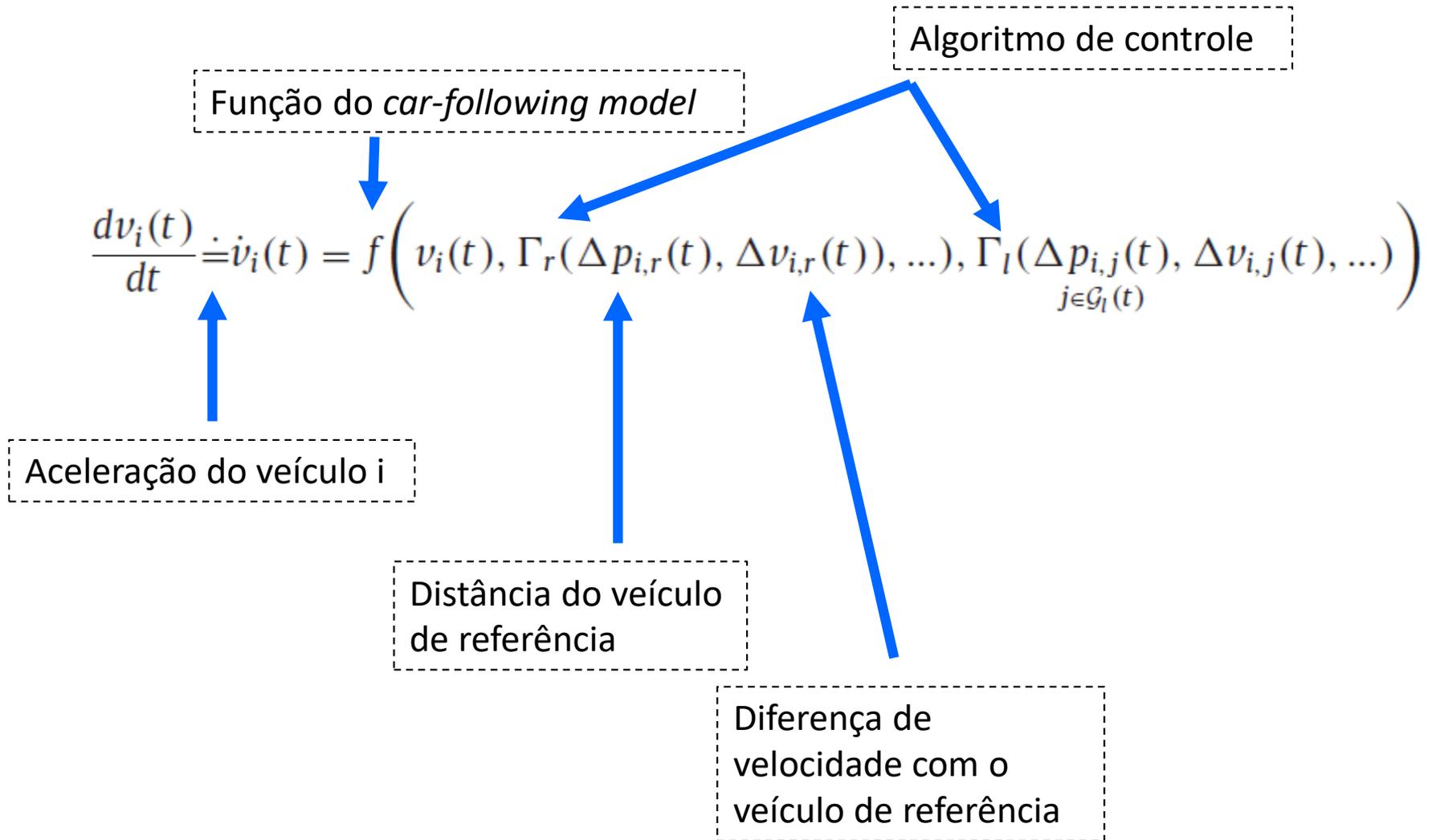
## Traffic dynamic parameters

$\beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2$	positive control parameters in control algorithms
$\theta$	weight factor of $u_{i,r}(t)$ over $u_i(t)$
$\epsilon$	velocity measurement error of downstream traffic reference (m/s)

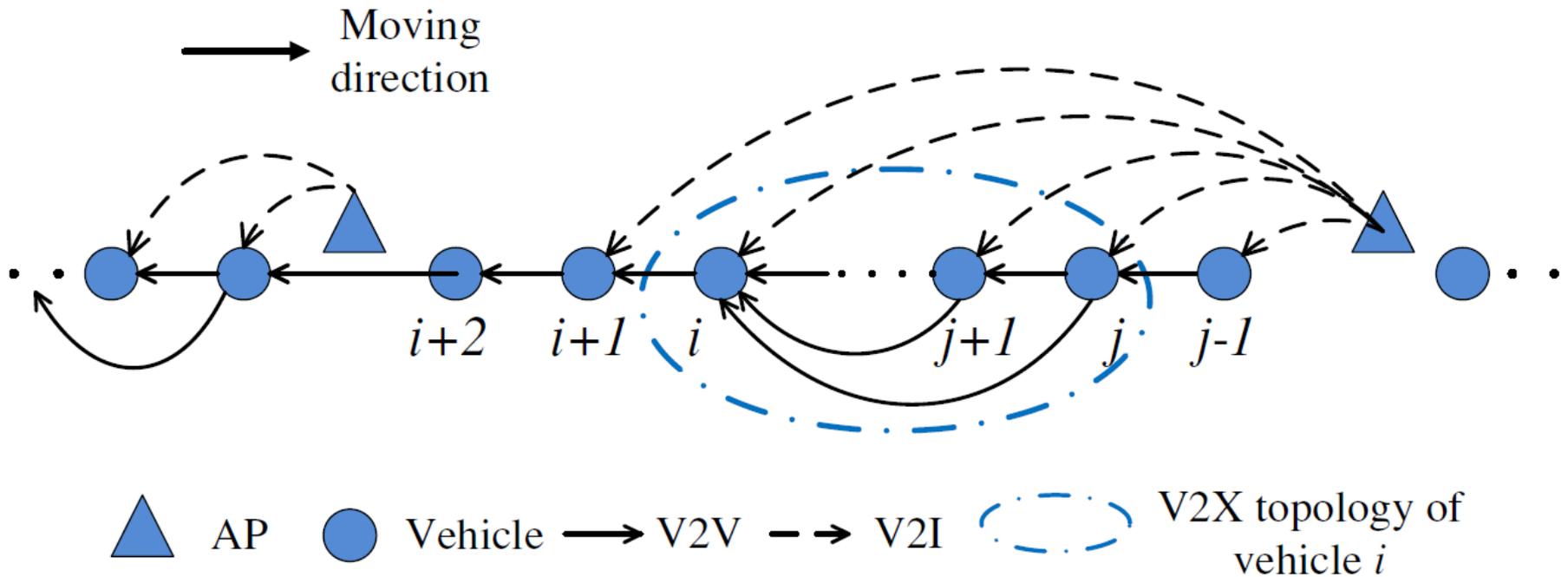
## V2X communication parameters

$a_{ij}$	communication link from vehicle $j$ to $i$
$\tau_j$	Beacon dissemination delays from vehicle $j$ to its neighbours (s)
$R$	V2I transmission range (m)
$S$	gap between roadside APs (m)
$C_r$	coverage ratio of V2I communication over the road

# Modelo de condução do veículo:



# Topologia de comunicação utilizada para CDS:



# Configuração utilizada na Simulação:

**Table 1**

Communication system model setting.

Parameter	Value	Parameter	Value
Communication protocol	802.11p	Channel data rate	6 Mbps
Beacon frequency $1/\tau$	10 Hz	Beacon size	200 bytes
AP's beacon frequency	0.5–10 Hz	AP's coverage	500–2000 m
Sensing coverage	300 m	Vehicle's coverage	200 m
Sensing velocity error $\rho_v$	0.5, 1, 2	Neighbouring vehicle	1–5

**Table 2**

Vehicle dynamic parameters.

Parameter	Value	Parameter	Value
Desired time-headway	1 s	Switching point	2 s
Maximum acceleration	3 m/s <sup>2</sup>	Maximum deceleration	6 m/s <sup>2</sup>
Maximum velocity	41 m/s	Stable speed	25 m/s
Standstill distance	5 m	Vehicle length	5 m
Control parameters:	$\beta_1 = \gamma_1 = 0.2,$		$\beta_2 = \gamma_2 = 0.5$

## Simulador:

- PLEXE: simulador open-source para simulação de de comunicação inter-veicular que combina OMNet++ e o SUMO.

## Cenários de Simulação:

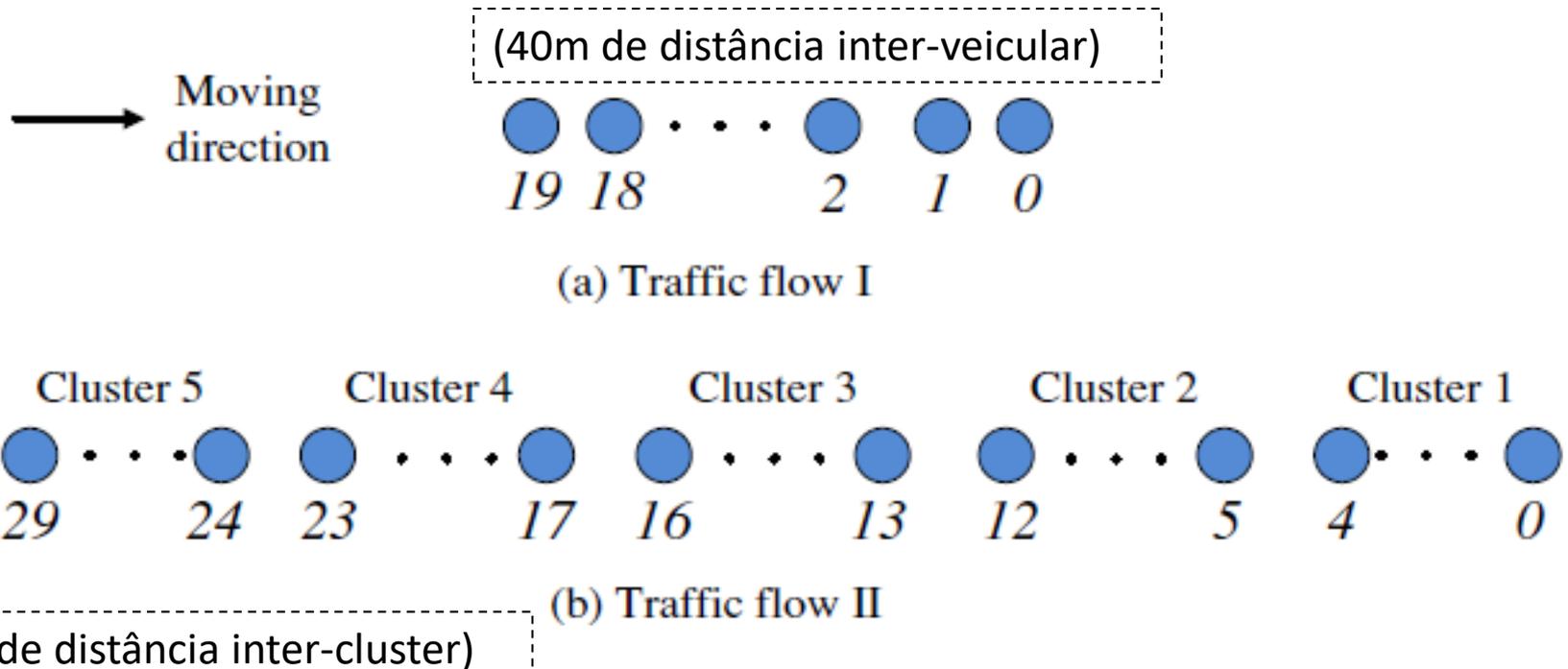
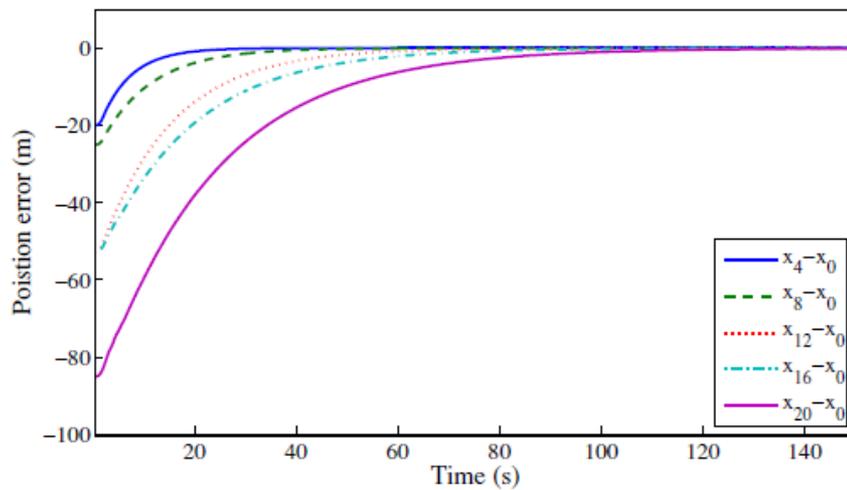


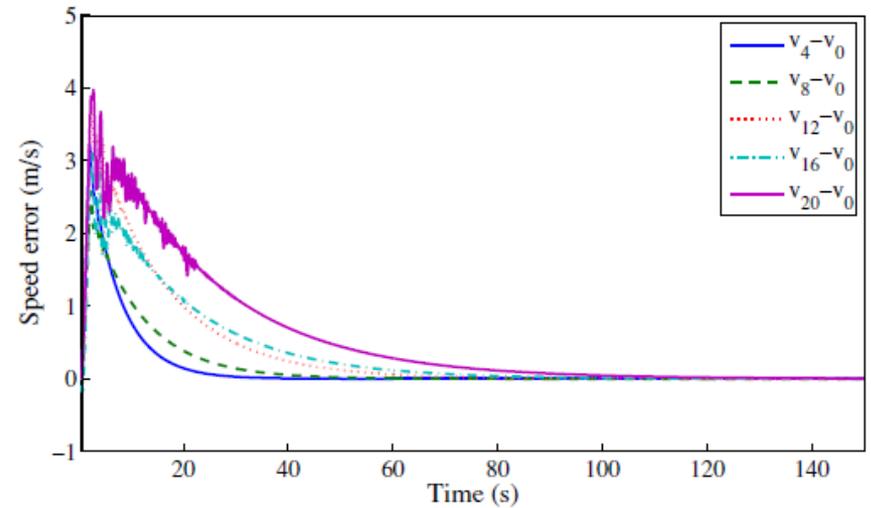
Fig. 3. Testing traffic flow.

1. 25 m/s
2. Desaceleração de  $4 \text{ m/s}^2$  ( $25\text{m/s} - 5\text{m/s}$ ) por 160s
3. Aceleração 2 ( $5\text{m/s} - 25\text{m/s}$ )
4. Perturbação senoidal

# Resultados (1/6):



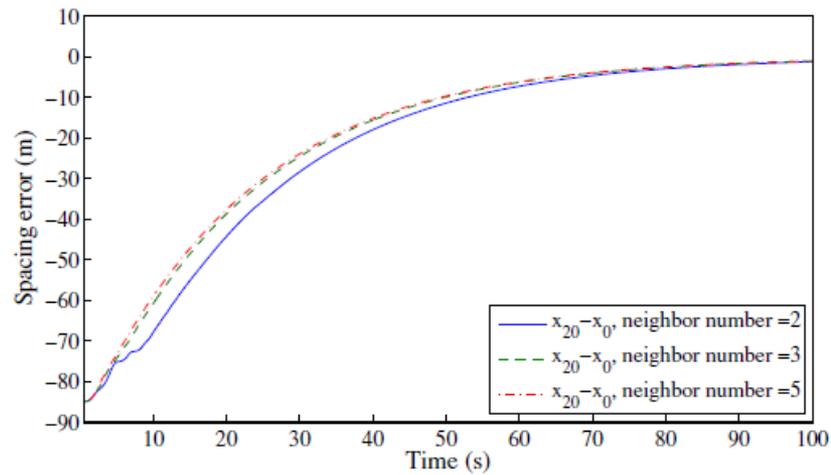
(a) Position error



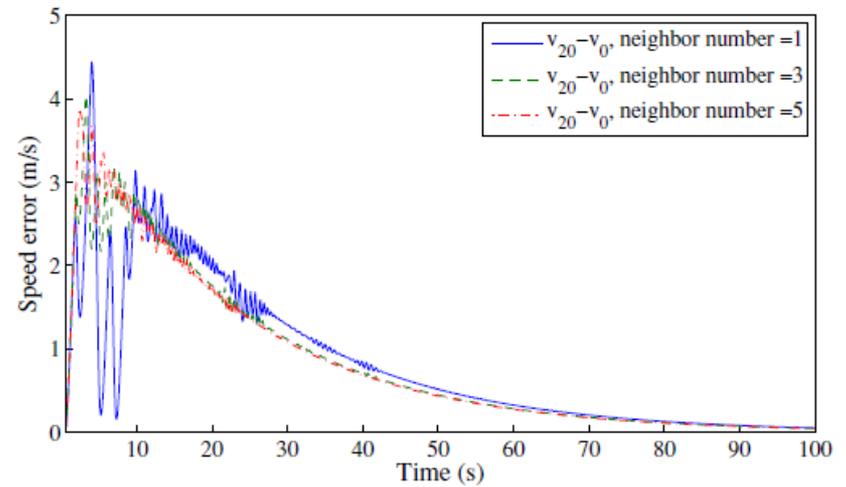
(b) Speed error

Fig. 4. State error of vehicles in traffic flow I at the desired constant speed scenario.

## Resultados (2/6):



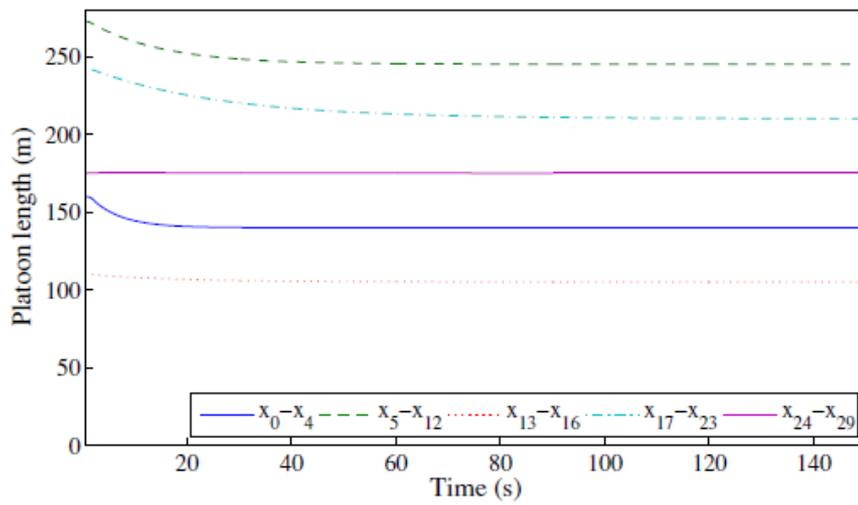
(a) Position error



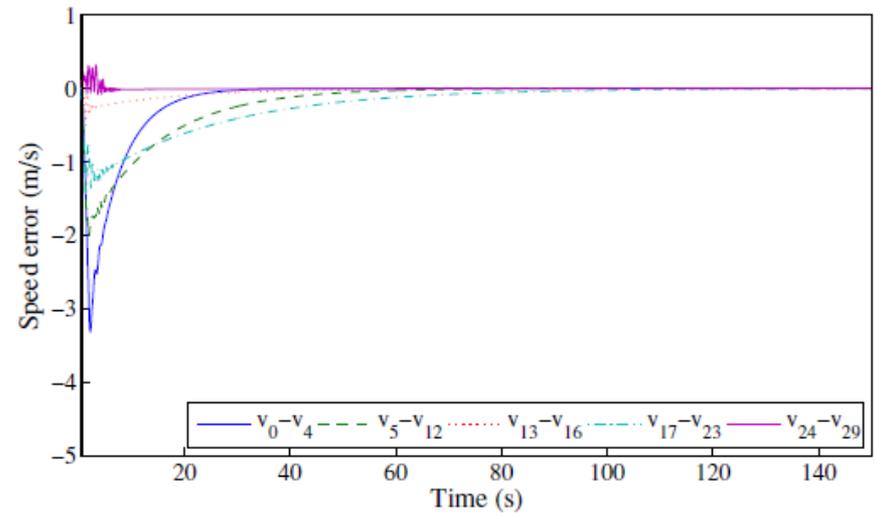
(b) Speed error

Fig. 5. The impact of neighbouring number for traffic flow I at the desired constant speed scenario .

# Resultados (3/6):



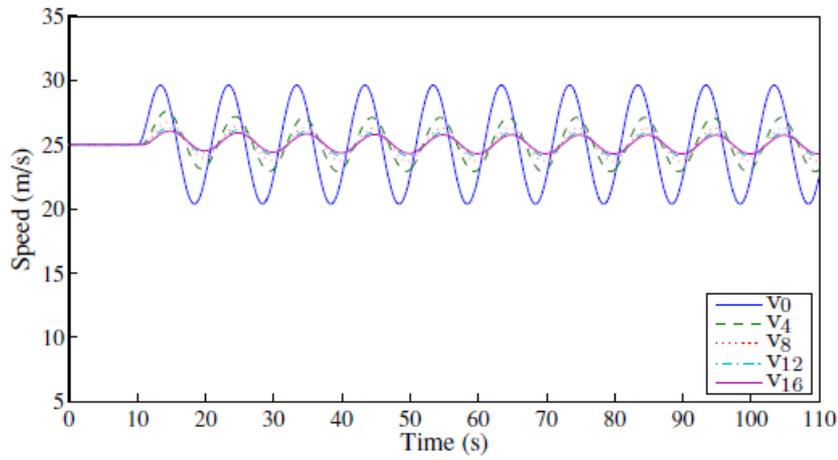
(a) Platoon length



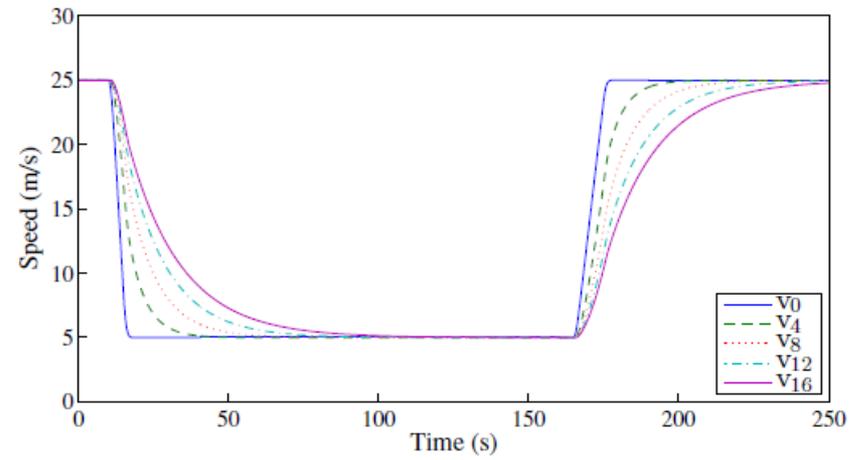
(b) Speed error

Fig. 6. Traffic flow II at the desired constant speed scenario.

# Resultados (4/6):



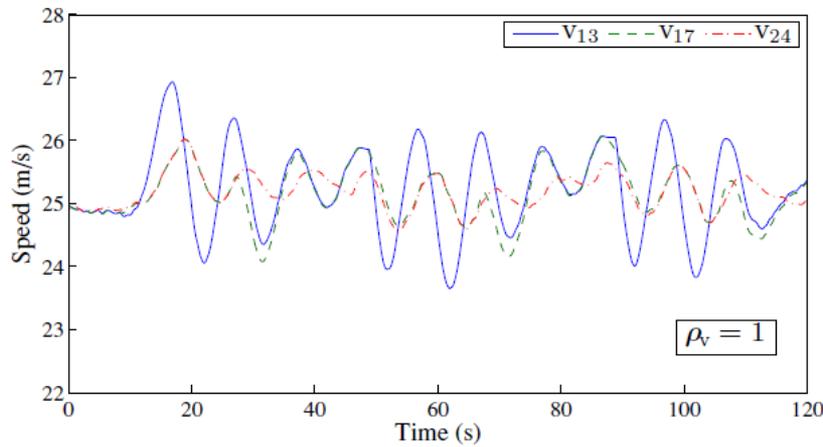
(a) Continuous small traffic perturbations



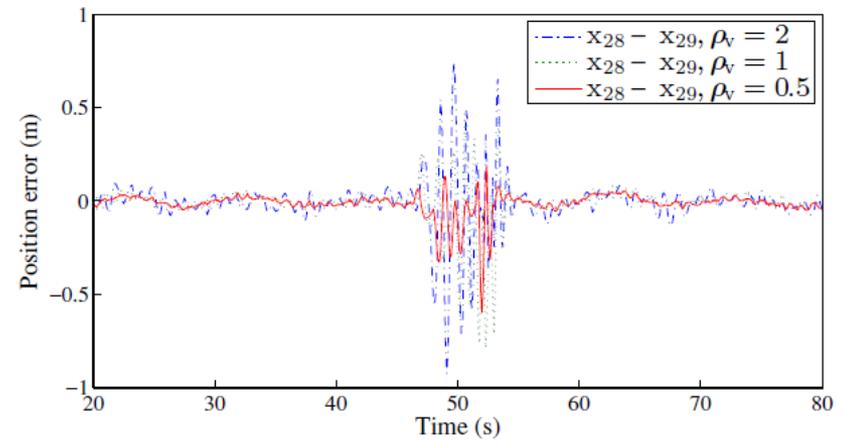
(b) Single large perturbation

Fig. 7. Speed of traffic flow I with local information in different perturbations scenarios.

# Resultados (5/6):



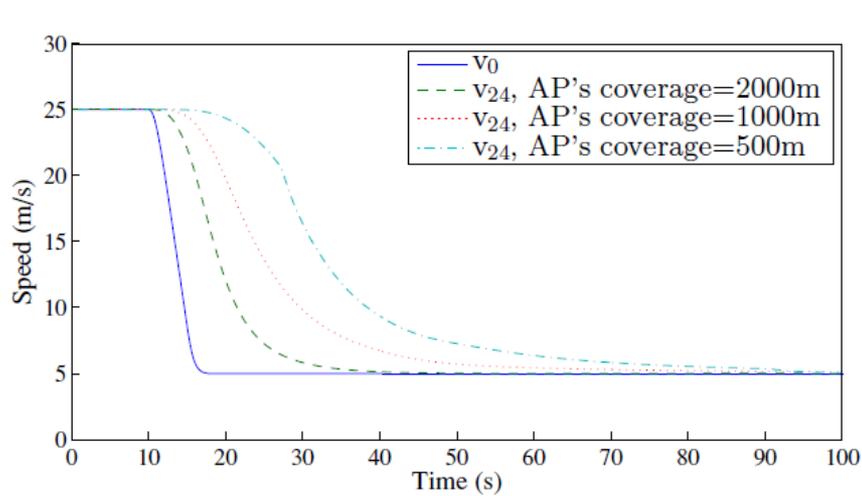
(a) Speed of leading vehicles in different clusters under continuous small perturbations



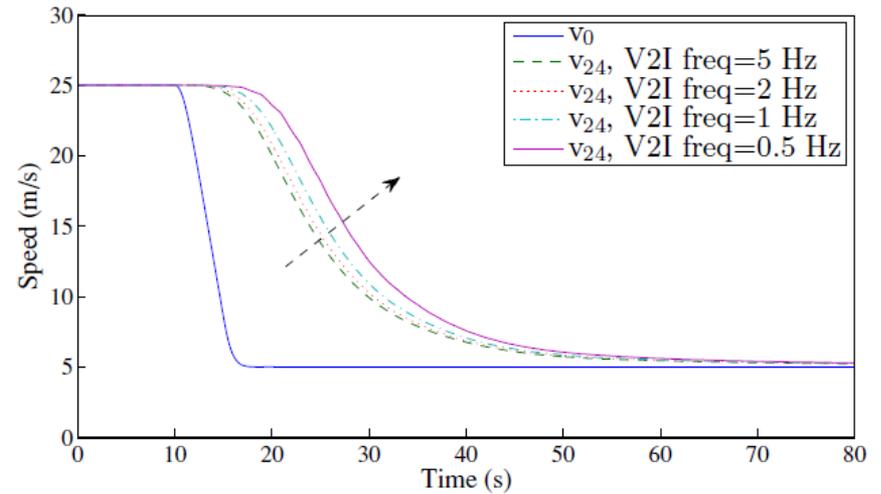
(b) Position error in a continuous small perturbations

**Fig. 12.** Impact of measurement errors on the system performance for traffic flow II<sub>1</sub>

# Resultados (6/6):



(a) Impact of AP's coverage



(b) Impact of V2I beacon frequency

Fig. 13. Impact of V2I deployment for traffic flow II in the single large perturbation.

## Discussão:

- *Consesus-based* CDS garante a estabilidade local e mitiga a perturbação no tráfego quando a conexão é 100%
- Entretanto, não consegue manter a estabilidade global quando ocorre falha na comunicação.
- *Consesus-based* pode melhorar a estabilidade de fluxo de tráfego, especialmente no caso de grandes perturbações.
- Existem alguns pontos que ainda não foram tratadas no artigo: falta de informações do tráfego (V2I), dinâmica veicular de 3ª ordem (folga de atuadores e atrasos de sensores)

# Conclusão:

- i. Criação de uma estratégia adequada de condução do veículo e proposta de um algoritmo “*improved consensus-based control*” para CDS.
- ii. Estudo teórico dos efeitos da comunicação V2X no desempenho do sistema, tais como atraso na transmissão, cobertura e níveis de ruído,
- iii. O desempenho do sistema baseado no modelo foi verificado por meio de simulação numérica em vários cenários.