

Pametne ceste

Muža, Domagoj

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:795239>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet informatike

DOMAGOJ MUŽA

PAMETNE CESTE

Završni rad

Pula, rujan, 2020

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet informatike

DOMAGOJ MUŽA

PAMETNE CESTE

Završni rad

JMBAG: 0303075978, redoviti student

Studijski smjer: Informatika

Predmet: Osnove IKT

Mentor: doc. dr. sc. Snježana Babić

Pula, rujan, 2020.



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Domagoj Muža, ovime izjavljujem da je ovaj seminarski rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio seminarskog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

Domagoj Muža

SADRŽAJ:

1. Uvod.....	1
2. Sustav pametnih cesta.....	2
2.1 Opći pojam.....	2
2.2 Funkcije pametnih cesta	3
2.3 Komponente pametnih cesta.....	6
3. Komunikacijski sustav pametnih cesta.....	10
3.2 Žičani sustav pametnih cesta	13
3.3 Bežični sustav pametnih cesta.....	15
3.2.1 Tehnologije bežične komunikacije.....	17
3.2.2 Vrste bežične komunikacije pametnih cesta.....	18
3.2.2.1 Komunikacija Vozila i vozila.....	19
3.2.2.2 Komunikacija Vozila i infrastrukture	20
3.2.2.3 Komunikacija Vozila i „ svega“	22
4. Prikupljanje, pohrana, obrada i dostavljanje podataka na korištenje u sustavu pametnih cesta.....	23
4.1 Prikupljanje podataka.....	25
4.2 Pohrana podataka.....	27
4.3 Obrada podataka	28
4.4 Dostavljanje podataka na korištenje	30
5. Prednosti i nedostaci pametnih cesta.....	32
6. Zaključak	34
LITERATURA.....	35
POPIS SLIKA	45
POPIS TABLICA	46

Sažetak

Razvitkom raznih informacijsko komunikacijskih tehnologija došlo je do potrebe razvoja pametnih cesta i njihovog povezivanja sa skladištima podataka radi obrade i distribucije informacija. Internet stvari (eng. Internet of things) zajedno sa komunikacijskim sustavom čine ključne komponente pri razvitku sustava pametnih cesta jer omogućuje komunikaciju pametnih cesta, autonomnih vozila i raznih vanjskih sustava radi brže reakcije u slučaju nesreće ili jednostavnog preusmjerenja prometa. Osim Interneta stvari tu su prisutni umjetna inteligencija (eng. Artificial intelligence) i strojno učenje (eng. Machine learning) za prepoznavanje broja vozila na cesti te pronalaženje optimalnih ruta za rasterećenje određenih raskrižja kao i velika količina podataka (eng. Big data). Cilj ovoga rada je bio objasniti ulogu i značaj pametnih cesta. Objasnjeni su osnovni pojmovi sustava pametnih cesta, način funkcioniranja komunikacijskog sustava. Posebno je opisan način prikupljanja, obrade i pohrane podataka unutar sustava pametnih cesta te su utvrđene prednosti i nedostaci uvođenja pametnih cesta. Rezultati analize u ovome radu omogućuju bolji uvid u način funkcioniranja te ulogu i značaj pametnih cesta u suvremenom svijetu.

Summary

With the development of various information and communication technologies, there was a need to develop smart roads and connect them to data warehouses for the processing and distribution of information. The Internet of Things, together with the communication system, are key components in the development of smart road systems because they enable communication between smart roads, autonomous vehicles and various external systems for faster response in the event of an accident or simple traffic diversion. In addition to the Internet of Things, there is artificial intelligence and machine learning to recognize the number of vehicles on the road and find optimal routes to relieve certain intersections as well as a large amount of data (big data). The aim of this paper was to explain the role and importance of smart roads. The basic concepts of the smart road system, the way of functioning of the communication system are explained. In particular, the method of data collection, processing and storage within the smart road system is described, and the advantages and disadvantages of the introduction of smart roads are identified. The results of the analysis in this paper provide a better insight into the way it works and the role and importance of smart roads in the modern world.

1. Uvod

Radi poboljšanja kvalitete i sigurnosti putovanja pojavila se potreba za razvojem sustava pametnih cesta koje implementiraju informacijsko komunikacijsku tehnologiju kako bi se povećala sigurnost kao i sama kvaliteta putovanja. Kako bi se navedeno postiglo, transportni sustav, odnosno ceste je trebalo pretvoriti u dinamički sustav kojim se skupljaju podaci te se preko komunikacijskog sustava šalju u skladišta podataka gdje se nad njima vrši obrada i analiza kako bi se optimiziralo korištenje cesta i distribuiralo novostečene podatke nazad vozačima.

Potrebna je arhitektura sustava koja se sastoji od IKT-a u kojemu se pojedine tehnologije mogu promatrati kao samostalni sustavi koji obavljaju određenu funkcionalnost, obavljale je samostalno ili u skladu s ostalim sustavima. Razvojem komunikacijskog sustava je osigurana mogućnost komunikacije s drugim sustavima u arhitekturi, to jest omogućena je razmjena podataka među sustavima radi učinkovitijeg i bržeg rada.

Za nadzor pametne ceste imaju infrastrukturu koja u stvarnom vremenu nadgleda svoj rad. Internet stvari zajedno s komunikacijskim sustavom osigurava veliku protočnost podataka o raznim parametrima prometa do skladišta podataka te krajnje do centara za obradu gdje se ti podatci obrađuju pomoću strojnog učenja i umjetne inteligencije u svrhu poboljšanja kvalitete i sigurnosti putovanja.

Uz navedene tehnologije pametne ceste imaju mogućnost pretvorbe sunčeve, toplinske i energije vjetra u električnu energiju koju koriste za napajanje infrastrukture ili za napajanje električnih vozila.

2. Sustav pametnih cesta

Cilj ovoga rada je bio objasniti ulogu i značaj pametnih cesta. Sustav pametnih cesta se odnosi na sve IKT-e i komponente koje sudjeluju u izvršavanju funkcionalnosti koje one nude.

Prije objašnjenja u okviru ovog poglavlja je potrebno naglasiti da postoji veliki broj projekata *pametnih cesta* te da ni jedan od njih ne rješava sve probleme kojima se sustav *pametnih cesta* bavi, nego se svaki usredotočuje na jedan problem te ga rješava. Točnije, projekti imaju manu rascjepkanosti (Ziarmand, 2013).

Pametne ceste su u fazi opsežnog razvoja i kao što je već rečeno, ni jedan projekt se ne fokusira na sve probleme. Samim time, definicija *pametnih cesta* je neodređena i ograničena trenutnim razvojem (Zhao i Wu, 2015).

2.1 Opći pojam

Prethodno je spomenuto da ne postoji jasna definicija *pametne ceste*, time različiti autori na različite načine definiraju sustave *pametnih cesta*, a neke od njih su:

1. „Pametna cesta je skup različitih prijedloga za uključivanje tehnologije u prometnice za generiranje solarne energije, poboljšanje rada autonomnih vozila, za osvjtljenje i praćenja stanja na cestama“ (Zhao i Wu, 2015).
2. „Pametna cesta se može definirati kao cestovna infrastruktura integrirana s naprednim mrežnim i komunikacijskim tehnologijama. Drugim riječima, pametna cesta sastavljena je od napredne strukture materijala, informacijskih centara, komunikacijske mreže i energetske sustava, te posjeduje sposobnosti automatske diskriminacije, samoprilagođavanja, dinamične interakcije i neprekidne opskrbe energijom“ (Tian, Zhao i Yu, 2018).

3. „Pametna cesta je skup tehnološke infrastrukture koja ima za cilj održivost i poboljšanje sigurnosti i dostupnosti putem digitalne transformacije, što je dinamičan proces koji nudi moderne usluge i rješenja“ (Anas S.p.a., 2019).
4. „Pametna cesta je izraz koji se koristi za definiranje cesta s tehnologijama omogućenim Internetom stvari poput pametnih senzora, bežične veze, velikih podataka (eng. Big Data) i računalstva u oblaku (eng. Cloud computing)“ (Jain i Nagia, 2019).

Iz prethodno navedenih definicija se može zaključiti da je *pametna cesta* skup tehnologija, posebice informacijsko komunikacijskih (IKT) te sustava za prikupljanje, obradu i spremanje podataka, a cilj joj je povećanje sigurnosti i poboljšanje kvalitete usluga svojim korisnicima.

Jedan od primjera je Virdžinijska *pametna cesta* (eng. Virginia Smart Road) koja je opremljena najmodernijom informacijskom tehnologijom, a njezina uloga je (Virginia Tech Transportation Institute, 2014):

- *razvoj informacijske tehnologije,*
- *testiranje informacijske tehnologije,*
- *razvoj cestovne tehnologije,*
- *testiranje cestovne tehnologije.*

2.2 Funkcije pametnih cesta

Funkcije pametnih cesta se odnose na zajednički rad raznih komponenti pametnih cesta u svrhu prikupljanja i obrade podataka te povećanja sigurnosti vozača.

Funkcionalnosti, odnosno funkcije *pametnih cesta* je moguće podijeliti u četiri kategorije (Zhao i Wu, 2015):

- „*samosvjesnost*“,

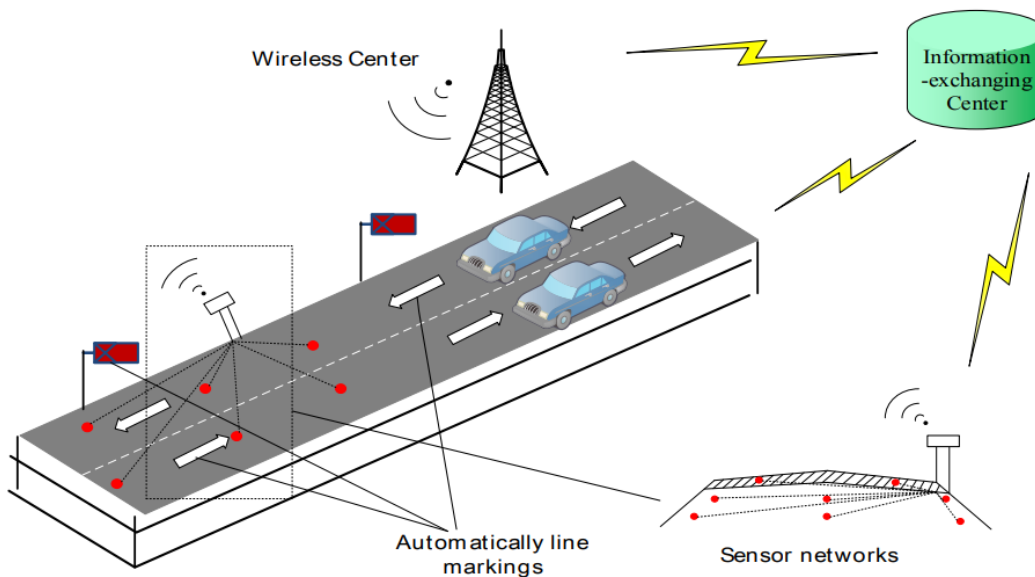
- „*samoprilagodljivost*“,
- „*prikupljanje energije*“,
- *Informacijska povezanost*.

Svaka prethodno navedena kategorija koristi brojne informacijske tehnologije pri obavljanju svojih zadaća, koje su sljedeće:

- „*samosvjesnost*“:
 - uz korištenje raznih uređaja, senzora i tehnologija za prepoznavanje slike nadzire stanje infrastrukture (Tang i Feng, 2011).
- „*samoprilagodljivost*“:
 - koristi tehnologije za popravljavanje, održavanje i kontrole temperatura podloge (Chen i sur., 2012).
- „*prikupljanje energije*“:
 - pomoću naprednih tehničkih i elektrotehničkih komponenti skuplja energiju vjetra, kretanja, sunca i topline za opskrbu svoje infrastrukture električnom energijom kao i opskrbu vozila (Xian i sur., 2013).
- *Informacijska povezanost*:
 - ima najbitniju informacijsko tehnološku zadaću, povezuje infrastrukturu i vozila sustavom za obradu podataka. Struktura informacijske povezanosti je prikazana na slici 1. te je iz nje vidljivo da se struktura sastoji od bežičnih i upravljačkih centara te mreža senzora i obavijesti. Slika 2. prikazuje da vozila (eng. vehicles) i cestovna infrastruktura (eng. road infrastructure) služe kao izvor podataka koji se zatim šalju (eng. vehicle data upload, condition data upload) centru za obradu tih podataka (eng. Information exchange

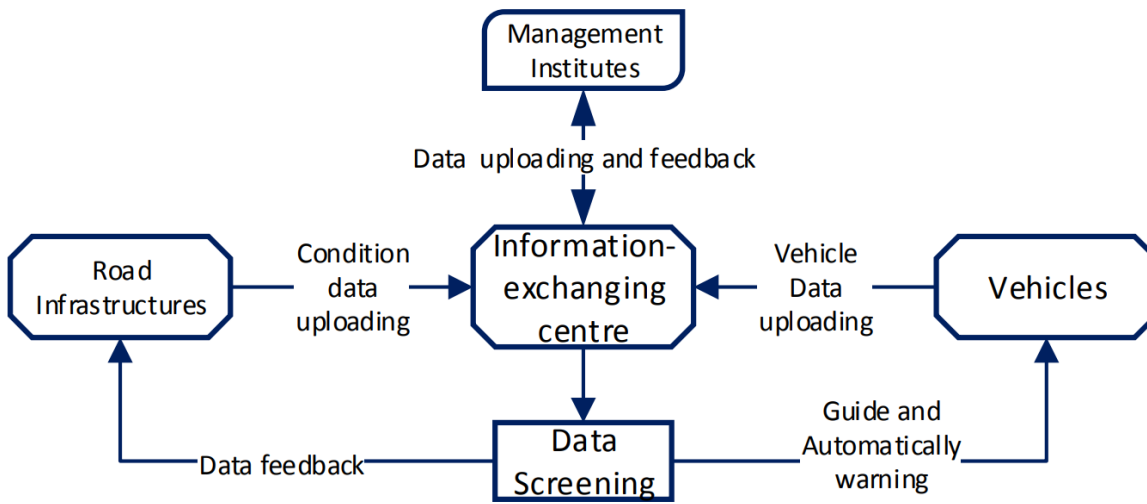
center, management institute) koji obrađuju te podatke i šalje ih komponenti za distribuciju (eng. data screening) koja distribuira te podatke (eng. data feedback, guide and automatically warning) (Zhao i Wu, 2015).

Slika 1. Struktura informacijske povezanosti



Izvor: (Zhao i Wu, 2015)

Slika 2. Prikaz toka podataka informacijske povezanosti



Izvor: (Zhao i Wu, 2015)

Pametne ceste su prvenstveno izgrađene radi poboljšanja kvalitete usluge i povećanja sigurnosti vozača, iz toga proizlazi da su najbitnije funkcije pametnih cesta (Anas S.p.a., 2019; Mahairzi i Reddy, 2017):

- *Kontrola ponašanja vozača,*
- *Osiguravanje visokog stupnja sigurnosti,*
- *Poboljšanje pristupa poslovima i uslugama,*
- *Upravljanje prometom,*
- *Učinkovito slanje informacijskih poruka vozačima,*
- *Prepoznavanje i brza reakcija prilikom nastanka nesreće,*
- *Pametno nadziranje postignuto Internetom stvari.*

Također, i sljedeće pojedine sporedne funkcije (Patil, Mandhare i Kharat, 2018):

- *Prikupljanje električne energije,*
- *Smanjenje potrošnje resursa,*
- *Smanjenje zagađenja uzrokovano ispušnim plinovima.*

2.3 Komponente pametnih cesta

Pametne ceste su povezane s raznim naprednim IKT-om kako bi obavile funkcionalnosti navedene u prethodnom poglavlju te se kao takve sastoje od sljedećih tehnoloških komponenti (Patil, Mandhare i Kharat, 2018; Anas S.p.a., 2019):

- *Komunikacijski sustav,*
- *Automatizirano prikupljanje podataka,*
- *Prijenos podataka,*
- *Analiza podataka,*
- *Internet stvari (eng. Internet of things),*
- *Velika količina podataka (eng. Big Data),*
- *Otvoreni podatci (eng. Open data).*

Prethodno navedene komponente bit će objašnjene u nastavku rada.

- *Komunikacijski sustav pametnih cesta* (Anas S.p.a., 2019) - Realiziran je pomoću komunikacijske mreže koja spaja infrastrukturu *pametnih cesta*, ljude i vozila. Zbog različitosti komunikacijske mreže sastoji se od žičane i bežične komunikacije.
- *Automatizirano prikupljanje podataka* (Patil, Mandhare i Kharat, 2018) - Pod ovaj sustav spada identifikacija vozila, GPS lokacija vozila, kamere, a senzori su komponente koji skupljaju podatke. Pomoću prikupljenih podataka moguće je analizirati i nadgledati promet, brzine i lokaciju.
- *Prijenos podataka* (Patil, Mandhare i Kharat, 2018) - Bitna komponenta *pametnih cesta* jer u stvarnom vremenu opskrbljuje sustav za obradu podataka s podacima o stanju na prometnici, a za samo slanje tih podataka koristi ranije navedeni komunikacijski sustav.
- *Analiza podataka* (Ziarmand, 2013) - Uključuje analizu, čišćenje i ispravljanje greški primljenih podataka koji se zatim obrađuju kako bi analizirali sami promet. Zatim se obrađeni podatci nazad šalju komponenti za prijenos podataka koja distribuira podatke svim vozilima u mreži.
- *Internet stvari* (Salazar i sur., 2016) - Zbog velikog broja, velike raznovrsnosti i namjene senzora, *pametne ceste* implementiraju mnoge sustave za nadgledanje infrastrukture. Također, koriste uređaje Interneta stvari kako bi vožnju učinili sigurnijom i učinkovitijom. *Pametne ceste* kombiniraju fizičku infrastrukturu poput senzora sa softverskom infrastrukturom poput umjetne inteligencije i velikih podataka. Kako bi sve komponente radile potrebni su:
 - senzori za prikupljanje podataka o vremenskim uvjetima i prometu,
 - sustavi za obradu podataka iz vozila, senzora ili drugih izvora,
 - dvosmjerni komunikacijski uređaji,
 - digitalna, dinamična i integrirana signalizacija za prilagođavanje ograničenja brzine i sigurnosne udaljenosti u stvarnom vremenu.

- *Velika količina podataka* (Riahi, 2018) - *Pametna cesta je digitalna cesta* i kao takva generira veliki broj različitih, strukturiranih, polustrukturiranih ili nestrukturiranih podataka. Upravo zbog toga *Velika količina podataka* (eng. Big Data) se koristi u sustavu *pametnih cesta* jer podržava prijenos tih podataka te se koristi za:
 - Prikupljanje podataka:
 - Budući da je tehnologija relativno jeftina, široko se primjenjuje i u automobilskoj proizvodnji. Prednosti tehnologije su u tome što se može pratiti točno vrijeme, brzina, položaj i drugi čimbenici povezani s nesrećama.
 - Predviđanje nesreća:
 - Kako se tehnologija poboljšava, moguće je da lokalni policijski službenici upotrijebe podatke o nesrećama kako bi ciljali područja s visokim rizikom i po potrebi provodili dodatne sigurnosne mjere.
- *Otvoreni podaci* - Po definiciji „Otvoreni podaci su informacije koje su objavljene od strane javnih ustanova te su javno dostupne za korištenje“ (Ayre i Craner, 2017). Korisnost *pametnih cesta* je ta što druge javne ustanove ili pojedinci pomoću tih podataka mogu razvijati svoje sustave koji mogu pripomoći razvoju *pametnih cesta*.

Uz navedene, sustav *pametnih cesta* sadrži i brojne komponente koje su spoj više tehnologija, od informacijskih pa sve do elektrotehničkih (Patil, Mandhare i Kharat, 2018):

- *Napredni sustav informiranja vozača:*
 - koristi veliki broj raznih tehnologija, od televizija i radija do interneta i pametnih telefona kako bi pomogao vozačima pri donošenju odluka vezanih za putovanje.

- *Napredni sustav upravljanja prometom:*
 - koristi se za nadzor i upravljanje prometa praćenjem njegove gustoće. Optimizira kretanje vozila koristeći informacije poslone u stvarnom vremenu za upravljanje prometnim signalima.

- *Napredni sustav javnog prijevoza:*
 - koristi se za povećanje operacijske efikasnosti i pouzdanosti javnog prijevoza. Uz njega se poboljšava način funkcioniranja sustava javnog prijevoza i ostalih usluga koje on pruža.

- *Sustav upravljanja kriznim situacijama:*
 - koristi se primjenom različite tehnologije *pametnih cesta* za razvoj sustava koji može pomoći u kriznim situacijama.

3. Komunikacijski sustav pametnih cesta

Komunikacijski sustav *pametnih cesta* služi za slanje podataka između raznih komponenti sustava.

Pametne ceste mogu se nazvati i *digitalnim cestama* zbog velike količine digitalnih podataka koje prolaze kroz njezinu infrastrukturu. Radi toga komunikacijski sustav je temelj i podloga za informacijske tehnologije, a zadaća mu je spajanje (Nureni, 2015):

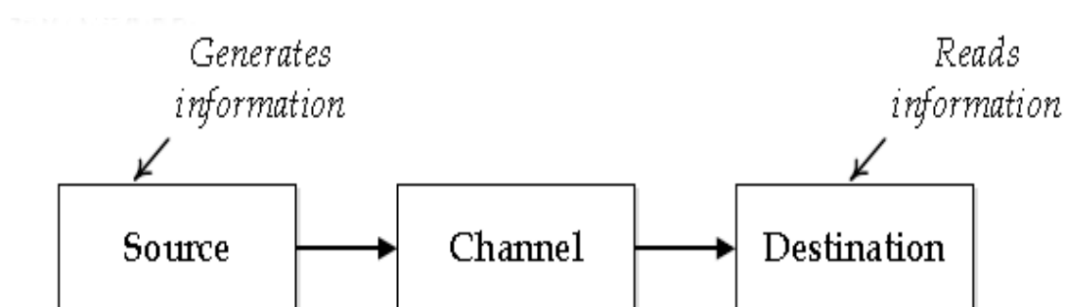
- *Različitih komponenti infrastrukture,*
- *Vozila,*
- *Vozila i vozača s digitalnim uređajima.*

Drugim riječima uloga komunikacijskog sustava je prijenos digitalnih informacija između komponenti infrastrukture te se sastoji od tri glavne komponente (Sayed Ali Ahmed, 2015):

- *Izvor podataka,*
- *Kanal za prijenos podataka,*
- *Odredište.*

Na slici 3. prikazan je način na koji su te tri komponente povezane. U sustavu *pametnih cesta* izvor podataka mogu biti vozila, uređaji u vozilima kao i razni senzori postavljeni duž infrastrukture. Kanal za prijenos podataka može biti žičani ili bežični, dok su odredišta različita mjesta za pohranu podataka i centar za obradu podataka.

Slika 3. Povezanost komponenti komunikacijskog sustava



Izvor: (Sayed Ali Ahmed, 2015)

Dok se pojam „prijenos digitalnih podataka“ odnosi na prijenos podataka poput zvuka i videa kroz komunikacijsku mrežu čija učinkovitost ovisi i o sljedećim karakteristikama (Sayed Ali Ahmed, 2015):

- *Dostava:*
 - Brine se da podaci budu dostavljeni na točno odredište, odnosno svaki podatak ima točno specificirano odredište, a komunikacijski sustav preusmjerava svaki podatak prema svojem odredištu.

- *Potpunost:*
 - Dostavljeni podaci moraju biti dostavljeni u cijelosti, ako je podatak izmijenjen prilikom prijenosa on više nije upotrebljiv.

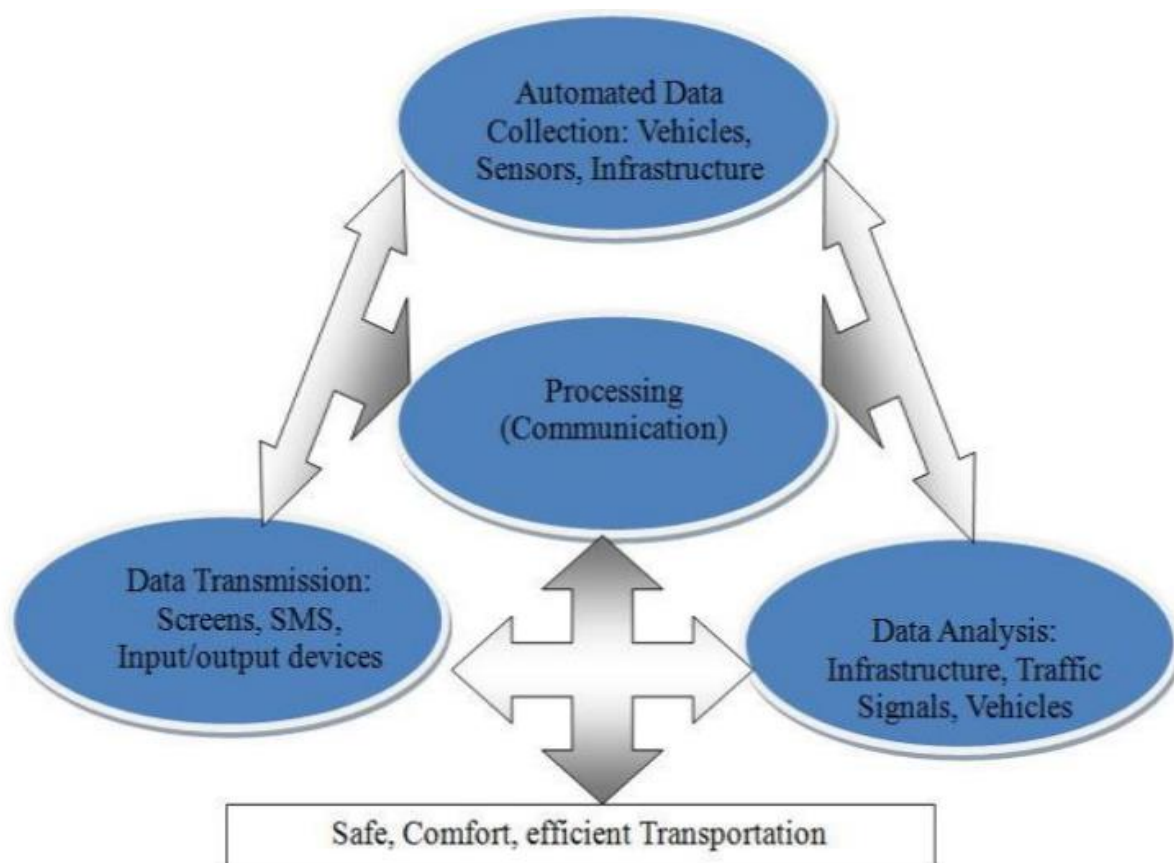
- *Vrijeme dostave:*
 - Podaci moraju biti dostavljeni unutar određenog vremenskog razmaka. Ako podaci kasne oni postaju neupotrebljivi. U slučaju videa i zvuka podaci moraju pristizati istim redoslijedom kojim su nastali bez značajnog kašnjenja. To je posebice važno kod sustava za kontrolu ponašanja vozača jer na osnovu videa sustav reagira, a ako centar za obradu dobije podatke prekasno moguć je nastanak velikih problema.

- *Kašnjenje:*
 - Odnosi se na vrijeme dostave između paketa neke informacije. Ako paketi sustava za kontrolu ponašanja vozača trebaju pristizati svakih 40ms, a neki podaci pristignu za 50ms dolazi do loše kvalitete videa što je također moguć razlog nastanka problema.

Na slici 4. je prikazana međusobna povezanost ključnih komponenti *pametnih cesta* za (Patil, Mandhare i Kharat. 2018):

- *Komunikaciju* (eng. communication),
- *Automatsko prikupljanje podataka* (eng. automated data collection),
- *Analizu podataka* (eng. data analysis),
- *Prijenos podataka* (eng. data transmission).

Slika 4. Povezanost komponenti pametnih cesta sa komunikacijskim sustavom

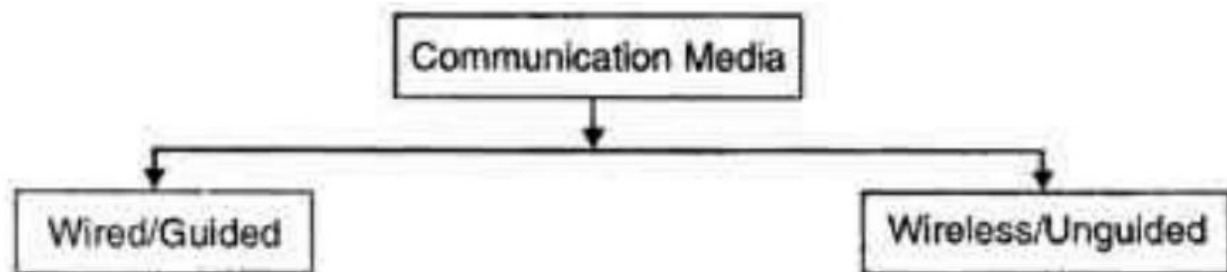


Izvor: (Patil, Mandhare i Kharat, 2018)

Komunikacijski sustav podijeljen je na dva podsustava, a to su (slika 5.):

- *Žičani sustav,*
- *Bežični sustav.*

Slika 5. Podijela komunikacijskog sustava



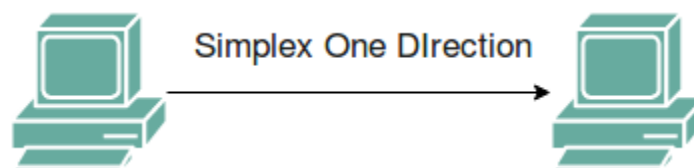
Izvor: (Sayed Ali Ahmed, 2015)

3.2 Žičani sustav pametnih cesta

Žičani sustav pametnih cesta je fizički dio komunikacijskog sustava namijenjenog za spajanje raznih komponenti infrastrukture i slanje podataka. S obzirom na način prijenosa podataka žičani sustav je podijeljen na tri načina slanja podataka ovisno o smjeru (Raj i Kumari, 2019):

- *Jednosmjerni prijenos* (eng. Simplex):
 - Podaci se šalju samo u jednome smjeru kao što je prikazano na slici 6. U sustavu *pametnih cesta* ovakav način slanja informacija koriste razni senzori kojima je zadaća slanje, a ne i primanje informacija,

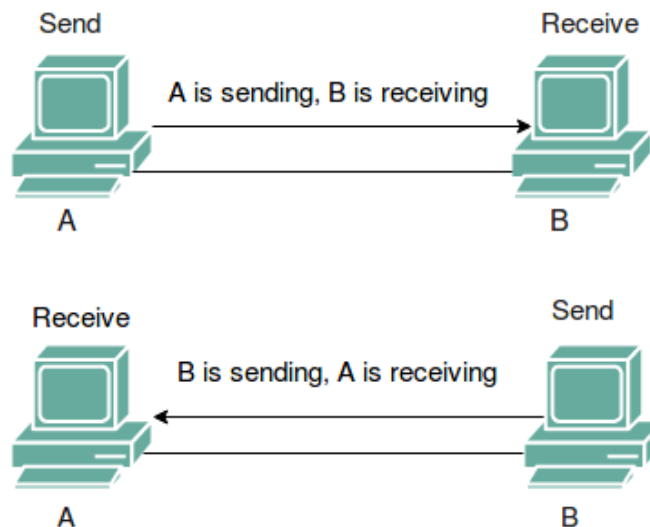
Slika 6. Jednosmjerni način slanja podataka



Izvor: <https://www.geeksforgeeks.org/transmission-modes-computer-networks/> (pristupljeno: 20.07.2020)

- *Dvosmjerni prijenos* (eng. Half-duplex):
 - Podaci se mogu slati u oba smjera, ali ne u isto vrijeme (slika 7.). Komponenta koja šalje informacije u isto vrijeme ne može dobiti informacije i obrnuto,

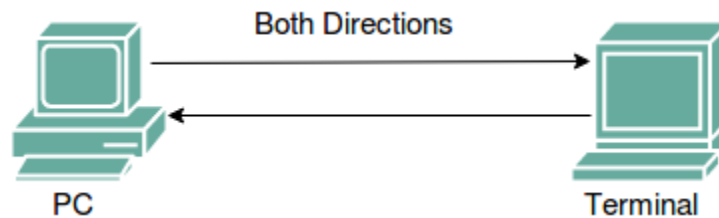
Slika 7. Dvosmjerni način slanja podataka



Izvor: <https://www.geeksforgeeks.org/transmission-modes-computer-networks/> (pristupljeno: 20.07.2020)

- *Potpuno dvosmjerni* (eng. Full-duplex):
 - Kao i kod dvosmjernog prijenosa podaci se mogu slati u oba smjera, jedina razlika je što komponenta u isto vrijeme može slati i dobiti informacije (slika 8.). U sustavu *pametnih cesta* ovaj način prijenosa je najzastupljeniji jer velik broj komponenti zahtijeva istodobno slanje i dohvaćanje podataka zbog što brže analize podataka kao i slanja povratnih informacija.

Slika 8. Potpuno dvosmjerni način slanja podataka



Izvor: <https://www.geeksforgeeks.org/transmission-modes-computer-networks/> (pristupljeno: 20.07.2020)

Žičani sustav ima neke prednosti i nedostatke koji su prikazani u tablici 1.

Tablica 1. Prednosti i nedostaci žičanog sustava

Prednosti	Nedostatci
<ul style="list-style-type: none"> • Pouzdan način komunikacije • Velike brzine prijenosa podataka • Visok stupanj zaštite od vanjskih napada 	<ul style="list-style-type: none"> • Nema mogućnost komunikacije s komponentama temeljenim na bežičnoj komunikaciji • Ograničena lokacija

Izvor: Autor rada

3.3 Bežični sustav pametnih cesta

Kod bežičnog sustava pametnih cesta komunikacija se obavlja slanjem informacija, točnije signala putem zraka. U sustavu *pametnih cesta* bežični sustav (eng. wireless communication technologies) je podijeljen u dvije kategorije prikazane na slici 9. (Papadimitratos i sur., 2009):

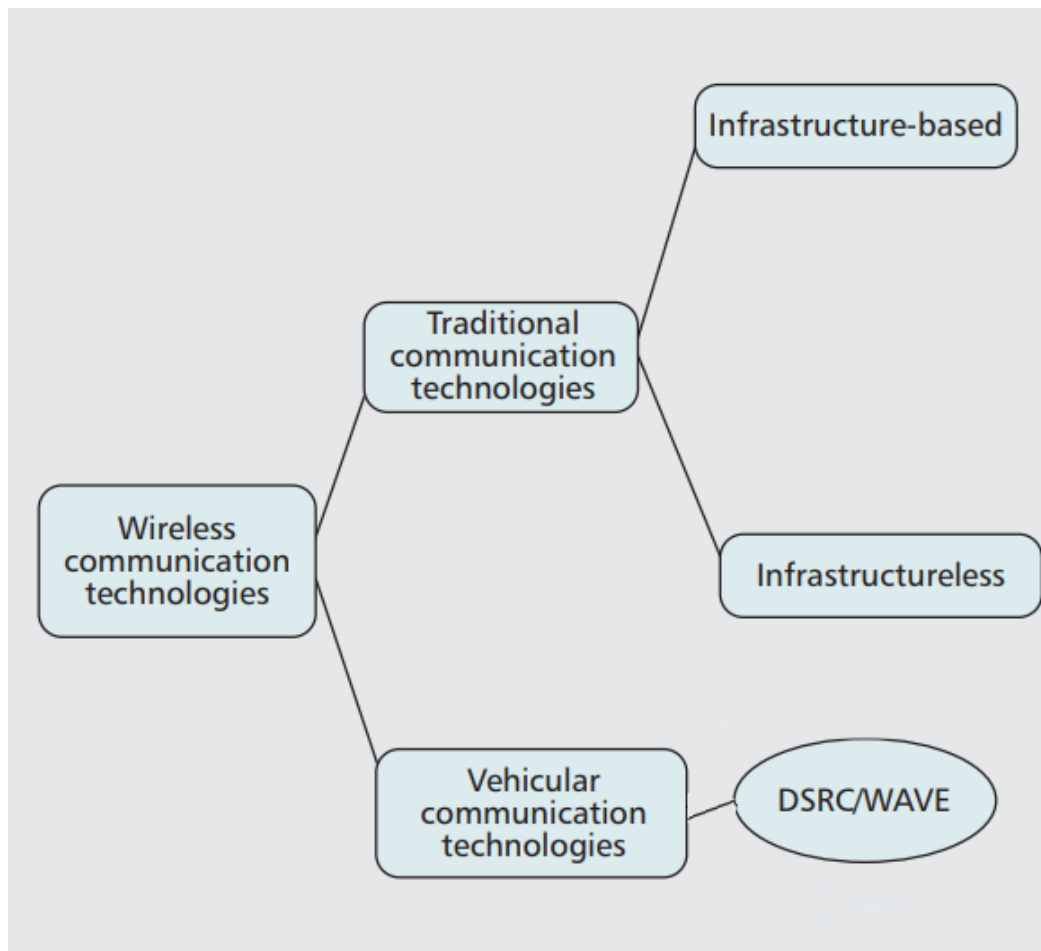
- *Tradicionalni oblici bežične komunikacije* (eng. traditional communication technologies),
- *Komunikacija vozila u prometu* (eng. vehicular communication technologies).

Koje su dodatno podijeljene u:

- *Tradicionalni oblici bežične komunikacije:*
 - Tehnologije temeljene na infrastrukturi (eng. infrastructure-based):
 - Koriste mobilne mreže za prijenos podataka, bazirane na IEEE 802.16 standardu koji omogućava prijenos podataka na velike udaljenosti. Također moguće ih je koristiti za komunikaciju vozila i vozila (eng. Vehicle-to-vehicle) ili vozila i infrastrukture (eng. Vehicle-to-infrastructure) (Dar i sur., 2010).
 - Tehnologije bez infrastrukture (eng. infrastructureless):
 - Ne zahtijevaju infrastrukturu za njihovo upravljanje, odnosno lako ih je postaviti. Temelje se na IEEE 802.11 tehnologiji koja je dizajnirana za velike brzine slanja podataka te ju je moguće koristiti za komunikaciju vozila i vozila. Također korisnicima pruža pristup Internetu preko WiFi-ja (Dar i sur., 2010).

- *Komunikacija vozila u prometu:*
 - Razvijena radi dodatnih zahtjeva sustava *pametnih cesta* za mobilnost i dinamičnost. Zbog ograničene mobilnosti utemeljene standardom IEEE 802.11 razvijen je novi standard IEEE 802.11p, odnosno kratkodometna komunikacija (eng. dedicated short range communication, DSRC) i namijenjena je za komunikaciju vozila u prometu, točnije za komunikaciju vozila i infrastrukture (Dar i sur., 2010).

Slika 9. Podjela bežičnog sustava



Izvor: (Dar i sur. 2010)

3.2.1 Tehnologije bežične komunikacije

Uz prethodno navedenu kratkodomtnu komunikaciju u sustavu *pametnih cesta* koriste se još četiri, odnosno sve skupa koristi se pet tehnologija bežične komunikacije koje su sljedeće (Cho, Oh i Park, 2011):

- *Kratkodomtna komunikacija,*
- *Bežična lokalna mreža* (eng. Wireless Local Area Network, WLAN),
- *Bežični pristup u vozilima* (eng. Wireless Access in Vehicular Environment, WAVE),
- *Bežična širokopoljasna mreža* (eng. Wireless Broadband, WiBro),
- *Dugoročna evolucija* (eng. Long Term Evolution, LTE).

Tablica 2. prikazuje usporedbu pet navedenih tehnologija te vrstu komunikacije za koju je namijenjena. Također, prikazuje da bežični pristup u vozilima, kratkodometna komunikacija i dugoročna evolucija imaju vrlo kratko vrijeme kašnjenja uz mogućnost prijenosa podataka u okolini gdje se vozila kreću velikom brzinom. Od navedenih tehnologija jedino bežični pristup u vozilima podržava komunikaciju vozila i vozila te vozila i infrastrukture i kao takav je najpogodniji za sustav *pametnih cesta*, no veća efikasnost se postiže korištenjem svih tehnologija ovisno o vrsti podataka koje prenose i namjeni.

Tablica 2. Usporedba tehnologija bežične komunikacije

Vrsta tehnologije	Bežična lokalna mreža	Bežični pristup u vozilima	Bežična širokopojasna mreža	Dugoročna evolucija	Kratkodometna komunikacija
Brzina vozila koju podržava	20km/h	200km/h	60 km/h	350km/h	200km/h
Brzina prijenosa podataka	Maksimalno 54Mbps	Maksimalno 27Mbps	Maksimalno 30Mbps	Maksimalno 300Mbps	1Mbps
Vrijeme kašnjenje	Oko 1 sekunde	Manje od 100 mili sekundi	Oko 1 sekunde	Oko 100 mili sekundi	Oko 100 mili sekundi
Vrsta komunikacije	Vozila i infrastrukture	Vozila i infrastrukture/vozila i vozila	Vozila i infrastrukture	Vozila i infrastrukture	Vozila i infrastrukture

Izvor: (Cho, Oh i Park, 2011)

3.2.2 Vrste bežične komunikacije pametnih cesta

Razvoj bežične tehnologije je omogućio već spomenute komunikacije vozila i vozila te vozila i infrastrukture, no i neke druge još ne spomenute u ovome radu. Tako u sustavu *pametnih cesta* imamo tri vrste bežične komunikacije koje omogućavaju razmjenu podataka (Arena i Pau, 2019):

- *Vozila i vozila* (eng. Vehicle-to-vehicle),
- *Vozila i infrastrukture* (eng. Vehicle-to-infrastructure),
- *Vozila i „svega“* (eng. Vehicle-to-everything, V2X).

Cilj navedenog je povećanje sigurnosti vozača i predviđanje potencijalnih opasnosti. U informatičkom smislu to je mreža koju čine ne samo vozila nego i komponente opremljene bežičnom tehnologijom gdje se komunikacija unutar mreže sastoji od čvorova

koje u ovom slučaju čine već spomenuta vozila i komponente sustava *pametnih cesta* (Arena i Pau, 2019).

Bitno je napomenuti da komunikacija vozila i „svega“ obuhvaća komunikacije vozila i vozila te vozila i infrastrukture, no bit će posebno objašnjena kako bi se pokazala razlika između svake.

3.2.2.1 Komunikacija Vozila i vozila

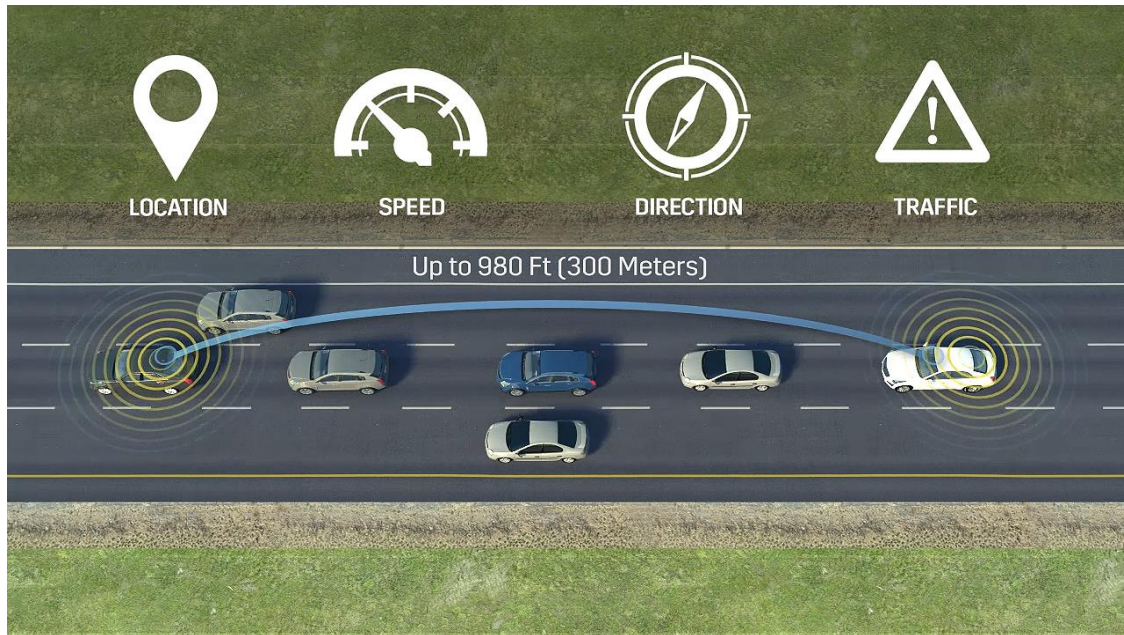
Komunikacija Vozila i vozila se sastoji od bežične razmjene podataka čiji je cilj sprječavanje nesreća omogućavajući slanje informacija svim vozilima u mreži, odnosno omogućava vozilima da „pričaju“ (Ali, 2019).

Komunikacija je utemeljena na kratkodometnoj tehnologiji koja omogućuje samu razmjenu podataka. Iako je sam domet ove komunikacije oko 1000 metara, zbog raznih prepreka efektivna udaljenost komunikacije je oko 300 metara. Također, svako vozilo se može promatrati kao komponenta koja skuplja podatke koji ne ovisi o postavljenoj infrastrukturi čime se postiže viši stupanj prikupljanja i slanja informacija koje se mogu koristiti raznim informacijskim područjima (Xu i sur., 2003).

Slika 10. prikazuje ilustraciju komunikacije Vozila i vozila iz koje je vidljivo da je efektivna udaljenost komunikacije oko 300 metara te da je moguć prijenos informacija o:

- *Lokaciji,*
- *Brzini,*
- *Smjeru,*
- *Prometu.*

Slika 10. Komunikacija Vozila i vozila



Izvor:

<https://media.gm.com/media/us/en/cadillac/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2017/mar/0309-v2v.html> (pristupljeno: 25.07.2020)

3.2.2.2 Komunikacija Vozila i infrastrukture

Ovaj tip komunikacije omogućava vozilima komunikaciju s komponentama sustava *pametnih cesta*, koje su sljedeće (Wu i sur., 2018):

- Čitač radio frekvencije,
- Kamere,
- Komponente za skupljanje i slanje podataka,
- Signalizacija.

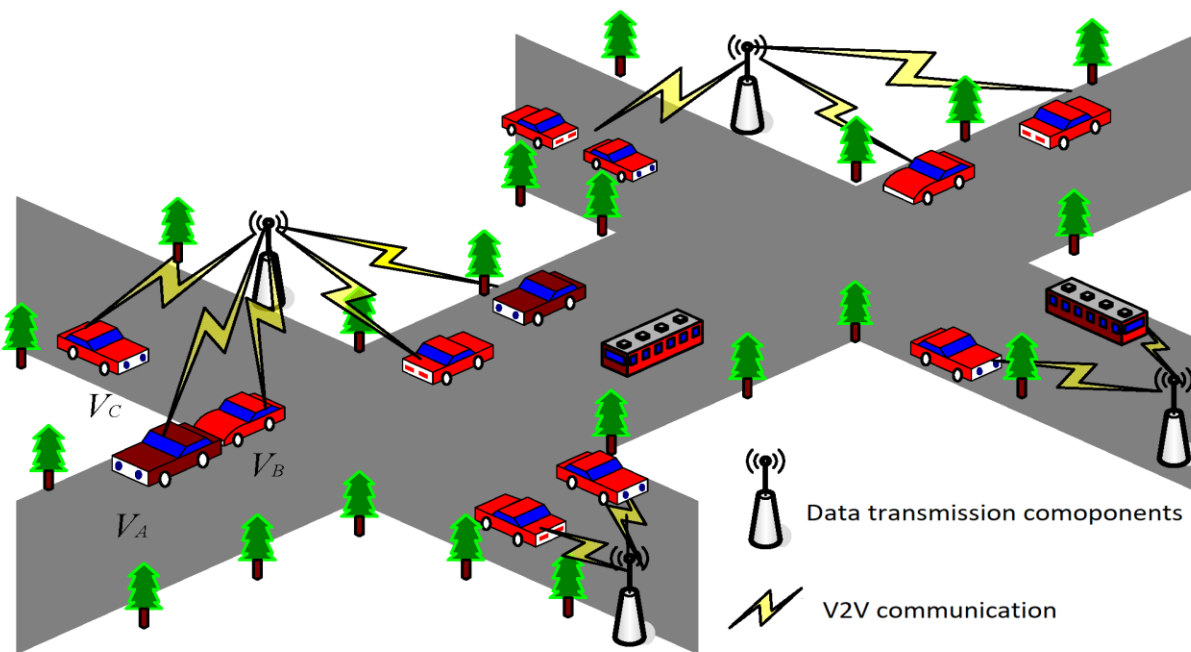
Kao i kod komunikacije Vozila i vozila ovaj tip komunikacije koristi kratkodometnu tehnologiju za razmjenu podataka uz bitnu razliku da ih šalje od vozila do infrastrukture i obratno, odnosno slanje informacija se obavlja dvosmjerno, što znači da vozilo i/ili infrastruktura u isto vrijeme može slati i primati informacije. Iz sustava za obradu i distribuciju podataka šalje vozačima obavijesti o (Ullah, 2016):

- *Prekršenom propisu,*

- *Opasnosti na prometnici,*
- *Informacije o cesti i vremenskim uvjetima.*

Slika 11. prikazuje ilustraciju komunikacije Vozila i infrastrukture gdje je svako vozilo povezano s komponentom za prijenos odnosno skupljanje podataka koje (kao što je rečeno) ima mogućnost dvosmjerne komunikacije.

Slika 11. Komunikacija Vozila i infrastrukture



Izvor: (Ullah, 2016)

Iako su komunikacija Vozila i vozila i vozila i infrastrukture slični, postoji razlika. Komunikacija Vozila i vozila je namijenjen kako bi ostvario bržu reakciju nakon nastanka nesreće ili nastanka opasnosti na prometnicama zbog činjenice da vozilo koje sudjeluje u prometu može brže poslati obavijest ostalim vozilima u mreži, nego da infrastruktura *pametnih cesta* reagira. Komunikacija Vozila i infrastrukture je namijenjen da upozorava o stanju na prometnicama, odnosno već nastalim stanjima kako bi se vozač mogao pripremiti ili izbjeći eventualni problem (Parrado i Donoso, 2015).

3.2.2.3 Komunikacija Vozila i „ svega“

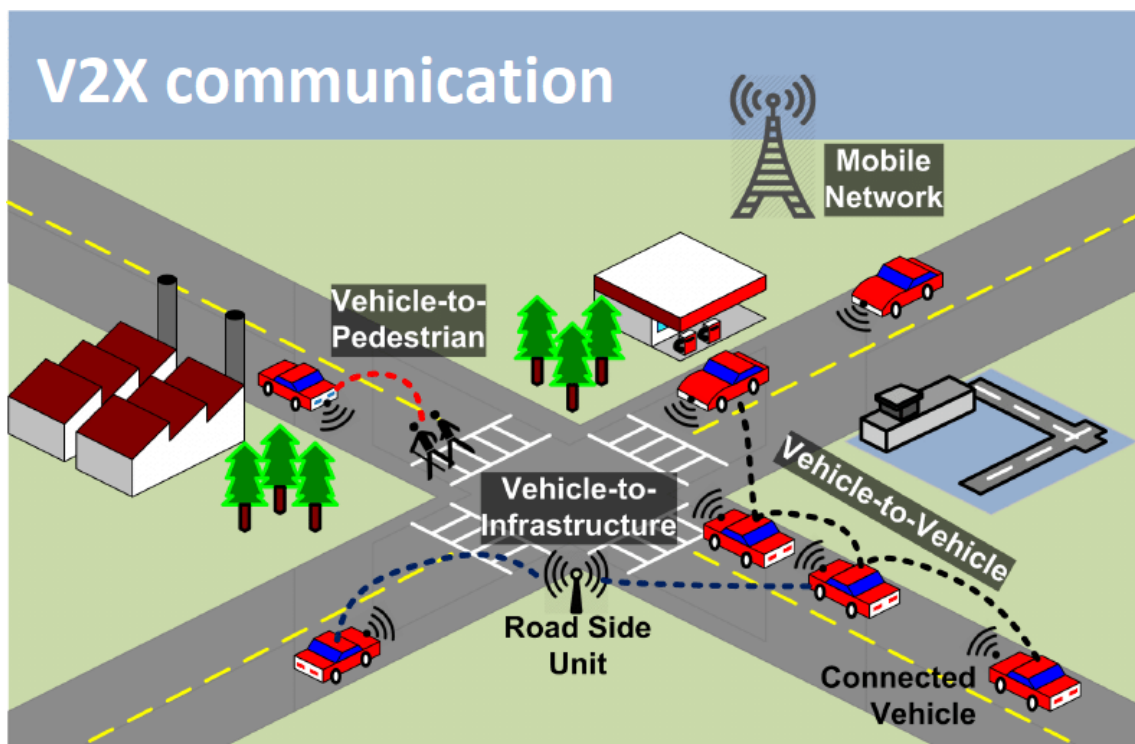
Ovaj tip komunikacije predstavlja skup prethodne dvije te uz to koristi i druge oblike komunikacije u kojima sudjeluju vozila (Kawser i sur., 2019):

- *Vozila i pješaka* (eng. Vehicle-to-Pedestrian, V2P),
- *Vozila i uređaja* (eng. Vehicle-to-Device, V2D),
- *Vozila i mreže* (eng. Vehicle-to-Network, V2N).

Važnost ovog oblika komunikacije je povećanje sigurnosti drugih korisnika *pametnih cesta* poput pješaka.

Slika 12. prikazuje primjer ovog tipa komunikacije gdje je vidljivo da su komponente *pametnih cesta* međusobno povezane putem bežične komunikacije.

Slika 12. Komunikacija Vozila i „svega“



Izvor: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-V2X-Communication.html> (pristupljeno 26.07.2020)

4. Prikupljanje, pohrana, obrada i dostavljanje podataka na korištenje u sustavu pametnih cesta

Razvojem sustava *pametnih cesta* i komunikacijskog sustava dolazi do stvaranja velike količine podataka koje treba spremati, pročitati, analizirati i na kraju iz njega izvući potrebne informacije (odnosno sustav koji to sve obavlja), sustav za prikupljanje, obradu, pohranu i dostavljanje podataka na korištenje u sustavu pametnih cesta. Unutar takvog sustava sve njegove komponente se promatraju kao izvori velike količine korisnih podataka koji se generiraju u kratkome vremenu (Tarnec i sur., 2013).

Sustav za prikupljanje i obradu podataka prikuplja podatke o prometu u svrhu upravljanja postojećih i razvoja novih informacijskih tehnologija za upotrebu u sustavu *pametnih cesta*. Zbog činjenice da sustav prikuplja raznolike i detaljne podatke oni spadaju u Velike količine podataka (Bennett i sur., 2006).

Velike količine podataka uključuju skupove podataka čija veličina prelazi kapacitet koji uobičajeni sustavi za obradu mogu obraditi u prihvatljivom vremenu. Uzrok toga je što Velike količine podataka sadrže detaljne informacije o vozačima i njihovome ponašanju i zbog toga moraju biti obrađene decentralizirano kako bi se izbjegao prijenos velikih informacijskih cjelina. Podaci su logički i fizički decentralizirani, ali su virtualno centralizirani, odnosno svi izvori i skladišta podataka su međusobno povezani, a informaciju može koristiti bilo koja komponenta sustava (Nessi, 2012).

U sustavu *pametnih cesta* podaci se mogu dobiti iz raznih izvora, poput (Lopes i sur., 2010):

- *Pametnih kartica,*
- *GPS-a,*
- *Senzora,*
- *Video kamera,*
- *Društvenih mreža.*

Korištenjem točnih i učinkovitih načina obrade podataka postiže se pružanje bolje usluge u sustavu *pametnih cesta* (Lopes i sur., 2010).

Korisnosti sustava za obradu podataka u *pametnim cestama* su sljedeće (Liu i sur., 2017):

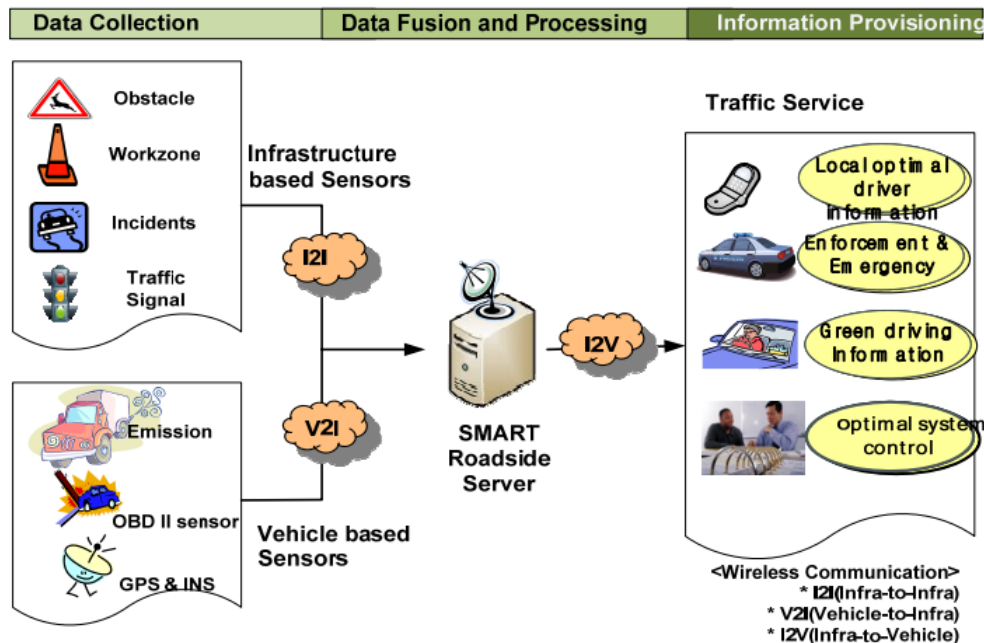
- Pošto *pametne ceste* stvaraju velike količine podataka, sustav rješava probleme:
 - Spremanja podataka,
 - Analize podataka,
 - Upravljanja podataka.
- Poboljšava kvalitetu sustava *pametnih cesta* jer mnogi integrirani sustavi zahtijevaju brzo skupljanje i brzu analizu podataka za obavljanje svoje zadaće (Mohamed i Al-Jaroodi, 2014),
- Poboljšava sigurnost koristeći napredne tehnike prepoznavanja zbog mogućnosti skupljanja velike količine podataka bitnih pri donošenju odluka vezanih za sigurnost.

Slika 13. prikazuje arhitekturu sustava za prikupljanje i obradu podataka gdje razni senzori, kao primjer, senzori vezani za infrastrukturu ili senzori vezani za vozila sakupljaju podatke te preko bežične komunikacije objašnjene u prethodnom poglavlju prenose podatke sustavu, odnosno serveru koji ih obrađuje te iz njih izvlači informacije koje se zatim koriste za upravljanje ponašanjem i informiranjem vozača i upravljanjem samim sustavom *pametnih cesta*.

Kompletni sustav za prikupljanje i obradu podataka sadrži sljedeće cjeline (Jang, Kim i Cho, 2011):

- *Prikupljanje podataka,*
- *Pohrana podataka,*
- *Obrada podataka,*
- *Dostavljanje podataka.*

Slika 13. Arhitektura sustava za skupljanje i obradu podataka



Izvor: (Jang, Kim i Cho, 2011)

4.1 Prikupljanje podataka

Prikupljanje podataka je osnova arhitekture sustava jer prikuplja podatke za podsustav obrade podataka. Tehnološki razvoj *pametnih cesta* je doveo do sve različitijih, detaljnijih i samim time kapacitetom većih podataka (Kadaieaswaran i sur., 2017).

Zbog toga izvori podataka u sustavu *pametnih cesta* mogu biti sljedeći:

- *GPS* (Wang, Zhao i Dong, 2017):
 - Najpopularnija metoda za prikupljanje podataka o lokaciji vozila. Prikupljeni podaci se koriste pri optimizaciji ruta, ubrzavanju putovanja, ali i u svrhu nadzora prometa.
- *Video nadzor* (Grant, Gillis i Guensler, 2000):
 - Uz senzore najkorišteniji način prikupljanja podataka na *pametnim cestama*. Prvenstveno se koristi za prikupljanje video podataka koji se koriste za identifikaciju vozila,

- *Senzori:*
 - Najzastupljeniji način prikupljanja podataka. Senzori su instalirani duž infrastrukture *pametnih cesta* te prikupljaju podatke o brzini vozila i gustoći prometa. Vrste podataka prikupljene pomoću senzora podijeljene su u tri kategorije (Antoniou, Balakrishna i Koutsopoulos, 2011):
 - Podaci o cesti,
 - Podaci o vozilima,
 - Podaci širokog područja.

- *Autonomna vozila* (Uhlemann, 2015):
 - Tehnološki najnovija metoda prikupljanja podataka na *pametnim cestama*. Autonomna vozila stvaraju velike količine podataka o svojoj okolini, a to su podaci o koordinatama, brzini i sigurnosti svoje okoline.

4.2 Pohrana podataka

Pohrana podataka u sustavu *pametnih cesta* služi za dugoročno ili kratkoročno spremanje prikupljenih podataka i informacija, ovisno o njihovoj važnosti i primjeni.

U sustavu *pametnih cesta* pohrana podataka je podijeljena na dva dijela (Dennis i sur., 2014):

- *Distribuirana pohrana*,
- *Pohranu u oblaku* (eng. Cloud storage).

Pod distribuiranu pohranu spadaju vozila jer svako vozilo ima svoju unutarnju bazu podataka (Dennis i sur., 2014).

Donedavno razmjena podataka između dvije ili više komponenti je bila spora zbog ograničenosti komunikacijskog sustava. Ta ograničenost komunikacije je prvenstveno ograničavala udaljen pristup velikim količinama podataka. Bilo je nužno imati fizički pristup podacima kako bi se s njima radilo (Guo i sur., 2017).

Drugim riječima, rad s podacima je zahtijevao da baza podataka i pripadajući softver budu dostupni lokalno kako bi se učinkovito radilo s njima. Naime pojavom Računarstva u oblaku ta ograničenja su riješena (Guo i sur., 2017).

Primjenom Računarstva u oblaku podaci su još uvijek spremljeni fizički samo zbog napretka komunikacijskog sustava (točnije brzine prijenosa podataka) te više nije bitno da li se podaci pohranjuju lokalno, blizu infrastrukture *pametne ceste* ili na udaljeno mjesto (Khan i sur., 2014).

Korištenjem Računarstva u oblaku je omogućena već spomenuta decentralizacija arhitekture i ubrzanje obrade podataka u stvarnom vremenu čime dolazi do povećanja sigurnosti sustava *pametnih cesta* (Nessi, 2012).

U sustavu *pametnih cesta* za Pohranu u oblaku su namijenjene dvije opcije (Cai i sur., 2016):

- *Privatni oblak*:

- Oprema, mreža, sigurnost, sustavi i podaci u velikoj mjeri u vlasništvu sustava *pametnih cesta*. Nudi najviši stupanj sigurnosti, kontrole i privatnosti,
- *Unajmljeni oblak*:
 - U ovoj opciji sustav *pametnih cesta* ne posjeduje nikakvu opremu, već se plaća pristup i pohrana podataka. Prednost ove opcije je što omogućava usredotočenost na obradu podataka *pametne ceste*, odnosno na povećanje sigurnosti i kvalitetu usluge.

Prednosti zbog kojih se koristi Pohrana u oblaku za sustav *pametnih cesta* su (Laudante i sur., 2020):

- *Sigurnost*,
- *Paralelna obrada podataka*,
- *Proširivost prostora za pohranu podataka*.

4.3 Obrada podataka

Obrada podataka je namijenjena da iz prethodno prikupljenih podataka putem raznih računskih operacija izvuče informacije.

Kod *pametnih cesta* i Velikih količina podataka podaci se stalno prikupljaju i ažuriraju te su distribuirano pohranjeni i zbog toga klasične metode obrade podataka ih ne bi mogle pohraniti, klasificirati i obraditi u stvarnome vremenu jer zahtijevaju centralizirano pohranjivanje (Mohamed i Al-Jaroodi, 2014).

Strojno učenje (eng. Machine Learning) je najpopularniji način modeliranja i analize Velike količine podataka što ga čini povoljnim za sustav *pametnih cesta* (Guo i sur., 2017).

Strojno učenje je podijeljeno na: (Michalski, Carbonell i Mitchell, 1983):

- *Nadzirano učenje* (Shan, Zhao i Xia, 2013):
 - Koristi razne modele od čega je najkorištenija *linearna regresija* koja je posebno uspješna u sustavu *pametnih cesta* za predviđanje:

1. Protoka prometa
 2. Procjene brzine prometa
 3. Procjene puta prijevoza
- Također koristi i *stablo odabira* koje se primjenjuje kod (Abellán, López i OñA, 2013):
 1. Prepoznavanja nesreća
 2. Analize nesreća
 3. Izbor načina putovanja
 - Kao i *umjetne neuronske mreže* (eng. Artificial Neural network) za (Lint, Hoogendoorn i Zuylen, 2005):
 1. Predviđanje prometa
 2. Predviđanje vremena putovanja
 3. Prepoznavanje nesreća
 - *Ojačano učenje* (eng. Reinforcement Learning) (Nath i sur., 2019):
 - Koristi se za minimiziranje dugoročnih parametara *pametnih cesta*. Jedan takav primjer je upravljanje prometnim signalima kako bi se minimiziralo vrijeme čekanja i poboljšala kvaliteta putovanja.
 - *Duboko učenje* (eng. Deep Learning):
 - Koristi puno složeniji način obrade podataka, dok je njegova primjena u sustavu *pametnih cesta* prvenstveno procjena gustoće prometa na temelju GPS-a.

4.4 Dostavljanje podataka na korištenje

Nakon obrade i analize podataka sustav vozače obavještava o novostečenim informacijama. Odnosno, te podatke je potrebno dostaviti na korištenje, a koriste se različita sredstva širenja tih informacija.

Neka od širenja informacija su sljedeća (Arena i Pau, 2019):

- *Komunikacija Vozila i infrastrukture:*
 - Nakon nastanka određene informacije sustav informaciju šalje infrastrukturi *pametnih cesta*, točnije komponentama zaduženim za slanje tih informacija vozilima.

- *Komunikacija Vozila i Vozila:*
 - Usko povezano sa prethodnim načinom obavještavanja. Moguće je da nakon što jedno vozilo primi obavijest da to vozilo nastavi širiti obavijest svim vozilima u svojoj neposrednoj blizini.

- *Digitalni prometni znak* (Irf examiner, 2016):
 - Sustav za dostavljanje informacija šalje informaciju svim digitalnim prometnim znakovima unutar određene dionice koja zatim može:
 - Obavještavati vozače,
 - Kontrolirati njihovo ponašanje.
 - Na slici 14. nalazi se prikaz jednog takvog znaka. Sustav za obradu podataka je analizom podataka ustanovio da se na nadolazećoj dionici nalazi spor promet te je sustavu za dostavljanje podataka prenio tu informaciju koji je on zatim prikazao vozačima.

Slika 14. Digitalni prometni znak



Izvor: <https://www.codot.gov/programs/smart-signs> (pristupljeno: 15.08.2020)

5. Prednosti i nedostaci pametnih cesta

Tablica 3. prikazuje prednosti i nedostatke *pametnih cesta*. Od navedenih prednosti najbitnija je povećanje sigurnosti vozača jer to je i jedan od razloga za razvojem *pametnih cesta*. Dok je najveći nedostatak sigurnost podataka koji se šalju komunikacijskim kanalom zbog moguće provale u sustav i promjene i/ili krađe podataka.

Tablica 3. Prednosti i nedostaci pametnih cesta

Prednosti	Nedostatci
<p>Zamjena kritične infrastrukture pametnom infrastrukturom dovodi nas do učinkovitog donošenja odluka na temelju podataka, sigurnosti i sigurnosti građana (Bhogaraju i Korupalli, 2020)</p> <p>Omogućava svim komponentama infrastrukture i vozačima da konstantno izmjenjuju podatke i informacije.</p> <p>Dostavlja vozačima informacije o novonastalim stanjima te ih se savjetuje o ponašanju radi što veće sigurnosti.</p> <p>Koristi Velike količine podataka u svrhu poboljšanja sigurnosti.</p> <p>Konstantno nadzire i analiza promet u stvarnome vremenu kako bi se što brže reagiralo prilikom nastanka problema.</p> <p>Prilagodljivi sustavi semafora stvaraju pametna raskrižja koja upravljaju prometom tako što prepoznaju obrasce ponašanja tijekom promatranja vozila.</p> <p>Poboljšava brzinu putovanja smanjenjem kašnjenja, smanjenjem zagušenja i poboljšanjem pouzdanosti putovanja.</p> <p>Arhitektura omogućava rad s Velikim količinama podataka.</p>	<p>Pošto uređaji Interneta stvari razmjenjuju puno važnih podataka sigurnost tih podataka može biti problem.</p> <p>Implementacija potrebne infrastrukture kako bi se cesta „transformirala“ u pametnu cestu je otežana zbog ograničenja postojeće infrastrukture.</p> <p>Promjena vremena može utjecati na rad nekih komponenti. Na primjer gusta magla utječe na kvalitetu i čistoću slike koju sustav za obradu slike dobiva.</p> <p>Odluka o tome tko ima pristup Otvorenim podacima te nakon koliko i koji tipovi podatak mogu biti dostupni.</p> <p>Generira velike količine podataka koje je potrebno spremi, odnosno mjesta po pohranu moraju imati veliki kapacitet za spremanje.</p> <p>Prijenos distribuiranih podataka u oblačne centre uzrokuje velike troškove mreže i troši mrežne resurse (Darwish i Bakar, 2018)</p> <p>Uređaji Interneta stvari su ograničeni u računalnim i komunikacijskim resursima, odnosno oni su uska grla (eng. bottleneck) u razvoju prilagodljivih, inteligentnih rješenja koja koriste tehnike strojnog učenja (Adi i sur., 2020).</p>

<p>Koristi se kao podloga za razvoj novih IKT-ja u svrhu <i>pametnih cesta</i>.</p> <p>Zbog velike protočnosti podataka brze obrade omogućava slanje povratnih informacija u stvarnom vremenu, odnosno s minimalnim vremenom kašnjenja.</p> <p>Podaci prikupljeni video snimkama sadrže velike količine korisnih informacija koja pomažu pri odlučivanju (Knoop, Hoogendoorn i Zuylen, 2009).</p> <p>Napredak u tehnologijama i poboljšanjima platforme stvara put budućnosti koja obuhvaća brzo širenje Interneta stvari, postavljanja aplikacija i snažnu analitiku Velike količine podataka (Adi i sur., 2020).</p> <p>Porast broja izvora bitnih podataka (Leduc, 2008)</p> <p>Prikuplja podatke iz vozila koja se kreću velikom brzinom.</p>	<p>Složenost kod implementacije na velikom području (Arena i Pau, 2019)</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------

Izvor: Autor rada

6. Zaključak

Pametna cesta je skup tehnologija, posebice IKT-a te sustava za prikupljanje, obradu i spremanje podataka, a cilj joj je povećanje sigurnosti i poboljšanje kvalitete usluga svojim korisnicima.

Koristi razne uređaje Interneta stvari i vrste bežične komunikacije (komunikacija Vozila i vozila, Vozila i infrastrukture, Vozila i „svega“) za prikupljanje mnogobrojnih podataka koje generiraju vozila i vozači te ih komunikacijski sustav šalje, žičano (jednosmjerno, dvosmjerno i potpuno dvosmjerno) ili bežično te osigurava da podaci budu dostavljeni na točno odredište u cijelosti i bez kašnjenja centrima za obradu podataka, gdje se ti podaci čiste, analiziraju, spremaju i distribuiraju vozačima.

Za čišćenje i analizu podataka se koriste razne metode umjetne inteligencije i strojnog učenja (nadzirano, duboko, ojačano učenje, linearna regresija, stablo odabira, umjetne neuronske mreže) dok se za spremanje informacija koristi Pohrana u oblaku (sigurnost, paralelna obrada podataka i proširivost prostora za pohranu) i distribuirani način pohrane (baze podataka u vozilima), a za dostavljanje tih informacija vozačima se koristi komunikacijski sustav u radu s uređajima Interneta stvari.

Rezultati analize u ovome radu omogućuju bolji uvid u način funkcioniranja te ulogu i značaj pametnih cesta u suvremenom svijetu.

Iako su pametne ceste u fazi opsežnog razvoja koriste mnoge inovativne IKT-je za rješavanje problema koje u velikoj mjeri povećavaju sigurnost vozača kao i svih sudionika u prometu te predstavljaju budućnost prometa. Također pametne ceste dolaze do ograničenja u vidu sigurnosti pojedinih komponenti i brzine protoka podataka koja ograničava brzinu reakcije sustava.

Budućnost razvoja pametnih cesta se nalazi u rješavanju brzine protoka podataka, optimizacija postojećih sustava za što učinkovitiji rad kao i omogućavanje lakše implementacije na postojeće prometnice uz što manji trošak uz konstantno povećanje sigurnosti korištenjem najnovijih IKT-ja.

LITERATURA

1. Ziarmand, A., (2013). Smart road infrastructure. East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2013), 1-5. [online] Dostupno na: <https://www.semanticscholar.org/paper/Smart-road-infrastructure-Ziarmand/3672448cac08ed70dff59bc51aa07b536101980a> [pristupljeno 02.07.2020]
2. Zhao, H. & Wu, D. (2015). Definition, Function, and Framework Construction of a Smart Road. 204-218. 10.1061/9780784414255.020. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/287725459_Definition_Function_and_Framework_Construction_of_a_Smart_Road [pristupljeno 02.07.2020]
3. Sun, L. & Zhao, H. & Tu, H. & Tian, Y., (2018). The Smart Road: Practice and Concept. Engineering. 4. 10.1016/j.eng.2018.07.014. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/326528252_The_Smart_Road_Practice_and_Concept [pristupljeno 03.07.2020]
4. Anas S.p.a., (2019). Smart road. [online] Dostupno na: https://www.stradeanas.it/sites/default/files/pdf/Smart_Book_%28eng%29.pdf [pristupljeno 04.07.2020]
5. Jain, R. & Nagia, K., (2019). Smart Roads and Parking. 10.4018/978-1-5225-9246-4.ch011. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/334662312_Smart_Roads_and_Parking [pristupljeno 04.07.2020]
6. Virginia Tech Transportation Institute. (2014). Virginia Smart Road. [online] Dostupno na: <https://www.vus.virginia.gov/media/governorvirginiagov/virginia-unmanned-systems/pdfs/vus-pdfs/smart-road.pdf> [pristupljeno 05.07.2020]
7. Tang, H. & Feng, J., (2011). Design of Icy Detection System for Highway Pavement Based on CC2430. 62 - 65. 10.1109/ICIC.2011.49. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/224247712_Design_of_Icy_Detection_System_for_Highway_Pavement_Based_on_CC2430 [pristupljeno 05.07.2020]
8. Chen, S. & Huang, W. & Luo, T. & Ding, Y., (2012). "Establishment and Analysis of Temperature Field Model of Heat-Reflective Coating Pavement". Journal of

- chongqing jiaotong university (natural science) ISTIC, 31(1). [online] Dostupno na: https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotat-CQJT201201011.htm [pristupljeno 05.07.2020]
9. Xiang, H. & Wang, J. & Shi, Z. & Zhang, Z., (2013). Theoretical analysis of piezoelectric energy harvesting from traffic induced deformation of pavements. Smart Materials and Structures. 22. 095024. 10.1088/0964-1726/22/9/095024. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/258298395_Theoretical_analysis_of_piezoelectric_energy_harvesting_from_traffic_induced_deformation_of_pavements [pristupljeno 09.07.2020]
10. Mahairzi, Z.S., & Reddy, N.S., (2017). Smart Road Technology for Traffic Management and ITS Infrastructure Assessment: A Case Study of Muscat Express Highway. International Journal of Advanced engineering, Management and Science, 3, 576-583. [online] Dostupno na: <https://www.semanticscholar.org/paper/Smart-Road-Technology-for-Traffic-Management-and-A-Mahairzi-Reddy/07afb3fdbcb0f7fcab6a954a7e9e51c00b77809> [pristupljeno 10.07.2020]
11. Mandhare, P & Kharat, V. & Patil, C.Y., (2018). Intelligent Road Traffic Control System for Traffic Congestion A Perspective. International Journal of Computer Sciences and Engineering. 6. 908-915. 10.26438/ijcse/v6i7.908915. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/327073557_Intelligent_Road_Traffic_Control_System_for_Traffic_Congestion_A_Perspective [pristupljeno 11.07.2020]
12. Patel, K, & Patel, S. & Scholar, P. & Salazar, C., (2016). Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/330425585_Internet_of_Things-IOT_Definition_Characteristics_Architecture_Enabling_Technologies_Application_Future_Challenges [pristupljeno 13.07.2020]

13. Riahi, Y., (2018). Big Data and Big Data Analytics: Concepts, Types and Technologies. 5. 524-528. 10.21276/ijre.2018.5.9.5. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/328783489_Big_Data_and_Big_Data_Analytics_Concepts_Types_and_Technologies [pristupljeno 14.07.2020]
14. Ayre, L. & Craner, J., (2017). Open Data: What It Is and Why You Should Care. Public Library Quarterly. 36. 173-184. 10.1080/01616846.2017.1313045. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/317666305_Open_Data_What_It_Is_and_Why_You_Should_Care [pristupljeno 15.07.2020]
15. Nureni, Y., (2015). DATA COMMUNICATION & NETWORKING. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/288180515_DATA_COMMUNICATION_NETWORKING [pristupljeno 18.07.2020]
16. Sayed Ali Ahmed, E., (2015). Introduction to Communication Systems. 10.13140/RG.2.1.4108.8727. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/282023883_Introduction_to_Communication_Systems [pristupljeno 19.07.2020]
17. Raj, U. & Naresh, K., (2019). Wired and Wireless Modes of Communication and their Comparison. [online] Dostupno na: <https://ijari.org/assets/papers/7/3/IJARI-EE-19-09-104.pdf> [pristupljeno 20.07.2020]
18. Papadimitratos, P. & de La Fortelle, A. & Evenssen, K. & Brignolo, R. & Cosenza, S., (2009). Vehicular Communication Systems: Enabling Technologies, Applications, and Future Outlook on Intelligent Transportation. Communications Magazine, IEEE. 47. 84 - 95. 10.1109/MCOM.2009.5307471. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/224611555_Vehicular_Communication_Systems_Enabling_Technologies_Applications_and_Future_Outlook_on_Intelligent_Transportation [pristupljeno 21.07.2020]

19. Dar, K. & Bakhouya, M. & Gaber, J. & Wack, M. & Lorenz, P., "Wireless communication technologies for ITS applications [Topics in Automotive Networking]," in IEEE Communications Magazine, vol. 48, no. 5, pp. 156-162, May 2010, doi: 10.1109/MCOM.2010.5458377. [online] Dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5458377> [pristupljeno 20.07.2020]
20. Cho, W. & Oh, H.-S. & Park, B.-J., (2011). Wireless Access Technologies for Smart Highway: Requirements and Preliminary Results. The Journal of the Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication. 11. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/264183605_Wireless_Access_Technologies_for_Smart_Highway_Requirements_and_Preliminary_Results [pristupljeno 21.07.2020]
21. Arena, F. & Pau, G., (2019). An Overview of Vehicular Communications. Future Internet. 11. 27. 10.3390/fi11020027. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/330610562_An_Overview_of_Vehicular_Communications [pristupljeno 22.07.2020]
22. Ali, S., (2019). Vehicle to Vehicle communication. 10.13140/RG.2.2.24951.88487. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/333903633_Vehicle_to_Vehicle_communication [pristupljeno 23.07.2020]
23. Xu, Q. & Sepurta, R. & Jiang, D. & Chrysler, D., "Design and analysis of highway safety communication protocol in 5.9 GHz dedicated short range communication spectrum," The 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Spring., Jeju, South Korea, 2003, pp. 2451-2455 vol.4, doi: 10.1109/VETECS.2003.1208831. [online] Dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1208831> [pristupljeno 25.07.2020]

24. Wu, C. & Yoshinaga, T. & Ji, Y. & Zhang, Y., (2018). Computational Intelligence Inspired Data Delivery for Vehicle-to-Roadside Communications. IEEE Transactions on Vehicular Technology. PP. 1-1. 10.1109/TVT.2018.2871606. [online] Dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/327783106 Computational Intelligence Inspired Data Delivery for Vehicle-to-Roadside Communications](https://www.researchgate.net/publication/327783106_Computational_Intelligence_Inspired_Data_Delivery_for_Vehicle-to-Roadside_Communications) [pristupljeno 27.07.2020]
25. Ullah, K. (2016). On the use of opportunistic vehicular communication for roadside services advertisement and discovery. [online] Dostupno na: <https://www.semanticscholar.org/paper/On-the-use-of-opportunistic-vehicular-communication-Ullah/37d47ced657a4a2dbb6baa789166d42990b8977a> [pristupljeno 27.07.2020]
26. Parrado, N. & Donoso, Y., (2015). Congestion Based Mechanism for Route Discovery in a V2I-V2V System Applying Smart Devices and IoT. Sensors. 15. 7768-7806. 10.3390/s150407768. [online] Dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/275220928 Congestion Based Mechanism for Route Discovery in a V2I-V2V System Applying Smart Devices and IoT](https://www.researchgate.net/publication/275220928_Congestion_Based_Mechanism_for_Route_Discovery_in_a_V2I-V2V_System_Applying_Smart_Devices_and_IoT) [pristupljeno 28.07.2020]
27. Kawser, M. & Sajjad, S. & Fahad, S. & Ahmed, S. & Rafi, H., (2019). The Perspective of Vehicle-to-Everything (V2X) Communication towards 5G. 19. 146-155. [online] Dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/333193097 The Perspective of Vehicle-to-Everything V2X Communication towards 5G](https://www.researchgate.net/publication/333193097_The_Perspective_of_Vehicle-to-Everything_V2X_Communication_towards_5G) [pristupljeno 30.07.2020]
28. Tarnec, C. & Fulconis, J. & Borghetti, S. & Ulucay, S. & Dubus, N. & Ferrando, I. & Bottero, M. & Tveit, Ø. & Tsegay, S., (2013). Instant Mobility. Multimodality for people and goods in urban area. [online] Dostupno na: <https://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/6/284906/080/deliverables/001-IMD65DataBusinessCasesFinalreportV1.pdf> [pristupljeno 30.07.2020]

29. Bennett, C. & Chamorro, A. & Chen, C. & De, H. & Gerardo, S. & Flintsch, g., (2006). Data Collection Technologies for Road Management. [online] Dostupno na:
https://www.researchgate.net/publication/228582220_Data_Collection_Technologies_for_Road_Management [pristupljeno 02.08.2020]
30. NESSI White Paper. (2012). Big Data- A New World of Opportunities. [online] Dostupno na: http://www.nessi-europe.com/Files/Private/NESSI_WhitePaper_BigData.pdf [pristupljeno 02.08.2020]
31. Lopes, J. & Bento, J. & Huang, E. & Antoniou, C. & Ben-Akiva, M., (2010). Traffic and mobility data collection for real-time applications. Conference Record - IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. 216 - 223.
10.1109/ITSC.2010.5625282. [online] Dostupno na:
https://www.researchgate.net/publication/224190871_Traffic_and_mobility_data_collection_for_real-time_applications [pristupljeno 03.08.2020]
32. Liu, Y. & Weng, X. & Wan, J. & Yue, X. & Song, H. & Vasilakos, A., (2017). Exploring Data Validity in Transportation Systems for Smart Cities. IEEE Communications Magazine, 55, 26-33. [online] Dostupno na:
<https://www.semanticscholar.org/paper/Exploring-Data-Validity-in-Transportation-Systems-Liu-Weng/9fb89a8d7053dd85f41b8bd66012287b057bc1d5>
[pristupljeno 04.08.2020]
33. Mohamed, N. & Al-Jaroodi, J., (2014). Real-Time Big Data Analytics: Applications and Challenges. Proceedings of the 2014 International Conference on High Performance Computing and Simulation, HPCS 2014.
10.1109/HPCSim.2014.6903700. [online] Dostupno na:
https://www.researchgate.net/publication/283212652_Real-Time_Big_Data_Analytics_Applications_and_Challenges [pristupljeno 04.08.2020]

34. Jang, J. & Kim, H. & Cho, H., (2011). Smart Roadside System for Driver Assistance and Safety Warnings: Framework and Applications. Sensors (Basel, Switzerland). 11. 7420-36. 10.3390/s110807420. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/51873502_Smart_Roadside_System_f_or_Driver_Assistance_and_Safety_Warnings_Framework_and_Applications [pristupljeno 05.08.2020]
35. GiridharanM, N. & Kadaieaswaran, M. & Arunprasath, V. & Karthika, M. (2017). Big Data Solution for Improving Traffic Management System with Video Processing. [online] Dostupno na: <https://www.semanticscholar.org/paper/Big-Data-Solution-for-Improving-Traffic-Management-N.GiridharanM.-Kadaieaswaran/ff52d185d9688130155dd88c9e603dd4442ef95b> [pristupljeno 06.08.2020]
36. Wang, X. & Zhao, S. & Dong, L., (2017). Research and Application of Traffic Visualization Based on Vehicle GPS Big Data. 53. 293-302. 10.1007/978-981-10-2398-9_27. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/310808609_Research_and_Application_of_Traffic_Visualization_Based_on_Vehicle_GPS_Big_Data [pristupljeno 06.08.2020]
37. Grant, C. & Gillis, B. & Guensler, R., (2000). Collection of Vehicle Activity Data by Video Detection for Use in Transportation Planning. Its Journal - ITS J. 5. 343-361. 10.1080/10248070008903775. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/245688233_Collection_of_Vehicle_Activity_Data_by_Video_Detection_for_Use_in_Transportation_Planning [pristupljeno 06.08.2020]

38. Antoniou, C. & Balakrishna, R. & Koutsopoulos, H., (2011). A Synthesis of emerging data collection technologies and their impact on traffic management applications. *European Transport Research Review*. 3. 10.1007/s12544-011-0058-1. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/257787575_A_Synthesis_of_emerging_data_collection_technologies_and_their_impact_on_traffic_management_applications [pristupljeno 08.08.2020]
39. Uhlemann, E., (2015). Autonomous Vehicles Are Connecting... [Connected Vehicles]. *Vehicular Technology Magazine, IEEE*. 10. 22-25. 10.1109/MVT.2015.2414814. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/276298308_Autonomous_Vehicles_Are_Connecting_Connected_Vehicles [pristupljeno 09.08.2020]
40. Cregger, J. & Hong, Q. & Dennis, E.P., (2014). ITS Data Ethics in the Public Sector. [online] Dostupno na: <https://www.cargroup.org/publication/its-data-ethics-in-the-public-sector/> [pristupljeno 09.08.2020]
41. Guo L. & Dong, M. & Ota, K. & Li, Q. & Ye, T. & Wu, J. & Li, J., (2017). A Secure Mechanism for Big Data Collection in Large Scale Internet of Vehicle. in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 601-610, doi: 10.1109/JIOT.2017.2686451. [online] Dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7884969> [pristupljeno 10.08.2020]
42. Khan, A.N. & Kiah, M.L.M. & Ali, M. & Mandani, S.A. & Khan, A.R. & Shamshirband, S., (2014). BSS: block-based sharing scheme for secure data storage services in mobile cloud environment. *J Supercomput* 70, 946–976. [online] Dostupno na: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11227-014-1269-8> [pristupljeno 11.08.2020]
43. Cai, H. & Xu, B. & Jiang, L. & Vasilakos, A., (2016). IoT-Based Big Data Storage Systems in Cloud Computing: Perspectives and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*. 4. 1-1. 10.1109/JIOT.2016.2619369. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/310823936_IoT-Based_Big_Data_Storage_Systems_in_Cloud_Computing_Perspectives_and_Challenges [pristupljeno 11.08.2020]

44. Laudante, G. & Musone, V. & Rak, M. & Venticinqu, S. & Salzillo, G., (2020). A cloud-edge smart infrastructures for road safety. 147-152.
10.1109/MELECON48756.2020.9140506. [online] Dostupno na:
https://www.researchgate.net/publication/342966591_A_cloud-edge_smart_infrastructures_for_road_safety [pristupljeno 12.08.2020]
45. Michalski, R. & Carbonell, J. & Mitchell, T., (1983). Machine learning. an Artificial Intelligence approach. Volume 2. 10.1007/978-3-662-12405-5. [online] Dostupno na:
https://www.researchgate.net/publication/238582946_Machine_learning_an_Artificial_Intelligence_approach_Volume_2 [pristupljeno 12.08.2020]
46. Shan, Z & Zhao, D & Xia, Y., (2013). Urban road traffic speed estimation for missing probe vehicle data based on multiple linear regression model. 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013), The Hague, 2013, pp. 118-123, doi: 10.1109/ITSC.2013.6728220. [online] Dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6728220> [pristupljeno 20.08.2020]
47. Abellán, J. & López, G. & de Oña, J., (2013). Analysis of traffic accident severity using Decision Rules via Decision Trees. [online] Dostupno na:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417413003138>
[pristupljeno 22.08.2020]
48. Lint, J.V. & Hoogendoorn, S. & Zuylen, H., (2005). Accurate freeway travel time prediction with state-space neural networks under missing data. Transportation Research Part C-emerging Technologies, 13, 347-369. [online] Dostupno na:
<https://www.semanticscholar.org/paper/Accurate-freeway-travel-time-prediction-with-neural-Lint-Hoogendoorn/ceb94f539ddc3be17b4f0d0b2a8cd5dd751f9e80>
[pristupljeno 23.08.2020]

49. Nath, R. & Lee, H. & Chowdhury, N. & Chang, J.-W., (2010). Modified K-Means Clustering for Travel Time Prediction Based on Historical Traffic Data. 511-521. 10.1007/978-3-642-15387-7_55. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/221019408_Modified_K-Means_Clustering_for_Travel_Time_Prediction_Based_on_Historical_Traffic_Data [pristupljeno 24.08.2020]
50. IRF EXAMINER. (2016). Smart Highway. [online] Dostupno na: <https://www.irf.global/ebooks/IRF-Examiner-16Vol11.pdf> [pristupljeno 25.08.2020]
51. Bhogaraju, S.D. & Korupalli, V.R.K., (2020). Design of Smart Roads - A Vision on Indian Smart Infrastructure Development. International Conference on COMmunication Systems & NETworkS (COMSNETS), Bengaluru, India, 2020, pp. 773-778, doi: 10.1109/COMSNETS48256.2020.9027404. [online] Dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9027404> [pristupljeno 25.08.2020]
52. Darwish, T. & Abu Bakar, K., (2018). Fog Based Intelligent Transportation Big Data Analytics in The Internet of Vehicles Environment: Motivations, Architecture, Challenges and Critical Issues. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2018.2815989. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/323785449_Fog_Based_Intelligent_Transportation_Big_Data_Analytics_in_The_Internet_of_Vehicles_Environment_Motivations_Architecture_Challenges_and_Critical_Issues [pristupljeno 26.08.2020]
53. Adi, E. & Anwar, A. & Baig, Z. & Zeadally, S., (2020). Machine learning and data analytics for the IoT. Neural Comput & Applic. [online] Dostupno na: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-020-04874-y> [pristupljeno 26.08.2020]
54. Leduc, G., (2008). Road Traffic Data: Collection Methods and Applications. [online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/254424803_Road_Traffic_Data_Collection_Methods_and_Applications [pristupljeno 27.08.2020]

POPIS SLIKA

Slika 1. Struktura informacijske povezanosti	5
Slika 2. Prikaz toka podataka informacijske povezanosti	5
Slika 3. Povezanost komponenti komunikacijskog sustava.....	10
Slika 4. Povezanost komponenti pametnih cesta sa komunikacijskim sustavom	12
Slika 5. Podijela komunikacijskog sustava	13
Slika 6. Jenosmjerni način slanja podataka.....	13
Slika 7. Dvosmjerni način slanja podataka	14
Slika 8. Potpuno dvosmjerni način slanja podataka	15
Slika 9. Podjela bežičnog sustava	17
Slika 10. Komunikacija Vozila i vozila.....	20
Slika 11. Komunikacija Vozila i infrastrukture	21
Slika 12. Komunikacija Vozila i „svega“	22
Slika 13. Arhitektura sustava za skupljanje i obradu podataka.....	25
Slika 14. Digitalni prometni znak	31

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prednosti i nedostaci žičanog sustava	15
Tablica 2. Usporedba tehnologija bežične komunikacije	18
Tablica 3. Prednosti i nedostaci pametnih cesta	32