

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Avtor: IGOR ALFIREVIĆ

**PROTOTIPNI MODEL SISTEMA
ELEKTRONSKEGA CESTNINJENJA
MAGISTRSKO DELO**

Mentor: prof. dr. DENIS TRČEK

LJUBLJANA, SEPTEMBER 2008

Zahvala

Mentorju, prof. dr. Trček Denisu, ki me je pri nastajanju tega dela spodbudno vodil in usmerjal z nasveti.

Marc Miroslavu, ki mi je v veliki meri pomagal pri oblikovanju ciljev in njihovi skladnosti z evropskimi direktivami.

Omahen Alešu za nesebično pomoč s področja namenskih (embedded) sistemov s čimer me je ničkolikokrat rešil mukotrpnega iskanja rešitve.

Urši Gros, ki je pregledala nalogo s tehničnega in slovničnega vidika, ter jo komentirala z: *"Nikoli ne boš pisatelj, kvečjemu abstraktni pesnik"*.

Celotni družini, ki me je podpirala in me venomer spraševala kdaj bom končal.

Marjetki Jamnik za goro sendvičev, kavic in sokov brez katerih bi bila izdelava te naloge veliko težja.

Hvala tudi vsem vam, ki sem vas pozabil omeniti vendar ste me podpirali, mi odgovarjali na vprašanja, ter mi pomagali pri razumevanju različnih problematik.

Kazalo

1	Povzetek	1
2	Abstract	2
3	Uvod	3
4	Opis sistema	5
5	Poslovni proces	8
5.1	Vloge	8
5.2	Navidezne točke	12
5.3	Tarifne sheme	15
5.4	Cestninski razredi	16
5.5	Nalaganje podatkov	16
5.6	Izračunavanje in obračunavanje cestnine	17
5.7	Plačevanje	18
5.8	Nadzor	18
6	Možnosti uporabe sistema	23
7	Arhitektura prototipa	26
7.1	Strojna arhitektura	26
7.2	Programska arhitektura	28
8	Delovanje prototipa	37
8.1	Uporabniki	37
8.2	Tarifne sheme	38
8.3	Obračunavanje cestnine	39

8.4	Preverjanje pravilnosti izračunov	39
8.5	Izvajanje nadzora	41
9	Varnost	45
10	Predlog OBU naprave	54
11	Analiza obremenitve nadzornega centra	66
12	Finančna ocena	68
13	Zaključek	70
A	Dodatek	72
A.1	Testni koridor	72
A.2	Grafični vmesniki	73
Literatura		77

KLJUČNE BESEDE

ECS Elektronski sistem cestninjenja

OBU On Board Unit je naprava, ki obračunava in izračunava cestnino. Obračunane podatke pošilja v preverjanje nadzornemu centru (CE).

OBE On Board Equipment predstavlja OBU enoto z vso pripadajočo opremo (namestitev v avto, napajalni kabli, antene,..).

CE Central Equipment oz. centralni strežnik predstavlja operativno jedro sistema.

1 Povzetek

Postopek cestninjenja, ki temelji na satelitski tehnologiji, se v določenih segmentih razlikuje od obstoječega postopka cestninjenja. Plačevanje cestnine temelji na inteligentni napravi v vozilu in na navideznih obračunskih ter kontrolnih točkah cestnega omrežja. Poglavitna prednost satelitskega cestninjenja je sprotno plačevanje cestnine po načelu "Kolikor prevoziš, toliko plačaš", ne da bi se pri tem vozilo zaustavljalo ali zmanjševalo hitrost.

Tovrstna oblika cestninjenja bo najverjetneje predpisana na celotnem področju Evropske unije. S tem namenom se je že pričela gradnja satelitskega sistema Galileo. S tehničnega vidika gradnja vseevropskega sistema satelitskega cestninjenja ne predstavlja večjega problema, ker pa je eden izmed temeljev Evropske unije zagotavljanje človekovih pravic, se to odraža tudi na zahtevah bodočega sistema. Le-ta mora biti skladen z evropsko direktivo 2002/58/EC, ki določa, da je podatek o lokaciji osebe osebni podatek in ga je tako potrebno tudi obravnavati. To pomeni, da mora biti sistem zasnovan tako, da uporabniki pri postopku cestninjenja ne bodo razkrivali svojega geografskega položaja.

Zasnovo in princip delovanja sistema satelitskega cestninjenja, ki ustrezata zahtevam Evropske unije, je že pripravila ekspertna skupina 9, ki jo je ustanovil direktorat Evropske unije za energijo in transport (DG TREN). Predlagana rešitev je bila predstavljena v dokumentu MISTER [2].

V magistrski nalogi sem se odločil razviti delujoč prototip predlagane rešitve. Moj namen je bil preizkus osnovnih principov delovanja ter določitev strojnih in programskih zahtev za inteligentno napravo v vozilu, ki bo sposobna podpreti predlagani proces cestninjenja.

2 Abstract

In some segments electronic toll system based on satellite technology is quite different from the toll payment procedures that we know today. The new system is based on an intelligent device in a vehicle and on a number of virtual billing and control points that cover the road network.

Main advantage of the new system is simultaneously tolling which base on the principle 'Pay as you drive', without stopping or slowing down your vehicle.

That kind of electronic toll system will probably be prescribed on the whole territory of the European Union (EU). In scope of that EU already started to build a new satellite based navigation system named Galileo. From technical point of view developing a pan-European satellite based electronic toll system does not represents a big problem. Complexity of the system increase when we need to assure system compatible with EU directive 2002/58/EC, which defines that information about person location is personal information and should be treated as that. Protecting person's personal information is one of fundamental human rights in EU. This means that the new electronic toll system must assure users anonymity by preventing user's geographic location reveal.

Main design and basic principals that complies with EU requirements have been prepared by expert group 9, which was established by European Directorate-General Energy and Transport (DG-TREN). Suggested solution was proposed in MISTER document [2].

In my dissertation I have develop a working prototype of proposed solution. Main goal of this dissertation was to verify its basic principles and to define software and hardware requirements for vehicles intelligent device that will be capable to support proposed electronic toll system.

3 Uvod

V zadnjem času je veliko govora o bodočem satelitsko podprtem cestninjenju. Kljub temu je projekt satelitskega cestninjenja še vedno v fazi zasnove, saj obsega veliko nerešenih izzivov, oziroma so ti šele v fazi definiranja. Danes prav tako še ni znano, kakšna bo končna arhitektura sistema, vendar že obstaja kar nekaj potencialnih rešitev.

Ker živimo in delujemo v Sloveniji in smo sestavni del EU, govorimo seveda o rešitvi v tem okviru. Do zdaj je znano, da bo morala končna rešitev biti skladna z evropsko direktivo 2002/58/EC [15], standardom ISO 17575 [1] in nastajajočim predpisom MISTER [2], ugotovitvami projektov MEDIA [13], CESARE in CARDME ter z ugotovitvami in priporočili evropskih ekspertnih skupin, ki pripravljajo priporočila za izvedbene akte za realizacijo Direktive 2004/52/EC [17].

MISTER (The Minimum Interoperability Specification for Tolling on European Roads) je ta trenutek še standard v nastajanju, v končni različici pa bo predstavljal osnovo specifikacijam (evropskega) sistema. Pri tem bo upošteval navodila ISO standarda 17575, ki opisuje prednosti elektronskega cestninjenja. Razvit sistem ne bo implementiral celotnega ISO 17575 standarda, saj bi uvedba vseh opisanih funkcionalnosti občutno podražila napravo v vozilu.

V ekspertni skupini WG-9 "Specifications for a pan-European satellite EFC system", ki deluje v okviru DGTREN (Directorate-General for Energy and Transport), zaključujejo z izborom ustreznega modela za EETS (European Electronic Toll Service). Izbrani sistem, bo nato vključen v končno različico MISTER standarda.

Namen te naloge je bil izdelati delujoč prototip za sistem, ki ima trenutno največ možnosti, da bo vključen v končno različico MISTER standarda. Ob tem sem se izognil problemu interoperabilnosti med ponudniki transportnih storitev, saj na tem področju obstaja še veliko odprtih zadev. Pri razvoju prototipa sem se osredotočil predvsem na preizkus

osnovnih principov delovanja ter na določitev osnovnih strojnih in programskih zahtev, ki jih bo morala izpolnjevati OBU naprava za uspešno podporo avtomatskemu satelitskemu sistemu cestninjenja.

4 Opis sistema

Problema avtomatičnega elektronskega cestninjenja so se lotili že v mnogih državah in skozi bolj ali manj uspešno realizirane sisteme so se izluščile osnovne zahteve za cestninjenje na osnovi satelitske tehnologije. Te so predvsem naslednje[11]:

- Sistem mora omogočati plačevanje cestnine brez zaustavljanja ali zmanjševanja hitrosti uporabnika.
- Sistem mora biti uporaben v vseh državah Evropske unije.
- Sistem mora z določeno stopnjo gotovosti zagotavljati, da je mogoče preprečevati njegovo zlorabo in da je cestnina bila plačana, oziroma omogočati izterjavo dolga.

Iz opisanih zahtev lahko razberemo, da je osnovna vizija sistema satelitskega cestninjenja sprotno plačevanje cestnine po načelu “Kolikor prevoziš, toliko plačaš”, ne da bi se pri tem vozilo zaustavljalo ali zmanjševalo hitrost.

Vizija med drugim predvideva, da bo sistem satelitskega cestninjenja deloval na celotnem področju Evropske unije in da ga bodo uporabniki lahko uporabljali transparentno, ne glede na to, v kateri državi Evropske unije se bodo nahajali oz. ne glede na to, iz katere države prihajajo.

Vizijo sistema bi lahko danes hitro uresničili z že obstoječimi sistemi za spremljanje vozil na terenu, vendar je Evropski svet leta 2002 sprejel direktivo 2002/58/EC[15], ki pravi, da je podatek o vozilu fizične osebe osebni podatek in ga je potrebno tako tudi obravnavati. Pri tem je bila za osnovo vzeta direktiva 95/46/ES[16], ki govori o varstvu posameznika pri obdelavi osebnih podatkov in o prostem pretoku takih podatkov. To pa pomeni dodatno in verjetno tudi najtežje izvedljivo zahtevo, ki ji mora ustrezati vseevropski sistem cestninjenja.

Da bo sistem lahko deloval na celotnem ozemlju Evropske unije, bodo posamezne članice imele svoje upravljalce elektronskega cestninskega sistema (nadzorne centre). Vsakega od teh bo potrebno zasnovati tako, da bo lahko upravljal cestninjenje več milijonov vozil hkrati. Takšna zasnova zahteva zmanjševanje števila transakcij med nadzornim centrom in vozilom. Vsa komunikacija med njima se bo izvajala preko mobilnega omrežja po GPRS protokolu, torej bo zmanjševanje količine komunikacije med nadzornim centrom in vozilom smiselno tudi z ekonomskega vidika, saj mora biti končni sistem rentabilen in dobičkonosen.

Ker sem pri gradnji prototipa želel zadostiti vsem pogojem, sem se odločil zasnovati sistem, ki bo v največji meri razbremenil strežnike nadzornega centra. V ta namen bo vsako vozilo imelo nameščeno inteligentno napravo[2], ki bo imela lastno procesorsko enoto in bo znala sama obračunavati cestnino glede na sprejeto lokacijo satelitskega sistema pozicioniranja ter na tarifne sheme, pridobljene iz nadzornega centra.

Iz nadzornega centra bo naprava pridobila seznam obračunskih in kontrolnih točk ter cenik (seznam tarif) cestnih storitev. V obračunskih točkah bo naprava izvedla izračun in obračun cestnine, v kontrolnih točkah pa bo preverila pravilnost svojega delovanja. Preverjanje pravilnosti delovanja bo potekalo v neposredni povezavi z nadzornim centrom, pri čemer moramo upoštevati, da moramo zaradi direktive 2004/52/EC ohraniti anonimnost uporabnika.

Če bi imeli v sistemu zgolj oddaljeno preverjanje pravilnosti delovanja naprave, bi bilo odprtih veliko možnosti za zlorabo sistema. Zato je v sistemu satelitskega elektronskega cestninjenja predviden tudi fizični nadzor. Tega bodo izvajale mobilne nadzorne enote na terenu (represivni organi), ki bodo preverjale naključne ali sumljive uporabnike ter uporabnike s tako imenovane 'črne liste'.

V primeru suma zlorabe ali ob odkritju napake v delovanju naprave v vozilu, lahko mobilna nadzorna enota ali nadzorni center od naprave zahtevata razkritje identitete uporabnika. Hkrati se v nadzornem centru zaradi preprečevanja zlorab vsako preverjanje uporabnika zabeleži.

Naprava v vozilu lahko obračunava cestnino na predplačniški ali poplačniški način. Način obračunavanja bodo uporabniki lahko izbrali ob sklenitvi naročniškega razmerja s ponudnikom storitve elektronskega cestninjenja. Ker bo naprava v vozilu sama izračunavala in

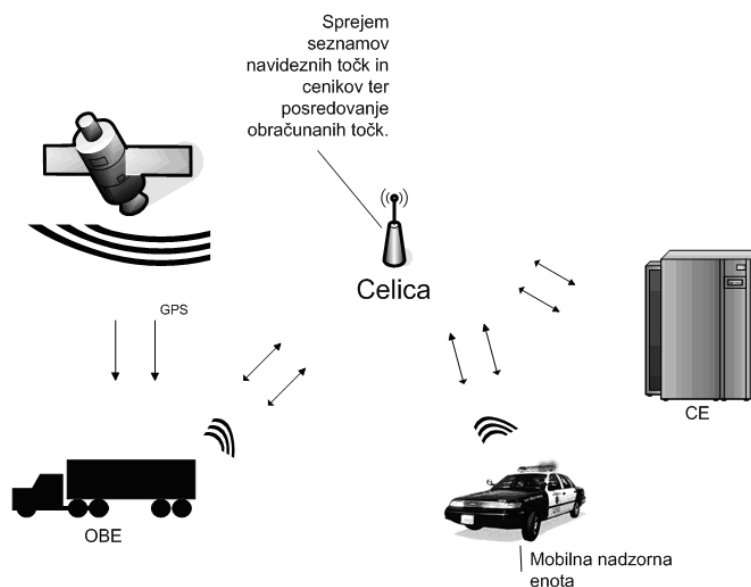
obračunavala cestnino, bo uporabnik lahko v vsakem trenutku spremljal stanje na svojem 'računu'. Zaradi nadzora nad plačevanjem bo OBU naprava nadzornemu centru občasno posredovala sumarne podatke o potrošeni cestnini, kar bo tudi osnova za izdajo računa pri poplačniškem načinu delovanja.

Plačevanje cestnine oziroma nalaganje dobroimetja bo izvedeno centralno, kar pomeni, da se bodo vsa plačila izvajala posredno preko nadzornega centra.

5 Poslovni proces

5.1 Vloge

Slika 5.1 prikazuje osnovni princip delovanja satelitskega cestninjenja in glavne akterje (vloge) sistema.



Slika 5.1: Visokonivojska arhitektura sistema.

V vlogi nadzornega centra - CE (Central Equipment) bodo pri nadaljnji obravnavi zaradi lažjega razumevanja združene naslednje vloge [2]:

- upravljalca elektronskega cestninskega sistema (ang. EFC Operator) - organizacija, ki je upravičena do pobiranja cestnine in upravlja s cestno infrastrukturo
- ponudnika transportnih storitev (ang. Transport Service Provider) - organizacija, ki je lastnik cestne infrastrukture,

- izdajatelj pogodb (ang. Contract Issuer) - organizacija, s katero uporabnik sklene pogodbo o uporabi cestne infrastrukture in ki mu pogodbeno zagotovi OBU (On Board Equipment) in
- dobavitelj inteligentnih cestninskih naprav (ang. OBU Issuer).

Sistem globalnega pozicioniranja

Pri razvoju prototipa satelitskega cestninjenja se bo uporabljal ameriški satelitski sistem GPS, vendar bo morala produkcijska rešitev delovati na evropskem satelitskem sistemu Galileo. Sistem Galileo je bil izbran zaradi višje stopnje natančnosti pozicioniranja (GNSS) in zaradi neodvisnosti evropskega sistema cestninjenja od ameriškega satelitskega sistema. Ameriški sistem ima še to slabost, da je polna funkcionalnost oz. največja stopnja natančnosti omogočena samo vojaškim organizacijam. Višja stopnja natančnosti je potrebna predvsem v urbanih naseljih, kjer je veliko kratkih cestnih odsekov, z večjo natančnostjo sistema globalnega pozicioniranja pa je možno uvesti tudi dodatne storitve, kot je na primer obračun parkirnine.

Mobilni operater

Mobilni operaterji imajo ključno vlogo pri delovanju celotnega sistema, saj se vsa komunikacija med uporabniki in nadzornim centrom opravi preko njihove infrastrukture. Za komunikacijo z OBU napravo se uporablja GPRS prenos podatkov, komunikacija med CE in mobilno enoto pa poteka preko storitev UMTS ali GPRS. Za vzpostavljanje povezave med nadzornim centrom in OBU (klicanje OBU naprave) se uporablja storitev kratkih sporočil (SMS). Ker bo potrebno v GPRS omrežje vključiti veliko število novih uporabnikov, bodo mobilni operaterji gotovo morali nadgraditi svoja mobilna omrežja. Ustrezno bo potrebno načrtovati in po potrebi prilagoditi dinamično dodeljevanje IP naslovov. Mobilno omrežje cestninskega sistema bi bilo tudi smiselno ločiti od mobilnega omrežja telefonskih naročnikov vsaj z ločenim naborom telefonskih števil. Prav tako bi bilo potrebno onemogočiti določene storitve, kot je sprejem telefonskega klica, saj lahko takšni nepričakovani dogodki negativno vplivajo na delovanje OBU naprave.

Nadzorni center - CE

Nadzorni center mora izvajati naslednje naloge:

- priprava navideznih (obračunskih in kontrolnih) točk,
- priprava tarifnih shem,
- posredovanje navideznih točk in tarifnih shem uporabnikom (napravam v vozilu),
- preverjanje pravilnosti delovanja naprav v vozilu,
- registracija uporabnikov in personalizacija OBU naprav,
- prodaja žetonov,
- posredovanje pri izvajanju preverjanja s strani mobilne nadzorne enote.

CE je prvi stik uporabnika s sistemom, saj se tu prijavi kot nov uporabnik in si pridobi OBU napravo. OBU napravo v CE prilagodijo glede na tip vozila uporabnika in način plačila, ki ga uporabnik izbere (predplačniški ali poplačniški). Postopek nastavitve parametrov, ki so lastni posameznemu uporabniku, imenujemo personalizacija OBU naprave.

Posredno preko CE se izvedejo vsa plačila oziroma predplačila za storitve, ki so bile oziroma bodo uporabljene. Dobroimetje se na račun OBU naprave prenese v obliki žetonov (navidezni denar).

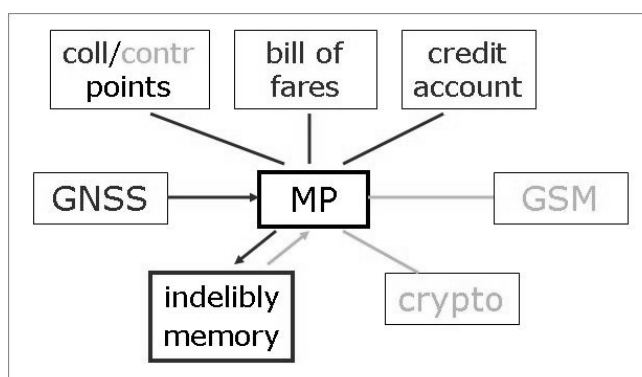
Ceno (potrebno število žetonov) posameznega odseka določimo za vsako obračunsko točko s tarifnimi shemami. Tarifne sheme in cestninske (obračunske in nadzorne) točke urejamo v CE. To so aktivni podatki, na podlagi katerih OBU naprava izvaja izračun in obračun cestnine. Za pravilno izračunavanje cestnine mora CE zagotoviti, da so vsi ažurni podatki pravočasno preneseni v OBU.

Poleg urejanja in ažuriranja podatkov ima nadzorni center še funkcijo preverjanja in nadzorovanja delovanja OBU naprav. Pri izvajanju preverjanja pošlje OBU naprava nadzornemu centru podatke v preverjanje. Glede na rezultate preverjanja lahko v nadzornem centru od OBU naprave zahtevajo razkritje identitete uporabnika (kršitelja).

Funkcionalnost nadzora in preverjanja (posredno preko nadzornega centra) uporabljajo še mobilne nadzorne enote, ki iščejo kršitelje na terenu. Vsa zahtevana preverjanja se zabeležijo v nadzornem centru, rezultati preverjanja pa se posredujejo mobilni nadzorni enoti.

Naprava v vozilu

OBU (On Board Unit) je inteligentna naprava v vozilu, ki skupaj z vso inštalacijsko opremo tvori OBE (On Board Equipment)[2]. Naprava je inteligentna v tej meri, da zna sama izračunavati in obračunavati cestnino. V primeru napak ali težav zna tudi vzpostaviti komunikacijo s CE in ji poročati o težavah.



Slika 5.2: Struktura naprave v vozilu

OBU je sestavljena iz več modulov[Slika 5.2]:

GNSS (Global Navigation Satellite System) Modul za sprejem GPS (kasneje Galileo GNSS) signala. Na podlagi sprejetega signala naprava določi natančno pozicijo vozila.

GSM GSM modul z vgrajenim GPRS modemom za komunikacijo s CE preko mobilnega omrežja (Cellular Network - CN). Komunikacija OBU naprave z ostalimi akterji v sistemu poteka po TCP/IP protokolu. Ker bo produkcijski sistem imel veliko uporabnikov, bo naprava imela dinamičen IP naslov. To pomeni, da neposredna vzpostavitev zveze iz nadzornega centra do OBU ne bo mogoča. Za vzpostavitev zveze bo potrebno na OBU napravo najprej poslati SMS sporočilo, šele nato bo OBU naprava vzpostavila zvezo z nadzornim centrom.

Neizbrisljiv spomin Del pomnilnika, ki v primeru izgube električnega napajanja ohrani vsebino (indelible memory)[2]. V ta del se zabeležijo preverjanja in obračunske ter kontrolne točke, ki smo jih prevozili. Ker nam velikost spomina ne omogoča beleženja poljubno dolge zgodovine, je zapisovanje organizirano ciklično, tako da v primeru pomanjkanja pomnilnika prepisujemo najstarejše podatke.

Navidezne točke Seznam navideznih (kontrolnih in obračunskih) točk.

Tarifne sheme Seznam cen za posamezne cestne kategorije (bill of fares), za posamezne dele cestnih odsekov ali druge objekte cestninjenja.

Račun Račun (on-board account) v OBU napravi lahko deluje v poplačniškem ali predplačniškem načinu. Stanje računa se spreminja na obračunskih točkah in pri nalaaganju dobroimetja oziroma pri plačevanju prevožene cestnine.

OBU naprava mora biti narejena za masovno tržišče, torej mora biti ustrezno poceni. Posledica tega je, da ima OBU naprava majhno količino spomina (RAM in FLASH) ter majhno procesorsko zmogljivost.

Mobilna enota

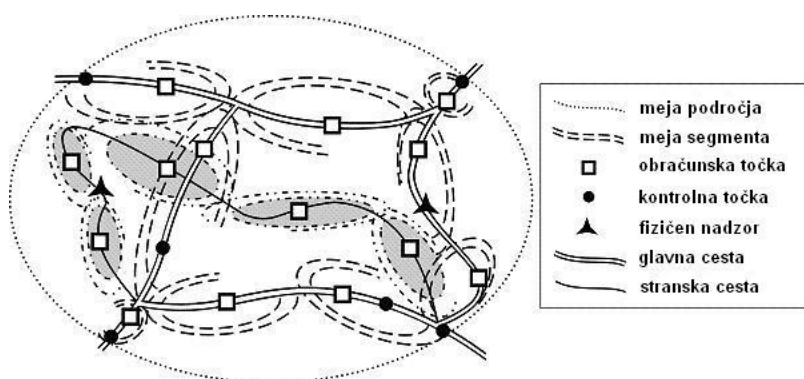
Mobilna enota (represivni organ) ima v svojem vozilu nameščen mobilni računalnik z dostopom do CE. Mobilna enota in CE komunicirata po TCP/IP preko storitve GPRS ali UMTS. Na podlagi registrske številke vozila mobilna enota preveri, če ima vozilo nameščeno OBU napravo in ali le-ta deluje pravilno. Zato je v nadzornem centru smiselno povezati bazo naročnikov z bazo registriranih vozil. Mobilna enota deluje vedno posredno preko nadzornega centra. Tako se vzpostavi dodaten nadzor nad nepooblaščenim preverjanjem uporabnikov.

5.2 Navidezne točke

Ključni element sistema predstavlja postopek merjenja prevoženih kilometrov. Današnji elektronski cestninski sistemi to nalogo opravljajo z namestitvijo posebnih komunikacijskih mostov nad cestiščem, na katerih so nameščeni DSRC moduli. Namen postavitve komunikacijskih mostov je postavitve točk, na katerih se obračunava cestnina. Pri prehodu

vozila pod komunikacijskim mostom se namreč prebere identifikator naprave v vozilu, na osnovi katerega se nato v nadzornem centru obračuna cestnina. Cena oz. višina obračunane cestnine je določena z lokacijo komunikacijskega mosta. Vsak most se nahaja na skrbno izbranem odseku, za katerega je mogoče preprosto obračunati cestnino. Problem tovrstnega načina obračunavanja je visoka cena postavitve in vzdrževanja komunikacijskih mostov[3], z razkritjem identifikatorja naprave pa razkrijemo tudi identiteto uporabnika. Da bi se izognili tovrstnemu obračunavanju, se je uvedel sistem navideznih (obračunskih) cestninskih točk, ki je določen z naslednjimi parametri:

- identifikator točke
- tip točke (obračunska ali kontrolna točka)
- identifikator tarifne sheme
- koordinate lokacije točke
- dolžina cestnega odseka
- časovni interval



Slika 5.3: Postavitev navideznih točk

Cestninske točke se shranjujejo v pomnilnik OBU naprave. Ta je premajhen, da bi shranili vse cestninske točke, zato se točke lahko organizirajo v geografska področja. Velikost področja je odvisna predvsem od količine navideznih točk (omejitev pomnilnika), lahko pa ga oblikujemo po regijskih značilnostih (pokrajine, občine, ...). Točke se nalagajo po potrebi za posamezna geografska področja, v katerih se uporabnik nahaja, velikost pomnilnika pa je dovolj velika, da lahko hkrati hranimo podatke za več geografskih območij. Da bi zmanjšali količino prenešenih podatkov pri prehajanju med geografskimi območji,

je smiselno voditi statistiko najpogosteje uporabljenih območij. Tako pri pomanjkanju prostora izbrisemo točke tistih geografskih območij, ki jih najmanj uporabljamo.

Proces preverjanja, ali se trenutno nahajamo na določeni navidezni točki, poteka od trenutka, ko vklopimo OBU napravo oziroma prižgemo vozilo. OBU naprava določi trenutno pozicijo vozila in preveri, ali v pomnilniku obstaja ustrezna navidezna točka. Vsaka navidezna točka je zapisana z geografskimi koordinatami (zemljepisna širina, zemljepisna dolžina) v decimalni obliki. Pri primerjavi koordinat pridobljenih iz GPS s koordinatami navideznih točk na OBU napravi je zelo majhna verjetnost, da se bodo koordinate popolnoma ujemale, saj se GPS lokacija zajema (vzorči) enkrat na sekundo. Zato sem v prototipu uvedel radij, s katerim je definirana okolica navidezne točke. Za uspešno zaznavanje navidezne točke se mora prebrana GPS lokacija nahajati znotraj te okolice. V prototipu je velikost radija 30 metrov, kar pomeni, da je premer okolice navidezne točke 60 metrov. Ta vrednost je pogojena s prevoženo razdaljo vozila v eni sekundi, pri hitrosti 200 km/h (55,5 m/s).

Algoritem iskanja in ujemanja navideznih točk mora biti zelo hiter in učinkovit, saj se izvaja vsako sekundo na procesorsko šibki napravi, pri tem pa mora prepustiti dovolj procesorskega časa za izvajanje ostalih aktivnosti.

Cestninske točke postavimo, urejamo in preverjamo v CE z v ta namen napisano GIS aplikacijo. Bistveno za celotno delovanje sistema je, da ta GIS aplikacija uporablja točne in natančne podatke o cestnem omrežju. Če bi bili podatki nenatančni (npr. zamaknjene ceste) bi se nam kaj hitro zgodilo, da OBU ne bi prepoznal cestninskih točk ali bi celo določil in obračunal nepravo cesto.

Pri postavitvi točk ločimo postavitev obračunskih in postavitev kontrolnih točk [Slika 5.3]. Obračunske točke postavimo na vsak cestni odsek, pri čemer je cestni odsek cesta med dvema odcepoma. Pri tem moramo biti pozorni, da ne puščamo nepokritih cestnih odsekov ali da ne postavimo več obračunskih točk na en odsek. V prvem primeru cestnega odseka ne bi obračunali, v drugem pa bi ga obračunali večkrat.

Kontrolne točke postavimo na mejah geografskih področij in na mestih, kjer želimo preverjati delovanje OBU naprav oziroma povsod tam, kjer želimo spremljati gibanje prometa. Ker se v kontrolnih točkah izvaja preverjanje delovanja OBU naprave, njihovo število

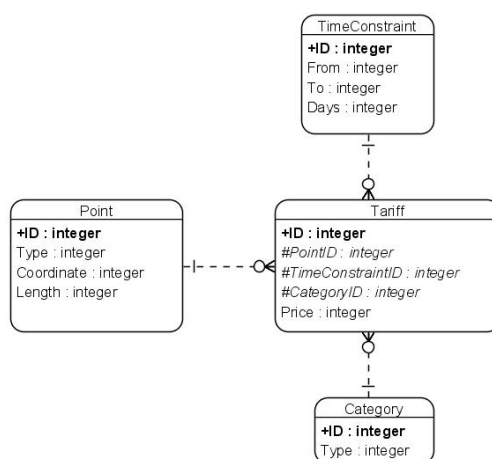
bistveno vpliva na količino komunikacije med OBU napravo in CE. Posredno se s tem povečuje obremenjenost strežnikov CE in cena obračunavanja.

5.3 Tarifne sheme

Tarifne sheme vsebujejo vse podatke o ceni za posamezno kategorijo ceste. Cene razdelimo po cestnih kategorijah, čeprav so določene ceste specifične in same tvorijo svojo cestno kategorijo. Elemente tarifne sheme tvorijo naslednji parametri:

- identifikator tarifne sheme
- različica tarifne sheme
- ime kategorije ceste (avtocesta, mestna cesta,..)
- cena za kilometer
- kategorija vozila
- časovni interval, za katerega velja tarifa

Tarifnim shemam [Slika 5.4] lahko dodamo tudi druge parametre, ki pri obračunu vplivajo na ceno: dneve, za katere velja tarifa, ure, za katere velja tarifa, količino izpušnih plinov, ...



Slika 5.4: Logična struktura tarifne sheme

Izdelava tarifne sheme poteka v CE. Ob vsaki spremembi se spremeni njena različica. Pri preverjanju delovanja sistema CE vpraša napravo ali uporablja zadnjo različico. Če je ne, potem OBU naprava iz nadzornega centra naloži nove tarifne sheme.

5.4 Cestninski razredi

Vozila so lahko razvrščena v naslednje cestninske razrede:

- prvi razred: vozila z dvema osemami in višino vozila nad prvo osjo do 1,30 m,
- drugi razred: vozila z dvema ali več osmi in višino vozila nad prvo osjo 1,30 m ali več, katerih največja dovoljena masa ne presega 3.500 kg,
- tretji razred: vozila z dvema ali tremi osmi in višino vozila nad prvo osjo 1,30 m ali več, katerih največja dovoljena masa presega 3.500 kg,
- četrti razred: vozila z več kot tremi osmi in višino vozila nad prvo osjo 1,30 m ali več, katerih največja dovoljena masa presega 3.500 kg.

Vidimo, da sprememba cestninskega razreda posameznega vozila nastane le pri priklopu ali odklopu prikolice, zato je dovolj, da v OBU napravo shranimo le osnovno kategorijo vozila.

Da bi OBU naprava pravilno izračunavala cestnino, mora vedno poznati trenutno kategorijo vozila, zato je potrebno zaznati prehode med razredi. Prehajanje med razredi lahko izvedemo na dva (ekonomsko upravičena) načina: avtomatično ali ročno. Nekateri proizvajalci vozil (predvsem kamionov) že danes lahko zaznajo, ali je prikolica priključena ali ne. Da bi podprli avtomatično prehajanje med razredi, bi bila potrebna integracija OBU naprave s takšnimi sistemi.

Za uporabnike, ki še nimajo te podpore, se prehod med razredi izvaja ročno preko gumbov na OBU napravi. Ročno prehajanje med razredi predstavlja šibko točko sistema, saj uporabnik lahko namenoma preklopi na nižji cestninski razred in tako plačuje nižjo cestnino. Za nadzor in preprečevanje tovrstnih zlorab skrbi mobilna nadzorna enota.

5.5 Nalaganje podatkov

OBU naprava vsebuje podatke o cestninskih točkah in tarifni shemi. Ti podatki se s časom spreminjajo, zato jih je potrebno ažurirati.

Podatke ažuriramo tako, da vzpostavimo komunikacijsko povezavo med OBU napravo in CE ter s CE strežnika prenesemo podatke v OBU napravo. Za vzpostavitev povezave

imamo dve možnosti: naprava pokliče CE ali CE pokliče napravo. Pri tem je potrebno upoštevati, da je druga možnost neprimerno dražja. Zato se prenos ažurnih podatkov opravi pri prehodu kontrolne točke, torej ob preverjanju pravilnosti delovanja sistema.

5.6 Izračunavanje in obračunavanje cestnine

Izračunavanje in obračunavanje cestnine izvaja OBU naprava. Za izračun cestnine posameznega cestninskega odseka potrebujemo:

- prevoženo cestninsko točko,
- kategorijo vozila (in druge parametre, ki določajo tarifno shemo),
- različico tarifne sheme,
- čas prehoda

Postopek izračuna cestnine poteka v več korakih. Najprej je potrebno ugotoviti, ali smo prevozili cestninsko točko.

Če smo prevozili obračunsko točko, potem iz tarifne sheme določimo, kolikšna bo cena prevoženega odseka. Ceno iz tarifne sheme pridobimo na podlagi parametrov cestninjenja. Osnovni parameter cestninjenja je kategorija vozila, vendar parametre v postopku izdelave tarifnih shem v CE lahko poljubno dodajamo (npr. parameter izpušni plini). Dobljeno vrednost nato glede na uporabnikov izbrani način plačevanja ustrezno obračunamo.

V predplačniškem načinu izračunano vrednost odštejemo od trenutnega stanja na računu. Če je novo stanje računa negativno, vendar višje od dovoljenega negativnega limita, naprava s svetlobnim ali zvočnim signalom opozori uporabnika na negativno stanje računa. Kadar pa stanje na računu pade pod dovoljeno vrednost limita, OBU naprava to zabeleži kot kršitev. Kršitev se pri prvem prehodu kontrolne točke posreduje v CE.

V poplačniškem načinu obračunano vrednost le odštejemo od trenutnega stanja na računu.

5.7 Plačevanje

Plačevanje cestnine poteka preko nadzornega centra, kjer za vsak OBU vodimo račun. Vodenje računa ločimo glede na način plačevanje (poplačniško, predplačniško).

Stanje računa ažuriramo tako, da trenutno stanje računa OBU naprave občasno sporočamo v CE ne glede na način plačila. Takrat sporočimo tudi identifikacijsko številko OBU naprave, ki enolično identificira račun OBU naprave. Ob tem ne kršimo anonimnosti uporabnika, saj ne sporočimo svoje lokacije. Sporočanje stanja računa ni povezano z navideznimi točkami. Čas oziroma trenutek sporočanja je lahko poljubno nastavljen že pri procesu personalizacije OBU naprave. Interval poročanja je lahko dnevni, tedenski, mesečni, ... Nastavljeno vrednost je kasneje možno spreminjati iz CE.

Na ta način ima CE vedno nadzor nad stanji na računih OBU uporabnikov. Glede na stanje se poplačniškim uporabnikom izstavi račun za obračunano cestnino. Ko vrednost računa poravnajo, se vzpostavi komunikacija z OBU napravo in se poravnani znesek obračuna na OBU računu (on-board account).

Podobno je pri predplačniških uporabnikih. OBU naprava opozori uporabnika, da je porabil naložene žetone in da mora naložiti nove. Ko uporabnik naloži dobroimetje, se mu izda račun. Vsa plačila se hranijo v nadzornem centru.

Za podporo plačevanju je možnih več načinov. Najlažji je s pomočjo elektronskega bančništva, torej s plačevanjem prek spleta, vendar tako ne moremo zajeti vseh uporabnikov. Zato je predvidena tudi možnost vplačevanja na bencinskih servisih. V okviru prototipa sem polnjenje računa izvedel kar iz nadzornega centra (Slika A.4).

5.8 Nadzor

Največji problem nadzora, ki ga srečujemo pri zasnovi ECS, je zagotavljanje varovanja uporabnikove zasebnosti ob hkratnem učinkovitem preprečevanju zlorab sistema. Ta problem lahko razdelimo na nevarnost izgube anonimnosti, ter na posledice, ki jih izguba anonimnosti prinese[14]. Uporabniki namreč lahko upravičeno pričakujejo, da jim je v vsakdanjem življenju omogočena določena stopnja anonimnosti oz. svobode. Pri obstoječih sistemih elektronskega cestninjenja je ta v veliki meri ogrožena, saj je mogoče

na podlagi zabeleženih transakcij in identifikatorja elektronske tablice ugotoviti, kje se uporabnikovo vozilo trenutno nahaja oz. kje je bilo v preteklosti.

Nekaj najbolj perečih težav pri varovanju uporabnikove zasebnosti pri elektronskem cestninjenju je izpostavil že Ogden [14]:

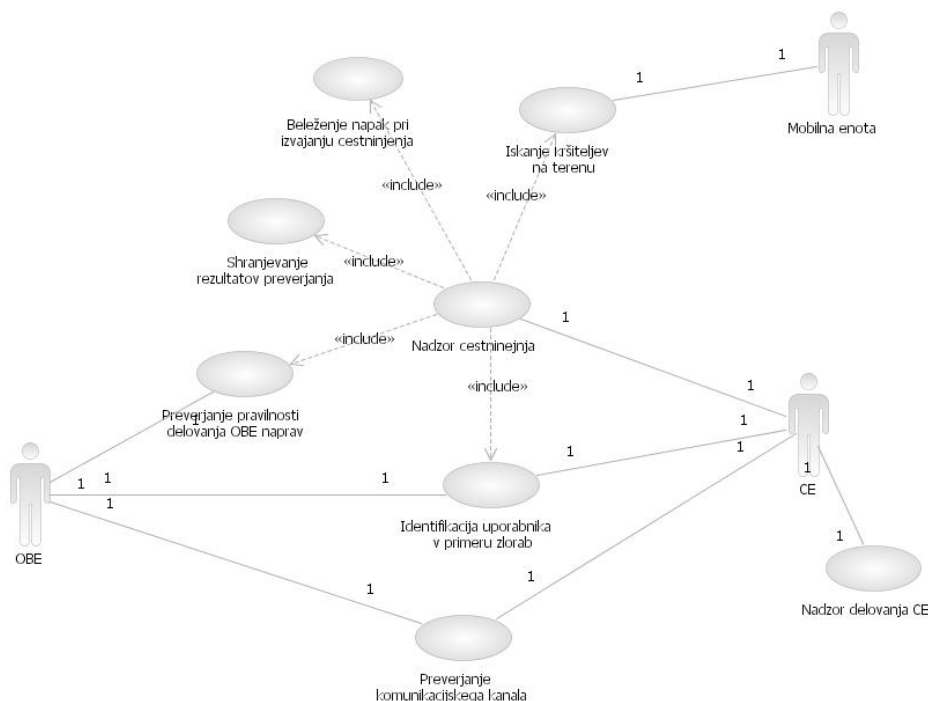
1. Uporaba identifikatorja elektronske tablice enolično določa uporabnika.
2. Z zbiranjem lokacijskih podatkov je mogoče določiti potovalne navade uporabnika.
3. Z izvajanje represivnih metod je ogrožena uporabnikova svoboda gibanja (slikanje registrskih tablic).
4. Uporaba identifikatorja nam omogoča nadzor gibanja uporabnika.
5. Obstoj interesa zunanjih organizacij za dostop do potovalnih navad uporabnikov.
6. Nevarnost internega odtekanja informacij.

Predstavljeni sistem satelitskega ECS skuša naštetih težav razrešiti z uvedbo trinivojskega sistema nadzora. Prvi nivo nadzora omogoča naprava, nameščena v vozilu. Ta neposredno ne odpravlja zgoraj navedenih težav. Bistvo nadzora na prvem nivoju je preprečevanje fizičnega vdora v napravo. Naprava namreč vsebuje protivdorni sistem, ki zabeleži vsak poskus odpiranja naprave in to poskusi čimprej sporočiti v CE (naprava je lahko tudi zalita s plastiko in s tem preprečuje odpiranje, ne da bi jo pri tem uničili). Poleg protivdornega sistema bi morala naprava imeti še vgrajen senzor gibanja. Ta bi se uporabil za preprečevanje zlorab s prekrivanjem naprave (Faradayeva kletka). OBU naprava bi v primeru, da zazna gibanje, hkrati pa ne more sprejeti satelitskega signala ali vzpostaviti povezave s CE, to stanje zabeležila. Dogodek bi se poslal v CE takoj, ko bi se vzpostavila povezava s CE. Tam bi se analiziral, v primeru suma zlorabe pa bi se izvedel postopek preverjanja delovanja OBU naprave oziroma bi se razkrila identiteta uporabnika.

Drugi nivo nadzora zagotavlja nadzorni center, ki mora preverjati, ali naprava v vozilu deluje pravilno in ali poteka plačevanje in poročanje na ustrezen način. To zagotovimo s tem, da OBU naprava pri prehodu kontrolne točke vzpostavi povezavo s CE in ji sporoči parametre zadnjega izračuna in njegov rezultat. Pri tem OBU ne posreduje svojega identifikatorja, zato se tako izognemo težavam 2 in 4. Poleg parametrov izračuna pošlje OBU naprava še identifikator različice tarifne sheme, na podlagi katere so bili parametri

obračunani. CE na osnovi prejetih parametrov izračuna pravilno vrednost in jo primerja z vrednostjo, ki jo je izračunala OBU naprava. Če je rezultat pravilen, CE preveri, ali ima OBU naprava zadnjo različico tarifnih shem in navideznih točk. Če jih nima, jih posreduje OBU napravi. V kolikor je pri primerjavi rezultatov prišlo do razlik, CE zahteva od OBU naprave razkritje njene identitete. Tedaj OBU naprava pošlje nadzornemu centru svojo identifikacijsko številko, ki je edini kvalificirani osebni podatek, ki omogoča identifikacijo uporabnika. CE zbrane podatke o napaki shrani. Hkrati se podatki o preverjanju shranijo v OBU napravi v njen neizbrisljivi spomin za primer kasnejšega dokazovanja zlorab. Čeprav vidimo, da sta identifikator OBU naprave in uporabnik povezana, kar je v nasprotju s prvo zahtevo (1), to ne predstavlja izrazitega problema. Problem enolične povezave identifikator - uporabnik se pojavi šele zaradi posledic 2 in 4, tem pa smo se izognili, saj naprava ne sporoča svoje identitete vse dokler deluje pravilno.

Vse sprejete napake je potrebno analizirati. Če se ugotovi, da je prišlo do napake v delovanju naprave ali v primeru suma zlorabe, se takšna OBU naprava postavi na 'črna lista', hkrati pa se pisno obvesti lastnika naprave, naj se čim prej oglasi na pregledu OBU naprave pri pooblaščenem serviserju OBU naprav.



Slika 5.5: Mehanizem nadzora in primeri njegove uporabe.

Na nivoju CE imamo še dodaten nadzor nad zbranimi podatki v okviru skupine za nadzor

delovanja nadzornega centra in mobilnih enot. Ta skupina ima dostop do vseh zbranih podatkov, torej lahko pregleduje, katera mobilna enota je preverjala katerega uporabnika, zakaj ga je preverjala, kolikokrat je bil uporabnik preverjen, ... Ker imajo osebe iz skupine za nadzor delovanja CE dostop do osebnih podatkov uporabnikov, morajo to biti zaupanja vredne osebe (varnostno preverjene). Ostalo osebje nadzornega centra ima lahko dostop do vseh ostalih 'ne-osebni' podatkov. Tako se zmanjša tveganje za odtekanje informacij (6). Še več. Zbrane informacije bi lahko javno objavili in tako zadostili zunanjim interesom za dostop do podatkov o gibanju uporabnikov. S tem bi skoraj v popolnosti izničili pomen problema 5. Seveda bi še vedno obstajale težnje po popolni sledljivosti uporabnikov, vendar tega sistem že v sami zasnovi ne omogoča.

Tretji nivo nadzora izvajajo mobilne enote, ki morajo odkriti kršitelje na terenu in sicer tako tiste, ki jim OBU naprava ne deluje ali je nimajo, kakor tudi tiste, katerim je napako v delovanju zaznala OBU naprava sama, oziroma je to napako zaznal nadzorni center. Preverjanje poteka posredno preko nadzornega centra. Mobilna enota sporoči nadzornemu centru registrsko številko vozila, na podlagi katere lahko pridobimo identifikacijsko številko OBU naprave. Ker to zahteva uparjanje registrske številke in identifikacijske številke OBU naprave, bi bilo v končni postavitvi smiselno ECS povezati s sistemom registriranih vozil v posamezni državi. Nadzorni center po pridobitvi identifikacijske številke naprave preveri:

- ali je naprava na 'črni listi',
- ali je naprava dosegljiva (poskus vzpostavitve povezave),
- čas, ko je OBU naprava nazadnje poročala stanje na OBU računu.

Po končanem preverjanju se rezultati posredujejo mobilni nadzorni enoti. Ta lahko nato preko CE zahteva razkritje identitete lastnika OBU naprave ter nadaljuje postopek skladno z veljavno zakonodajo. Na prvi pogled je takšno preverjanje podobno avtomatičnemu slikanju registrskih tablic. Bistvena prednost, ki jo prinaša, je v mobilnosti nadzorne enote. Pri preverjanju s slikanjem namreč poznamo točno lokacijo, na kateri je bilo preverjanje opravljeno. To pomeni, da iz podatkov preverjanja lahko ugotovimo, kje se je preverjeni avtomobil v času nastanka slike nahajal, kar pa je osebni podatek. Ker pri

preverjanju z mobilnim nadzorom ne beležimo lokacije preverjanja, v odpravimo tudi problem 3.

6 Možnosti uporabe sistema

Da bi ugotovili prednosti in možnosti uporabe predstavljenega ECS, moramo celotno rešitev pogledati z več zornih kotov, predvsem z ekološkega, prometnega in gospodarskega. Seveda pri tem ne smemo pozabiti tudi zakonodajnega stališča.

Zamisel o upravljanju prometa s sistemom dinamičnega obračunavanja cestnine ni nova, saj je Singapur že leta 1975 uvedel takšen model cestninjenja z namenom zmanjšati prometno gnečo v času prometnih konic. Sistem je slonel na posebnih kuponih, vendar je kmalu postal preveč zapleten zaradi prevelikega obsega cestninskih razredov. Zato so leta 1998 uvedli popolnoma avtomatičen elektronski sistem cestninjenja. Sistem sicer uspešno deluje, vendar je zasnovan na principu komunikacijskih mostov[18].

Kot rečeno, satelitski ECS deluje na podlagi tarifnih shem, ki nam omogočajo dinamično obračunavanje cestnine skozi prostor in čas na osnovi navideznih točk. To pomeni, da lahko upravljamo ceno cestnine v času prometnih konic znotraj natančno določenega prometnega prostora brez uporabe komunikacijskih mostov. Pri tem lahko prometni prostor poljubno definiramo z obračunskimi točkami. Prednost navideznih točk je v tem, da lahko na relativno enostaven način ločimo med posameznimi področji znotraj mest oziroma izven njih. Še več, področja imajo lahko zelo nepravilno obliko, ter vsebujejo tudi ceste, ki so lahko izjeme znotraj teh področjih. Upravljanje s tarifami posameznih cest pa ne pomeni samo vzvoda, s katerim je možno učinkovito vplivati na količino prometa, ampak s pospeševanjem prometnega pretoka lahko vplivamo tudi na količino izpušnih plinov znotraj mest.

Vendar za upravljanje prometnega toka nujno potrebujemo podrobne podatke o obremenitvi cestnega omrežja, ki pa jih ne dobimo iz obračunskih točk. Zato je potrebno po cestnem omrežju postaviti tudi veliko kontrolnih točk, kjer bi se preverjala pravilnost izračunavanja OBU naprave. Iz zbranih podatkov (ne gre za osebne podatke) lahko

nato razberemo podrobno obremenitev cestnega omrežja, saj nam povedo, koliko vozil je v določenem času prevozilo določen odsek. Poleg tega lahko razberemo tudi deleže posameznih kategorij vozil (tovorna, osebna,...). Na osnovi teh ocen lahko tarifne sheme prilagodimo tako, da dvignemo tarife za preobremenjena področja. Dvig tarife izvedemo na primer samo za tovornjake s prikolico. Takšno upravljanje obremenitve sistema bi verjetno lahko rešilo težave, kot jih danes poznajo prebivalci med Lendavo in Mariborom.

Že s samim dvigom tarife v času prometnih konic[10] bi najverjetneje bistveno vplivali na količino izpušnih plinov. Ta bi se zmanjšala tudi zaradi večje prepustnosti cestnega omrežja, torej bi avtomobili manj časa čakali v kolonah z delujočimi motorji. To lahko še izboljšamo tako, da tarifnim shemam dodamo parameter, ki bi določal ekološki razred vozila. Vozila z nižjo stopnjo izpušnih plinov bi bila s tem privilegirana in bi plačevala nižjo cestnino. Če malo špekuliram, potem lahko sklepam, da bi to vzpodbujalo kupce avtomobilov k nakupu ekološko bolj sprejemljivih vozil, avtomobilska industrija pa bi bila zaradi zahtev kupcev prisiljena v nova vozila hitreje vpeljevati naravi prijaznejše tehnologije. Seveda bi to za seboj potegnilo tudi odprtje novih delovnih mest na področju razvoja in raziskav novih tehnologij.

Čeprav na prvi pogled izgleda, da ima večino koristi samo država, je pomembno poudariti, da predstavljeni ECS omogoča precej pravično porazdelitev zbranega denarja tudi med občine. Danes je namreč težko povedati, koliko vozil dnevno vozi skozi določeno občino. Ker bi bilo to mogoče precizno določiti, bi del cestninskega denarja lahko pripadel tudi občinam, še posebej tistim, ki so najbolj obremenjene s tranzitnim prometom skozi kraje, kjer še ni speljana avtocesta.

S spreminjanjem in optimizacijo tarifnih shem dobimo orodje, s katerim dejansko lahko manipuliramo s prometom [10]. Predstavljajmo si samo višek turistične sezone. Avtoceste so prenapolnjene. Če bi znižali cestnino na vzporednih cestah, ki vodijo skozi turistične kraje, potem bi lahko preusmerili veliko količino turistov na manj znane turistične točke in tako posledično vplivali na prepoznavnost kulturnih in naravnih znamenitosti. Ceno cestnine bi lahko sofinancirali celo gostinci in podjetja, ki se ukvarjajo izključno s turizmom, saj bi tako privabljali potnike skozi svoje kraje. Lep primer bi lahko bila občina Trojane, ki je odvisna predvsem od svoje gostinske ponudbe. Načinov izkoriščanja predstavljenega ECS je skratka mnogo in precej jih je direktna posledica upravljanja tarifnih shem skozi

čas in prostor.

Do sedaj sem našteval zgolj pozitivne vplive. Poglejmo še negativne. Sam jih verjetno zaradi pristranskosti vidim predvsem s tehnične plati. OBU naprava je relativno kompleksna, še posebej če upoštevamo, da se mora nahajati v vsakem vozilu in mora biti cenovno sprejemljiva. Kritično točko v sistemu predstavljajo morebitne napake v programski opremi. Take napake je treba odpraviti na vseh napravah v vozilih, kar v vseevropskem smislu pomeni več deset milijonov vozil. Tudi zamenjava z novimi različicami programske opreme ne bi bila enostavna. Verjetno bi bilo potrebno vpeljati sistem avtomatskih popravkov in nadgradenj, to pa samo povečuje kompleksnost naprave in možnost zlorab. Zaradi prenosa preverjanja pravilnosti delovanja na OBU napravo se nam poveča tudi sistem za preverjanje in preprečevanje napak v nadzornem centru.

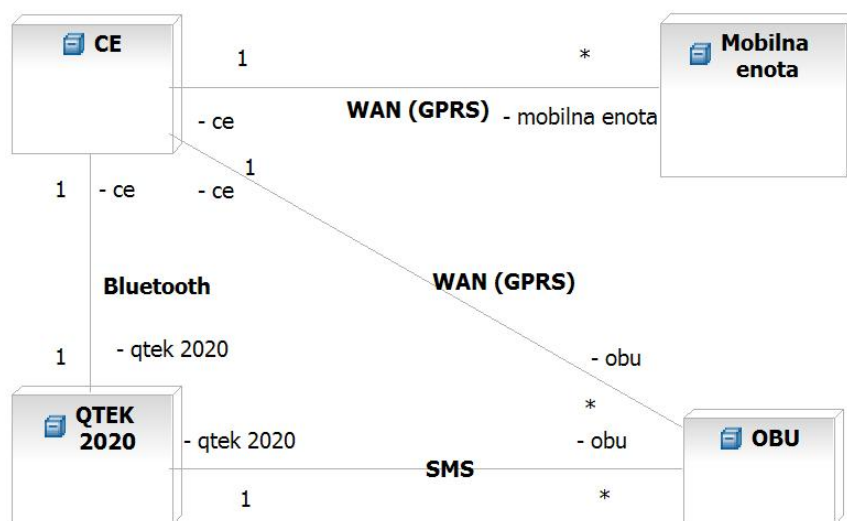
Tudi mobilne nadzorne enote niso ravno prednost sistema, saj pomenijo dodaten strošek ECS. Vendar bodo po drugi strani mobilne enote odprle precej novih delovnih mest, ta delovna mesta pa bi lahko zasedli cariniki, ki so oz. bodo s širitvijo evropske meje ostali brez zaposlitev.

7 Arhitektura prototipa

7.1 Strojna arhitektura

Slika 7.1 prikazuje arhitekturno shemo prototipnega modela sistema cestninjenja. Nadzorni center sem postavil na 'domač strežnik' z naslednjimi tehničnimi karakteristikami:

- CPU 1 GHz
- 256 MB RAM
- Windows XP Pro



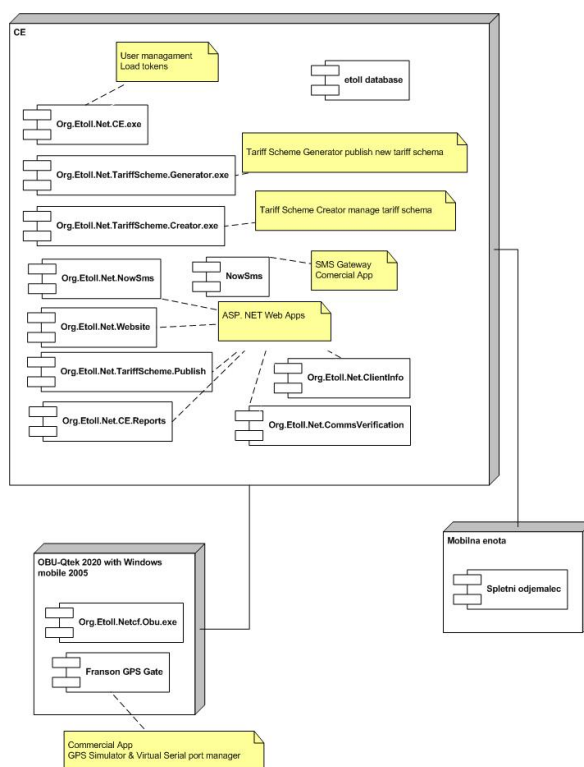
Slika 7.1: Komunikacijska arhitektura prototipa

Na strežnik oziroma CE sem preko bluetooth-a povezal GSM telefon, ki je imel vlogo SMS prehoda (gateway). SMS sporočila so se posredovala na OBU enoto preko komercialne aplikacije NowSms. OBU enoto je predstavljal pametni telefon Qtek 2020 z naslednjimi tehničnimi karakteristikami:

- CPU 450 MHz

- 64 MB RAM
- Windows CE 5.0

Ker Qtek 2020 nima vgrajenega sprejemnika GPS signala, sem uporabil zunanji GPS i-Blue 737. OBU napravo in GPS sem povezal preko bluetooth sprejemnika. Zajem GPS signala sem opravil posredno prek Franson GPSGate aplikacije, predvsem zato, ker sem imel tako možnost beleženja sprejetih GPS podatkov. Zabeležene podatke sem lahko nato naknadno predvajal, kar mi je bistveno olajšalo razvoj aplikacije. Za povezavo z internetom sem uporabil vgrajen GSM sprejemnik s podporo GPRS prenosa podatkov in sprejemanja SMS sporočil.

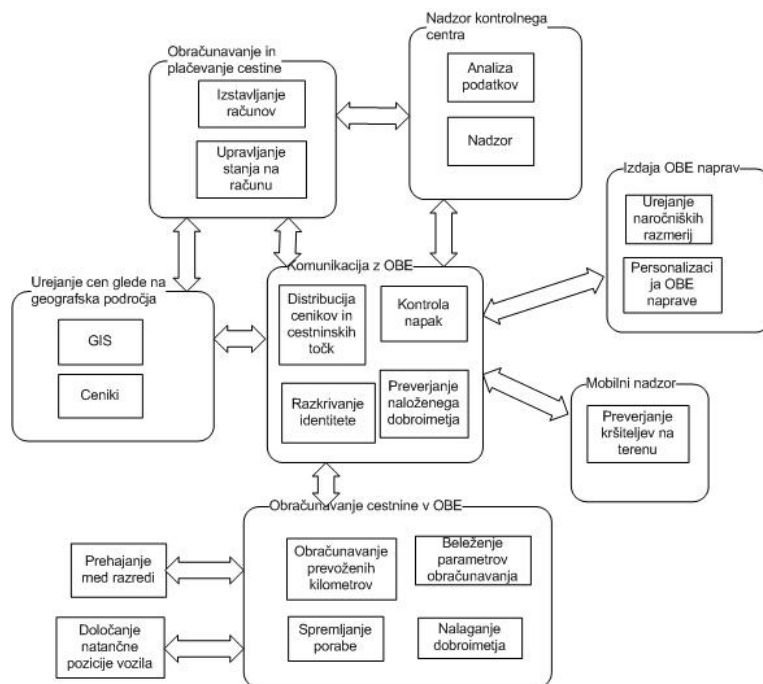


Slika 7.2: Postavitvena slika sistema

Za mobilno enoto sem uporabil prenosni računalnik. Posebnih strojnih omejitev za mobilno enoto ni, potreben je le dostop do interneta, ki se ga na terenu da zagotoviti preko UMTS/GPRS modemskega dostopa. Za dostop do aplikacije mobilne enote je potreben le spletni odjemalec.

7.2 Programska arhitektura

Naslednji diagram predstavlja programsko arhitekturo nadzornega centra.



Slika 7.3: Logični diagram sodelovanja med moduli

Programsko arhitekturo sistema lahko razdelimo v več logičnih sklopov:

Izdaja OBU naprav Zaposleni v CE registrirajo novega uporabnika in vnesejo v OBU napravo osnovne parametre, ki omogočajo njeno pravilno delovanje v sistemu.

Urejanje cestninskih točk Zaposleni v nadzornem centru določijo nadzorne in obračunske točke, ki so vezane na geografsko lokacijo. Prav tako določijo cenik za vsako posamezno obračunsko točko.

Ažuriranje podatkov OBU naprava v kontrolnih točkah 'povpraša' CE, ali je prišlo do sprememb tarifnih shem ali cestninskih točk. Če je prišlo do sprememb, potem OBU naprava naloži potrebne spremembe.

Nadzor delovanja CE Tudi kontrolni center mora biti nadzorovan. V nadzoru kontrolnega centra se beležijo vsi izredni dogodki, ki vključujejo tako delovanja sistema (obremenjenost) kot tudi nepredvidene dostope do podatkov (preverjanje uporabnikov).

Nadzor OBU naprava ob prehodu kontrolne točke vzpostavi povezavo s CE. Nadzornemu centru (CE) pošlje podatke, na podlagi katerih CE določi ali naprava deluje pravilno ali ne. Če zazna napako v delovanju, zahteva razkritje identitete OBU naprave. CE prav tako lahko preveri ali posamezne naprave delujejo ali ne.

Izdelava poročil CE na podlagi zbranih podatkov izdela različna poročila (npr.: količina vozil v prometnem toku po posameznih odsekih).

Plačila V nadzornem centru se za vsako OBU napravo vodi CE račun. Vsa plačila porabljenega limita ali dobroimetja se izvedejo preko CE računa, šele nato se prene-sejo na OBU napravo v obliki žetonov. OBU naprava nadzornemu centru periodično (enkrat tedensko, mesečno, ...) sporoča sumarne podatke o obračunani cestnini. Ti podatki se nato obračunajo še na CE računu. Na podlagi izvedenih obračunov CE izda račune uporabnikom s poplačniškim načinom plačevanja.

Komunikacija OBU komunicira z nadzornim centrom preko proxy strežnika. Pri komunikaciji gre predvsem za prenašanje ažurnih podatkov (parametri/ceniki, cestninske točke) in kontrolo pravilnosti delovanja (izračunavanja in obračunavanja cestnine) OBU naprave.

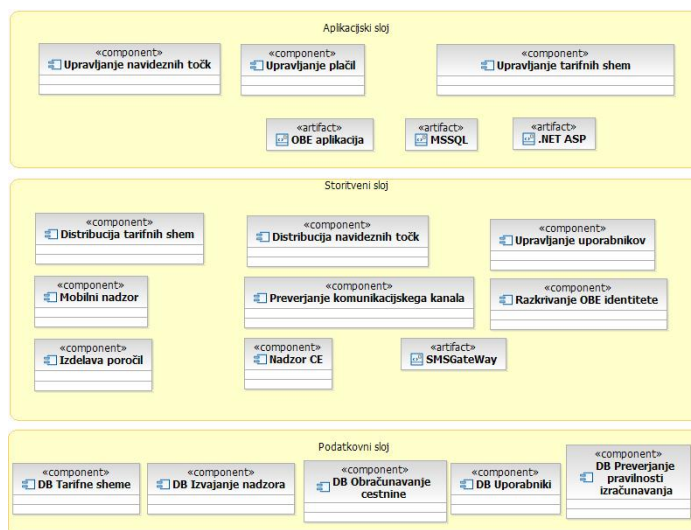
Izračunavanje in obračunavanje cestnine Cestnina se izračunava in obračunava v OBU napravi glede na veljavne parametre/cenike in glede na prevožen cestni odsek. Stanje na računu oz. porabljeno stanje se uporabniku ves čas prikazuje na ekranu. Pri obračunavanju cestnine je posebej pomembno zaznavanje prehajanja med cestninskimi razredi.

Določanje pozicije Zaradi odvisnosti obračunavanja cestnine od geografske pozicije je potrebno zagotoviti visoko natančnost določanja lokacije vozila. Pozicija vozila se pridobi iz GPS in se primerja z naloženimi cestninskimi točkami.

Mobilni nadzor Kršitelji se iščejo tudi na terenu. Represivni organi imajo možnost preverjanja posameznih vozil. V primeru odkritja napak ali kršiteljev represivni organi ustrezno reagirajo.

Strukturo programske opreme lahko razdelimo na tri nivoje. Uporabniški nivo predstavljajo aplikacije, s katerimi bodo upravljali uporabniki. Za komunikacijo in integracijo

medsebojnih aplikacij ter za dostop do podatkov v podatkovnih zbirkah, sem uporabil .NET spletne storitve, ki se nahajajo na storitvenem sloju.



Slika 7.4: Razdelitev programske arhitekture na sloje

Nadzorni center in mobilna enota

Izdelava in urejanje tarifnih shem

Pri vodenju cenikov oziroma tarif cestninjenja sem vpeljal naslednje podatkovne strukture:

- navidezna točka,
- lastnik cestnega omrežja,
- kategorija vozila,
- verzija cenika in
- časovni interval (npr.: dnevna / nočna tarifa).

Pri kategoriji obračunskih točk določamo utež za izračun cestnine posameznega cestnega odseka, ki smo mu podelili obračunsko točko. Kategorija obračunske točke je določena predvsem z vrsto cestnega odseka (lokalna, magistralna, avtocesta), dolžino cestnega odseka ter z lastnikom (koncesionarjem) ceste.

Navidezno točko določimo z zemljepisnimi koordinatami. Koordinate morajo biti postavljene na cestnem odseku. Pri tem je potrebno paziti, da se v primeru podvozov ali nadvozov točke ne prekrivajo. Prav tako je smiselno točke razporediti kar se da narazen, da se minimizira možnost zaznave napačnega cestnega odseka. Pri določitvi višine tarife za posamezen cestni odsek se je potrebno uskladiti z lastnikom (koncesionarjem) območja. S kategorijami vozil ločujemo posamezne uporabnike cest, ki glede na način uporabe posameznega cestnega odseka (npr. vožnja s prikolico ali brez) plačujejo ustrezno cestnino. Časovni interval uvaja dodatno dimenzijo uporabe cestnega odseka, ki je odvisna od časa v dnevu. Ločevanje tarif znotraj dneva je povezano z dinamiko gostote prometa. Zgornje kategorije med seboj tvorijo relacijo, ki je opremljena s pozitivnim celoštevilskim faktorjem cestnine, ki ga izražamo v enotah žetona. Tako se izbrano kategorijo obračunske točke, kategorijo vozila in časovni interval poveže med seboj in povezavi podeli faktor cestnine.

Aplikacija 'Izdelava cenikov' je namizna aplikacija, implementirana na .NET 2.0 platformi. Vse spremembe parametrov/cenikov se shranijo v DB Ceniki podatkovno shemo. Naknadne spremembe cenikov se preko komponente 'Posredovanje cenikov' posredujejo na OBU napravo. Posredovanje cenikov je spletna storitev, ki jo uporablja OBU naprava.

Posredovanje cenikov in točk

Podatki o tarifah se nahajajo v podatkovni zbirki v CE. OBU preko spletnih storitev prenese tarife v neizbrisni spomin. Prenos podatkov se izvede v primeru, da se pri preverjanju obračunavanja cestnine s strani CE ugotovi, da je verzija tarif na OBU starejša od trenutno ažurne ali v primeru, da se pripeljemo v geografsko področje, za katero nimamo naloženih tarifnih shem. Ker so spletne storitve obremenjene s precej odvečnimi podatki, bi končni sistem moral implementirati učinkovitejši način prenosa podatkov.

Navidezne točke predstavljajo del tarifne sheme, zato se na OBU napravo prenesejo pri prenosu tarifne sheme.

Nadzor na terenu

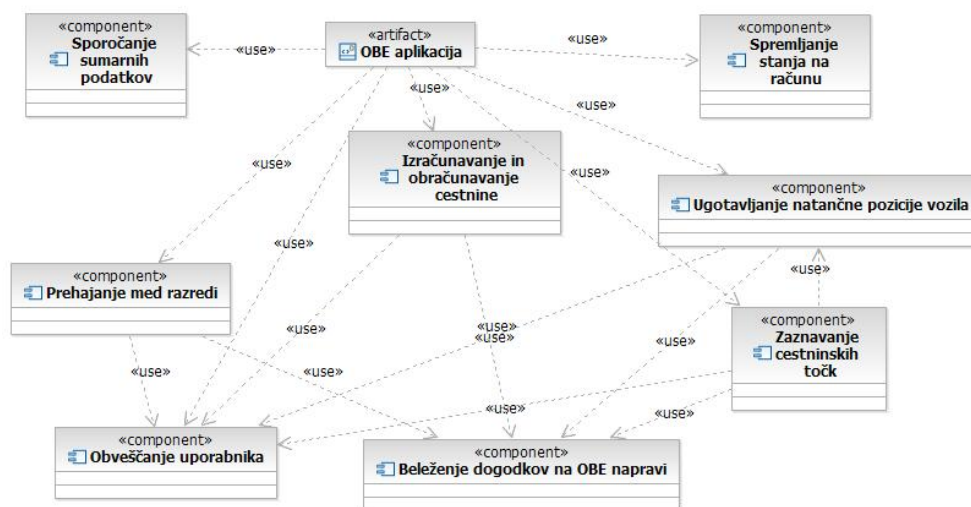
Mobilni uporabniki sistema (delovno mesto na terenu) se poslužujejo aplikativnega modula za nadzor delovanja OBU. Aplikacija za nadzor bo podpirala naslednje postopke:

- identifikacija vozila na podlagi registrske tablice,
- preverjanje obstoja morebitnih nepravilnosti v delovanju OBU (ali je OBU na seznamu kršiteljev),
- on-line preverjanje komunikacijskega kanala OBU preko posebnega protokola, s katerim dokazujemo, da je OBU sposoben izvajati GPRS komunikacijo s CE.

Nadzor na terenu je spletna aplikacija, ki komunicira preko spletnih vmesnikov, ki se nahajajo na aplikacijskem IIS strežniku. Uporaba aplikacije je možna preko spletnega odjemalca.

OBU

OBU aplikacija teče na OBU napravi. Sestavlja in upravlja več med seboj neodvisnih komponent (Slika 7.5). OBU aplikacija je zasnovana tako, da v čim večji meri avtomatizira postopke in zahteva od uporabnika minimalno interakcijo. Glavnina interakcije uporabnika z OBU aplikacijo zajema obveščanje uporabnika o potrošeni cestnini in o morebitnih napakah pri delovanju OBU naprave oziroma pri komunikaciji OBU naprave z nadzornim centrom.



Slika 7.5: Programska struktura OBU naprave

Ugotavljanje natančne pozicije vozila

OBU naprava prototipnega sistema (dlančnik) ima vgrajen bluetooth sprejemnik, preko katerega je povezan zunanji GPS sprejemnik. Preko GPS sprejemnika se določa trenutna GPS pozicija. V primeru, da pozicije ni mogoče določiti, se tak dogodek zabeleži in obvesti uporabnika (npr.: nezadostna jakost signala).

Zaznavanje cestninskih točk

Vse zaznane pozicije OBU naprave (vozila) se primerjajo z naloženimi cestninskimi točkami. V kolikor modul ugotovi, da je vozilo prevozilo cestninsko točko, ta dogodek zabeleži in obvesti uporabnika. Uporabnik bo zaradi preprečevanja zlorab obveščen samo o prehodu obračunske točke. Pri odčitavanju GPS pozicije praktično nikoli ne dobimo koordinate, ki bi se natančno ujemala s koordinato navidezne točke, zato moramo določiti velikost območja okrog navidezne točke, ki še identificira navidezno točko. Velikost območja je pridobljena na podlagi zahteve, da mora ECS omogočati obračunavanje cestnine do hitrosti 200 km/h ter da odčitavamo GPS pozicijo v sekundnem intervalu. Ker vozilo v eni sekundi pri hitrosti 200 km/h prevozi 55 metrov, ta razdalja predstavlja premer še veljavne okolice. Tako velik premer je za potrebe prototipa zadovoljiv, v končni rešitvi pa bi bilo potrebno zmanjšati časovni interval branja GPS pozicije, vendar bomo s tem obremenili OBU napravo in povečali njene strojne zahteve. Druga možnost je, da za vsako točko določimo radij veljavnosti. Tako bi lahko zagotovili zaznavanje točk tudi v gosto prepredenem cestnem omrežju.

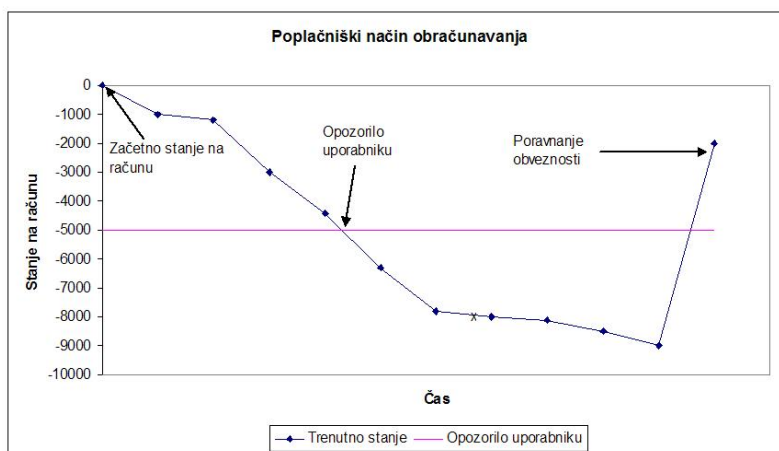
Prehajanje med razredi

Razred vozila bo uporabnik določil ročno preko vmesnika OBU naprave. Prehod se zabeleži in shrani na OBU napravo uporabnika pa se obvesti o trenutnem razredu vozila. V tej prototipni izvedbi ne bo podprto avtomatično zaznavanje priklopa prikolice, saj bi za to potrebovali najmanj priklop na CAN (Controller Area Network) vodilo.

Izračunavanje in obračunavanje cestnine

OBU naprava izvede izračun in obračun cestnine glede na parametre tarifne sheme. Vrednost izračuna glede na vrsto naročniškega razmerja obračunamo na OBU računu, šele nato ga skupaj s parametri shranimo na OBU napravi. Novo stanje na računu se uporabniku prikaže na zaslonu naprave.

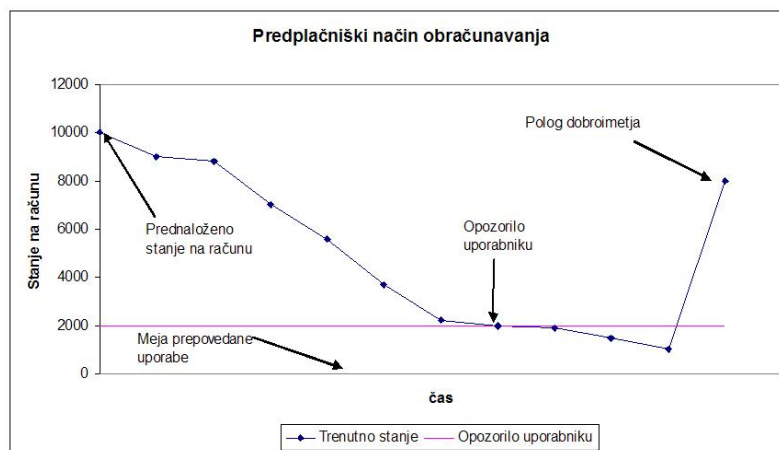
Obračunavanje cestnine v odvisnosti od naročniškega razmerja je v osnovi enako za oba možna načina, razlike se pojavijo le pri postavitvi mejnih vrednosti OBU računa. V poplačniškem načinu obračunavanja (Slika 7.6) se stanje na računu enostavno povečuje. Uporabnik si lahko določi tudi mejno vrednost. Ko je mejna vrednost presežena, se na OBU zaslonu prikaže opozorilo. Uporabnik pri tem nima nobenih omejitev glede nadaljnje uporabe OBU naprave. Po tem ko se agregirani podatki posredujejo na CE, se tam obračunajo in uporabniku se izda plačilni nalog. Ko je plačilni nalog poravnan, se vrednost poravnane dolga v obliki dobroimetja prenese na uporabniški račun. Stanje na računu se zniža za poravnano vrednost preračunano v žetone.



Slika 7.6: Poplačniški račun

Podoben postopek obračunavanja je pri predplačniškem načinu (Slika 7.7). Razlika je seveda v tem, da moramo najprej naložiti dobroimetje. Porabljen cestnina se odšteva od dobroimetja. Tudi tu imamo opozorilno mejo, vendar ta v tem načinu pomeni, da bomo kmalu porabili vse dobroimetje oz. da obstaja nevarnost, da bomo postali kršitelj. Kadar uporabnik prejme opozorilo, mora na svoj račun naložiti dobroimetje.

Način obračunavanja se v razvitem prototipu določi ob personalizaciji OBU naprave.



Slika 7.7: Predplačniški račun

Spremljanje stanja na računu

Na zaslonu OBU naprave se ves čas izpisuje stanje na OBU računu. Uporabnik vedno ve, koliko žetonov na OBU računu še ima. Kadar uporabnik preseže opozorilno mejo, se mu to na zaslonu ustrezno prikaže. Prototipna aplikacija je prikazovala opozorilno stanje z rdečimi znaki na rumenem ozadju, preseženo dobroimetja pa s črnimi znaki na rdečem ozadju. V primeru normalnega delovanja se prikazujejo črni znaki na belem ozadju.

Pri končni obliki OBU naprave, bo to verjetno potrebno prilagoditi, saj implementacija barvnega zaslona ne bo cenovno upravičena.

Sporočanje sumarnih podatkov

OBU naprava periodično (enkrat tedensko, enkrat mesečno, ...) pošilja v CE stanje na OBU računu. V CE pošlje obračunano število žetonov, zbrano po posameznih koncesionarjih. Sporočanje sumarnih podatkov je dejansko proces, ki teče v ozadju in ne zahteva nobene interakcije z uporabnikom, razen v primeru napake. Takrat mora uporabnik poklicati klicni center in zahtevati pomoč, oziroma se oglasiti na centru za pomoč naročnikom.

Obveščanje uporabnika

OBU aplikacija obvešča uporabnika o dogodkih ob izvajanju cestninjenja. Dogodki obveščanja so lahko različni:

- sprememba stanja na računu,
- sprememba statusa računa (opozorilno stanje, stanje prekoračitve, ...),
- izguba ali nezmožnost zaznave GPS signala,
- časovni interval (jutranja ali popoldanska konica),
- prevožena cestninska točka (ime točke),
- kategorija vozila ter
- poročilo o napaki.

Beleženje dogodkov na OBU napravi

OBU naprava se lahko nahaja v različnih stanjih. Vsaka sprememba stanja naprave se zabeleži in shrani v OBU napravi za namen dokazovanja morebitne kršitve. Vsi podatki, ki se zabeležijo v OBU napravi, so podpisani z digitalnim podpisom. S tem zagotovimo, da zabeleženih podatkov ni nihče naknadno spreminjal. Da pa zagotovimo sledljivost in konsistentnost podatkov, pri digitalnem podpisovanju podpišemo hkrati vsebino in predhoden (zadnji) podpis. Postopek zagotavljanja varnosti je podrobneje predstavljen v poglavju 9.

8 Delovanje prototipa

Zaradi lažjega razumevanja delovanja prototipa bom osnovni princip delovanja razdelil na šest sklopov. Prvih pet sklopov sledi neposredno iz logične razdelitve podatkovne zbirke v nadzornem centru. V šestem sklopu pa je podrobneje opisano zagotavljanje nadzora sistema in preprečevanje zlorab v njem.

8.1 Uporabniki

Najenostavnejši sklop 'Uporabniki' ureja področje naročniških razmerij. Vsak nadzorni center ima uporabnike OBU naprav, ki jih ureja z aplikacijo za upravljanje naročniških razmerij (Slika A.3). Uporabnik in OBU naprava sta v okviru tega prototipa združena v eno. To je tudi razvidno iz parametra *gsm* (Slika 8.1), ki predstavlja GSM številko OBU naprave. Na to številko CE posreduje SMS z zahtevo po vzpostavitvi povezave z OBU napravo (mobilni nadzor).

Vsak uporabnik ima račun (tabela Account - Slika 8.1), na katerem se izkazuje saldo stanje. Saldo stanje ni vedno enako dejanskemu stanju na OBU napravi, saj se vplačila (dobroimetja oz. poravnave) prenesejo na OBU napravo pri prehodu kontrolne točke, žetoni obračunani na OBU napravi pa se v vnaprej določenem časovnem intervalu (dan, teden, mesec) posredujejo v nadzorni center, kjer se obračunajo v breme uporabniškemu računu. Med parametri Account tabele gre izpostaviti parameter *type*. S tem parametrom definiramo predplačniški ali poplačniški način obračunavanja cestnine.

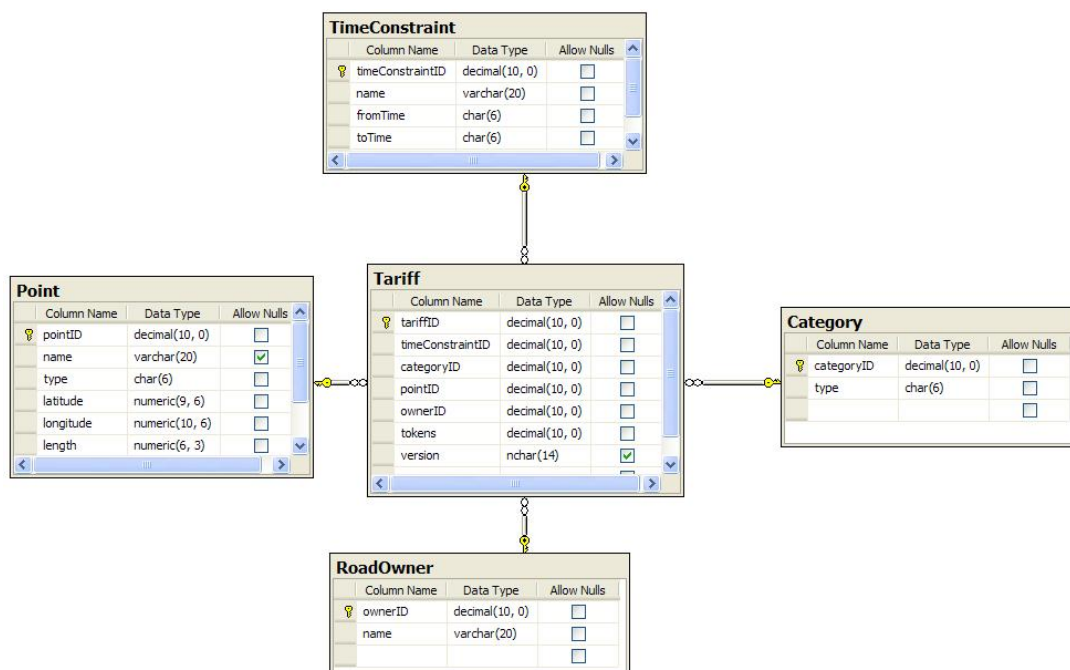
Uporabniški račun vsebuje tudi podatke o osnovni kategoriji vozila (brez prikolice) in registrsko številko vozila. Registrska številka vozila predstavlja ključ, preko katerega se opravlja preverjanje uporabnikov na terenu. Tako nadzorni organi na terenu nikoli ne izvedo GSM številke OBU naprave ter njenega identifikatorja.



Slika 8.1: Uporabniki

8.2 Tarifne sheme

Tarifne sheme so vezane na lokacijo, čas in kategorijo. Dodan je še parameter 'Lastnik ceste' z namenom pravičnejše porazdelitve prihodkov iz cestninjenja.



Slika 8.2: Tarifne sheme

Model na sliki 8.2 omogoča posebej dinamičen sistem, saj je možno cestnino prilagajati skozi čas. Kasneje bi bilo smiselno časovne intervale še razširiti (prazniki, vikendi, ...), vendar je pri tem potrebno imeti v mislih, da ta model samo hrani podatke o tarifnih shemah. Te se kasneje prenesejo na OBU napravo, kjer se izvede ves izračun cestnine. Vsakršno povečanje kompleksnosti izračuna bi imelo za posledico zahteve po večji strojni zmogljivosti OBU naprave. Tarifne sheme se v prototipu upravljajo z aplikacijo 'Upravljanje tarifnih shem' (Tariff Schema Creator). Iz slike A.2 je razvidno, da je dejansko potrebno izdelati tarifno vrednost za vse kombinacije parametrov tarifne sheme. Število teh kombinacij raste eksponentno, kar pomeni izjemno hitro rast tarifne sheme in velik izziv za optimizacijo.

8.3 Obračunavanje cestnine

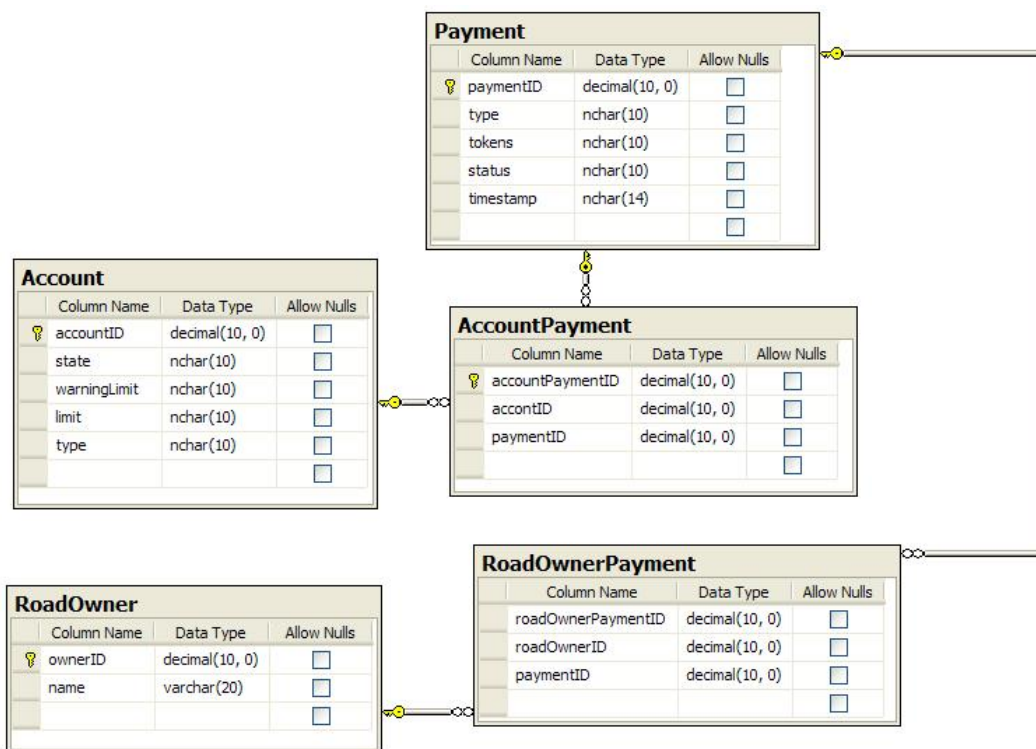
Razdelek Obračunavanje cestnine (Slika 8.3) prikazuje tabele, v katerih se beležijo vsa vplačila in vsa sumarna poročila o porabljeni cestnini. Sumarno sporočilo oz. poročilo o obračunani cestnini, ki prispe od OBU naprave, vsebuje grupiran zapis porabljene cestnine po posameznih lastnikih cestišč. Zato ob vsakem prispelem sumarnem poročilu lahko na transparenten način porazdelimo obračunano cestnino posameznim lastnikom cestišč. Transakcija se zabeleži v tabelo `RoadOwnerPayment`.

Hkrati ko obračunamo porabljeno cestnino v dobro lastnikom cestnega omrežja, jo moramo obračunati v breme uporabniku OBU naprave. Ta transakcija se zapiše v `AccountPayment`.

Vrednost stolpca *type* v tabeli `Payment` definira vrsto transakcije (`LOAD` - naloženo dobroimetje, `AGGSUM` - sumarno poročilo porabljene cestnine). Ker se nalaganje dobroimetja ne prenese na OBU napravo takoj, sem vpeljal dodaten parameter *status*, ki definira stanje transakcije. Transakcija `LOAD` pridobi status `LOADED` šele, ko jo potrdi OBU naprava. Sicer se nahaja v čakajočem statusu (`PENDING` - Slika A.5).

8.4 Preverjanje pravilnosti izračunov

Vsak odziv OBU naprave se zabeleži. V kolikor se transakcija izvede v kontrolni točki, potem jo zabeležimo v `ControlPointReport` (Slika 8.4). Če pa je zabeležena v obračunski

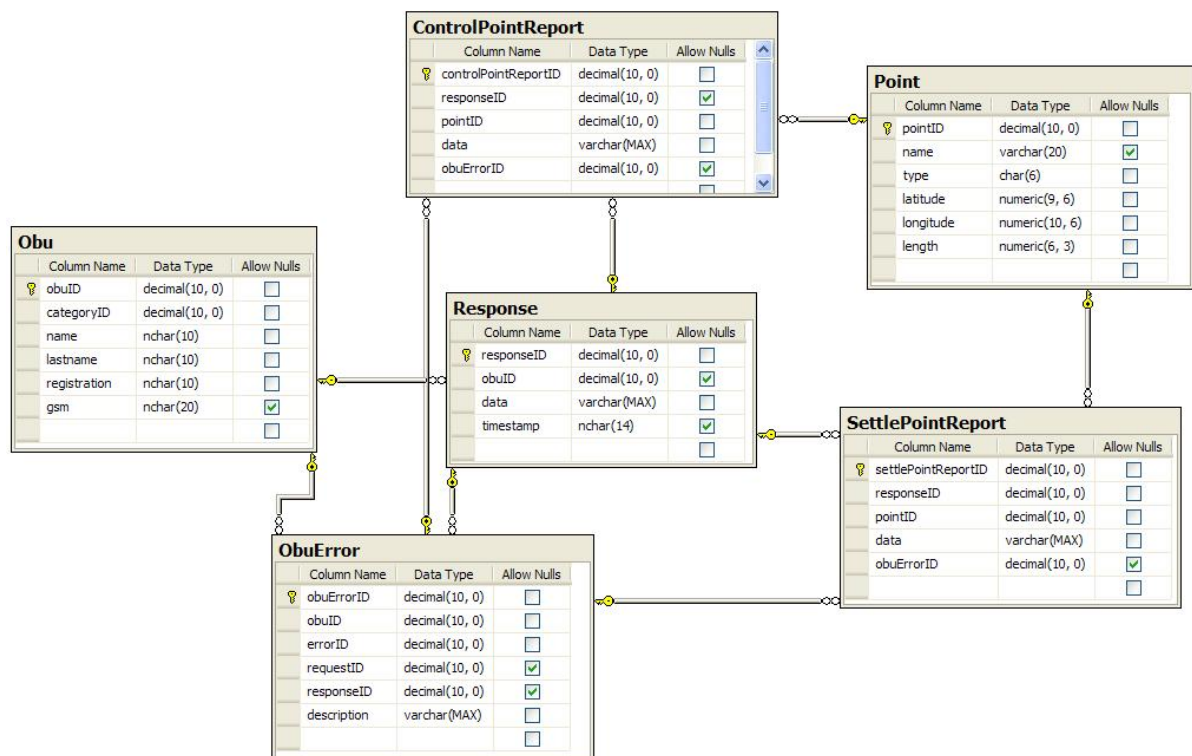


Slika 8.3: Obračunavanje cestnine

točki, jo shranimo v SettlePointReport. Pomembna razlika je, da v primeru poročanja nadzornemu centru v obračunski točki vedno pričakujemo odgovor. Ker v obračunski točki poročamo le, če je prišlo do napake, je navadno odgovor CE zahteva po razkritju identite uporabnika.

Pri poročanju v kontrolni točki ni nujno, da pride do odgovora nadzornega centra. OBU naprava namreč nadzornemu centru posreduje informacijo o zadnjem izračunu cestnine skupaj z identifikatorjem tarifne sheme. Nadzorni center na osnovi tega preveri, ali je tarifna shema veljavna in če je, preveri pravilnost izračuna. V kolikor izračun ni točen, pošlje na OBU napravo zahtevo po razkritju identitete. Zahteva se zabeleži v tabelo 'Response'. Če je izračun pravilen se izvajanje preverjanja zaključi.

Če je zaznana napaka, se ta zabeleži v tabelo 'ObuError'. Od tod je kasneje mogoče za vsako napako enolično ugotoviti, pri katerem sporočilu je prišlo do nje, ali se je CE pravilno odzval in za katero OBU napravo je bila napaka ugotovljena.



Slika 8.4: Preverjanje pravilnosti izračunov

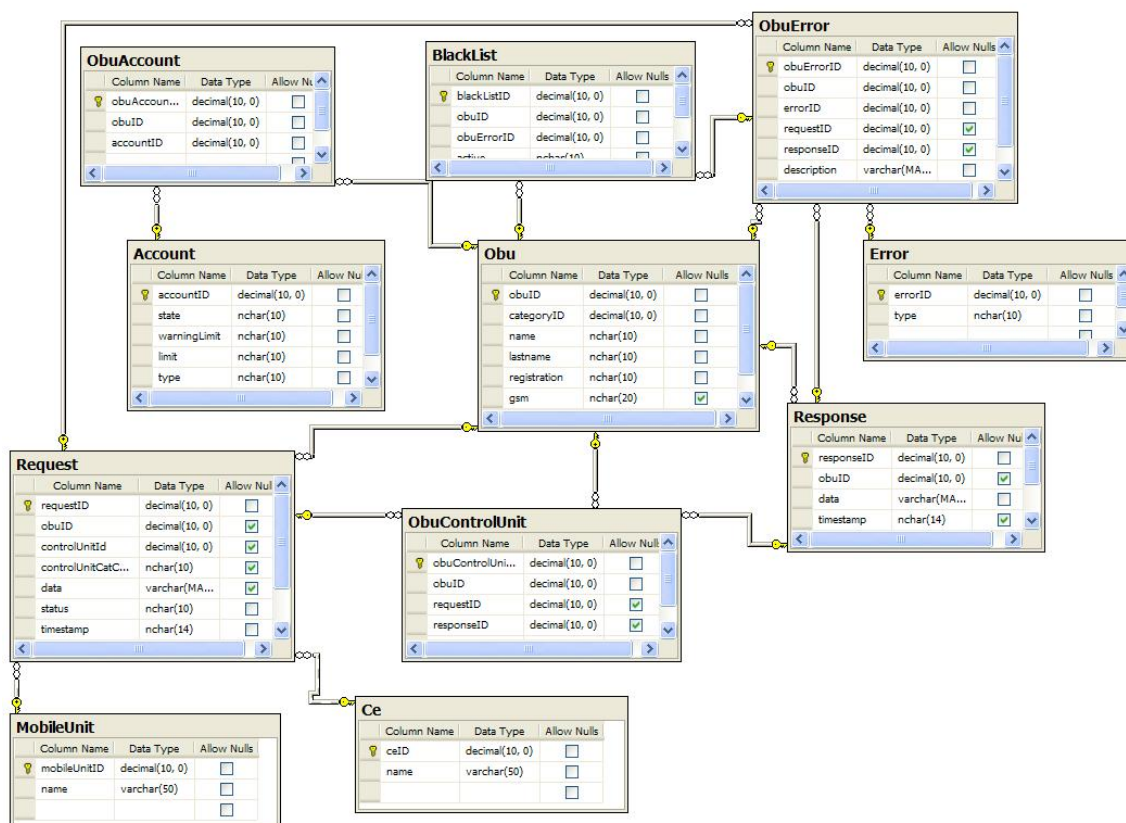
8.5 Izvajanje nadzora

Izvajanje nadzora v CE je v večjem delu zagotovljeno s podatkovno shemo (Slika 8.5) in njenimi pravili uporabe. Pri tem sodelujejo vsi akterji ECS. Vse transakcije med akterji se namreč beležijo v podatkovni zbirki.

Prvi nivo nadzora se izvaja na OBU napravi. Čim OBU naprava zazna napako, jo posreduje CE. CE od naprave nato zahteva razkritje identitete. Identiteta OBU naprave se vedno razkrije na zahtevo. Sporočena napaka se nato pripiše pripadajoči OBU napravi oziroma uporabniku.

Drugi nivo nadzora se izvaja s preverjanjem pravilnosti izračunov, kot je to opisano v podpoglavju 8.4. Poleg tega sodi sem še mobilni nadzor. Mobilne enote, ki so na terenu, lahko preverjajo sumljive ali naključne uporabnike v prometu. Preverjanje izvedejo na podlagi registrske številke. CE nato mobilni enoti posreduje naslednje informacije o uporabniku (Slika A.5):

- podatke o uporabniku (brez identifikatorja OBU naprave in gsm številke),
- stanje na računu v nadzornem centru,



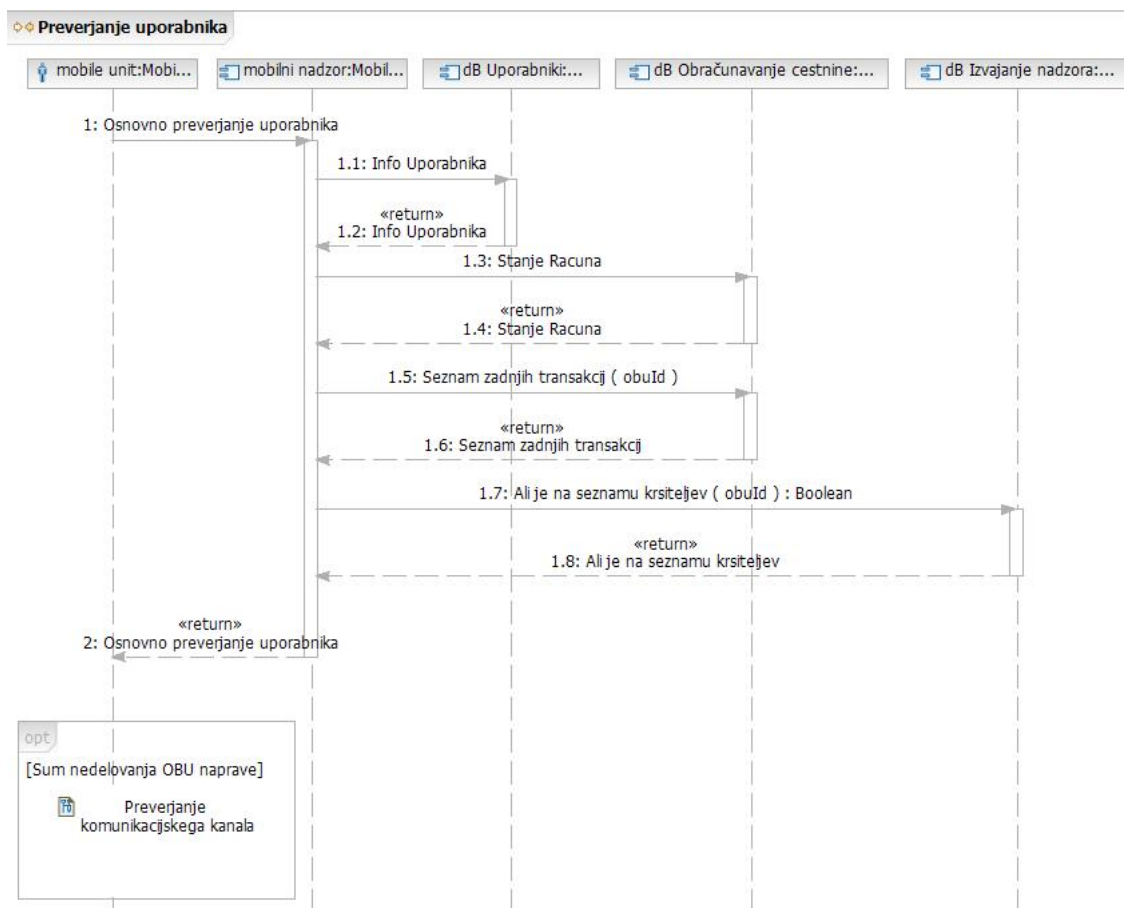
Slika 8.5: Izvajanje nadzora

- ali je OBU naprava na seznamu kršiteljev,
- seznam čakajočih plačil ter
- čas zadnjega poročanja agregiranih vrednosti v CE.

Iz navedenih podatkov vršilec mobilnega nadzora lahko ugotovi naslednje:

- Ali ima porabnik registrirano OBU napravo? Ta informacija je še posebej pomembna pri voznikih iz drugih držav.
- Ali je predplačniški uporabnik prekorajl dovoljeno vrednost limita ter ali ima čakajoče pokritje (PENDING transakcija, ki se prenese na OBU napravo ob prehodu kontrolne točke)?
- Ali ima lastnik OBU naprave že zgodovino kršitelja?
- Čas zadnjega poročanja v CE. V primeru, da je ta čas precej star, lahko nadzorni organ izvede preverjanje delovanja komunikacijskega kanala.

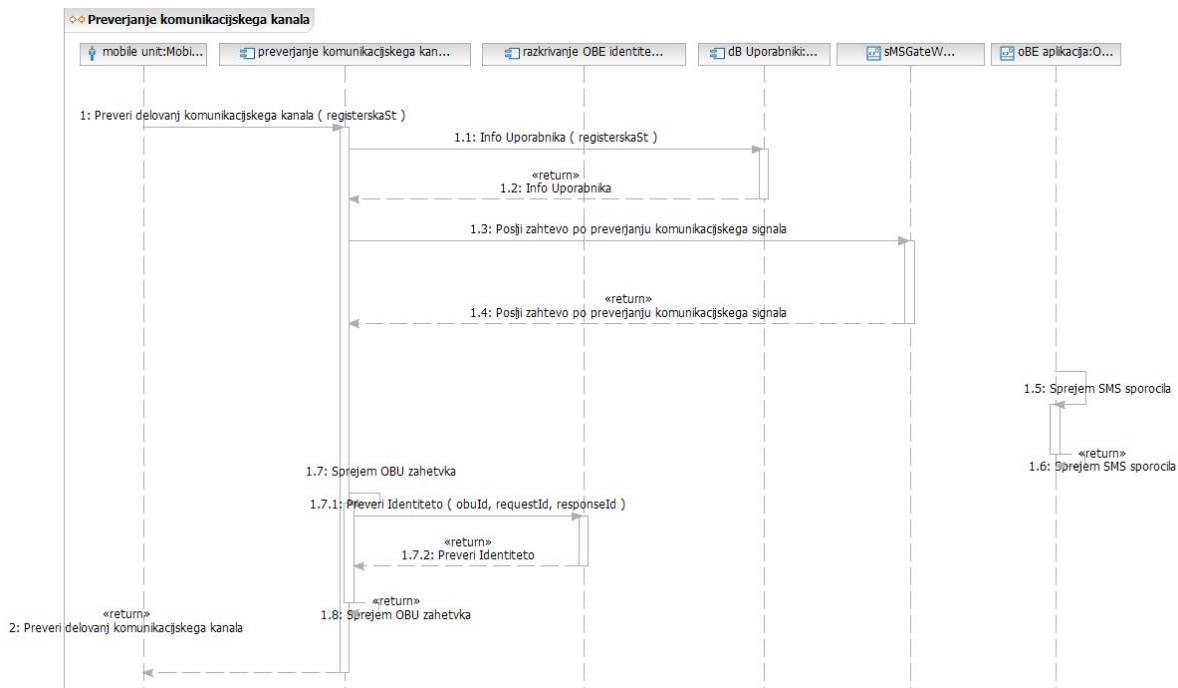
Če vršilec mobilnega nadzora ugotovi nepravilnosti, lahko ukrepa skladno z zakonom. Področje zakonodaje za zdaj še ni definirano, vendar bi morali biti postopki podobni, kot jih danes izvajajo organi policije za povzročitelje kazenskih prekrškov. Podrobnejši diagram preverjanja je prikazan na sliki 8.6.



Slika 8.6: Izvajanje nadzora

Kadar obstaja sum, da uporabnik nima prižgane naprave oziroma le-ta ne deluje pravilno, lahko vršilec mobilnega nadzora preveri delovanje komunikacijskega kanala (Sliki 8.7 in A.6). Takrat mobilna enota preko CE izda zahtevek za vzpostavitev povezave z OBU napravo. Zahtevek se posreduje preko SMS sporočila in se predhodno zabeleži v tabelo za zahtevke 'Request'. Tabeli 'Request' in 'Response' hranita vse zahtevke izdane OBU napravi in vse odgovore OBU naprave na te zahtevke. V kolikor OBU naprava sama vzpostavi povezavo do CE, se v 'Request' tabelo zabeležijo transakcije proti CE in v primeru odgovora se ta zabeleži v 'Response' tabelo. Po tem ko OBU naprava potrdi zahtevek in se le-ta zabeleži v nadzornem centru, se mobilni enoti iz prikaza odstrani zahtevek za preverjanje kanala (Slika A.7). Dokler je zahtevek viden, pomeni, da še ni bil

potrjen. Če ne izgine v določenem času (60 sekund), potem lahko mobilna enota sumi na napako v delovanju ali celo zlorabo.



Slika 8.7: Preverjanje komunikacijskega kanala

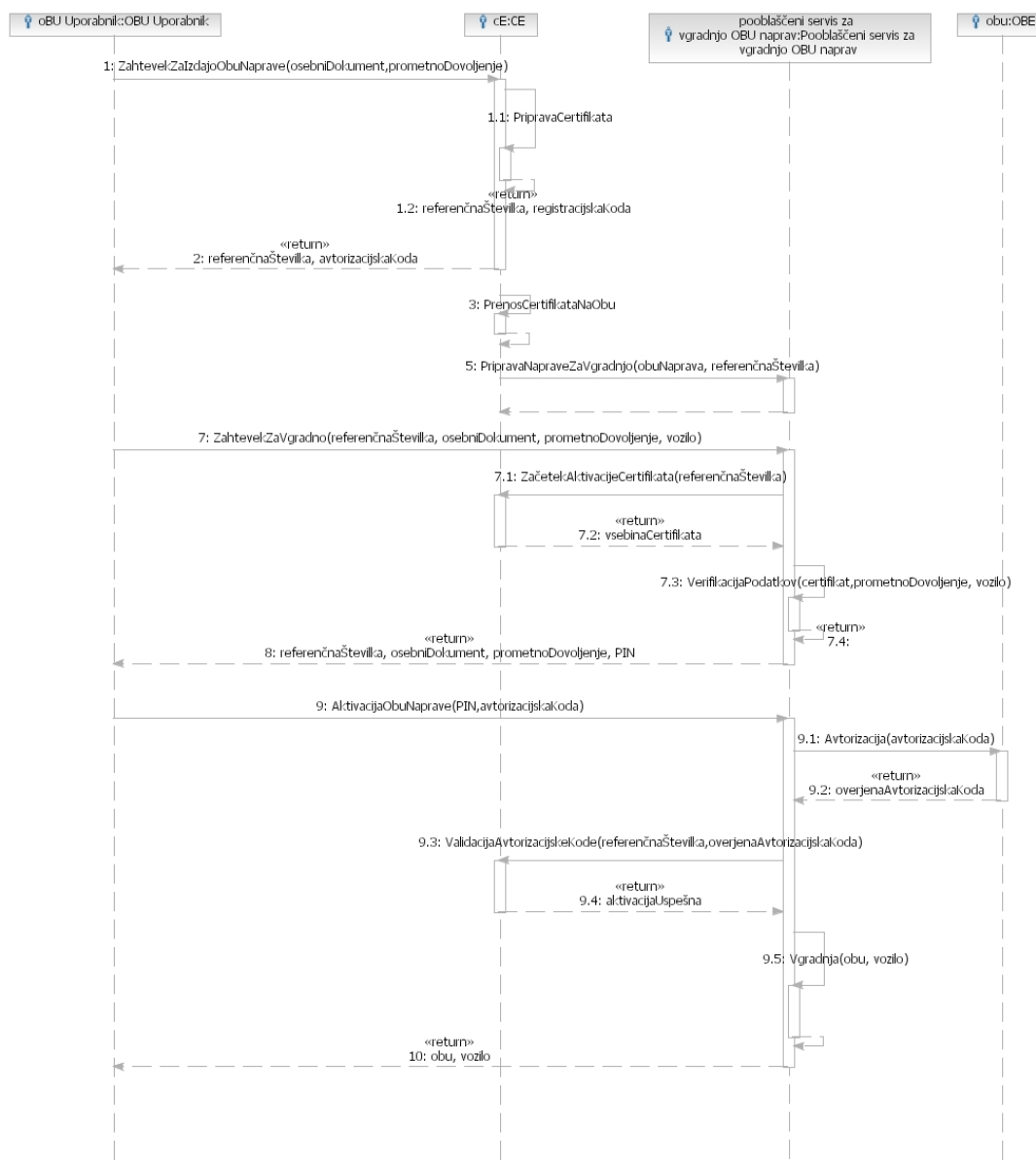
Obstaja še tretji nivo nadzora, ki se izvaja na nivoju nadzornega centra. Na tem nivoju se preverjajo morebitne zlorabe uporabnikov nadzornega centra in mobilnih enot. V prototipu ni posebnega poudarka na tem nadzoru, saj ga je mogoče enostavno rešiti z dodelitvijo dostopnih pravic avtoriziranim uporabnikom za dostop do tabel, kjer se beležijo vse transakcije preverjanja.

9 Varnost

Z uvedbo inteligentne OBU naprave, ki je zmožna samostojno obračunavati in preračunavati cestnino, smo se izpostavili velikem tveganju zlorab. Zato je potrebno pri zasnovi OBU naprave imeti v mislih njihovo preprečevanje in zagotavljanje varnosti celotnega poslovnega procesa. Da bi zagotovil določeno stopnjo varnosti, ki bi preprečevala množične zlorabe, sem se odločil uporabiti danes najpogosteje uporabljano varnostno tehniko - elektronski podpis. Prednost elektronskega podpisovanja je, da zagotavlja overjanje in celovitost podatkov, s tehničnega stališča pa ne zahteva visokih strojnih zmogljivosti. Kot že omenjeno so glavni akterji sistemi CE, OBU naprave in mobilne nadzorne enote. Za vzpostavitev sistema varne oziroma verodostojne komunikacije je potrebno vsakemu akterju določiti njegov javni in privatni ključ. Za OBU napravo se javni in privatni ključ sestavita v nadzornem centru ob postopku izdaje nove OBU naprave. Če hočemo zagotoviti res varen sistem, bi morala OBU naprava hraniti svoj privatni ključ in javni ključ nadzornega centra v varnem neizbrisljivem spominu. Takšen varen spomin ustreza funkcionalnostim pametne kartice. V okviru tega prototipa zaradi strojnih omejitev dlančnika pametne kartice nisem mogel uporabiti. Njeno delovanje sem zato predstavil preko programskega vmesnika, ki je predstavljal navidezno pametno kartico.

Ker ima OBU naprava vgrajeno pametno kartico in na njej shranjene kriptografske ključe (certifikat) je prav, da omenimo še postopek izdaje in aktivacije OBU naprave. Ta je zelo podoben postopku aktivacije digitalnega certifikata za uporabo varne elektronske pošte. Do razlike v postopku pride ravno v koraku potrditve avtorizacijske kode. Pri aktivaciji digitalnega certifikata za uporabo elektronske pošte nam certifikalna agencij (CA) avtorizacijsko kodo pošlje na naslov, ki smo ga podali ob prošnji za izdajo certifikata. Na tak način lahko dodatno preveri ali smo ji posredovali veljavne podatke. Pri avtorizaciji OBU naprave pa moramo poleg uporabnikovih podatkov preveriti še veljavnost podatkov o vozilu. Zato je avtorizacijo potrebno opraviti ob vgradnji OBU naprave v vozilo. Po-

droben opis izdaje in aktivacije OBU naprave lahko opišemo z naslednjimi koraki (Slika 9.1):



Slika 9.1: Proces aktivacije OBU naprave

Zahtevek za pridobitev OBU naprave (Korak 1) mora uporabnik predati v poslovalnici nadzornega centra ali pooblaščenega podjetja. V primeru, da preda vlogo na pooblaščenemu podjetju, ima to podjetje podobno vlogo, kot jo ima registracijski center (RA) pri zahtevku za izdajo digitalnega certifikata. Pri oddaji zahtevka mora uporabnik predati še osebni dokument in prometno dovoljenje za vozilo, ki ga želi prijaviti v sistem elektronskega cestninjenja. Ko v nadzornem centru (ali pooblaščen poslovalnici) sprejmejo dokumente, morajo najprej preveriti identiteto uporabnika. Ker gre za uradne dokumente, ki jih je

izdala država, so ti dovolj verodostojni, da jim lahko zaupamo. Za pripravo certifikata na OBU napravi je potrebno vnesti le podatke o vozilu. Podatke o osebi potrebujemo, da lahko v CE zabeležimo osebo, ki je podala zahtevek za izdajo OBU naprave. Na osnovi zbranih podatkov lahko pričnemo pripravo certifikata (Korak 1.1). Za izdelavo certifikata moramo zgenerirati par kriptografskih ključev, ki ju bo uporabljala OBU naprava, ter certifikatu dodati še preostale varnostne parametre (seme, javni ključ nadzornega centra). Ko na osnovi teh podatkov sestavimo certifikat, ga skupaj z javnim ključem OBU naprave shranimo v nadzorni center pod neko referenčno številko. Referenčna številka se preda uporabniku. To številko mora uporabnik prinesiti s seboj v center za vgradnjo OBU naprav kjer jo potrebujejo, da lahko pridobijo podatke, ki jih je shranil nadzorni center. Nadzorni center ustvari še avtorizacijsko kodo, ki jo mora uporabnik vnesti ob aktivaciji OBU naprave (Koraka 1.2 in 2.0). Avtorizacijska koda se uporabniku posreduje na domač naslov s klasično pošto. Tako se dodatno preverijo podatki, ki jih je uporabnik posredoval nadzornemu centru. Medtem ko uporabnik čaka na avtorizacijsko kodo, mora nadzorni center digitalni certifikat prenesti na OBU napravo (Korak 3). Ko je ta proces končan, se mora v nadzornem centru digitalni certifikat izbrisati. Kljub temu se v CE ohranijo vsi podatki certifikata razen kriptografskih ključev OBU naprave. OBU napravo nato dostavijo v center za vgradnjo OBU naprav v vozila (Korak 5).

Uporabnika se o datumu in času vgradnje obvesti pisno in sicer hkrati z dostavo avtorizacijske kode. Na dan vgradnje se mora uporabnik skupaj z vozilom oglasiti na centru za vgradnjo in s seboj prinesiti referenčno številko ter avtorizacijsko kodo (Korak 7). Zaposleni v centru za vgradnjo glede na referenčno številko pridobijo podatke o uporabniku in vozilu, ki jih je shranil nadzorni center (Korak 7.2). Serviser iz centra za vgradnjo preveri, ali se podatki iz nadzornega centra ujemajo z vozilom (Korak 7.3) in v kolikor ni težav, uporabniku vrne dokumente, ter mu preda še v kuverti zapečaten PIN OBU naprave (Korak 8), ki je bil centru za vgradnjo dostavljeni hkrati z napravo. Za aktivacijo OBU naprave mora uporabnik preko tipkovnice na njej vtipkati PIN (Korak 9). S tem odklene napravo. V naslednjem koraku mora vtipkati še avtorizacijsko kodo. Ta koda se digitalno podpiše z uporabnikovim privatnim ključem in se posreduje nadzornemu centru (Korak 9.1). Nadzorni center dešifrira avtorizacijsko kodo z javnim ključem OBU naprave ter dobljeno kodo preveri z avtorizacijsko kodo, ki jo je shranil ob pripravi certifikata (Korak 9.3). Šele če ta korak uspe, se certifikat in posredno tudi OBU naprava

aktivirata za delovanje v sistemu. Ko je tudi ta del postopka uspešno opravljen, lahko serviser OBU napravo vgradi v uporabnikovo vozilo (Korak 9.5).

Sedaj ima uporabnik OBU napravo, ki je sposobna varne dvosmerne komunikacije. Vendar smo že v uvodu povedali, da mora OBU naprava delovati anonimno, kar pa je v protislovju z overjanjem podatkov. Overjena sporočila posredujemo v CE samo takrat, kadar podatki vsebujejo identiteto naprave in ne vsebujejo lokacijskih podatkov. Ta sporočila so:

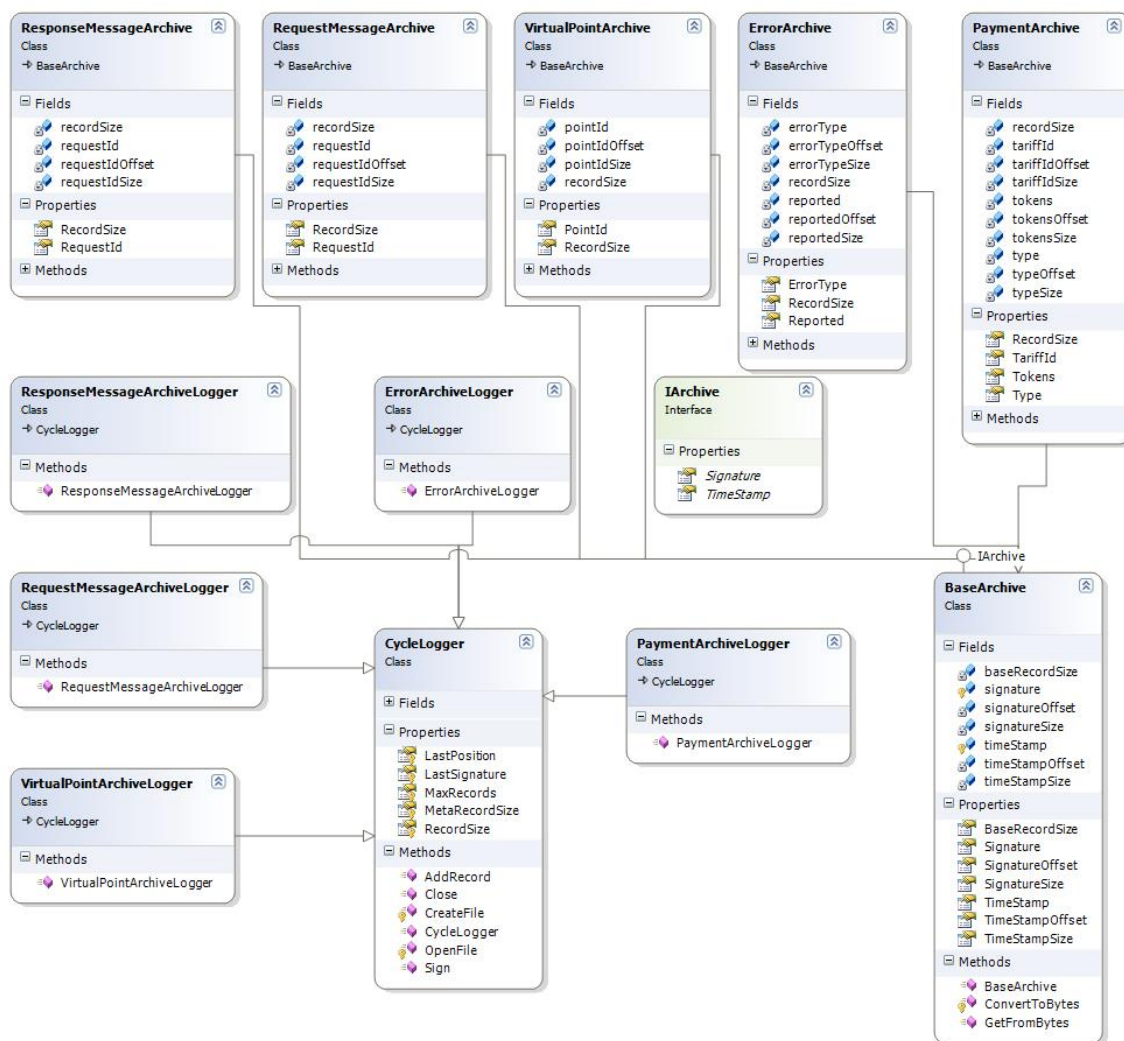
- agregirana vrednost sumarnih podatkov,
- odgovor na zahtevek za razkritje identitete in
- odgovor na zahtevek za preverjanje komunikacijskega signala.

Nasprotno pa je pri sporočilih, ki jih sprejemamo. To so sporočila, ki so bila posredno ali neposredno poslana na OBU napravo. Ta sporočila so:

- zahteva po preverjanju komunikacijskega kanala,
- zahteva po razkritju identitete,
- nalaganje dobroimetja in
- nalaganje tarifnih shem.

Ker vsa komunikacija poteka preko mobilnega GPRS omrežja, ni potrebe za dodatno šifriranje podatkov. Podatki preko GPRS omrežja so namreč že v osnovi šifrirani in s tem (skoraj) izpolnjujejo zahteve po varni komunikaciji. Ker gre vsa komunikacija preko omrežja mobilnih operaterjev, predstavljajo le-ti šibki člen, saj bi lahko zbirali vsa izmenjana sporočila. Tej šibki točki se ne moremo popolnoma izogniti, saj zaradi varovanja anonimnosti uporabnikov ne smemo uporabljati kriptografskih metod z izmenjavo ključev.

Digitalno podpisovanje uporabljamo tudi za preverjanje dogodkov na OBU napravi. Vsak zapis v datotekah OBU naprave vsebuje še digitalen podpis zapisa, katerega namen je overjanje zapisa. Da pa teh zapisov ne bi bilo mogoče naknadno spreminjati (predvsem brisati), sem uvedel odvisnost novega zapisa od predhodnih zapisov. To sem naredil tako, da sem trenutnem zapisu dodal še vrednost predhodnega podpisa ter nato vse skupaj digitalno podpisal.



Slika 9.2: Podatkovna shema na OBU napravi

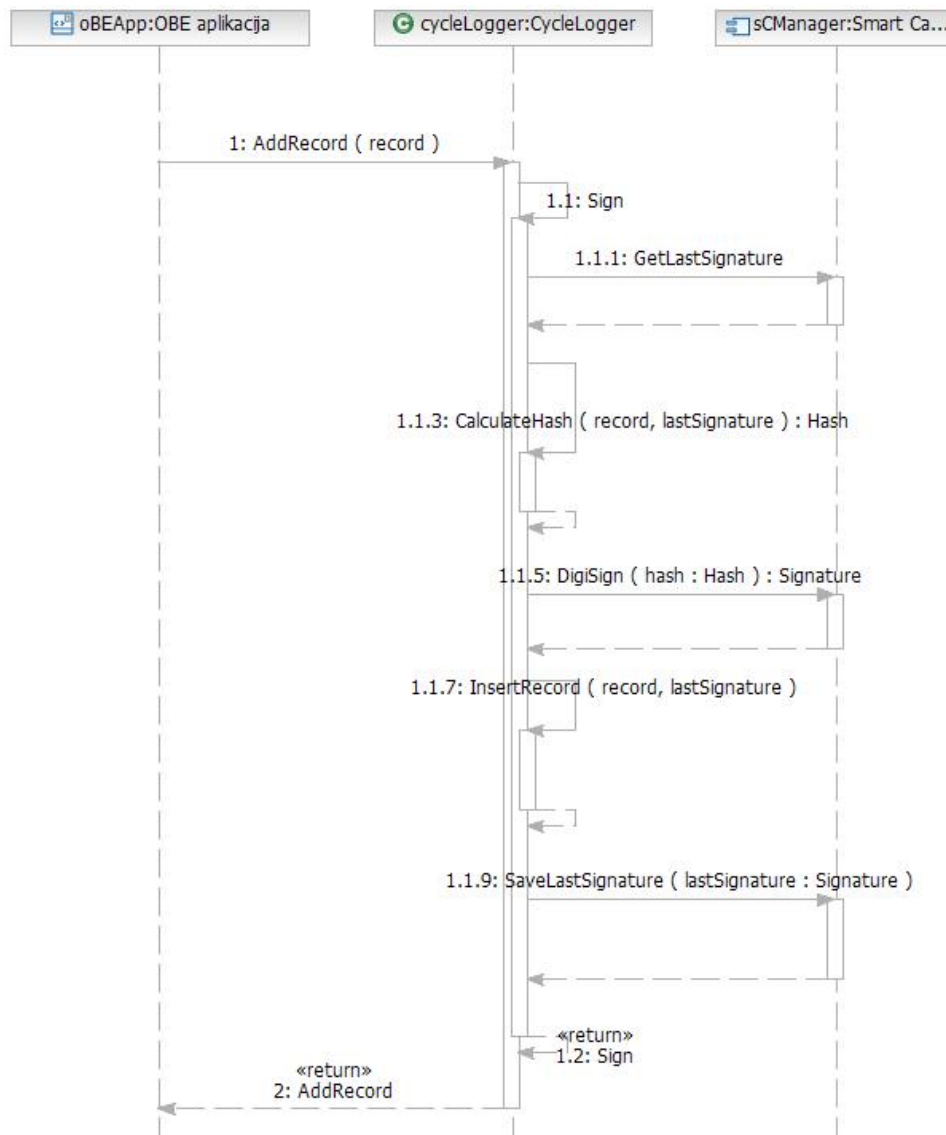
Na sliki 9.2 vidimo podatkovno shemo OBU aplikacije. Vsi podatki, ki jih shranjujemo na OBU napravi, se zapišejo v podatkovne tabele, ki imajo implementiran vmesnik IArchive. IArchive vsebuje ključne varnostne podatke o zapisu in sicer čas nastanka zapisa in njegov podpis kombiniran s predhodnim podpisom. Poudariti moram še, da uporabljam ‘globalni’ predhodni podpis. Le-ta predstavlja digitalni podpis nazadnje dodanega zapisa v podatkovno shemo. Pri tem ni pomembno, v katero tabelo je bil zapis dodan. Globalni podpis se zaradi varnosti hrani na pametni kartici. Vsakokrat ko želimo dodati zapis v tabelo OBU podatkovnega modela (AddRecord, slika 9.3), moramo najprej s pametne kartice prebrati vrednost predhodnega podpisa (GetLastSignature, slika 9.3) in izdelati podpis parametrov tabele skupaj z vrednostjo predhodnega podpisa. Podpis podatkov izvedemo tako, da vse parametre zložimo v podatkovno polje (byte array), polje podaljšamo za vrednost predhodnega podpisa in nato za vse skupaj izračunamo povzetek

(CalculateHash, slika 9.3). Preden povzetek lahko shranimo v podatkovno tabelo, ga moramo še zašifrirati s privatnim ključem OBU naprave (DigiSign, slika 9.3), ki je prav tako shranjen na pametni kartici. Ker smo podatke podpisali z OBU privatnim ključem, lahko podpis vedno preverimo z ustreznim javnim ključem OBU naprave, ki je shranjen v nadzornem centru. Preden novo vrednost digitalnega podpisa shranimo na pametno kartico (SaveLastSignature, slika 9.3), moramo še dejansko poskusiti dodati nov zapis v tabelo (InsertRecord, slika 9.3). V primeru, da dodajanje ne uspe, lahko tako prekinemo izvajanje funkcije, ne da bi prepisali predhodni podpis. Predhodnega podpisa namreč ne smemo spremeniti, ne da bi pred tem uspešno dodali zapis na OBU napravi. Zato moramo paziti, da je v času izvajanja funkcije AddRecord dostop do predhodnega zapisa na pametni kartici preprečen drugim funkcijam, sicer konsistentnost verige podpisov ne bo zagotovljena.

Postopek ustvarjanja verige podpisov nam v primeru suma zlorab omogoča preverjanje sledljivosti zapisov. Primer takšne zlorabe, bi bil spreminjanje ali brisanje zapisov. V tem primeru bi nadzorni organi ECS lahko preverili vse zapise na OBU napravi. To pomeni, da bi se morali povezati z OBU napravo, prebrati vse zapise v podatkovni shemi in za vse zapise ponovno izračunati digitalne podpise, ter jih primerjati s shranjenimi vrednostmi. V kolikor bi bili podpisi enaki, bi vedeli, da ni prišlo do spreminjanja vrednosti zapisa.

Toda pri tem se pojavijo težave. Za preverjanje vrednosti podpisov bi pri njihovem izračunu v CE potrebovali privatni ključ OBU naprave. Tega pa nimamo in ga ne smemo imeti, saj le-ta enolično določa OBU napravo. Zato se moramo problema lotiti z drugega konca in moramo poskusiti verigo razvozlati v obratni smeri - od zadnjega zapisa do prvega. Da bi lahko preverili vrednost podpisa, ni dovolj samo dešifrirati podpisa z uporabnikovim javnim ključem. Dešifrirana vrednost namreč vsebuje še vsebino predhodnega podpisa, s katerim je bil podaljšan zapis. Zato za preverjanje potrebujemo vrednost digitalnega podpisa predhodnega zapisa, ki ga sicer ni problem poiskati, a ko pridemo na konec verige (oziroma na njen začetek), moramo prebrati še neko začetno vrednost - seme, ki predstavlja digitalni podpis predhodnega zapisa za prvi zapis. Če bi ta začetna vrednost bila poljubna, bi bile zlorabe precej enostavne, saj bi morali samo pobrisati vse zapise in si sestaviti novo verigo zapisov.

Kako torej določiti vrednost začetnega semena, da bo ta ustrezno varna? Pri razvoju

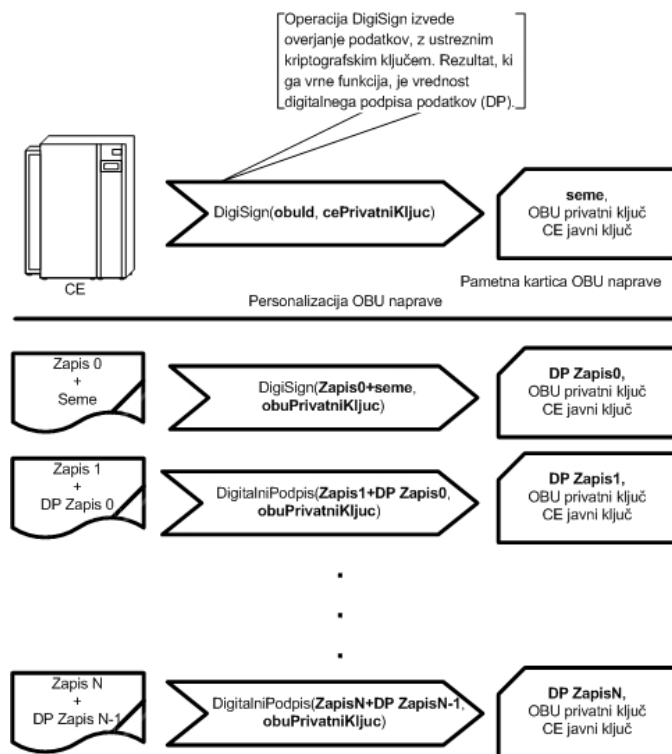


Slika 9.3: Podpisovanje podpisa na OBU napravi

prototipa sem se odločil, da seme izračunam tako, da digitalno podpišem vrednost identifikatorja OBU naprave s privatnim ključem nadzornega centra. Tako ima le CE možnost izračunati seme. Seme nato pri postopku personalizacije OBU naprave shrani na pametno kartico kot digitalni podpis začetnega zapisa (personalizacija obu naprave, slika 9.4).

Sedaj vidimo, da moramo pri preverjanju veljavnosti zapisov na OBU napravi izvesti naslednje korake (Slika 9.5):

1. Preberemo digitalni podpis zadnjega zapisa.
2. Vrednost digitalnega podpisa dešifriramo z javnim ključem OBU naprave. Dobljena vrednost predstavlja pričakovano vrednost povzetka zadnjega zapisa, združenega s

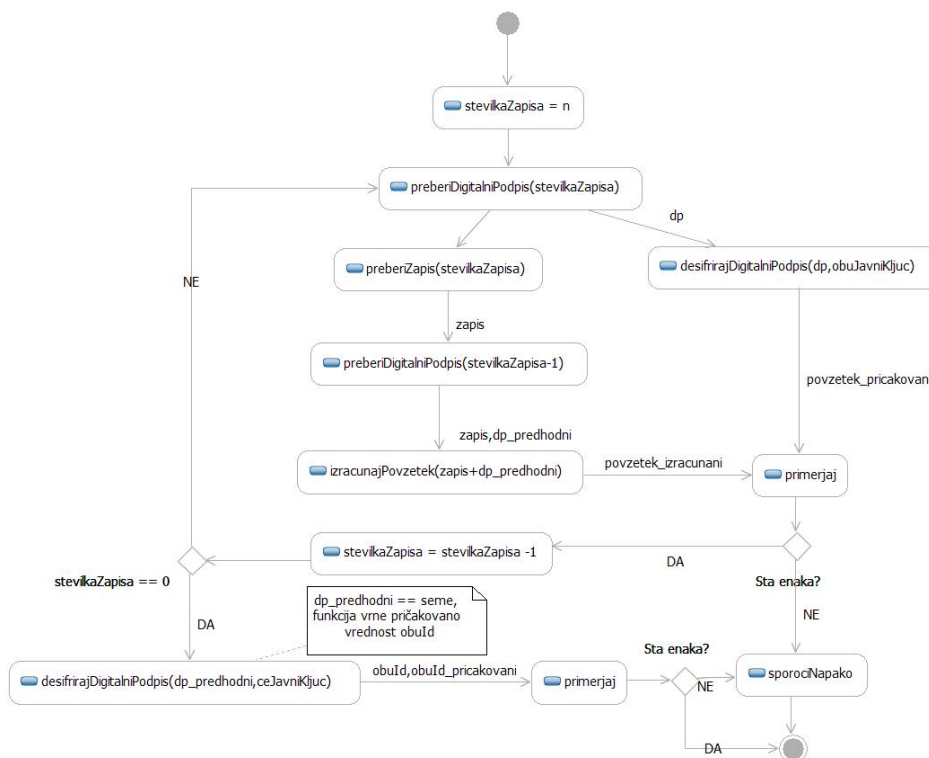


Slika 9.4: Izdelava verige odvisnosti zapisov na OBU napravi

predhodnim digitalnim podpisom.

3. Vsebini zadnjega zapisa pripnemo vsebino digitalnega podpisa predhodnega zapisa in za skupno vsebino izračunamo povzetek. V kolikor vsebina zadnjega zapisa ni bila spremenjena oz. je bil predzadnji zapis pravilno overjen, potem se mora izračunana vrednost povzetka ujemati s pričakovano vrednostjo povzetka iz koraka 2. Če vrednosti nista enaki, opozorimo CE, da obstaja možnost zlorabe.
4. Korake od 1 do 3 ponavljamo s to razliko, da se postopek vsakič nanaša na predhodni zapis.
5. Ko pridemo do začetnega zapisa, dešifriramo digitalni podpis predhodnega zapisa z javnim ključem nadzornega centra. Ta podpis je seme, ki smo ga v OBU napravo zapisali ob personalizaciji. Če je dešifrirana vrednost enaka vrednosti identifikatorja OBU naprave, potem je bilo preverjanje uspešno, sicer nadzorni center obvestimo o sumu zlorabe.

Na tem mestu bi rad opomnil, da ima obstoječ podatkovni model tudi pomanjkljivost (Slika 9.2), ki je posledica varčevanja s pomnilniškim prostorom na OBU napravi. Iz podatkovnega modela OBU naprave namreč ni razvidno, kateri zapis je naslednji. Pri



Slika 9.5: Koraki preverjanja konsistentnosti zapisov na OBU napravi

prototipnem modelu sem se zanašal samo na čas zapisa, vendar bi bilo vredno razmisliti še o dodatnem zaporednem indeksu zapisa.

Za dvig varnosti ECS bi bilo smotrno tovrstno preverjanje izvajati vsaj enkrat letno oz. kadar bi se zapolnil pomnilniški prostor OBU naprave. Pri tem se ponovno pojavi konflikt z varnostjo osebnih podatkov, saj bi tako CE imel možnost vpogleda v celoletno gibanje uporabnika. Rešitev težave bi lahko bila dodatna programska oprema, ki bi se izvajala na OBU napravi, kjer bi preverjala konsistentnost vseh zapisov, ter v CE sporočala samo ali je odkrila napako ali ne. V primeru napake bi CE imel pravico izvesti podrobnejšo analizo zapisov OBU naprave.

10 Predlog OBU naprave

Strojna oprema

Določitev opisa strojne opreme OBU naprave je verjetno najtežji del te naloge. Najenostavneje bi bilo reči: "Močnejše je boljše", vendar mora naprava biti tudi ekonomsko sprejemljiva. Na podlagi rezultatov prototipa lahko ugotovimo, da naprava ne potrebuje veliko pomnilnika, saj je algoritem za iskanje podatkov mogoče zapisati tako, da sprejeto GPS pozicijo primerja s podatki, zapisanimi na sekundarnem pomnilniku (disk). Torej je delovnega pomnilnika potrebno le nekaj več, kot ga za delovanje potrebuje operacijski sistem in OBU aplikacija ob zagonu.

Velikost aplikacije je odvisna od posameznega operacijskega sistema. V mojem primeru je aplikacija porabila 3,6 MB pomnilnika. Pri tem je potrebno upoštevati, da je bila napisana v .NET Compact Framework okolju, kar je veliko bolj potratno, kot če bi aplikacijo napisali v nižjenivojskem programskem jeziku kot je C/C++. Prav tako pri pisanju aplikacije nisem strogo upošteval pravil izrabe pomnilnika, zato je ostalo še veliko prostora za izboljšave. Iz tega lahko sklepam, da OBU naprava ne bi potrebovala več kakor 4 MB delovnega pomnilnika. Kot sem že omenil, je potrebno upoštevati še pomnilnik, ki ga potrebuje operacijski sistem na napravi. Če bi bila aplikacija napisana v C/C++ okolju na embedded sistemu, te zahteve verjetno ne bi presegle 512 KB oz. 1 MB pomnilnika.

Poleg delovnega pomnilnika sta za definiranje strojnih zahtev OBU naprave poglavitna vsaj še dva parametra. To sta sekundarni pomnilnik (disk) in procesna enota. Poglejmo si najprej sekundarni pomnilnik. Naj na začetku poudarim, da je najbrž edino smiselno, da je sekundarni pomnilnik sestavljen iz bliskovitega (flash) pomnilnika. Ti pomnilniki so danes dovolj cenovno dostopni in zanesljivi. Velikost pomnilnika je odvisna predvsem od števila podatkov, ki jih želimo hraniti in od količine posameznega zapisa. Količino posameznega zapisa lahko pridobimo iz podatkovne sheme na OBU napravi. Vsak zapis

Tabela 10.1: Poraba pomnilniškega prostora za posamezen zapis.

Tabela /Upravitelj	Dolžina	Opis
ResponseMessageArchive / ResponseMessageArchiveLogger	36B	Beležijo se vsa sporočila, ki jih OBU naprava posreduje nadzornemu centru.
RequestMessageArchive / RequestMessageArchiveLogger	36B	Beležijo se vsa sporočila, ki jih OBU naprava sprejme od nadzornega centra.
VirtualPointArchive / VirtualPointArchiveLogger	36B	Zabeležijo se vsi prehodi navideznih točk.
ErrorArchive / ErrorArchiveLogger	35B	Zabeležijo se vse zaznane napake.
PaymentArchive / PaymentArchiveLogger	42B	Zabeležijo se vsi naloženi in obračunani žetoni.

na napravi je izpeljan iz tabele BaseArchive, ki vsebuje digitalni povzetek zapisa in njegov čas nastanka. Velikost časa je 8B (Int64), dolžina digitalnega povzetka pa zavzame 16B. Skupaj torej 32B. V tabeli 10.1 vidimo količino potrebnih podatkov še pri ostalih tabelah.

Iz podanih podatkov lahko sedaj predvidimo, kolikšno količino podatkov želimo hraniti. Količina je odvisna od:

- števila prevoženih točk oziroma,
- količine komunikacije med nadzornim centrom in OBU enoto,
- intervala posredovanja sumarnih podatkov,
- števila preverjanj s strani mobilne enote in
- pogostosti nalaganja dobroimetja.

Na podlagi teh kriterijev lahko poskusimo izračunati velikost sekundarnega pomnilnika (Tabela 10.2). Pri tem sem predpostavil:

- Pokrito je samo avtocestno omrežje.
- Uporabnik dnevno prevozi 30 navideznih točk.
- Vsaka 10. navidezna točka je kontrolna točka, v kateri se izvede preverjanje pravilnosti obračunavanja OBU naprave.

Tabela 10.2: Izračun porabe pomnilniškega prostora.

Dogodek	Frekvenca	Kapaciteta (B)	Skupaj (B/dan)
Prehod navidezne točke	30/dan	36	1080
Preverjanje pravilnosti delovanja OBU naprave	3/dan	36	108
Nalaganje dobroimetja	2/mesec	36	5,14
Sumarno sporočanje podatkov	4/mesec	36	10,28
Preverjanje komunikacijskega kanala	2/leto	72	0,4
Razkrivanje identitete	2/leto	72	0,4
Poročilo o napaki	5/dan	42	210
Skupaj			1414,22

- Sumarni podatki se posredujejo enkrat tedensko.
- Uporabnik v povprečju naloži dobroimetje vsakih 14 dni.
- Komunikacijski kanal se preverja enkrat na 6 mesecev. Pri tem se shranita Request in Response zapisa.
- Razkrivanje identitete se zgodi enkrat na 6 mesecev. Pri tem se shranita Request in Response zapisa.
- Mesec ima 30 dni.
- Napaka se v povprečju zabeleži 5 krat na dan (ni GSM ali GPS signala, ...)

Iz izračunov (10.2) vidimo, da je količina zapisanih podatkov odvisna predvsem od števila prehodov navideznih točk in števila napak. Vendar število napak v izračunu lahko predvidimo kot neko ‘povprečno konstantno’ število, saj naj noben od naštetih dejavnikov ne bi neposredno ali posredno vplival na količino napak. Iz tega sledi, da se lahko osredotočimo samo na število prevoženih točk, torej količino podatkov lahko ocenimo kot $O(\text{povprečno število prevoženih točk})$.

Ostanejo nam še naslednja vprašanja:

- Koliko točk bomo dnevno prevozili?
- Koliko časa želimo hraniti podatke?
- Kolikšna je velikost tarifne sheme?

Tabela 10.3: Ocena porabe pomnilniškega prostora za obdobje enega leta.

Št. prevoženih točk	Tarifna shema	Napake	Skupaj (1 leto)	Skupaj + 30%
30x36B	4 MB	5x42B	$\approx 4,5MB$	$\approx 5,85MB$
50x36B	4 MB	5x42B	$\approx 4,7MB$	$\approx 6,11MB$
100x36B	4 MB	5x42B	$\approx 5,3MB$	$\approx 6,9MB$
500x36B	4 MB	5x42B	$\approx 10,4MB$	$\approx 13,52MB$
1000x36B	4 MB	5x42B	$\approx 16,6MB$	$\approx 21,6MB$

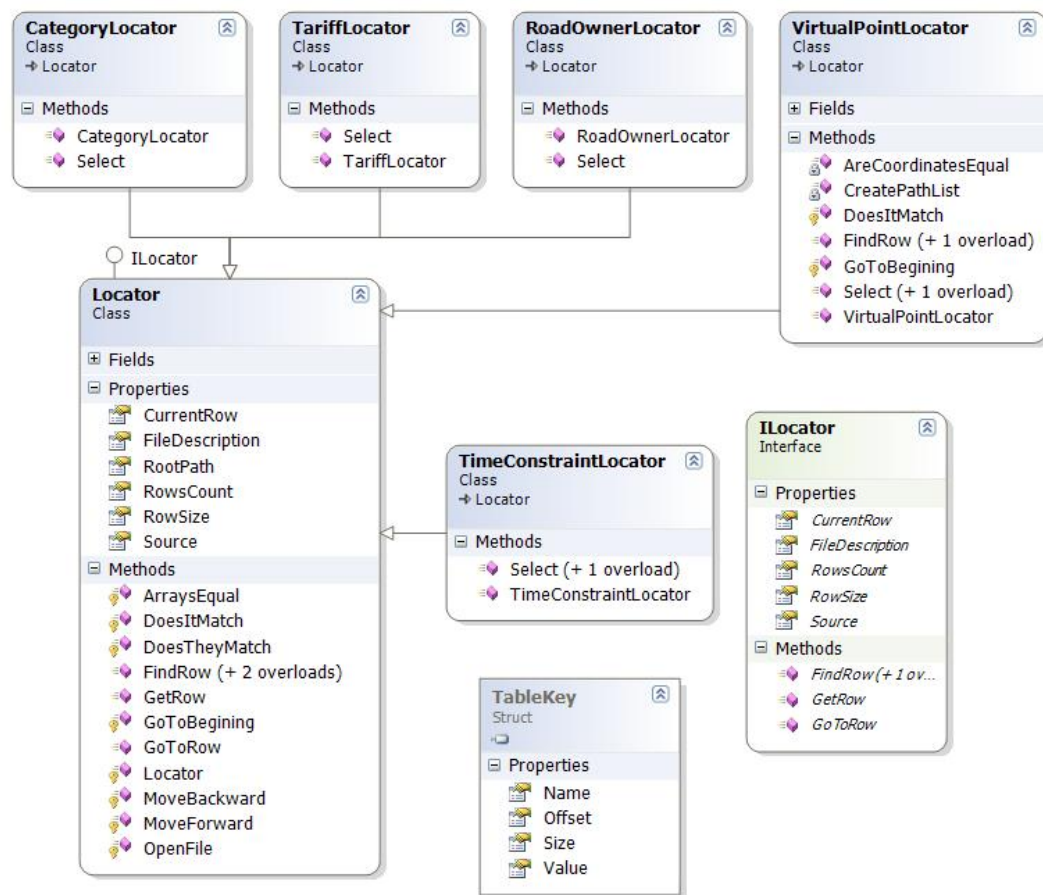
Najlažje lahko stabiliziramo čas hranjenje podatkov. Seveda pri tem govorimo o povprečnem uporabniku cestnega omrežja. Predpostavil bom, da za takšnega uporabnika želimo hraniti podatke leto dni. Za ta čas so v 10.3 podane ocene velikosti sekundarnega pomnilnika.

V prototip sem vključil 50 cestninskih točk, ki so skupaj tvorile 20638B veliko tarifno shemo. Iz tega sklepamo, da na posamezno točko lahko računamo cca. 400B pomnilniškega prostora. Odločiti se moramo še, koliko bo vseh točk. V RS imamo 38.000 kilometrov javnih cest [21]. To verjetno pomeni vsaj nekajkrat več odsekov, na katere bodo postavljene točke. Hiter izračun nam pokaže, da bi za pokrivanje vseh odsekov potrebovali dodatni zunanji disk. Zato je nujno, da se gosto prepredena cestna omrežja grupirajo v območja. Na takšen način lahko količino točk drastično zmanjšamo. Na odprtih cestah (avtoceste in regionalne ceste) je problem mnogo manjši, saj je odsekov veliko manj. Samo za testni koridor A.1, ki pokriva gorenjsko avtocesto, sem porabil 50 točk. Na podlagi tega lahko podam grobo oceno, da za Slovenijo ne bi potrebovali več kakor 10000 cestninskih točk. Prav tako lahko točke tudi dinamično nalagamo, odvisno od lokacije, kjer se nahajamo, vendar se s tem povečuje GPRS prenos podatkov in posledično stroški cestninjenja. Iz ocene za skupno število točk sledi, da bi za celotno Slovenijo potrebovali cca 4MB pomnilnika. Seveda je to zelo groba ocena, za podrobnejšo oceno bi bilo potrebno narediti detajlno analizo cestnega omrežja. Če pa bi se odločili za cestninjenje samo na glavnih cestah, potem bi bila potrebna količina pomnilnega prostora veliko manjša. Pri tem je potrebno paziti tudi na obliko zapisa cestninskih točk. Točke morajo biti hranjene samo v eni datoteki, tako da zasedajo čimmanj prostora na disku. V prototipu sem namreč razdelil točke v več datotek. Vsaka datoteka je pokrivala eno 'kvadratno' geografsko minuto. Zaradi tega je bil zasedeni prostor na disku v primerjavi z velikostjo podatkov desetkrat večji.

Rezultati kažejo, da bo velikost pomnilnika odvisna od kompleksnosti tarifne sheme in

števila prevoženih točk. Ocenimo lahko, da bi 32MB sekundarnega pomnilnika morale zadostovati našim potrebam. To je še vedno dovolj majhna vrednost, ki ne bi smela pretirano vplivati na končno ceno naprave. Preden zaključim z oceno pomnilnega prostora, bi rad poudaril, da velikost tarifne sheme eksponentno narašča s številom parametrov. Zato bi bilo pri njenem načrtovanju smiselno predvideti razne faktorje za izračunavanje tarife. Tako bi se število parametrov tarifne sheme zmanjšalo, vendar bi s tem zmanjšali tudi fleksibilnost obračunavanja.

Sedaj se moramo lotiti še najtežje ocene in sicer zmogljivosti centralne procesne enote (CPU). Obremenjenost procesorja je odvisna predvsem od algoritma za iskanje navideznih točk. Le-ta mora s pomočjo prejete GPS lokacije poiskati, če imamo v tarifni shemi ustrezno navidezno točko. Iskanje posameznih zapisov v podatkovni shemi OBU naprave sem izvedel preko posebnih 'Locator' razredov.



Slika 10.1: Lokatorji podatkovnih zapisov na OBU napravi.

Lokatorji poiščejo posamezne zapise glede na `TableKey[]` parametre, ki jih podamo `Select()` funkcijam. Za iskanje posameznega zapisa uporabljajo precej primitiven algoritem, pred-

vsem zato, da bi pridobili na hitrosti in enostavnosti. Zato morajo biti zapisi v ustreznih datotekah predhodno pravilno urejeni, s čimer se izognemo gradnji raznih indeksnih tabel. Urejanje tabel poteka že v nadzornem centru pri gradnji tarifnih shem. Spodaj podana programska koda nam prikazuje osnovni princip indeksiranja in lokaliziranja problema na manjše geografsko področje s pomočjo datotečnega sistema. Končni algoritem bi bilo pri večji količini točk treba optimizirati, saj predstavljeni algoritem porabi preveč prostora na sekundarnem pomnilniku.

```
string [] pathList = this.CreatePathList(latitude, longitude);

TableKey[] keys = new TableKey[2];
TableKey latitudeKey = VirtualPoint.CreateKey(
    PointColumn.LATITUDE_COMPACT,
    BitConverter.GetBytes(latitude.Sec));
TableKey longitudeKey = VirtualPoint.CreateKey(
    PointColumn.LONGITUDE_COMPACT,
    BitConverter.GetBytes(longitude.Sec));

keys[0] = latitudeKey;
keys[1] = longitudeKey;

bool rowExist = false;
string fullPath;

//Indexiranje s pomočjo datotečnega sistema.
//V kolikor se točka nahaja na meji področja,
//se lahko zgodi, da moramo poiskati v več področjih,
//vendar največ štirih.
foreach(string path in pathList) {
    fullPath = String.Format(
        @"{0}TariffSchema\{1}\{2}Point.txt",
        this.RootPath,
        version,
        path);
    if(!File.Exists(fullPath)) {
        continue;
    }
    this.OpenFile(fullPath, VirtualPoint.RecordCompactSize);

    rowExist = this.FindRow(keys);
    if(rowExist) {
        break;
    }
}
```

Iskanje vrstice je urejeno tako, da v datoteki z bisekcijo iščemo prvi parameter. Ko uspemo poiskati prvi parameter, se iskanje lahko konča, če imamo enostaven ključ. Če pa je ključ sestavljen, moramo poiskati še ostale parametre. Iskanje ostalih ključev se izvaja linearno. Čeprav je linearni pristop potraten, je potrebno vedeti, da je zapisov, ki imajo skupno zemljepisno dolžino, zelo malo. Za linearni pristop sem se odločil samo v okviru prototipa.

Za iskanje podatkov bi torej lahko implementirali algoritem zahtevnosti $O(\log \text{ 'število navideznih točk'})$. Pri predpostavki, da imamo prednaloženih do 10000 navideznih točk in da za vsako preverjanje (enkrat na sekundo) opravimo do 1000 operacij, lahko ocenimo, da potrebujemo relativno nezahteven procesor, katerega zmogljivost ne presega 10-20 MIPS. Takšno zmogljivost danes premorejo tudi enostavni mikrokontrolerji. Kompleksnost in zahtevnost procesorja se lahko poveča predvsem na račun operacijskega sistema in okolja izvajanja (runtime environment).

Pri izdelavi prototipa sem izvajanje OBU aplikacije preizkušal na 400MHz XScale procesorju družine PXA25X. Za tovrstne procesorje nisem uspel pridobiti točnih podatkov o njihovih procesnih zmogljivostih (izraženo v MIPS-ih), vendar se ta parameter giblje nekje med 0.9 MIPS/MHz in 1.2 MIPS/MHz. Ocenjujem, da procesor ni presegal zmogljivosti 500 MIPS-ov. Pri opravljenih testih se obremenjenost procesorja ni povzpela preko 30%, v povprečju se je gibala okrog 10%, kar na grobo lahko ocenimo med 50 in 150 MIPS-ov. Poudariti je potrebno, da je bilo pri tem dejavnih več aplikacij (bluetooth gateway, beleženje zapisov, aplikacija za prikaz števila satelitov in jakosti signalov, telefon, ...).

Na koncu tega odseka lahko povzamem naslednje ugotovitve glede strojnih zahtev:

- Mikrokontroler z zmogljivostjo 10-20 MIPS pri embedded napravah na osnovi mikrokontrolerja in pri aplikaciji napisani v C/C++ programskem jeziku oz. 100-200 MIPS pri višjenivojskih delovnih okoljih (micro Java, .NETCF).
- 1 MB pomnilnika pri embedded napravah na osnovi mikrokontrolerja in pri aplikaciji napisani v C/C++ programskem jeziku oz. 4 MB delovnega pomnilnika (za OBU aplikacijo) pri višjenivojskih delovnih okoljih (micro Java, .NETCF).
- 32 MB sekundarnega pomnilnika.

Programska oprema

Dodatna zahteva, ki pogojuje operacijski sistem, je število aktivnih niti (threads). V napravi simultano potekajo naslednja opravila:

- branje GPS lokacije,
- primerjava GPS lokacije z navideznimi točkami,
- sumarno posredovanje podatkov na nadzorni center,
- sprejem zahtevkov od CE,
- obračunavanje cestnine,
- preverjanje in nalaganje tarifnih shem,
- izpisovanje stanja na OBU računu,
- izpisovanje opozoril.

To pomeni, da je potrebno imeti hkrati vsaj 8 aktivnih niti. Sprva se nam zdi omejitvev v današnjem svetu zmogljivih računalnikov smešna, vendar se moramo zavedati, da vsi mikrokontrolerji ne zadostujejo temu pogoju.

Naslednje zelo pomembno področje programske opreme so podatkovni protokoli, ki jih zmore podpirati OBU naprava. OBU naprava namreč za komunikacijo z ostalimi akterji nujno potrebuje podporo SMS, GPRS in TCP/IP protokolov.

Ker naj bi sistem uporabljalo več milijonov uporabnikov, bi nam z dodelitvijo IP naslova po IPv4 protokolu hitro zmanjkalo naslovnega prostora. Problem bi bilo mogoče omiliti z implementacijo protokola IPv6, vendar bi v tem primeru naleteli na težavo z varnostjo osebnih podatkov. V načinu anonimne komunikacije bi namreč komunicirali preko statičnega IP naslova, ki bi bil enak naslovu pri razkrivanju identitete. To pomeni, da bi lahko zabeležili IP naslov in bi v nadzornem centru tudi v anonimnem načinu delovanja ugotovili s kom komuniciramo. Zato je nujno potrebno imeti dinamičen način dodeljevanja IP naslovov, za kar zadostuje tudi IPv4 protokol. Za vzpostavitev povezave med CE in OBU napravo potrebujemo še SMS protokol. Vsebina posredovanega sporočila mora vsebovati kodo sporočila, na podlagi katere naprava izvede ustrezno operacijo (vzpostavi povezavo s CE, ...).

Zaradi mobilnosti OBU naprave in dobre pokritosti cestnih omrežij z GSM signalom, je najenostavnejša implementacija prenosa podatkov preko GPRS omrežja. Vendar uporabe GPRS omrežja ne smemo precenjevati. Tukaj se namreč lahko pojavljajo zelo nadležne težave kot so preklopi med baznimi postajami, prekinitve povezav, spreminjanje IP naslova, jakost signala in nezanesljivost povezave pri višjih hitrostih, ...

Uporabniški vmesnik in periferne naprave

OBU naprava mora imeti vmesnik, ki bo omogočal komunikacijo med uporabnikom in sistemom. Pri definiciji uporabniškega vmesnika (HMI - Human Machine Interface) se lahko omejimo samo na elektronsko cestninjenje ali pa gledamo na OBU napravo širše, kot na centralno enoto, ki bo poleg cestninjenja izvajala še druge naloge (klic v sili, GPS navigacija, ...). V tem delu se bom omejil samo na vlogo OBU naprave v sistemu elektronskega cestninjenja. HMI bi za to nalogo moral imeti vsaj LCD vmesnik, preko katerega bi uporabniku sporočal, kolikšno je stanje na računu ter morebitne napake ali opozorila. Smiselno bi bilo, da je tak zaslon neobčutljiv na spremembe svetlobe, saj naj bi uporabnik v vsakem trenutku lahko videl, kakšno je stanje na računu.

Pri izvajanju cestninjenja so na OBU pomembni predvsem naslednji dogodki:

- količina žetonov se zniža pod kritično mejo,
- količina žetonov doseže vrednost 0,
- količina žetonov pade pod vrednost 0,
- količina žetonov pade pod vrednost dovoljenega limita,
- nalaganje žetonov,
- preverjanje uporabnika ter
- napaka pri izvajanju cestninjenja.

V vseh teh primerih je treba uporabnika opozoriti na dogodek z zvočnim signalom in izpisom dogodka na LCD ekranu. Seveda bi zato naprava potrebovala še enostaven oddajnik zvoka.

V primeru resnejših napak bi bilo smiselno uvesti klic uporabnika v CE neposredno z OBU naprave. Na takšen način bi uporabnik v primeru okvare OBU naprave s pravočasnim klicom ovrigel sum zlorabe v primeru preverjanja pred zamenjavo naprave. Zato bi bilo treba OBU napravi dodati poenostavljeno tipkovnico z dvema ali tremi gumbi.

Čeprav naj bi bila OBU naprava kar se da enostavna, ji je potrebno poleg naprav uporabniškega vmesnika dodati še (zunanji) anteni za sprejem GPS in GSM signala. OBU naprava bo morala v končni različici beležiti tudi vse dogodke na napravi, kot so: izguba GSM signala, izguba GPS signala, vklop naprave, ... Ker danes večina avtomobilskih naprav deluje in komunicira preko CAN vmesnika, bi bilo potrebno predvidet tudi takšen vmesnik. Tako bi bilo mogoče podatke iz GPS sprejemnika uporabljati tudi v drugih napravah. V kolikor bi bil predstavljeni ECS uspešen, bi ga bilo treba nadgraditi še z DSRC sprejemnikom[2] za namen interoperabilnosti z že obstoječimi cestninskimi sistemi, ki delujejo preko kratkovalovnih radijskih signalov. Predvideva pa se tudi vgradnja giroskopa (za namene preprečevanja zlorab), ki bi zaznaval gibanje vozila. Beleženje dogodkov giroskopa (začetni premik avtomobila, ustavitvev, nagli pospešek ali pojemek) bi bilo mogoče uporabiti tudi pri drugih aplikacijah. Primer takšne aplikacije bi bil avtomatičen klic v center za obveščanje v primeru trčenja vozila.

Čitalec pametnih kartic

Da bi zagotovili varnost oziroma predvsem avtentičnost podatkov, je nujno potrebno imeti varen prostor, kjer lahko hranimo kriptografske ključe in vrednost digitalnega podpisa zadnjega zapisa na OBU napravi. Tem tehničnim zahtevam še najbolj ustreza pametna kartica. V pametni kartici OBU naprava hrani svoj javni in privatni ključ ter javni ključ nadzornega centra. V primeru večjega števila nadzornih centrov bi morali hraniti javni ključ vsakega nadzornega centra. V poglavju 9 smo videli, da je vzdrževanje verige podpisov zelo pomembno. Pri tem potrebujemo predhodni digitalni podpis, ki ga hranimo na pametni kartici. Do podatkov na pametni kartici lahko dostopa samo aplikacija, ki jo je predhodno namestil nadzorni center ali izdajatelj OBU naprave.

Vklop OBU naprave

Sprva trivialno vendar izjemno pomembno vprašanje je, kako se bo OBU naprava vklopila. Na to vprašanje ni mogoče podati enostavnega odgovora, saj je ta odvisen od tehničnih zmogljivosti OBU naprave. Lažje je postaviti zahteve, katerim mora naprava ustrezati in te so:

- Naprava mora določiti GPS pozicijo v času 10 sekund po vklopu, lahko tudi z interpolacijo med zadnjo znano pozicijo in na podlagi podatkov iz vgrajenega giroskopa. Cold start časi zaznave GPS signala pri komercialnih GPS sprejemnikih se gibljejo okrog 30 sekund.
- Naprava mora omogočati delovanje v vozilu tudi po večtedenskem mirovanju. Primer: kadar v času dopusta pustimo avtomobil v garaži za več tednov. OBU naprava mora biti načrtovana tako, da v tem času ne sme izprazniti akumulatorja vozila.

Temperatura

Temperaturno območje delovanja OBU naprave je prav tako pomembna omejitev. Ker naj bi OBU naprava delovala na območju Evropske unije, mora seveda delovati na celotnem evropskem območju, kar pomeni temperaturni razpon med -20 in +70 stopinjami Celzija, to pa je že skoraj enakovredno vojaškim standardom. Mogoče se zdi področje delovanja pretirano, vendar se je treba zavedati, da ima veliko LCD prikazovalnikov težave že pri 0 stopinjah. Temperaturne omejitve se lahko pojavijo tudi pri elektronskih elementih, znane so težave z delovanjem SIM kartice pri temperaturah pod lediščem, prav tako pa se moramo zavedati, da bo naprava delovala v avtu tudi med poletno vročino.

Zaščita

Zaščita OBU naprave je potrebna tako na programskem kot tudi na fizičnem nivoju. Poleg tega, da morajo biti vse aplikacije, ki tečejo na OBU napravi, digitalno podpisane s strani izdajatelja OBU naprave ali nadzornega centra, je napravo potrebno zaščititi še pred fizičnim vdorom. Enostavnejši načini preprečevanja tovrstnih vdorov so zalivanje OBU naprave v plastiko, nanos foto-občutljivega premaza na elektronsko vezje, ... Naprednejše zaščite bi lahko imele še senzor vdora v vezje, ki bi pobrisal celotni FLASH pomnilnik,

beleženje vdorov, sporočanje vdorov v nadzorni center, ... Tovrstne zaščite so priporočene, vendar bi verjetno bistveno vplivale na ceno OBU naprave, zato jih ne bi predlagal kot nujno potrebne. Vemo, da je z dovolj veliko količino denarja možno vsako napravo in vsak sistem prelisiciti, zato je poglobitni namen predlagane zaščite preprečiti masovne kršitve in zlorabe OBU naprave, za vse ostale kršitve pa so predvideni drugi nivoji nadzora.

11 Analiza obremenitve nadzornega centra

Že v uvodu sem zapisal, da je sistem zasnovan tako, da kar se da razbremeni strežnike nadzornega centra, saj je potrebno obvladovati cestninjenje več milijonov vozil. Pri analizi sem torej upošteval podatke, ki se izmenjujejo med CE in OBU napravo ter podatke med CE in mobilnimi enotami.

Podatki, ki se izmenjujejo, so že predstavljeni v tabeli 10.2. Iz tega sledi, da povprečno vozilo na dan opravi:

- prenos cca. 1,5 KB/dan
- cca. 10 vzpostavitev povezave/dan.

V skrajnem primeru bi torej pri prehodu 1000 točk/dan potrebovali:

- prenos cca. 35,5 KB/dan
- cca. 40 vzpostavitev povezave/dan.

Pri tem nisem upošteval prenosa tarifnih shem. Videli smo, da je velikost tarifnih shem odvisna predvsem od števila navideznih točk, prenos tarifnih shem pa je povezan še s frekvenco njihovega spreminjanja. V prototipu sem ob vsaki spremembi prenesel vse navidezne točke, v realni napravi pa bi bilo potrebno ta postopek dodelati, tako da bi se posredovale samo spremembe. Na tak način bi lahko bistveno zmanjšali količino prenesenih podatkov. Na osnovi tega ocenjujem, da se z ustrezno implementacijo ne bi smelo prenašati več kot 10 KB podatkov tudi v primeru velikega števila točk.

Iz navedenega lahko izračunamo obremenitev centralnega strežnika pri različnem številu navideznih točk (Tabela 11.1):

Tabela 11.1: Izračun števila transakcij in količine prenesenih podatkov.

Št. prevoženih točk/dan	Št. transakcij	Kol. pren. podat.
30	10	334 B
50	12	406 B
100	17	586 B
500	57	2026 B
1000	107	3826 B

Rezultati kažejo, da količina prenesenih podatkov ni kritična. Res pa je, da sem pri tem upošteval samo učinkovite podatke in v izračun niso zajeti podatki potrebni za delovanje TCP/IP protokola. Večje težave se pojavijo pri številu transakcij. Pri najbolj pesimističnem scenariju bi vsako vozilo v povprečju izvedlo 107 transakcij na dan. Pri milijonu vozil to pomeni v povprečju 1238 transakcij na sekundo, pri čemer nismo zajeli realne razporeditve prometa skozi 24 ur. Število kontrolnih točk bi se dalo bistveno zmanjšati, vendar ostaja to še vedno linearen problem. Ker vsaki izvedeni transakciji sledi še vrsta transakcij nad podatkovno zbirko, hitro vidimo, da mora biti nadzorni center sestavljen iz mreže strežnikov. Da bi lahko bolj enakomerno porazdelili obremenitev, bi bilo smiselno imeti tudi regijske strežnike, ki bi prevzemali zahteve. Torej bi uvedli princip deli in vlada. Vsebinska podatkovna zbirka bi se na dnevni bazi prenašala v glavni nadzorni strežnik, le ta pa v za to namenjeno podatkovno skladišče, kjer bi se podatki lahko podrobneje analizirali.

12 Finančna ocena

Da bi sistem satelitskega cestninjenja lahko zares zaživel, mora biti rentabilen in dobičkonosen. Na osnovi dosedanjih spoznanj glede strojne in programske opreme lahko poskusimo dobiti okvirno oceno za ceno OBE. To lahko dobimo tako, da seštejemo ceno njenih osnovnih sestavnih komponent.

Tabela 12.1: Finančna shema komponent OBU naprave

Komponenta	Cena (EUR)	Model	Proizvajalec	pri naročilu (kosov)
procesor	5,3	S-Gold (PMB 8876)	Infineon	1000 (poizvedba)
RAM	5	WS628512	Wing Shing Electronic Co.	1 [9]
GPS sprejemnik	6,5	Hammerhead (PMB 2520)	Infineon	10000 [20]
GSM sprejemnik	vsebovan v mikrokontrolerju			
zunanjí pomnilnik	2	K9F1208U0B	LG	500 [7]
pametna kartica	6,8	ACOS5 Cryptographic Smart Card	Advanced Card Systems Ltd	1000 [4]
SIM/SmartCard čitalec	3,3	rezervni del	Ericsson	1
LCD	1	lummax 1602C	Lummax Electronics Co.,Ltd	800 [5]
GPS/GSM antena	5,7	GAA-GPS/GSM-S13	Shenzhen Bohua Electronic Co.,Ltd	1 [8]
DSRC modul	5 - 10 [6]			
giroskop	1,9	LIS302ALK	STMicroelectronics	30000 [12]

Pridobljene cene nam lahko služijo samo kot referenčne cene. Cena posameznih komponent je namreč zelo odvisna od naročene količine. Največja upoštevana količina je bila 30000 kosov, kar še vedno predstavlja razmeroma majhen delež potrebne opreme. Zavedati se je treba, da bo v primeru uvedbe elektronskega cestninskega sistema potrebno

izdelati na stotisoče kosov OBE naprav, in to samo za Slovenijo, kjer je bilo leta 2006 registriranih 1235297 vozil [19]. V kolikor govorimo o vseevropskem sistemu cestninjenja, pa bo potrebno računati na več stotimilijonski trg.

Iz tabele 12.1 vidimo, da je vrednost ključnih komponent med 40 in 45 evri. V to ceno je potrebno vključiti še ceno izdelave ohišja in ostalih elektronskih komponent (upori, kondenzatorji, krmilniki, ...). Cena teh dodatnih komponent ne bi smela preseči cene osnovnih gradnikov, kar pomeni, da cena OBE enote nikakor ne bi presegala 90 EUR, vključno s ceno programske opreme in licenčnino za operacijski sistem. Cena programske opreme se v podobnih napravah giblje v rangu od 2-5 EUR za enoto, velikokrat tudi manj, seveda odvisno od količine naprav.

Ceno naprave torej lahko ocenimo med 50 in 90 EUR, odvisno od izdelane količine OBE naprav. Kljub objektivno ne previsoki ceni obstaja nevarnost, da bo naprava za marsikoga predraga. Pri ublažitvi tega problema bi lahko pomagala država s subvencijami oz. s prilagojeno cenovno politiko. Tudi v primeru subvencioniranja nakupa OBE naprave bi bil satelitski elektronski sistem cestninjenja za državo še vedno velika pridobitev, saj bi se subvencijske naložbe hitro povrnilo v obliki manjše količine izpušnih plinov, večje pretočnosti prometa in večje kontrole nad prometnim tokom.

13 Zaključek

V tem delu sem uspel praktično preizkusiti danes najobetavnejši model cestninjenja. Rezultati naloge so pokazali, da je sistem mogoče vzpostaviti in sicer z relativno enostavnimi OBU napravami. Kljub enostavnosti naprav so le-te precej kompleksnejše, kot današnje rešitve na osnovi kratkovalovnih komunikacij (DSRC). S kompleksnostjo pa se seveda povečuje možnost napak, zlorab in tudi tveganost uspeha celotne ideje.

Na osnovi pridobljenih rezultatov je sedaj potrebno poiskati ali razviti ustrezno OBU napravo, ki bo znotraj danih cenovnih omejitev. Na drugi strani pa je potrebno še veliko dela pri standardizaciji interoperabilnosti med nadzornimi centri. Predvsem je potrebno razdelati strategijo izmenjave ključev med nadzornimi centri, distribucijo ključev drugih nadzornih centrov na OBU napravo, potrebno je postaviti temelje zakonodaje za izvajanje mobilnega nadzora, izterjavo plačil, ...

Tehnična rešitev na nivoju nadzornega centra ne bo ravno enostavna, vendar ne bo niti nič presenetljivo novega. Danes namreč deluje že vrsta podobnih sistemov za obračunavanje (mobilna industrija). Večje težave se lahko pojavijo pri postavitvi in nadzoru takšnih centrov. Prav tako bo potrebno razrešiti tudi vlogo mobilnih operaterjev. Pojavljajo se namreč vprašanja pri arhiviranju prenesenih podatkov, saj se še ne ve, ali bo to sploh dovoljeno ali ne? Na koncu koncev - kdo od mobilnih operaterjev bo sploh smel imeti koncesije za prenos podatkov?

Satelitski elektronski sistem cestninjenja bo, v kolikor bo zaživel, velik preskok pri obračunavanju in zaračunavanju cestnine. Še več, z elektronskim cestninjenjem se bo najverjetneje odprla nova industrijska veja, ki bo podobna mobilni industriji. Ko bo znana končna arhitektura satelitskega sistema cestninjenja, bodo objavljeni standardi, katerim bodo morali zadostiti proizvajalci OBU naprav. V sistemu bodo lahko sodelovale samo certificirane

naprave. Ker v vozilu ni smiselno imeti več GPS naprav, bodo proizvajalci OBU naprav lahko tekmovali med seboj z dodatnimi storitvami, ki jih bodo ponujale OBU naprave.

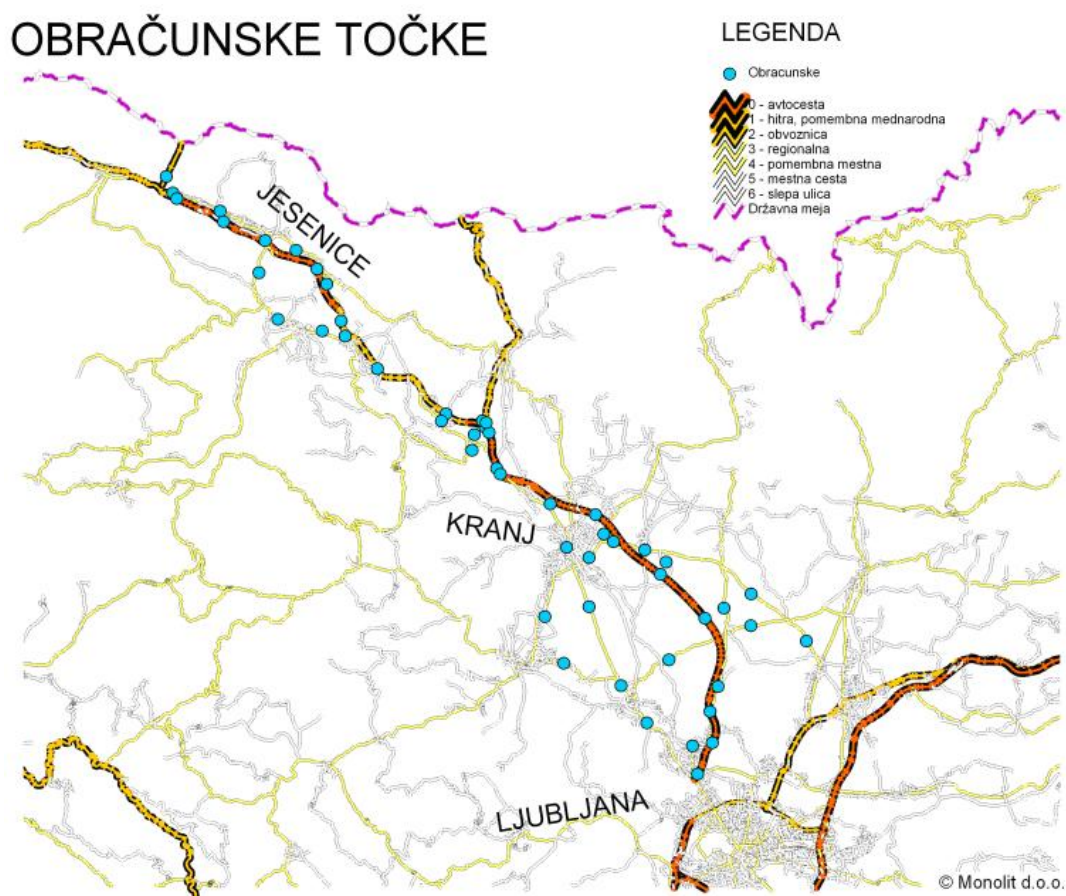
Podobno se bo razvil sektor lastnikov transportnih storitev, ki se bodo združevali pod okriljem ponudnika storitev cestninjenja, ti pa se bodo lahko povezovali med seboj na globalnem nivoju, tako kot to danes delajo mobilni operaterji (npr.: Vodafone). Prav gotovo se bo razvil boj za uporabnike, saj cestnina ne bo edini vir dohodka. Tu bodo še spremljajoče storitve, ki bodo na voljo uporabnikom (bencinske črpalke, restavracije, trgovine,...).

Zanimivo bo spremljati odziv uporabnikov. Ker bi bila takojšnja vpeljava satelitskega cestninjenja prevelik preskok za uporabnike in za industrijo, bodo ta sistem najprej preizkusili na tovornih vozilih. Šele prve izkušnje bodo razkrile vse pozitivne in negativne lastnosti tovrstnega cestninjenja. Verjetno bo splošen odziv najprej skeptičen, saj bodo uporabniki videli samo sistem za dražje zaračunavanje cestnine. Zato bodo izkušnje prvih uporabnikov prav gotovo ključnega pomena za nadaljnji razvoj celotnega sistema. In kdaj bo zaživel vseevropski sistem cestninjenja? Glede na zastavljene cilje in znane rešitve menim, da ga še vsaj 5 let ni realno pričakovati. Pred tem bo verjetno potrebno razviti še eno vmesno generacijo OBU naprav za tovorna vozila. Šele to bo pravi prototip za končni satelitski elektronski sistem cestninjenja.

A Dodatek

A.1 Testni koridor

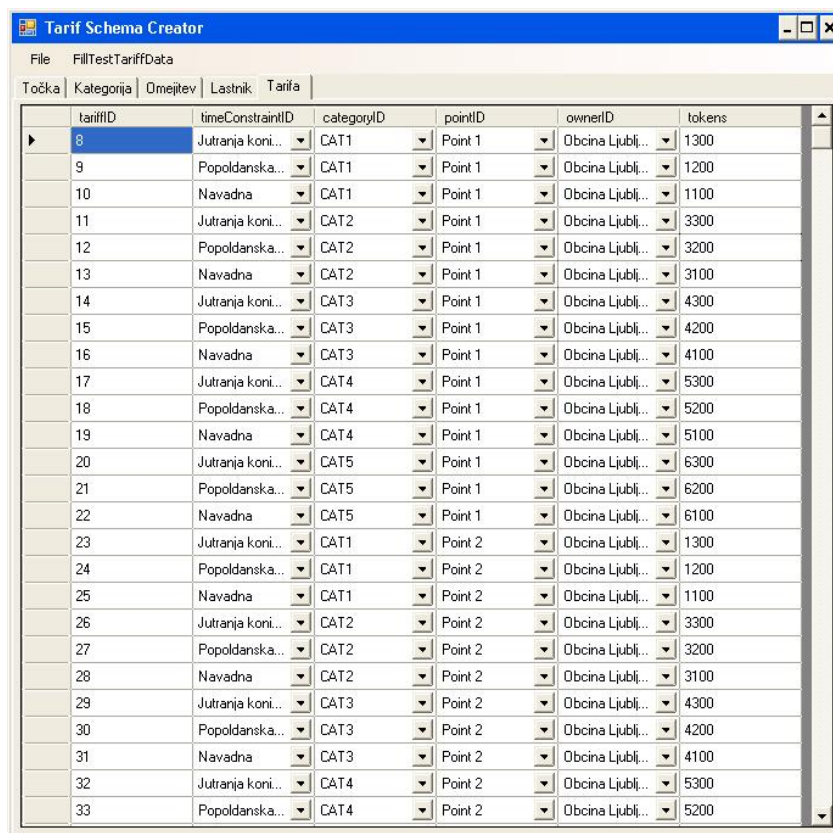
Slika A.1 prikazuje porazdelitev obračunskih točk po transportnih poteh testnega koridorja. Za postavitev sem uporabil vektorsko cestno karto, ki mi je s svojimi elementi (restrikcije, nadvozi, podvozi, ...) omogočila optimalno postavitev točk.



Slika A.1: Testni koridor

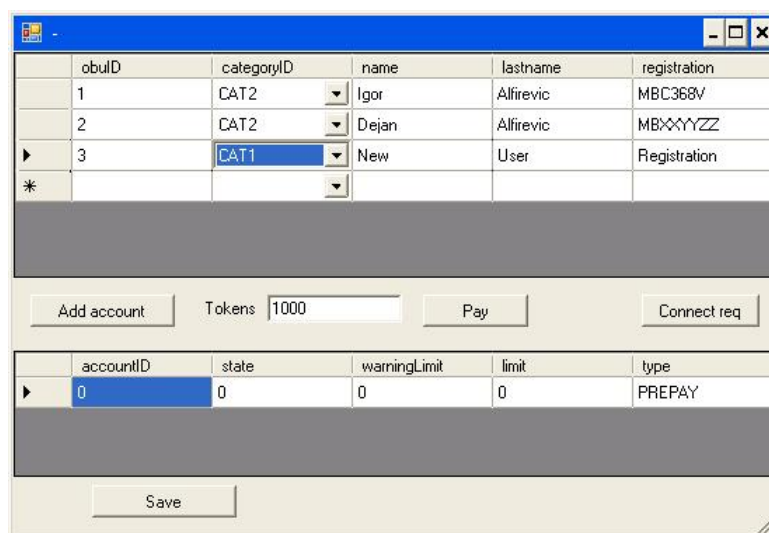
A.2 Grafični vmesniki

Naslednje slike prikazujejo pomembnejše grafične vmesnike razvitega prototipa.



tarifID	timeConstraintID	categoryID	pointID	ownerID	tokens
8	Jutranja koni...	CAT1	Point 1	Obcina Ljublj...	1300
9	Popoldanska...	CAT1	Point 1	Obcina Ljublj...	1200
10	Navadna	CAT1	Point 1	Obcina Ljublj...	1100
11	Jutranja koni...	CAT2	Point 1	Obcina Ljublj...	3300
12	Popoldanska...	CAT2	Point 1	Obcina Ljublj...	3200
13	Navadna	CAT2	Point 1	Obcina Ljublj...	3100
14	Jutranja koni...	CAT3	Point 1	Obcina Ljublj...	4300
15	Popoldanska...	CAT3	Point 1	Obcina Ljublj...	4200
16	Navadna	CAT3	Point 1	Obcina Ljublj...	4100
17	Jutranja koni...	CAT4	Point 1	Obcina Ljublj...	5300
18	Popoldanska...	CAT4	Point 1	Obcina Ljublj...	5200
19	Navadna	CAT4	Point 1	Obcina Ljublj...	5100
20	Jutranja koni...	CAT5	Point 1	Obcina Ljublj...	6300
21	Popoldanska...	CAT5	Point 1	Obcina Ljublj...	6200
22	Navadna	CAT5	Point 1	Obcina Ljublj...	6100
23	Jutranja koni...	CAT1	Point 2	Obcina Ljublj...	1300
24	Popoldanska...	CAT1	Point 2	Obcina Ljublj...	1200
25	Navadna	CAT1	Point 2	Obcina Ljublj...	1100
26	Jutranja koni...	CAT2	Point 2	Obcina Ljublj...	3300
27	Popoldanska...	CAT2	Point 2	Obcina Ljublj...	3200
28	Navadna	CAT2	Point 2	Obcina Ljublj...	3100
29	Jutranja koni...	CAT3	Point 2	Obcina Ljublj...	4300
30	Popoldanska...	CAT3	Point 2	Obcina Ljublj...	4200
31	Navadna	CAT3	Point 2	Obcina Ljublj...	4100
32	Jutranja koni...	CAT4	Point 2	Obcina Ljublj...	5300
33	Popoldanska...	CAT4	Point 2	Obcina Ljublj...	5200

Slika A.2: Upravljanje tarifnih shem



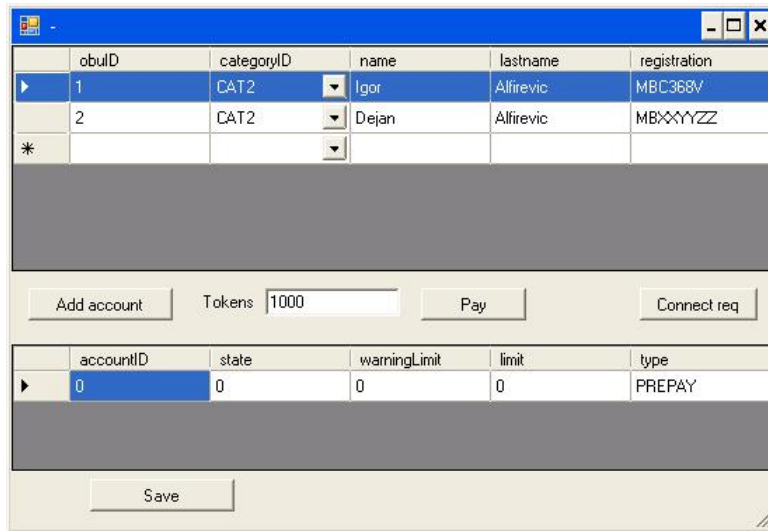
obulID	categoryID	name	lastname	registration
1	CAT2	Igor	Alfirevic	MBC368V
2	CAT2	Dejan	Alfirevic	MBXYYZZ
3	CAT1	New	User	Registration
*				

Add account Tokens: 1000 Pay Connect req

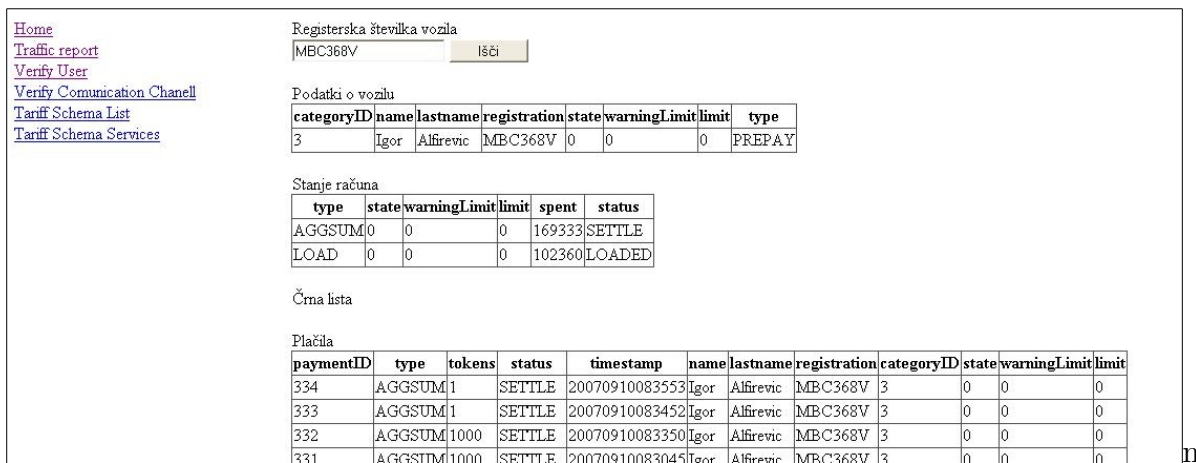
accountID	state	warningLimit	limit	type
0	0	0	0	PREPAY

Save

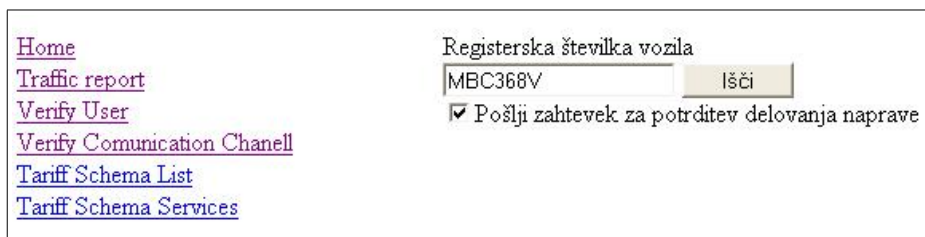
Slika A.3: Upravljanje naročniških razmerij



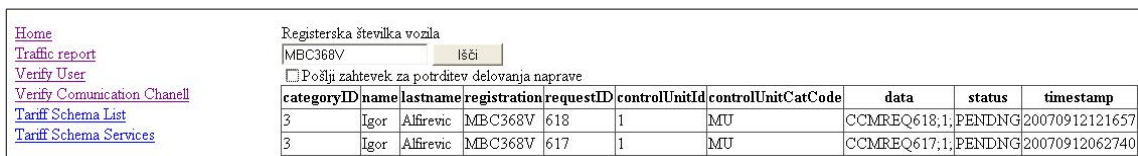
Slika A.4: Nalaganje dobroimetja



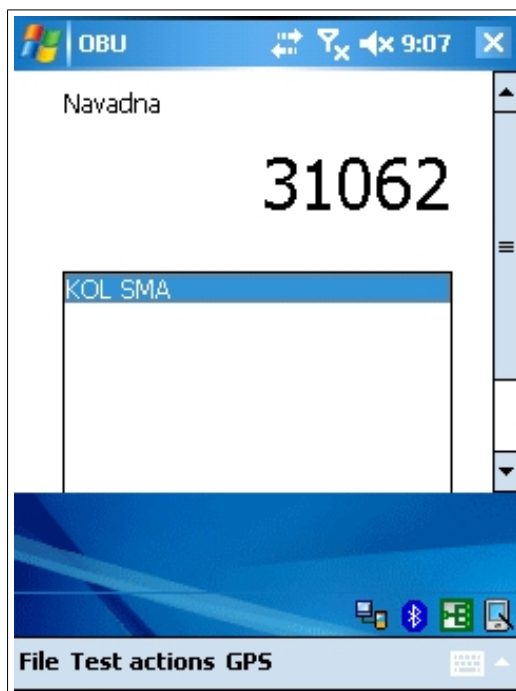
Slika A.5: Preverjanje uporabnika



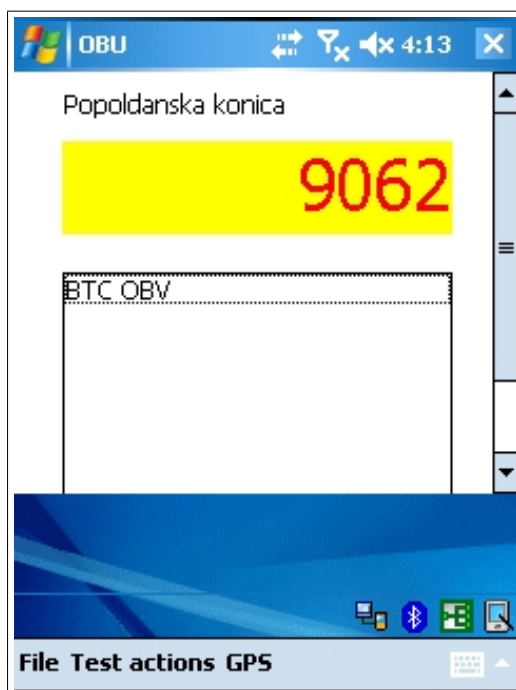
Slika A.6: Zahtevek za preverjanje komunikacijskega kanala



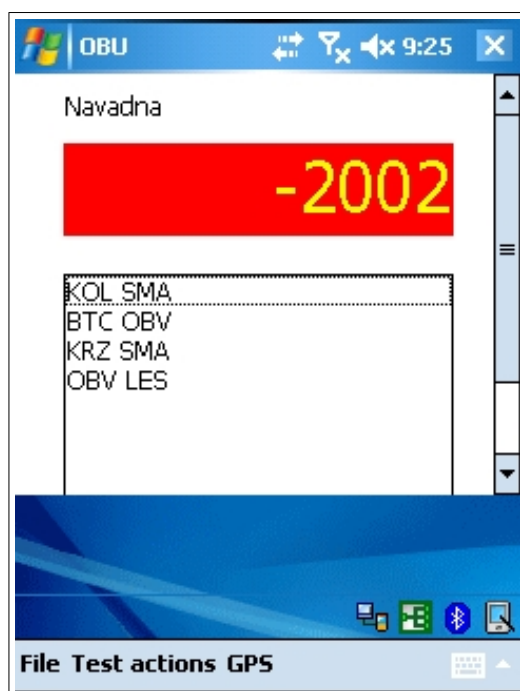
Slika A.7: Preverjanje potrditve zahtevka za preverjanje komunikacijskega kanala



Slika A.8: Normalno delovanje OBU aplikacije



Slika A.9: Stanje OBU računa je preseglo opozorilno vrednost



Slika A.10: Stanje OBU računa je preseglo dovoljeno vrednost

Literatura

- [1] Expert Group 9 assigned by the European Commission DG TREN. Application interface definition for global navigation satellite systems and cellular networks (gnss/cn).
- [2] Expert Group 9 assigned by the European Commission DG TREN. Mister - the minimum interoperability specification for tolling on european roads. version 2.7, December 2005.
- [3] P.T. Blythe. Congestion charging: Technical options for the delivery of future uk policy, August 2005.
- [4] Mulia Agung Cempaka. <http://www.mac-smarttech.com/cart.php>, 2008.
- [5] diytrade. http://www.diytrade.com/china/4/products/573440/Character_LCD_module.ht%ml, 2008.
- [6] Shahriyar Hussain Dr. Khali Persad, Dr. C. Michael Walton. Electronic vehicle identification: Industry standards, performance, and privacy issues. <http://www.ictsb.org/ITSSG/Documents/N977V0L1.pdf>, 2008.
- [7] DRAMeXchange. Forum. <http://www.dramexchange.com/CommunityServer/forums/thread/3243.aspx>, 2008.
- [8] Shenzhen Bohua Electronic. Gaa-gps/gsm-s13(gps/gsm combination antenna). <http://bohuagps.en.ecplaza.net/catalog.asp?CatalogID=483746>, 2008.
- [9] Futurlec. Price list. <http://www.futurlec.com/ICRAM.shtml>, 2008.
- [10] Mecit Cetin Jeffrey L. Adler. A direct redistribution model of congestion pricing, June 2001.
- [11] Jean-François Lerouge. Road tolling and privacy - some comments with regard to the ec directive on data protection, November 1999.

- [12] Embedded-System. Net. 3-axis accelerometer. <http://embedded-system.net/3-axis-accelerometer-lis302alk-stmicroelectr%onics.html>, 2008.
- [13] Bernhard Oehry. Media - management of electronic fee collection dsrc interoperability in alpine region. March 2005.
- [14] K. W. Ogden. Privacy issues in electronic toll collection, April 2001.
- [15] Evropski parlament in Svet Evropske unije. Direktiva 2002/58/es evropskega parlamenta in sveta.
- [16] Evropski parlament in Svet Evropske unije. Direktiva evropskega parlamenta in sveta 95/46/es.
- [17] Evropski parlament in Svet Evropske unije. Direktiva evropskega parlamenta in sveta 2004/52/es z dne 29. aprila 2004 o interoperabilnosti elektronskih cestninskih sistemov v skupnosti, April 2004.
- [18] Litian Xie Piotr Olszewski. Modelling the effects of road pricing on traffic in singapore, August-November 2005.
- [19] Statistični urad Republike Slovenije. Cestna vozila konec leta (31.12.) glede na vrsto vozila in starost, slovenija, letno. <http://www.stat.si>, 2008.
- [20] Business Wire. Infineon technologies and global locate develop an extremely sensitive, low power single-chip enabling assisted gps services for mobile phones. http://findarticles.com/p/articles/mi_m0EIN/is_2004_Oct_12/ai_n6231853, 2008.
- [21] Ministrstvo za promet RS. Državne ceste. http://www.mzp.gov.si/si/delovna_podrocja/ceste/drzavne_ceste/?type=98.

Izjava o avtorstvu magistrskega dela

Spodaj podpisani **IGOR ALFIREVIĆ**,
z vpisno številko **63990364**,
sem avtor magistrskega dela z naslovom:

PROTOTIPNI MODEL SISTEMA ELEKTRONSKEGA CESTNINJENJA.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem magistrsko delo izdelal/-a samostojno pod vodstvom mentorja **prof. dr. Denisa Trčka**.
- so elektronska oblika magistrskega dela, naslova (slov., angl.), povzetka (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko magistrskega dela
- in soglašam z javno objavo elektronske oblike magistrskega dela v zbirki »Dela FRI«.

V Ljubljani, dne _____

Podpis avtorja: _____