

OPISI IZBRANIH SISTEMOV

A. IZBRANI SISTEMI ZA IZOGIB TRKOM

Domena #8: Sistemi inteligentnih vozil: Pod-domene #8.2 Avtomatska vožnja, #8.3 Izogibanje vzdolžnih trkov, #8.6 Ublažitev posledic pred trki

V nadaljevanju so opisani izbrani sistemi za izogib trkom. Ti predstavljajo varnostno rešitev, ko obstaja velika nevarnost trka. Med te se uvrščajo naslednji:

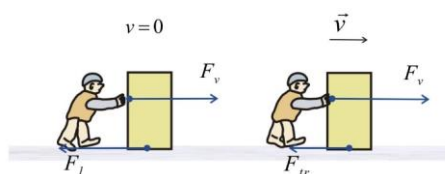
1. Sistemi za preprečevanje blokiranja koles ABS (*Anti-lock Braking System*), ki preprečujejo;
2. Sistemi kontrole pogonskih koles proti zdrsu ASR (*Anti-Slip Regulation*), ki delujejo tako, da elektronika posega v delovanje motorja in zavor ter preprečuje nezaželeno vrtenje pogonskih koles (nadgradnja ABS);
3. Elektronski sistemi za nadzor stabilnosti vozila ESC (*Electronic Stability Control*), ki delujejo tako, da v vozilo vgrajena elektronska naprava regulira zdrs pogonskih koles pri vozilih s pogonom spredaj z boljšim prenosom moči na vseh vrstah cestišča, kar močno zmanjšuje možnost trkov in zagotavlja več udobja in varnosti pri vseh hitrostih.

1. Sistemi za preprečevanje blokiranja koles ABS

Sila trenja

Sila trenja (reakcijska sila) se pojavi na stični ploskvi med dvema telesoma in nasprotuje medsebojnemu drsenju teh teles (potisni sili F_v), torej vedno nasprotuje:

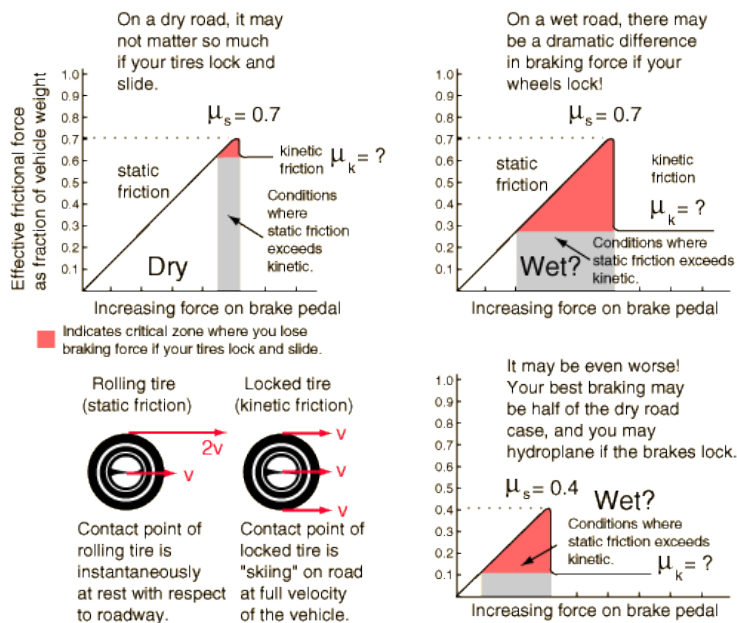
- težnji po gibanju nekega telesa (če telesi relativno mirujeta). Govorimo o sili lepenja F_l ali statični sili trenja, kar opišemo s koeficientom statičnega trenja μ_o (ali μ_s) ali lepenja μ_1 (slika 1, levo).
- gibanju telesa (če se telesi relativno gibata). Govorimo o sili trenja F_{tr} ali drsenja, kar opišemo z dinamičnim koeficientom trenja μ_k ali koeficientom drsenja μ (slika 1, desno);
- kotaljenju (če telo kotali po podlagi). Govorimo o sili trenja pri kotaljenju, kar opišemo s koeficientom trenja pri kotaljenju lepenja μ_{kot} ;



Slika 1: Sile pri premiku objekta

Gibanje kolesa vozila na cesti

Koeficient statičnega trenja μ_s med pnevmatiko in cesto je vedno večji od dinamičnega koeficienta trenja μ_k (ko gume drsijo), $\mu_s > \mu_k$ (slika 2, levo zgoraj). Razlike med obema so večje, če je cesta mokra (slika 2, desno zgoraj) ali voda na cestišču (slika 2, desno spodaj). Oba koeficienta sta tudi mnogo manjša od koeficienta kotaljenja. Velja $\mu_s > \mu_k >> \mu_{kot}$ (Tabela 1).



Slika 2: Razpoložljiva normirana sila trenja v odvisnosti od stopnje zaviranja

Tabela 1: Koeficienti trenja in kotaljenja

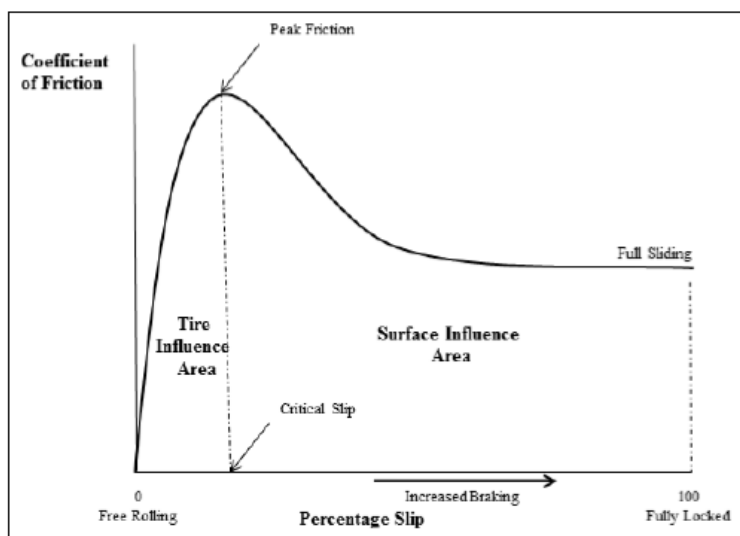
Stanje ceste	μ_s	μ_k	Stanje asfalta	μ_{kot}
Suha	0,7	0,6	Dober	0,010–0,012
Mokra	0,6	0,3	Slab	0,022
Poledenela		0,1		

Torej, če pride do drsenja površine gum po tleh, je sila trenja med kolesi in cesto (sila s katero se kolesa 'oprijemajo' ceste) manjša kakor takrat, ko zavore delajo s tako silo, da se gume ravno še kotalijo brez opaznega spodrsavanja. Pri zaviranju z največjo možno močjo je zavorna razdalja znatno krajša, če ni spodrsavanja, in precej daljša, čim začnejo kolesa drseti. Povrh tega je med drsenjem koles nemogoče držati vozilo v želeni smeri. Gibanje vozila tako postane povsem odvisno od vztrajnostnih sil. Če želimo ustaviti vozilo na kolikor mogoče kratki poti, ne glede na to kakšna so tla po katerih se giblje, je treba zavirati tako, da se doseže mejo oprijemanja, ne da bi prišlo do spodrsavanja gum.

Zaviranje, pospeševanje in zavijanje

Ko se kolo (pnevmatika) prosto kotali v ravni črti, je kontaktna površina le trenutno stacionarna in se zato na stiku guma/cesta ustvari zelo majhno trenje ($\mu_k \ll \mu$, *free rolling*, $S = 0$, slika 3). Toda, ko voznik prične izvajati nek maneuver, ki vključuje spremembo hitrosti ali smeri, se na stični točki pojavijo sile kot odgovor na zaviranje, pospeševanje ali obračanje volana. Te sile ustvarijo reakcijo med pnevmatiko in cestiščem, ki omogoča vozilu zmanjšanje ali povečanje hitrosti, ali sledenje krivini. Med zaviranjem, ko se zaviralna sila povečuje, se povečuje tudi reakcijska sila vse dokler se

ne preseže točka pri kateri je koeficient drsenja največji. Ta se običajno zgodi pri zdrsu $S = 0.18$ do 0.20 . Pri tej točki (maksimalno trenje; *peak friction*, slika 3) pnevmatika nadaljuje z upočasnitvijo relativno glede na hitrost vozila in s spodrsavanjem po površini, čeprav se kolo še vrti. Če zaviralna sila deluje še naprej, pnevmatika spodrsuje še močneje. Končno pride do popolnega blokiranja (*fully locked*) kolesa, kolo preneha z vrtenjem in stična površina drsi po cestišču (*full sliding*, $S = 1$, slika 3).



Slika 3: Razpoložljiva sila trenja v odvisnosti od zdrsa

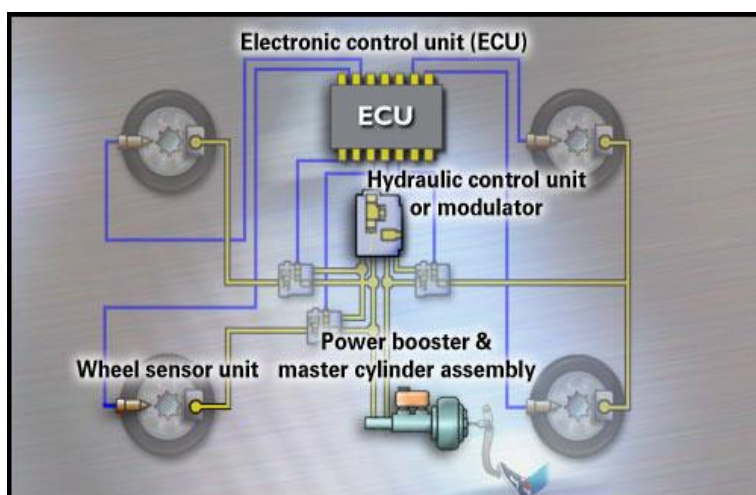
Standardne naprave za omejevanje zaviranja vgrajene v avtomobilih imajo nalogo, da preprečijo spodrsavanje trenutno manj obremenjenih koles. Ne morejo pa upoštevati stanja tal po katerih se giblje vozilo. Ker so prirejene za normalne razmere (suho cestišče), so neučinkovite pri zaviranju po spolzkih tleh (peščena, blatna, zasnežena ali poledenela cesta). Samo v primeru, če je na vsakem kolesu posebej vgrajena naprava za preprečevanje blokiranja ABS, je mogoče doseči največjo možno učinkovitost zaviranja (čim krajšo zavorno razdaljo) brez nevarnosti, da bi prišlo do zanašanja (spremembe smeri gibanja vozila), ne glede na stanje cestišča, vremenskih pogojev ali reakcije voznika.

Z uvedbo elektronike v avtomobil je možno preprečiti blokiranje koles pri vsakem kolesu posebej in to natančno in učinkovito. Princip delovanja je naslednji (slika 4). Na vseh kolesih so nameščeni dajalniki, ki merijo hitrost vrtenja posameznega kolesa V_w oziroma njegovo kotno hitrost ω_w (modre linije na sliki 4). Če ima kolo prenizko obodno hitrost glede na hitrost vozila V_v in, če obstaja nevarnost, da bo to blokiralno, se zmanjša zavorni tlak za to kolo. Pri prednjih kolesih se zavorni tlak običajno uravnava posamično, medtem ko je zavorni tlak za kolesi na zadnji osi enak (rumene linije na sliki 4). Vozilo tako ostane stabilno dokler je to le mogoče. Sistem je vključen ves čas med vožnjo vozila. Ne deluje pa tako dolgo, dokler se na kolesih ne pojavi 'pojemek' oz. 'zdrs', ki je večji od prednastavljene vrednosti S_{ref} . Poskusi so pokazali, da se zavorna razdalja zmanjša za več kot 30% v primerjavi z enakim vozilom brez ABS sistema. Celoten proces uravnava elektronska kontrolna enota

ECU (*Electronic Control Unit*). ECU lahko zasledi približno 8000 signalov/s in z odzivnim časom nekaj milisekundah prepreči blokiranje vseh koles ter s tem omogoči varno zaviranje pri stabilnem, vodljivem vozilu. Med delovanjem so v napravo proti blokiranju koles, vključeni trije ali štirje hidravlični krogotoki (vsak pa opremljen z dvema elektro-mehanskima ventiloma), ki delujejo v treh stopnjah:

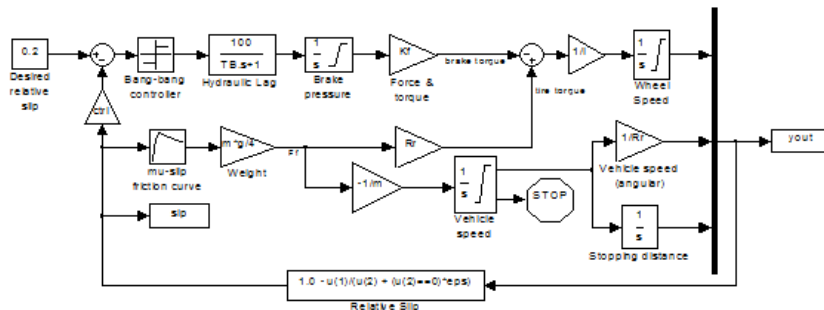
- *Zviševanje tlaka*: senzori zaznajo prosto vrtenje koles in pošljejo signal v ECU, takoj se odpre vodilni ventil, glavni zavorni cilinder je povezan z zavornim cilindrom na kolesu, v hidravličnem krogotoku tlak naraste, povratni ventil je zaprt.
- *Zniževanje tlaka*: senzor zazna, da je kolo začelo spodrsavati, ECU zapre vodilni ventil in odpre povratnega, da se tlak zavorne tekočine primerno zniža, s tem pa tudi možnost blokiranja koles, odvečna tekočina iz povratnega ventila se vrne v rezervoar.
- *Vzdrževanje tlaka*: ECU ugotovi, da se je tlak dovolj znižal in ni prišlo do blokiranja koles, zapre povratni ventil, glavni zavorni cilinder ni povezan s cilindrom na kolesu, tlak v sistemu ostane enak.

Sistem senzorjev je predviden spredaj za vsako kolo posebej in zadnji kolesni par skupaj. Lahko pa je tudi na vseh štirih kolesih.



Slika 4: Shema ABS sistema

V naslednjem je prikazan primer preprostega modeliranja ABS sistema. Na sliki 5 je prikazan bločni diagram ABS sistema (Valič, 2006; MATLAB priročnik). Model simulira dinamično obnašanje vozila pri močnem zaviranju. Model predpostavlja eno kolo, ki se lahko replicira večkrat, da se ustvari model za vozilo z več kolesi. Sistem meri kotno hitrost vozila (ω_v) in kotno hitrost kolesa (ω_w). Povratna informacija je zdrs $S = 1 - \omega_w / \omega_v$, ki ga sistem primerja s pred-nastavljeno (referenčno) vrednostjo ($S = S_0 = 0.2$ v prikazanem primeru).



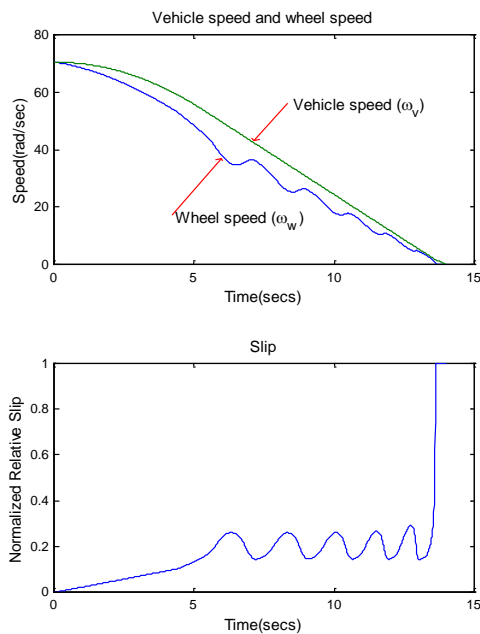
Slika 5: Bločni model ABS sistema

- Valič, M.I. (2006): *Regulacija in optimizacija prometnih sistemov*, Skripta-študijsko gradivo, FPP 2006;
- MATLAB (2012): *Modeling an Anti-Lock Braking System*, priročnik MATLAB6.5, Simulink – Demos-Automotive, Mathworks Inc. Dostopno na: <https://www.mathworks.com/help/simulink/examples/modeling-an-anti-lock-braking-system.html>

- MATLAB (*MATrix LABoratory*) - proceduralni programski jezik.
- SIMULINK je programski paket za modeliranje, simulacijo in analizo dinamičnih sistemov, ki podpira tako linearne kot nelinearne časovno-zvezne in diskretne sisteme. Za gradnjo modelov ponuja grafični uporabniški vmesnik, kjer s pomočjo miške bloke povezujemo v kompleksnejše diagrame. Vključuje bogato knjižnico signalnih virov in ponorov, linearnih in nelinearnih elementov ter konektorjev.

Na sliki 6 (zgoraj) je prikazan primer simulacije z naslednjimi podatki, ki se jih lahko razbere iz prikaza. V trenutku $t = 0$ je $\omega_w = \omega_v$ in $S = 0$. Od tega trenutka dalje kotna hitrost kolesa ω_w postaja manjša glede na kotno hitrost vozila ω_v . Zdrs pri tem narašča in pri $t \sim 6$ s prvič preseže vrednost S_0 . Sistem odreagira tako, da se zmanjšata zaviralna sila in moment na zavoro, s čemer se poveča hitrost kolesa. Opazna je tudi zakasnitev delovanja sistema za ~ 0.5 s. V končni fazi se vozilo po ~ 14 s ustavi. Nenadni skok v zdrs-čas diagramu pri $t \sim 13.5$ s je posledica natančnosti simulacije, ko se obe hitrosti približujeta vrednosti 0.

Vsakič, ko sistem deluje, voznik to občuti kot rahlo ali močnejše tresenje zavornega pedala (slika 6 zgoraj). Ta pojav voznika opozarja, da je vsaj eno kolo v blokiranem področju (stik s cestiščem v skrajni meji) in mora vožnjo prilagoditi nastalim razmeram. Delovanje sistema ABS ni odvisno od sile pritiska na zavorni pedal. Dejansko, pri nujnem zaviranju se priporoča, da se na zavorni pedal pritisne močno in neprekinjeno. Torej večkratno zaporedno pritiskanje pedala ni potrebno. Prednost ABS sistema in njegov prispevek k večji varnosti je v tem, da v primeru močnega zaviranja preprečuje blokiranje koles in omogoča ohraniti nadzor nad upravljanjem vozila, s tem pa tudi na smer vozila. Tako se lahko brez večjih težav voznik izogne nepredvidenim oviram na cesti. Poleg tega je pri tem sistemu krajša zavorna pot tudi takrat, ko je oprijem koles zmanjšan (mokra, zasnežena, spolzka cesta). Vendar, čeprav je sistem res učinkovit, pa v nobenem primeru ne povečuje zmogljivosti, vezanih na dejansko stopnjo oprijema pnevmatik glede na stanje cestišča. Voznik mora torej obvezno voziti z običajno previdnostjo (in upoštevati varnostno razdaljo, primerno hitrosti, še posebej v ovinkih ipd.). Dejstvo, da ta sistem ponuja večjo varnost, voznika ne sme navesti k še večjemu tveganju.



Slika 6: Primer simulacije ABS sistema; hitrosti vozila in kolesa (zgoraj), zdrs (spodaj)

V povzetku je podana primerjava učinkov zaviranja brez sistema ABS in z njim (slika 7):

Zaviranje brez sistema ABS: Vozilo pred vstopom v ovinek s preveliko hitrostjo, vozišče je mokro in spolzko, sledi panično zaviranje, katerega posledica je, da kolesa pričnejo spodrsavati in drseti. Kolesa med drsenjem niso zmožna poleg vzdolžnih sil (sil zaviranja) prenašati tudi prečnih sil (sile pri zaviranju). Voznik sicer reagira z zasukom krmila, a je drsenje kljub temu nenadzorovano, zavore so blokirane, vozilo se ne odzove in zdrsne z vozišča.

Zaviranje s sistemom ABS: Sistem ABS prepreči blokiranje koles pri nenadnem sunkovitem zaviranju, vozilo ne drsi, vozilo je vodljivo, voznik z zasukom krmila obdrži nadzor nad vozilom in pelje v želeni smeri. Pri polnem zaviranju s sistemom ABS se kolesa vrtijo in so sposobna prenašati tako vzdolžne kot prečne sile, zaradi česar je možen nadzor nad smerjo vožnje.



Slika 7: Simulacija učinka blokade koles z in brez ABS sistema

2. Sistemi kontrole pogonskih koles proti zdrsu

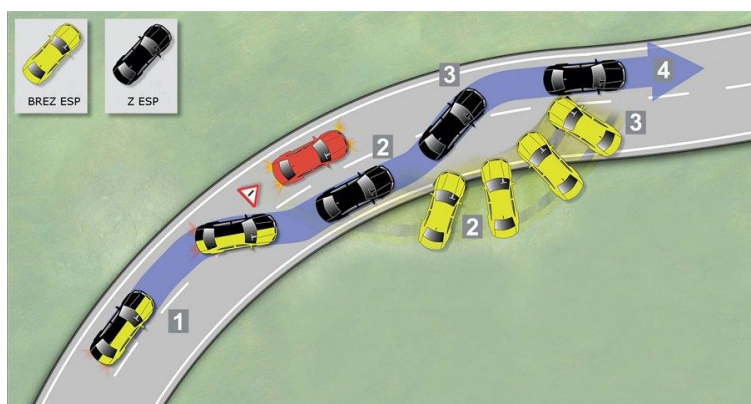
Kritične situacije pri vožnji z avtomobilom ne nastanejo le takrat, ko govorimo o zaviranju, ampak tudi pri zagonu, pri pospeševanju med normalno vožnjo, pri pospeševanju na spolzkih površinah in strminah, terin pri zaviranju. Navedene scenariji zahtevajo točno določeno reagiranje voznika, ki pa v večini primerov odreagira narobe. Tovrstne situacije lahko obvlada sistem regulacije proti zdrsu ASR (*Anti-Slip Regulation*), znan tudi kot sistem kontrole pogonskih koles proti drsenju TCS (*Traction Control System*).

Avtomobili oziroma njihovi motorji so vse zmogljivejši, več je navora in večja težava. Vse pogosteje se je začelo dogajati, da je ob pohojenem plinu, trenja pod kolesi premalo, da bi pogonska kolesa dobro poganjala avtomobil. ASR sistem omejuje podrsavanje pogonskih koles in nadzira vozilo pri zagonu in pospeševanju. Princip delovanja je naslednji. S pomočjo tipal na kolesih sistem neprestano meri in primerja hitrost pogonskih koles ter izračunava zdrs S. Če se kolo vrti v prazno, ASR sistem ukaže zaviranje kolesa, dokler hitrost vrtenja ne doseže stopnje, ko pride kolo ponovno v stik s cestiščem in je vozilo stabilno. Sistem tudi prilagaja število vrtljajev motorja stopnji oprijema koles s cestiščem, ne glede na to, kako močno voznik pritiska na plin. Funkcija se samodejno vklopi ob vključitvi kontakta. Skratka, sistem zavre tisto kolo, ki kaže znake, da bo zdrsnilo, ali pa zavre več koles, če govorimo o vozilih s pogonom na vsa štiri kolesa, in prilagodi oz. zmanjša motorni navor do stopnje, ki se lahko prenese na cestišče, vozilo pa ostane stabilno. ASR je v bistvu nadgradnja sistema ABS. Ko ASR ECU enota zazna drsenje, ukaže ABS ECU enoti, da ustrezno vrtenje zavre, kar vozniku dopušča lažnejšo vožnjo brez napetosti in zagotavlja, da vozilo ostaja vodljivo med pospeševanjem.

ASR je serijska oprema vseh novih avtomobilov. V večini primerov so izvedeni tako, da so ob zagonu motorja aktivni. Nekateri sistemi imajo gumb za izklop, nekateri pa se samodejno vklopijo, ko vozilo preseže določeno hitrost, po navadi okoli 50 km/h.

3. Elektronski sistem za nadzor stabilnosti vozila

Elektronski nadzor stabilnosti vozila ESC, tudi znan kot sistem ESP (*Electronic Stability Program*) ali sistem DCS (*Dynamic Stability Control*), je v vozilo vgrajena elektronska naprava, ki izboljša varnost stabilnosti vozila z zaznavo zdrsa in izgube nadzora nad volanom. Ko sistem ESC zazna izgubo nadzora nad volanom, avtomatično uporabi zavore, da pomaga krmiliti vozilo v smeri v katero voznik namerava. Zaviranje je torej avtomatično in se uporabi individualno na vsako od koles. Nekateri ESC sistemi tudi zmanjšajo moč motorja dokler se oblast nad vozilom ne povrne. Primer učinka delovanja je prikazan na sliki 8. Študije kažejo, da je vsaj 40 % prometnih nesreč s smrtnim izidom posledica zdrsa koles in da bi se s sistemom ESC lahko število nesreč zaradi zdrsa zmanjšalo do 80 % .



Slika 8: Shema vožnje mimo ovire brez/z ESP sistemom

ESC sistem vključuje napravo za beleženje odklona od (ravne) smeri YRC (*Yaw Rate Control*) vgrajeno v ABS sistemu. YRC pod-sistem uporablja več zelo občutljivih senzorjev, ki hitro zaznajo izgubo smeri vožnje in nadzora nad vozilom. ESC tako kar 25-krat na sekundo preveri položaj volana, podatek pa primerja z dejansko smerjo vožnje vozila. Ko pride do odstopanja in začne avtomobil nenadzorovano drseti, ESC posreduje informacijo ABS sistemu, ki z zaviranjem tistega kolesa vozilu popravi smer gibanja kar prepreči zdrs zadnjega dela vozila (prekrmiljenje). Na ta način ESC pomaga vozniku, da ponovno dobi nadzor nad avtomobilom in nadaljuje vožnjo v želeni smeri.

V mnoge ESC sisteme je vključen, poleg ABS, tudi sistem TCS. ABS omogoča upravljanje vozila tudi v primeru močnega zaviranja. TCS preprečuje podrsavanje koles ob pospeševanju in tako omogoča optimalen oprijem pnevmatik s podlago. Medtem ko ABS in TCS delujeta v smeri vožnje (vzdolžni smeri gibanja), pa ESC pomaga obvladovati premike v obeh smereh (vzdolžnih in prečnih).

B. OPISI IZBRANIH SISTEMOV

V nadaljevanju so opisani naslednji sistemi:

1. Sistemi za Mayday klice v sili;
2. ITS sistem za odpošiljanje sporočil o izredni razmerah
3. Sistem 'Drive-by-wire';
4. Sistemi za kontrolo hitrosti;
5. Avtomatska sekcijaska kontrola hitrosti;
6. Sekcijsko merjenje hitrosti v SLO;
7. Sistem za preprečevanje nesreč z ranljivimi udeleženci v prometu.

- **Sistemi za Mayday klice v sili** (*Emergency Mayday Systems*)
- **ITS sistem za odpošiljanje sporočil o izredni razmerah** (*ITS Mayday emergency dispatch system*)

Domena #8: Sistemi inteligentnih vozil; Pod-domena #8.5: Varnostna pripravljenost; Pod-pod-domena #8.5.1. Mayday

Domena #5: Storitve v izrednih razmerah; Pod-domena #5.1

Sistemi za Mayday klice v sili: 'Mayday' je mednarodno uporabljena proceduralna beseda klica za nujno pomoč, znak kot prošnja za pomoč z glasovnimi sporočili s pomočjo radijskih komunikacij. Uporablja se za signaliziranje življenjsko ogroženih situacij. Primarno jo uporabljajo pomorščaki in piloti, v nekaterih državah pa tudi policija, gasilci in transportne organizacije. Klic se vedno izvaja trikrat po vrsti (*Mayday Mayday Mayday*) z namenom preprečitve nesporazumov v komunikaciji na primer, da se ga pomotoma zamenja s kakšno podobno zvonečo frazo v šumnih pogojih ali, da se razlikuje dejanski Mayday klic od sporočila o Mayday klicu.

Mayday procedura izvira iz l. 1923. Za te potrebe letalstva so si izmislili besedo, ki bi nakazovala nevarnost in bila brez težav razumljiva za pilote in letališko tehnično osebje v primeru izrednega stanja. Ker je bil v tistem času letalski promet med Londonom in Parizom zelo velik, je bila predlagana beseda 'Mayday' iz francoskega 'm'aider', ('venez m'aider' s pomenom 'pridite mi pomagat'). Francoska izgovorjava izraza 'm'aider' je podobna izgovorjavi 'Mayday'. Pred glasovnim klicem 'Mayday' se je uporabljal radio-telegrafski SOS Morse kodiran klic

ITS sistem za odpošiljanje sporočil o izredni razmerah: Sistem vgrajen v vozilo uporablja tehnologijo za GPS lokacijo (brez ali z digitalnimi cestnimi kartami) in celularni telefon z dvostransko komunikacijo za nudenje pomoči voznikom in potnikom na širšem območju neke države v primeru izrednih situacij. Koristi: povečanje varnosti za potnike na avtocestah in zlasti v podeželskih (ruralnih) področjih. V nekaterih poročilih se navaja zmanjšanje odzivnega časa za reševanje tudi do 50 % in povečanje števila preživelih 7 % v povprečju.

- **Sistem 'Drive-by-wire'**

Domena #8: Sistemi inteligentnih vozil; Pod-domena #8.2: Avtomatska vožnja

Pripombe dodal [m1]:

Sistem 'Drive-by-wire': Sistem 'Drive-by-wire' (DbW), *Steer-by-wire* ali *X-by-wire* je tehnologija v avtomobilski industriji, ki se nanaša na uporabo električnih ali elektromehanskih sistemov za opravljanje funkcij v vozilu, ki se običajno izvajajo z mehanskimi povezavami (sklepnimi sestavi) in aktuatorji (sprožili). Ta tehnologija nadomešča tradicionalne mehanske kontrolne sisteme z elektronskimi kontrolnimi sistemi z uporabo elektromehanskih aktuatorjev in človek-stroj vmesniki (*Human-Machine Interfaces-HMI*) kot na primer posnemovalnik (emulator) za pedal in volan. Torej tradicionalne komponente kot so volanska kolona, vmesne gredi, črpalke, cevi, pasovi, hladilniki, vakumski servosistemi in glavni cilinder so odstranjene iz vozila. To je podobno kot sistemi *'fly-by-wire'* na veliko uporabljeni v letalski industriji. Primeri vključujejo elektronski sistem za dovod goriva (*electronic throttle system*) in sistem za elektronske zaviranje (*brake-by-wire*).

Prednosti:

- Izboljšani odzivni časi z eliminacijo mehanskih povezav;
- Povečana varnost z računalniško podprto intervencijo na kontrolne sisteme vozila s sistemi kot ESC (*Electronic Stability Control*), ACC (*Adaptive Cruise Control*) in LAS (*Lane Assist System*);
- Povečana ergonomija;
- Odprava mehanskih povezav lahko zmanjša težo vozila.

Slabe strani:

- Cena DbW sistemov je običajno večja od konvencionalnih sistemov. Vzroki temu so večja kompleksnost, razvojni stroški in čezmerni (redundantni) elementi, ki so potrebni, da je sistem varen.

Uporaba v osebnih vozilih:

- Elektronski vbrizg goriva (*Electronic fuel injection*) v dizel in bencinskih motorjih je danes na široko uporabljeno.
- Elektronski sistem za dovod goriva (*Electronic throttle system* ali *Throttle-by-wire*) se pri bencinskih motorjih na veliko uporablja.
- Čisto elektronske sistemi za zaviranje (*Electronic brake system* ali *Brake-by-wire*) in elektronski sistemi za upravljanje volana (*Electronic steering system* ali *Steer-by-wire*) še niso široko v uporabi. To je primarno zaradi pomembnih varnostnih posledic brez redundantne mehanske podpore (*back-up*) v primeru odpovedi DbW sistema. Čeprav je to tehnično izvedljivo z večkratnimi redundantnimi elektronskimi sistemi (kot v primeru *'Fly-by-wire'* v letalih), so dodatni stroški in zahteve po vzdrževanju za enkrat preveliki, da bi bili komercialno kompetentni.
- Elektronski sistem za menjavo prestave (*Electronic shift system*, *Shift-by-wire*)

- **Sistemi za kontrolo hitrosti**
- **Avtomatska sekcijska kontrola hitrosti** (*Automatic Section Speed Control*)

Domena #7: Kontrola prometa; pod-domena #7.1

Domena #3: Upoštevanje zakonov in predpisov; pod-domena #3.1

Sistemi za kontrolo hitrosti: Nadzor upoštevanja prometnih predpisov v Sloveniji in v tujini opravlja policija oziroma avtomatski nadzorni sistemi s kaznovalnimi ali preventivnimi učinki (npr. fotografiranje, opozorila). Osnovni namen uporabe sistema nadzora prometa v policiji je:

- povečati učinkovitost nadzorstvene funkcije policije na cestah;
- preventivni nameni;
- povečati pričakovanje potencialnih cestno-prometnih kršiteljev, da bodo ob storitvi prekrška odkriti in kaznovani;
- povečati policijske aktivnosti na področjih, kjer je bila do sedaj, zaradi tehnične opreme in težav z dokazovanjem, omejena (npr. vožnja na prekratki varnostni razdalji, prehitevanje po desni strani na AC in HC, kršitve voznikov in pešcev na prehodih za pešce v ne-semaforiziranih križiščih, ipd.);
- povečati policijski nadzor na slovenskem cestnem križu in na prometno najbolj izpostavljenih odsekih slovenskih cest in mestnih ulic.

Poznani so naslednji sistemi kontrole upoštevanja prometnih predpisov:

- mobilni radarski in laserski merilniki,
- mobilni video nadzor (sistem PROVIDA, slika 3 in 4),
- stacionarni video nadzor,
- sistem umirjanja prometa s pomočjo opozoril,
- sistem umirjanja prometa z aktivnim vplivom na hitrost vozila;
- merjenje hitrosti na cestnem odseku.



Slika 3: Komponente sistema PROVIDA in namestitve v avtomobilu

Legenda: Daljinska kontrola (1), CCD barvna kamera (2), LCD monitor, videorekorder (4)

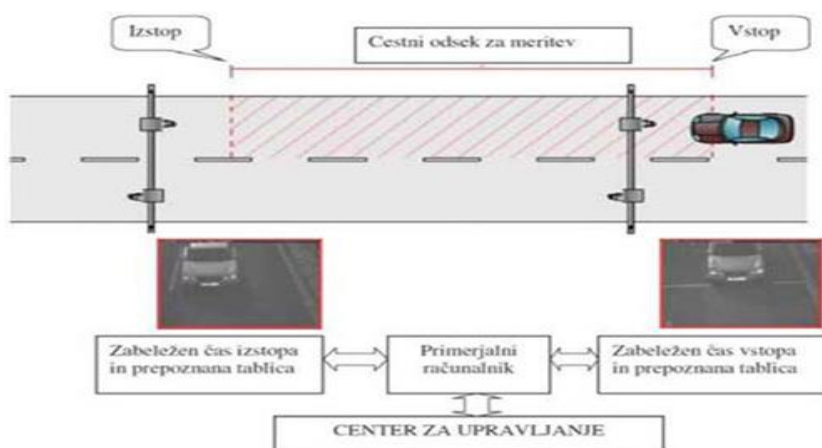


Slika 4: Primer posnetka s PROVIDO

Avtomatska sekcijnska kontrola hitrosti: Pri avtomatski kontroli hitrosti (*Automatic Speed Control* - ASC) se uporablja 'hitrostne' kamere za kontrolo hitrosti na neki točki ceste (znano tudi kot točkovno uveljavljanje hitrosti SSE (*Spot Speed Enforcement*)). Tu se meri ti. točkovna hitrost V_t . Pri sekcijnski kontroli hitrosti (*Automatic Section Speed Control* - ASSC) se uporablja dve povezani hitrostni kameri za merjenje povprečne hitrosti med dvema kamerama osnovanih na razdalji deljeni s časom prevoza. Tu se meri ti. prostorska hitrost V_s .

Opomba: Ta hitrost nastopa v osnovnih enačbah prometnega toka!

Pri merjenju hitrosti na cestnem odseku gre za merjenje povprečne hitrosti (prostorske hitrosti) znotraj vstopne in izstopne točke na določenem odseku (slika 1). Sistem deluje na principu prepoznave vozila v vstopni točki A (fotografira registrsko tablico vozila, določi obliko vozila in zabeleži čas vstopa vozila v odsek) in detekcije vozila v izstopni točki B (fotografira tablico vozila in zabeleži čas izstopa vozila iz odseka). Sistem nato izračuna povprečno hitrost in, če je ta prekoračena, poišče podatke o vozilu, kar se nato uporabi pri izdaji plačilnega naloga. Na sliki 2 je prikazan primer kamere, ki se uporablja v sistemu za merjenje hitrosti na cestnem odseku.



Slika 1: Sistem merjenja hitrosti na cestnem odseku



Slika 2: Kamera za sistem merjenja hitrosti na cestnem odseku

Prednosti metode:

- avtomatska, stalno prisotna;
- zavedanje voznikov, da vozijo znotraj odseka, kjer se izvaja meritev povprečne hitrosti, deluje zelo preventivno;
- z vidika nadzora hitrosti je metoda bolj učinkovita, ker se hitrost nadzoruje na daljšem odseku.

Metoda je relativno nova. Teh aplikacij je že veliko, zlasti na Norveškem, Švici in Franciji na odprti avtocesti in predvsem daljših predorih. Tehnike se v podrobnostih sicer razlikujejo, namen pa je vedno isti. V Sloveniji ta metoda se še ne uporablja.

Podrobneje je opisan primer implementacije takega sistema v bližnji Avstriji. Opisan ni samo način delovanja ampak tudi povzeti nekateri podatki o uspešnosti sistema.

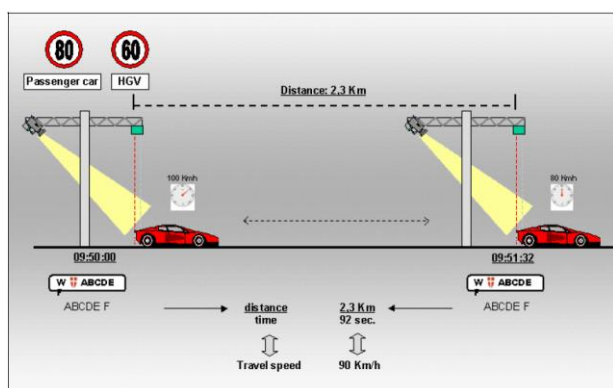
Primer: *Predor Kaisermühlen* v urbanem območju Dunaja na avtocesti A22, ki je ena od najbolj prometnih: PDP = 92000 vozil (od tega 10 % tovornih), dolžina 2.3 km, število voznih pasov na smer 3-4. Omejitve hitrosti: 80 km/h za osebna vozila, avtobuse in motoriste, 60 km/h za težka tovarna vozila.

Problem, ki naj ga sistem rešuje so prometne nesreče zaradi čezmerne hitrosti, v konkretnem primeru v predoru. Koristi so zmanjšanje prometnih nesreč in emisij zaradi prometa. Tekoče stroške sistema krijejo prihodki iz naslova kazni kršiteljev hitrosti. Tradicionalne ročne in stacionarne metode za zbiranje podatkov o hitrostnih prekrškari so po učinku omejene in zahtevajo veliko človeških virov. Sistemi za avtomatsko kontrolo hitrosti (*Systems for automatic speed enforcement*) med katere sodi tudi sekcijska kontrola hitrosti so namenjeni odkrivanju in identifikaciji kršiteljev brez prisotnosti policije. Identifikacija bazira na fotografijah vozila ali voznika.

Sistem za kontrolo hitrosti na odseku *SSC* se sestoji iz dveh enakih naprav za vsako smer vožnje. Video detekcija se izvaja optično. Video sistem je postavljen nad cesto na portalu (ena kamera nad

vsakega od treh pasov) zajema dve sliki za vsako mimo vozeče vozilo, eno na začetku predora in drugo izhodu iz predora (slika 3). Te slike služijo za beleženje detajlov dogodka (čas trajanja prevoza, uporaba voznega pasu) in registrske številke. Zraven video sistema je postavljen laserski skener programiran tako, da razlikuje med osebnimi in tovornimi vozili. Sistem kontinuirano gleda za dve ujemajoči registrski tablici. Če zazna ujemanje, izračuna povprečno hitrost. Če je ta prekoračena nad določeno vrednost, se slika registrske tablice odpošlje v prometni nadzorni center. Informacija se uporabi, da s pomočjo nacionalne baze podatkov vozil in baze o registrskih tablicah poišče lastnika vozila. Podatki o vozilih, ki ne presežejo nastavljenih hitrostnih mej (plus majhna toleranca) se takoj brišejo.

Sistem deluje do hitrosti 250 km/h in pri maksimalnih pretoki do 2 vozili/s/pas. Detekcija vozil je neodvisna od položaja vozila na ali med voznimi pasovi.



Slika 3: Shema sekcijske kontrole hitrosti v predoru Kaisermühlen

Drugo:

- Zaznavanje različnih hitrostnih omejitev, ki veljajo za različne razrede vozil;
- Nadzor zaprtih voznih pasov;
- Detekcija voženj v nasprotno smer;
- Proženje slik (vključno s proženjem alarmov);
- Detekcija ukradenih vozil;
- Nadzor prometa (za operaterja predora);
- Zbiranje statistični podatki (hitrost vozil, število vozil, presledek med vozili);

Po prvem letu obratovanja sistema, doba opazovanja 13.09.2003 – 27.08.2004, je bila izvedena temeljita analiza sistema. Nekateri rezultati te analiza so:

- Učinek sistema na povprečno hitrost: zmanjšala za več kot 10 km/h (za osebna in tovorna).
- Stroški postavitve: 1.200.000 €, stroški vzdrževanja 60.000 €/letno.
- Zmanjšanje onesnaževanja (CO, NO_x, SO₂, PM10, VOC, CO₂); podani so izračuni!
- Velik učinek na prometne nesreče (tabela 1 in 2);

Tabela 1: Varnostni učinek ASSC na resnost nastanka prometnih nesreč

	Odds ratio	Safety effect [%]
Injury accidents	0.67	-33.3
Fatal and serious injuries	0.51	-48.8
Slightly injured	0.68	-32.2

Tabela 2: Ocena prihrankov v številu nesreč in resnosti poškodb zaradi ASSC

Category	Amount of savings	€ per unit (2002-price)	Cumulated value
Fatalities	1	949,897	949,897
Seriously injured	1	51,439	51,439
Slightly injured	3	4,359	13,077
Property damage	2	5,745	11,490
Total			1,025,903

- Prihodki zaradi kršiteljev hitrosti (tabela 3 in 4):

Tabela 3: Število kršitev v predoru

	Vehicles passing the Section Control	Fines		
		Passenger cars	HGV	All vehicles
Heading south (A23)	13,450,345	19,162	951	20,113
Heading north (Stockerau)	15,973,473	19,558	1,210	20,768
Total	29,423,818	38,720	2,161	40,881

Tabela 4: Prihodki zaradi čezmerne hitrosti

	Fine	Violators	Revenues due to speed violation
0 – 9 km/h	€ 21	16,176	339,696
10 – 19 km/h	€ 42	22,048	926,016
20 – 29 km/h	€ 56	2083	116,648
30 – 39 km/h	€ 70	409	28,630
40 – 50 km/h	€ 140	119	16,660
Total		40,881	1,427,650

- Stroški/koristi; izsledki CBA (*Cost/Benefit-Analysis*):

Tabela 6: Sedanja vrednost koristi in stroškov v € (2002-cena) zaradi ASSC

Components of the CBA	Benefits	Costs
Road traffic emissions	79,108	
Accident costs	1,025,903	
Installation and maintenance costs		207,949
Total	1,105,011	207,949

CBR (*Cost/Benefit-Ratio*) je definiran kot:

$$CBR = \frac{\text{Sedanja vrednost vseh koristi}}{\text{Sedanja vrednost stroškov implementacije}}$$

V danem primeru CBR = 5.3

[1] Stefan C.: Section control-Automated speed enforcement in the Kaisermühlen tunnel (Vienna, A22 Motorway), Kuratorium für Verkehrssic

- **Sekcijsko merjenje hitrosti v SLO**

Poskusno začetek oktobra 2016, zares 30/1/2017.

Trojanski merilec hitrosti, ki ga je DARS dobil le na preizkušnjo, so morali zaradi okvare umakniti. Kljub številnim težavam, pa je bil učinek sekcijskega merjenja dober. V manj kot letu dni je namreč ujel okoli 7000 prehitrih voznikov, število nesreč pa se je na tem odseku prepolovilo. Dnevno sicer ujamejo okoli 200 prehitrih voznikov, kršitve pa so večinoma manjše.



Slika 4: ANPR kamera na portali na A1, smer Vransko-Blagovica

Načrtovane postavitve (skupaj 7):

Štajerski AC krak:

- A1 smer Ljubljana na odseku Vransko-Blagovica - predvidoma v drugi polovici 2018.
- A1 smer Maribor na odseku Blagovica-Vransko - predvidoma v drugi polovici 2018.
- A1 smer Ljubljana na širšem območju Celja med priključkoma Dramlje in Arja vas – začetek predvidoma po 30. juniju 2019.

Dolenjski AC krak:

- A2 smer Novo mesto na višnjegorskem klancu na odseku Grosuplje-Ivančna Gorica – začetek predvidoma po 31. decembru 2018.

Pripombe dodal [m2]:

Primorski AC krak:

- A1 smer Koper med priključkom Logatec in viaduktom Ravbarkomanda – po 31. decembru 2018.
- A1 smer Koper med priključkom Brezovica in Vrhnika – predvidoma po 30. juniju 2019.
- A1 smer Ljubljana med priključkom Vrhnika in Brezovica - predvidoma po 30. juniju 2019.

Uporaba sistema 3M ANPR:

- Sistemi za merjenje potovalnih časov JTMS (*Journey Time Measurement System*);
- Sistemi za ugotavljanje kršiteljev omejitev hitrosti (*Average Speed Enforcement*);
- Sistemi za ugotavljanje kršiteljev neplačevanja pristojbin za zastoje (*Congestion Charging*);
- Sistemi za ugotavljanje kršiteljev neplačevanja pristojbin za izpuste (*Emission Charging*);
- Policijski nadzor (*Police Surveillance*);
- Sistemi za nadzor parkirnih mest in dostopov (*Parking & Access Control*).

Važnejše lastnosti za '3M™ Dual Lane HD ANPR' kamero:

- Časovna baza: stabilna kvarčna ura časovno zaklenjena (*time-locked*) z GPS časom;
- Lokalno lahko shrani ~ 10.000 dokaznih zapisov;
- 24/7 delovanje za uveljavljanje kršitev hitrosti od 20 mph in navzgor;
- Resolucija 2048 x 720 pikslov (IR kanal in barvni kanal);
- Število polj: 50/s (pri največji resoluciji);
- V ohišju so integrirani kamera(i), iluminator in slikovni procesor velike hitrosti;
- Domet iluminatorja: 31.5 m, valovne dolžne (850, 940, 810, 750) nm;
- Horizontalno pokrivanje vozne steze: 2.6 m;

B. SISTEM ZA PREPREČEVANJE NESREČ Z VRU UDELEŽENCI V PROMETU

Domena #8: Sistemi inteligentnih vozil (opisani sistem se dotika vseh pod-domen)

V naslednjem je prikazan izbrani **Sistem za preprečevanje nesreč z ranljivimi udeleženci v prometu** (*Vulnerable Road Users - VRU*) razvit v okviru projekta *WATCH-OVER (Vehicle-to-Vulnerable road user cooperative communication and sensing technologies to improve transport safety)*.

Projekt je osredotočen na ogromno število prometnih nezgod v katerih so udeleženci ranljivi udeleženci v prometu VRU kot so pešci, kolesarji, mopedisti in motoristi. Po podatkih iz OECD podatkovne baze je v cestnih prometnih nesrečah v l. 2002 umrlo 15.000 pešcev, kolesarjev in motoristov, kar predstavlja 1/3 vseh smrtnih žrtev. Statistika tudi kaže, da je vsako leto ranjenih blizu 150.000 pešcev in 6.000 smrtnih žrtev v prometnih nesrečah v urbanih območjih.

Cilj projekta je dizajn, razvoj in konstrukcija učinkovitega, ne preveč dragega, kooperativnega sistema Vozilo-VRU na osnovi sodobnih komunikacijskih tehnologij (slika 1). Sistem naj bi preprečeval prometne nesreče v katerih so VRU udeleženci iz urbanih in med-urbanih območij.

Do začetka tega projekta, trajanje od 2006-2008, dotedanje tehnologije niso 'videle' za ovirami in imajo omejen pogled (*vision*) na prečna in vzdolžna območja na cesti pred voznikom, kar omejuje operativne scenarije sistema. Dejansko, največja težava v detekciji VRU uporabnikov je omejena vidnost voznikov osebnih ter tovornih vozil in ITS sistemov osnovanih s senzorji v vozilu. Dodatno, kompleksnost nevarnih scenarijev vključuje večje število primerov, v katerih VRU uporabniki nenadoma pridejo iz nekega območja, ki ga zakriva bodisi infrastruktura ali druga vozila. Noben od

zgolj senzorsko osnovanih sistemov v vozilu ne zmore preventivne detekcije v vseh različnih scenarijih. Trije predhodno, EU financirani projekti v EU so PROTECTOR, SAVE-U (*Sensors and systems Architecture for Vulnerable road Users*) [3] in MAIDS (*Motocycle Accidents In Depth Study*). Glavni namen navedenih iniciativ je bil raziskava v smislu tehnološke izvedljivosti sistemov osnovanih na senzorjih v vozilu (*In-vehicle sensor based systems*). V projektih so bile vrednotene različne tehnologije: MW radar, laser, NIR in FIR (mono in stereo) kamer. Končni zaključek teh raziskav je, da so navedene tehnologije uporabne za tiste scenarije v katerih VRU uporabniki niso zakriti z ovirami ali se ne nahajajo v mrtvem kotu (*blind area*) senzorjev.



Slika 1: WATCH-OVER koncept shematično

Koncept WATCH-OVER projekta se osredotoča na kooperaciji med modulom v vozilu in modulom v objektih, ki ga nosijo (čelada, čevlji, ura) ali montirani na motorji. Konstrukcija sistema predvideva uporabo najobetavnejše komunikacijske tehnologije v kombinaciji z najobetavnejšo tehnologijo senzorskega vida za pokrivanje najbolj kritičnih scenarijev (slika 2).



Slika 2: Primeri zelo nevarnih scenarijev za WATCH-OVER sistem

Potencialno nevarni cestni scenariji za VRU uporabnike

Zaključki analiz predhodnih raziskav so:

- Pešci predstavljajo drugo največjo skupino udeležencev v prometnih nesrečah povsod po svetu (za potniki v vozilu). Kolesarji in motoristi zavzemajo tretje mesto.
- So-udeleženci (nasprotni udeleženci) pri trkih v Evropi so v veliki večini osebna vozila. Za kolesarje je prisotnost osebnih vozil je manjša. Zajetni del je takšnih v katerih je so-udeleženec lahko tovorno vozilo kot nasprotnik pri trku.
- Večina prometnih nesreč s pešci se zgodi pri hitrostih pod 50 km/h. Hitrostni interval, kjer bi se dalo doseči največ izboljšav glede števila poškodb pešcev, je 30-50 km/h. Hitrosti pri

trkih s kolesarji kot udeležencih je nekoliko višja.

- Velika večina nesreč s pešci se zgodi v dnevnih pogojih. Pomembna manjšina nesreč s smrtnim izidom se zgodi v nočnem času. Združeni podatki iz Evrope in ZDA kažejo razlike glede vpliva svetlobnih pogojev.
- Velika večina 'ne-motorističnih' nesreč se zgodi v normalnih (suha cesta) vremenskih pogojih.
- Velika večina nesreč s pešci se zgodi v urbanih območjih. Relevantnost nesreč s smrtnim izidom na podeželju je povečana.
- Križišča predstavljajo manjšino prometnih nesreč s pešci in kolesarji.
- Velika večina nesreč s pešci in kolesarji se dogaja z vozilom, ki več ali manj vozi naravnost (tj. ne zavija ali vozi vzvratno).

Za aplikacijo projekta je potrebna identifikacij vseh relevantnih cestnih scenarijev in vseh relevantnih uporabnih primerov. Začetna faza je torej seznam scenarijev izbranih iz analiz prometnih nesreč na razpolago iz preteklih raziskav in statističnih podatkov o poškodbah in smrtnih primerov, ki so se zgodile uporabnikom cest. Iz tega seznama se naredi prvi niz scenarijev pred trkom (*'pre-crash' scenario*) najbolj relevantnih za VRU uporabnike in niz relevantnih parametrov, ki so potrebni za začetno snovanje WATCH-OVER sistema. Ker je teh preveč, se naredi ožja izbira scenarijev in značilnih parametrov. Med temi so: konfiguracija nesreče, nasprotnik pri trku, hitrost pri trku, čas dneva, vremenski in cestni pogoji, lokacija nesreče, prva kontaktna točka, grupa starosti. Na sliki 11 je prikazanih nekaj primerov nanizanih po prioriteti in osebnim vozilom kot nasprotnik [4, 6].

Scenarij #1: Pešec (ali kolesar), ki prečka cesto.

Scenarij #2: Vozilo na križišču zavija desno, kolesar prečka cesto iz desne na levo stran.

Scenarij #3: Motor trči z leve v vozilo na križišču.

Scenarij #4: Pešec (ali kolesar) prečka cesto, ki je zasedena s parkiranimi ali ustavljenimi vozili ali drugimi ovirami.

Scenarij #5: Kolesar in vozilo potujeta v nasprotni smeri, vozilo zavija levo pred motorjem.

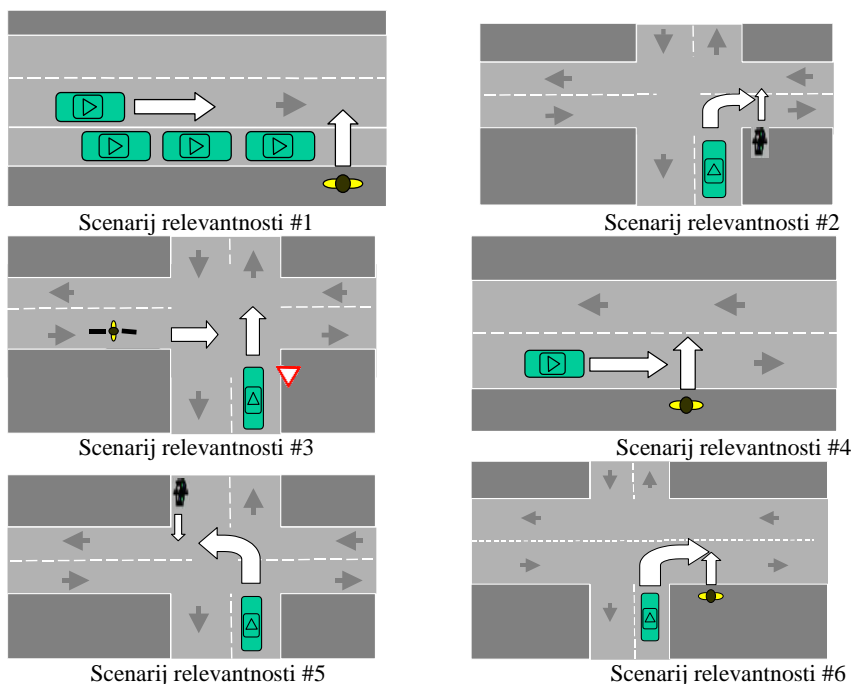
Scenarij #6: Vozilo na križišču zavija desno, pešec prečka cesto iz desne na levo stran.

Zahteve za sistem

Zahteve in omejitve za celotni sistem narekujejo naslednje osnovno vprašanje: kakšna je minimalna med vozilom in VRU uporabnikom pri kateri se vozilo lahko ustavi, če se mu poda trenutno hitrost. Ta minimalna razdalja določa minimalne performace detekcijskega sistema. Na osnovi zelo obsežnih analiz predhodnih raziskav so bile definirane osnovne zahteve za pravočasnost reagiranja sistema in za razdalj, ki jih mora pokrivati uporabljeni sistem lokalizacije. Fizikalni parametri, ki so del specifikacij za sistem, če naj bo uspešen, so:

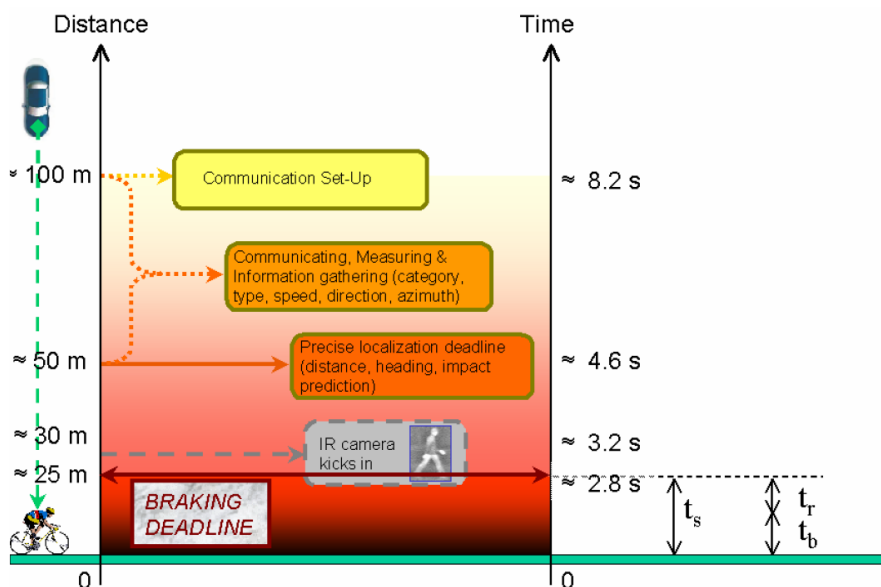
- urbani promet, maksimalna hitrost $v = 50 \text{ km/h}$ (14 ms^{-1});
- reakcijski (odzivni) čas človeka $t_r = 0.5 \dots 1 \text{ s}$ (lahko je še manjša, navedena ocena postavlja sistem na bolj varno stran).
- zavorna razdalja $s_b = 25 \text{ m}$ (dobra cesta, dobre gume, upoštevan reakcijski čas)
- maksimalen zanesljiv doseg za odkrivanje in sledenje človeške oblike je 30 m (z uporabo planirane IR kamere);

- kot pogleda IR kamere v horizontalni ravnini $\Delta \approx 60^\circ$;
- frame rate (število slik/s) IR kamere je 25 Hz, to je 40 ms za sliko;
- dolžina ustavljanja: $s_s = s_r + s_b$ (reakcijska razdalja + zavorna razdalja);
- čas ustavljanja: $t_s = t_r + t_b$ (reakcijski čas + zavorni čas);
- zavorni pojemek v primeru nuje: $a_e = 7.72 \text{ ms}^{-2}$;



Slika 11: Primeri potencialno nevarnih scenarijev po prioriteti

Celotna situacija je predstavljena na sliki 3. To pomeni, da ima IR kamera z dosegom $\approx 25 \text{ m}$ na razpolago nekaj desetink sekunde za identifikacijo VRU uporabnika in generiranje opozorilnega signala vozniku, da se izogne trku v najslabši situaciji. Zato je potrebna zgodnejša podpora z nekim lokalizacijskim sistemom pri razdalji vsaj $\approx 50 \text{ m}$, da bi bilo na razpolago vsaj še dodatne $1,5 \text{ s}$ za zanesljivo detekcijo. Za sistem lokalizacije v vozilu obstajajo tipične omejitve zaradi fizičnih dimenzij vozila. Za lokalizacijo se običajno uporablja traingulacijska metoda in princip zlivanja podatkov (*data fusion*) iz IR kamere in lokalizacijskega sistema. To pripelje do definicije interesnega območja ROI (*Region Of Interest*) v sliki kamere, ki vsebuje zanimive objekte, npr., VRU uporabnike. To zmanjšano območje omogoča bistveno hitrejšo in bolj zanesljivo detekcijo VRU in prepoznavanje možnih nevarnih situacij. Končno, informacija o razdalji med vozilom in VRU prispeva več zaupanja v oceni dejanske prometne situacije in omogoča relativno preciznejši izračun časa do morebitnega trka, da generira opozorilni signal.



Slika 3: Osnovni podatki za pravočasnost reagiranja in razdalj za sistem lokalizacije

Tehnologije za precizno prostorsko lokalizacijo VRU udeležencev

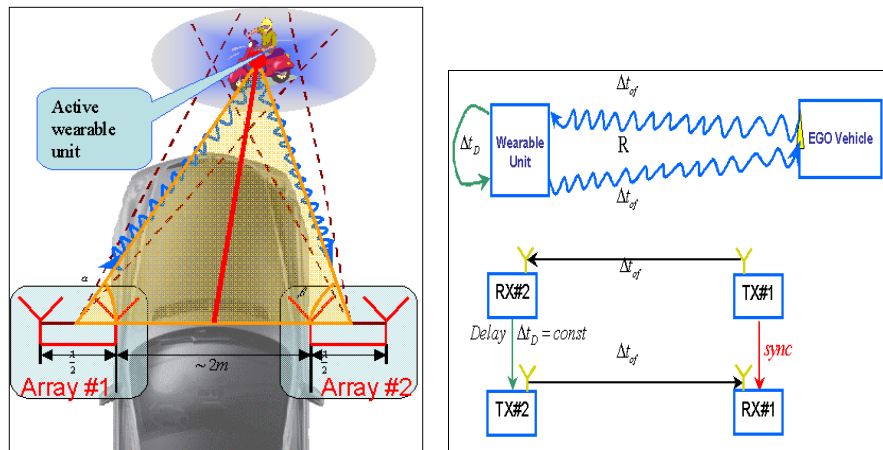
Merilnih principov za sistem lokalizacije je več (slika 3a):

- merjenje kota prihoda AoA (*Angle of Arrival*);
- merjenje jakosti prejetega signala;
- merjenja osnovana na časovnem širjenju (*propagation time based*):
 - časa prihoda ToA (*Time of Arrival*);
 - celotnega časa RToA (*Round Trip Time of Arrival*);
 - časovne razlike prihoda TDoA (*Time Difference of Arrival*).

Za koncipiranje WATCH-OVER sistema sta se v ožji izbor uvrstila dve tehniki:

- merjenje kota prihoda AoA;
- merjenje časovne razlike prihoda TDoA.

S tehniko AoA (slika 4, levo) se določa smer razširjanja RF vala, ki pade na antenski niz (*antenna array*). Po tej tehniki se smer izračuna z merjenjem časovne razlike prihoda TDoA vala na posamezne elemente antenskega niza. Zakasnitev prihoda na vsak element se meri direktno. S podatki zakasnitev se izračuna AoA



Slika 4: Princip AoA tehnike (levo) in ToF tehnike (desno)

Tehnika ToF (slika 4, desno) je zelo enostavna toda učinkovita rešitev. V osnovi sistem periodično pošilja pulze (signale) in čaka na sprejem odmeva od Rx-Tx enote in meri čas Δt_R , ki ga signal potrebuje za pot tja in nazaj, upoštevajoč znano stalno zakasnitev Δt_D in znano hitrost RF valov. Odzivni čas Δt_R in doseg R sta podana z enačbama:

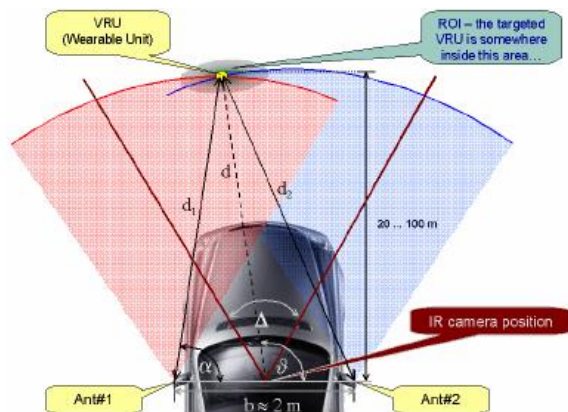
$$\Delta t_R = 2 \Delta t_{of} + \Delta t_D \quad ; \quad R = c \frac{\Delta t_R - \Delta t_D}{2}$$

Ker ni zahtev po zahtevnem signalnem procesiranju na strani transponderja (prenosna enota) ToF tehnika predstavlja cenovno ugodno rešitev in enostavnost njene proizvodnje.

Triangulacijska metoda za izračun položaja VRU, to je položaja prenosne enote (*wearable unit*) potrebuje vsaj dve referenčni točki z znanim položajem med njima. Natančnost informacije o položaju se poveča z naraščanjem razdalje med referenčnima točkama. Za uporabljeno metodo lokalizacije sta za montažo komunikacijskih naprav izbrani vzvratni ogledali (Ant#1 in Ant#2 na slikah 4 in 5). S tem je maksimalna razdalja med referenčnima točkama b za tipičen avto ≈ 2 m. IR kamero se postavi na sredino med zrcaloma. Rezultat lokalizacijskega procesa je ocena razdalje d in smernega kota vožnje θ glede na položaj IR kamere. Ker imajo slike objektov 2D obliko in zaradi merilnih napak za oba parametra, eksakten geometrijska lokacija ciljnega objekta (tarče) je razširjena v interesno območje ROI (*Region Of Interest*).

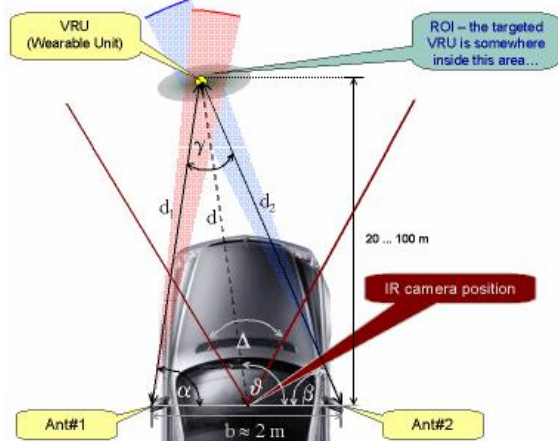
Obstajata dve osnovni metodi triangulacije:

- merjenje razdalj (slika 5);
- merjenje kotov (slika 6).



Slika 5: Razporeditev lokalizacijskega sistema za metodo merjenja razdalje

Meritev kotov α in β med prihajajočim EM valom, ki ga generira prenosna enota odzivnega VRU in osnovno črto in izračun razdalje d in smernega kota ϑ . Princip izračuna je prikazan na sliki 6.



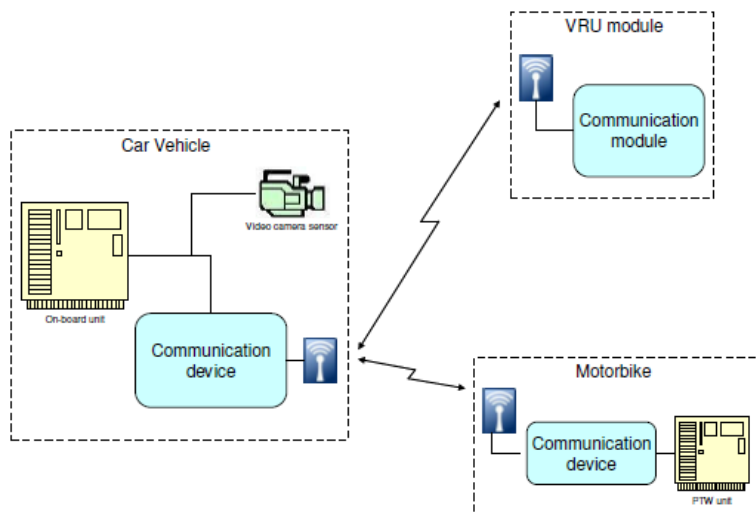
Slika 6: Razporeditev lokalizacijskega sistema za metodo merjenja kotov

Okvirna arhitektura in delovanje sistema

Shema okvirne arhitekture WATCH-OVER sistema:

- Vozilo opremljeno s senzorskim vidom, komunikacijsko napravo (sčasoma z GPS modulom za absolutno lokacijo in OBI enoto, ki izvaja postopek združevanja podatkov (*data fusion*) in ocenjuje relativni položaj objektov.
- Motor (ali moped) je opremljen s komunikacijsko napravo (sčasoma GNSS sprejemnik) in OBI enoto, ki lahko zbira in hrani informacijo okoliškega prometnega toka.

- VRU (pešec ali kolesar) sta opremljena s prenosnim komunikacijskim modulom za njegovo prepoznavo iz WATCH.OVER vozila.



Slika 7: Shema okvirne arhitekture WATCH-OVER sistema

Za brezžično komunikacijo kratkega dosegaja je izmed (WLAN, WPAN, Bluetooth, RFID, UWB) bila izbrana CSS (*Chirp Spread Spectrum*) tehnika in standard IEEE802.15.4a.

CSS tehnika deluje na frekvenci 2.45 GHz. Vsak simbol se prenaša s 'chirp' pulzom. Chirp je signal v katerem frekvenca s časom narašča (*up-chirp*) ali zmanjšuje (*down-chirp*). Je zelo uporabna v sonarskih in radarskih sistemih, ima pa tudi druge aplikacije kot na primer v 'spread spectrum' komunikacijah. Ti signali so znani tudi v naravi (delfini in netopirji).

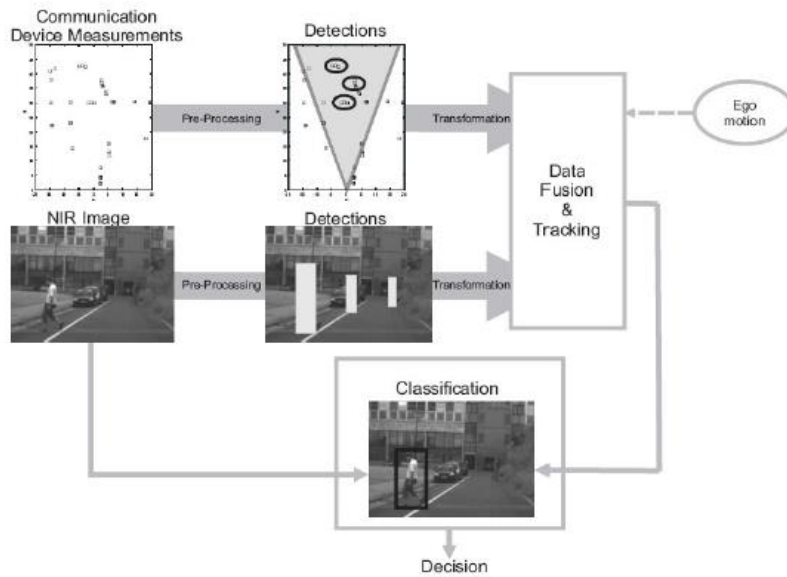
LFM *Linear Frequency Modulated pulse*

V pulzih je shranjena informacija!

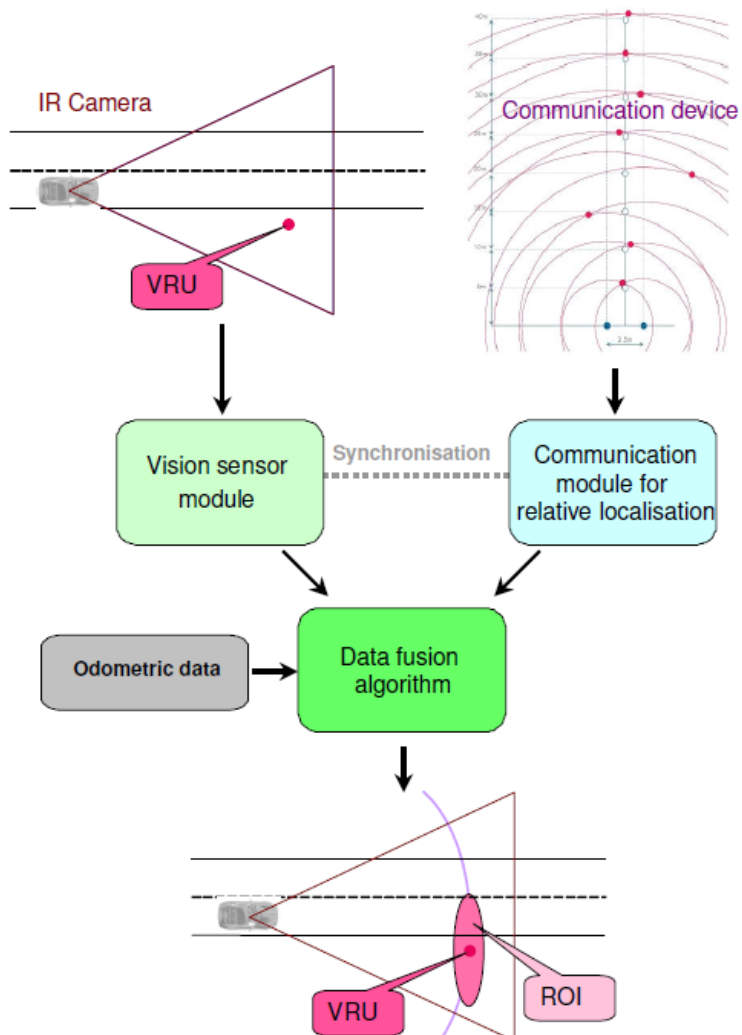
Za senzorski del vida ja bila izbrana NIR (*near infra-red*) kamera z aktivnim IR osvetljevanjem, da se doseže dnevno/nočno delovanje. Cilj je občutno zmanjšanje število zaznav lažnih potencialnih ovir. Na sliki 8 je prikazana NIR več namenska kamera podjetja Bosch GmbH.



Slika 8: Več namenska NIR kamera podjetja Bosch GmbH.



Slika 9: WATCH-OVER princip združevanje podatkov



Slika 10: WATCH-OVER združevanje podatkov za VRU detekcijo

Viri:

1. WATCH-OVER project web site: www.watchover-eu.org;
2. "ITS 2006 WATCH-OVER FINAL", *ibid.*;
3. [SAVE-U2005] SAVE-U homepage: <http://www.save-u.org/>
4. Šeat F., Valič M.I., Neubert U.: 'WATCH-OVER' ITS project: *Vehicle-to Vulnerable road users cooperative system to improve transport safety*, ICTS 2006;
5. WATCH-OVER: *System architecture and functional specifications*, Deliverable D3.1