

Road Nail: Паметан систем означавања пута

Бојан Миладиновић, Драган Самарџија, Ерне Ковач, Ђорђе Исаиловић, Никола Теслић, Михајло Катона

Садржај — У овом раду представљамо „Road Nail“ паметан систем за означавање пута са бежичном мрежом сигналних уређаја постављених уз ивицу пута. Сигнални уређаји представљају аутономне чворове са могућношћу прикупљања електричне енергије у батерије добијене из соларних хелија. Додатно, чворови размењују бежичне поруке, откривају надлазећа возила и емитују светлост. Направили смо експериментално тествно окружење које се састоји од 20 чворова са мрежним пролазом ка мобилној телефонији и интернету. У овом раду су приказани детаљи изведбе целокупног система, укључујући обимна мерења и оцене учинка у стварним условима.

Кључне речи — сензори, паметни путеви, V2I, бежичне мреже

I. УВОД

ВОЖЊА у условима слабе видљивости (нпр. магла или јаке падавине), и вођња ноћу, је посебан изазов који води ка повећаној вероватноћи саобраћајних несрећа и могућих повреда. У овом раду приказујемо систем за паметно означавање ивице пута током периода смањене видљивости и ноћи. Систем је назван „Road Nail“.

Недавно, опсежна истраживања и бројне иновације у пољу побољшања путне безбедности су приказане ([1], [2]). Додатно, убрзана побољшања и широка примена полупроводничких производа су кључна за ефикасну примену сензорне, бежичне и батеријске технологије [3].

У овој студији комбинујемо најновија напредна решења у сензорима, бежичним комуникацијама и батеријски напајаним технологијама да би осмислили и направили нов систем повећања безбедности на путевима. Састоји се од низа чворова који су постављени на обе стране пута, међусобно одвојених од неколико десетина до неколико стотина метара. Сваки чвор се састоји од (i) светлосног подсистема за сигнализацију, (ii) сензорског подсистема за откривање возила, (iii) бежичног комуникационог подсистема за размену порука са суседним чворовима, и (iv) енергетско-напојног подсистема са батеријом и

соларним хелијама. Током дана чворови пуне своје батерије, док током смањене видљивости и/или ноћи прелазе у радни режим, омогућујући откривање возила и правовремену сигнализацију. При откривању пролазећег возила, чвор шаље бежичну поруку. Након откривања или пријема поруке о откривеном возилу од стране неког суседног чвора, светлосна сигнализација би требало да се упали (или бела или црвена, у зависности од стране пута). У циљу очувања енергије смештене у батерији, сигнализација се гаси након неког предефинисаног временског периода. Чворови су постављени уз ивице пута, без потребе за ометањем саобраћаја током монтаже или одржавања. Такође, систем може бити повезан на интернет преко одговарајућег пролаза. То може омогућити да се информације са чворова прослеђују у центар даљинског управљања где се пут и чворови могу надzirати. Ово омогућује широку примену у возило-инфраструктура (*vehicle-to-infrastructure*, V2I) системима.

Систем евентуално може заменити постојећу сигнализацију засновану на пасивним рефлекторима. Верујемо да ће примена овог система значајно побољшати безбедност на путевима. Узимајући у обзир укупну дужину ауто-путева у САД (4,209,835 километара [4]), постоји јасан тржишни потенцијал за ово или слична решења.

У одељку II описујемо мрежну организацију, поставку и функционалност. У одељку III архитектура чворова је описана, са функцијом и утицајем сваког подсистема. У одељку IV описано је повезивање са Интернетом. Закључак представља одељак V.

II. ПРИКАЗ МРЕЖНЕ ОРГАНИЗАЦИЈЕ И ФУНКЦИОНАЛНОСТИ СИСТЕМА

Сл. 1 приказује основну поставку и функционалност система. Удаљеност између чворова зависи од услова на путу. На пример, оштрије кривине би захтевале збијеније постављање чворова. Направили смо експериментално окружење које се састоји од 20 „Road Nail“ чворова.

Овај рад је делимично финансиран од стране Министарства за науку Републике Србије, пројекат I1005, од 2008. год.

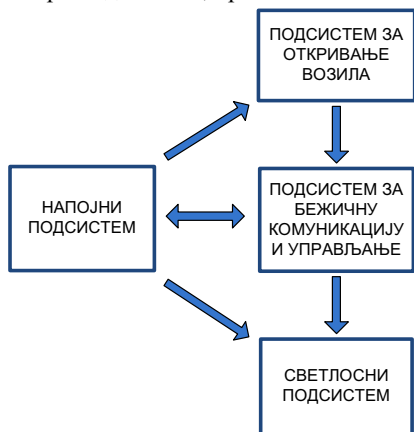
Бојан Миладиновић, (email: bojan.miladinovic@rt-rk.com)
 Драган Самарџија, Факултет Техничких Наука у Новом Саду (email: dragan.samardzija@rt-rk.uns.ac.rs)
 Ерне Ковач, (email: erne.kovac@rt-rk.com)
 Ђорђе Исаиловић, (email: djordje.isailovic@rt-rk.com)
 Никола Теслић, Факултет Техничких Наука у Новом Саду (email: nikola.teslic@rt-rk.uns.ac.rs)
 Михајло Катона, Факултет Техничких Наука у Новом Саду (email: mihajlo.katona@rt-rk.uns.ac.rs)

Као што је дато на сл. 1, возило је откривено по први пут од стране чвора 1 након чега систем прелази из режима мале потрошње у пун радни режим. Након што је возило откривено од стране чвора 1, оно укључује црвену сигнализацију, ствара и шаље одговарајућу поруку за чвор 2 у смеру наиласка возила. Такође шаље поруку своје парном чвору, чвору 11 на супротној страни пута да укључи белу сигнализацију у смеру наиласка возила. Након пријема поруке, чвор 2 пали црвену сигнализацију, шаље бежичне поруке своје парном чвору 12 и чвору 3. Одмах након што возило прође поред чвора 1, ради очувања енергије, он гаси своја сигнализациона светла. Овај процес се наставља у смеру кретања возила.

Протокол је замишљен тако да су комуникационе раздаљине највеће, са благовременим слањем порука и са најмањим могућим утрошком енергије. Додатно, протокол решава проблем повезивања између физичке позиције чвора и његове мрежне адресе. Чвор укључује своју сигнализацију само уколико је примљена порука потекла од другог чвора у непосредној близини или ближе околине и намењена је њему, док занемарује поруке потекле од чворова са веће удаљености и које нису намењене њему. Ово је проблем откривања топологије, који је изван опсега овог рада.

III. АРХИТЕКТУРА СИГНАЛНИХ УРЕЂАЈА

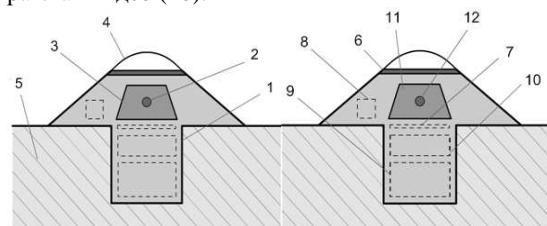
Сваки сигнални уређај у „Road Nail” систему се састоји четири подсистема, приказано на сл. 2.



Слика 2. Блок дијаграм сигналног уређаја

Изведба „Road Nail” чвора је приказана на сл. 3. Горњи део сигналног уређаја (4) је направљен од прозирног, водоопорног материјала (нпр. стакла) дозвољавајући пролазак светлости до соларних ћелија (6) и штитећи електронске компоненте (7, 8, 9 и 10) од кише или снега. На предњој и задњој страни кућишта постоје LED извори светлости (2 и 12), са рефлектујућим позадинама (3 и 11). Као што је дато на сл. 3, чворови могу бити постављени тако да је доњи део уређаја (1) у земљи (5). Алтернативно, чворови могу бити постављени изнад земље (нпр. типично 80

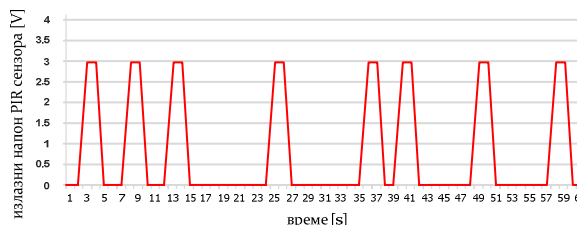
см изнад земље), где је додатна носећа структура потребна. Унутар кућишта се налази штампана плоча са микроконтролером и подсистемом за бежичну комуникацију (7), сензори (8) и батерија (9) и њен управљачки део (10).



Слика 3. „Road Nail” чвор

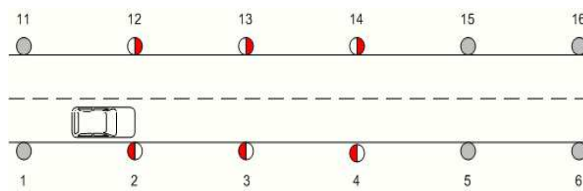
A. Подсистем за откривање возила

Сензор, односно подсистем за откривање возила, састоји се од низа сензора који обезбеђују информације бежичном комуникационо-управљачком подсистему. У овом случају изведбе, користили смо пасивни инфра-црвени (PIR) сензор *Parallax 555-28027* за откривање покрета. Овај сензор је веома поуздан на даљинама од око 15 метара, са ниском потрошњом мањом од 15 mW. На пример, на сл. 4 приказујемо излазни напон као функцију времена у коме су аутомобили откривени у $t = 3, 9, 14, 26, 36, 40, 49$ и 58 секунди. Опширним мерењима смо потврдили високу вероватноћу успешног откривања долазећег возила. Мерења су обављена у стварним условима.



Слика 4. Излаз PIR сензора као функција времена са возилима која пролазе у $t = 3, 9, 14, 26, 36, 40$ и 58 секунди.

Додатно, применили смо светлосни сензор *Intersil ISL29003* за откривање светлости фарова долазећих возила. Његова потрошња је око 1 mW. Опширним



Слика 1. „Road Nail” систем

мерењима смо потврдили високу вероватноћу успешног откривања долазећег возила. Као пример, на сл. 5 приказујемо излаз сензора као функцију раздаљине наилазећег возила, са укљученом светлосном групом.



Слика 5. Излаз светлосног сензора као функција раздалјине између пролазећих возила и чвора

V. Светлосни подсистем

Светлосни подсистем се састоји од низа LED диода и LED управљача. LED диоде су искоришћене због своје мале потрошње при којој дају задовољавајући ниво светлости омогућавајући чисто и видљиво означавање ивице пута у условима смањене видљивости. Засновано на обимној анализи и мерењима, закључујемо да светлосни подсистем троши значајни део енергије, наиме, више од 60% укупне потрошње (сл. 6).

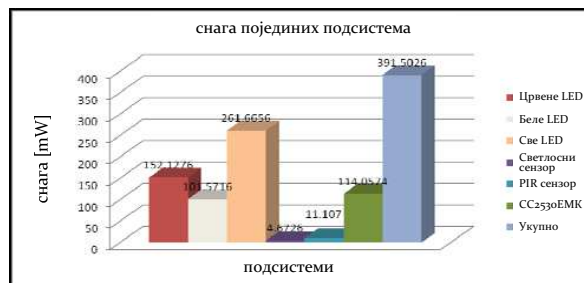
C. Бежични комуникациони и управљачки подсистем

Бежични комуникациони и управљачки подсистем је заснован на бежичном примопредајнику и 8051 микропроцесорском језгру, све интегрисано у Texas Instruments CC2530 чипу. Он је задужен за размену порука преко бежичне везе, као и за анализу информација са сензора и управљање батеријом. Бежична мрежна веза је заснована на IEEE 802.15.4 стандарду [5] који дефинише физички и MAC мрежни ниво у личним мрежама (PAN). Стандард користи вишеструки приступ са ослушкивањем носноца и откривањем судара (CSMA/CA) и подржава како мреже типа звезде, мреже равноправних чланова, и мешовите структуре. Примењени протокол обезбеђује функције као што су мала сложеност, цена, потрошња, укључујући и малу бежичну брзину преноса. Мала потрошња је најзначајнија одлика у овој примени обзиром на ограничену количину ускладиштене енергије. То је омогућено режимом приправности који даје могућност сваком уређају да пређе у режим спавања веома мале потрошње током дана или када нема возила. У типичним условима, овај подсистем троши око 25% укупне енергије.

D. Енергетски подсистем

Енергетски подсистем се састоји од следећа три сегмента: соларних ћелија, пуњиве батерије и батеријског управљања. Соларне ћелије обезбеђују довољно енергије за пуну функционалност сигналних уређаја током неког предефинисаног временског периода. Управљање батеријом обухвата надзор и управљање свим параметрима укључујући пуњење и пражњење батерије. Спровели смо бројна лабораторијска и теренска мерења. Резултати мерења потрошње енергије (по сваком подсистему и укупно) су

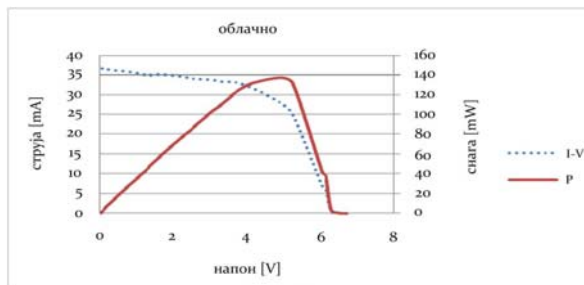
приказани на сл. 6. Мерења су обављена током ноћи, при око 15 °C. За приказану потрошњу енергије потврдили смо, како аналитички тако и практично, да потпуно напуњена батерија може подржати скоро 20 сати непрекидног рада при пуном радном режиму (без додатног пуњења током тог периода).



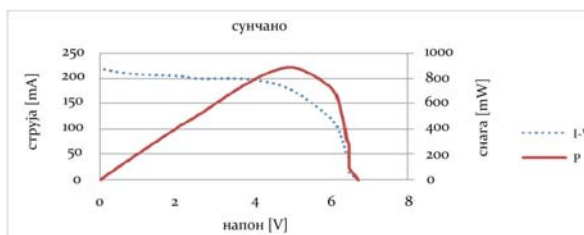
Слика 6. Резултати мерења потрошње енергије.

У циљу задовољења пројектоване потрошње, три соларна модула SOL4 Vellerman су примењена, сваки од 66 x 95 x 6 милиметара. Обимна мерења су извршена током сунчаних и облачних атмосферских услова, са различитим угловима инклинације сунца. Примери мерења су дати на сл. 7 и 8, приказују генерисану струју и снагу, као функцију од напона.

Наша анализа означава да би систем био у непрекидном радном режиму, у периоду дужине од четири дана, довољно је да систем прикупи 10 сунчаних сати за нормално пуњење батерије (у просеку, 2,5 сунчана сата на дан).



Слика 7. Снага соларне ћелије, облачан дан, -4 °C.



Слика 8. Снага соларне ћелије, сунчан дан, 1 °C, инклинација Сунца 45°

IV. ПОВЕЗИВАЊЕ СА БЕЖИЧНОМ ТЕЛЕФОНСКОМ МРЕЖОМ И ИНТЕРНЕТОМ

Сл. 9 приказује интеграцију „Road Nail” система са бежичним мобилним мрежама и интернетом. Интеграција је изведена као део тестног окружења.

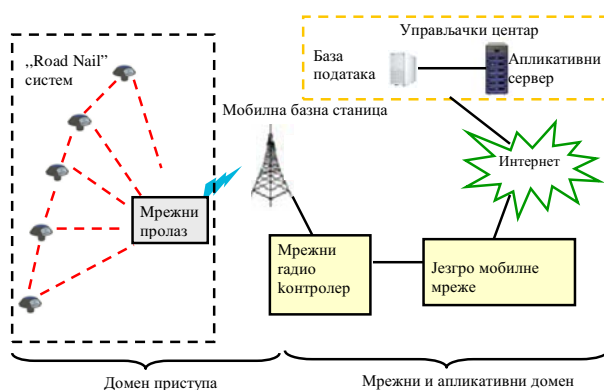
Као додатак IEEE 802.15.4 бежичној мрежи између чворова, бежична веза између система и интернета је остварена преко мрежног пролаза и бежичне мобилне мреже (нпр. GPRS/EDGE, UMTS или LTE). Овако су информације локалних чворова доступне удаљеном управљачком центру. Информације могу бити коришћене за:

- Надгледање хитних случајева (нпр. возило је стало или се сумња на судар),
- Контрола брзине,
- Надгледање саобраћаја (нпр., возила успоравају, указујући на загушење),
- Надгледање пута (нпр., возила успоравају, указујући на могуће дефекте на путу),
- Планирање путева (нпр., повећан саобраћај на делу саобраћајнице),
- Захтеви за одржавање чворова...

Такође, управљачки центар може слати различите информације сваком појединачном чвору у околини. Чворови могу прослеђивати информације пролазећим возилима. На пример,

- Услови саобраћаја,
- Временски услови,
- Радови и специјални услови на путу,
- Предложено најмање растојање између возила...

Наведени систем представља једну општу и прилагодљиву изведбу концепта возило-инфраструктура (V2I).



Слика 9. „Road Nail“ систем интегрисан са интернетом и управљачким центром

V. ЗАКЉУЧАК

У овом раду смо приказали „Road Nail“ систем, паметан систем за означавање пута са бежичном мрежом сигналних уређаја постављених близу ивица пута. Сигнални уређаји су самостални чворови са

могућношћу да прикупљају електричну енергију у батерије преко соларних хелија. Додатно, чворови размењују бежичне поруке, откривају долазећа возила и емитују сигнална светла.

Описали смо наше експериментално окружење које се састоји од 20 чворова и мобилног мрежног пролаза. Приказани су детаљи изведбе система, укључујући његову примену у стварним условима. Приказани су учинци PIR и светлосног сензора, потрошња сваког подсистема, као и снага соларних хелија.

Верујемо да примена приказаног система може драматично побољшати безбедност на путевима.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] D. B. Rawat, D. Treeumnuk, D. C. Popescu, M. Abuelela, and S. Olariu, "Challenges and perspectives in the implementation of the NOTICE architecture for vehicular communications", the 2nd IEEE Workshop on Mobile Vehicular Networks (MoVeNet 2008), 2008.
- [2] D. Treeumnuk, D. C. Popescu, and S. Olariu, "Requirements for the physical layer of the NOTICE system for vehicular communications", IEEE Global Telecommunications, 2009.
- [3] Michael Chui, Markus Löffler, and Roger Roberts, "The Internet of things", McKinsey Quarterly 2010.
- [4] *The World Fact Book*, CIA, 2010.
- [5] IEEE Std 802.15.4 – 2003, IEEE Computer Society, Oct. 2003.
- [6] IST-WINNER II Deliverable 1.1.2 v.1.2, "WINNER II Channel Models", IST-WINNER2, 2007.
- [7] T. Fujii, "Path-loss prediction formula in mobile communication—an expansion of "SAKAGAMI" path-loss prediction formula," Trans. IEICE, Japan, J86-B, 10, pp. 2264 2267, 2003.
- [8] "Proposed Propagation Models for Evaluation Radio Transmission Technologies in IMT Advanced," Doc. 5D/88, January 2008, Geneva, Switzerland.
- [9] A. Fanimokun, J. Frolik, "Effects of natural propagation environments on wireless sensor network coverage area", Proceedings of the 35th Southeastern Symposium on System Theory, 2003.

ABSTRACT

Abstract—In this paper we present Road Nail, an intelligent road marking system with the wireless network of signaling devices that are mounted near the road edge. "Nails" or signaling devices are autonomous nodes with capability to accumulate electrical energy into batteries which is obtained from solar panels. In addition, the nodes exchange wireless messages, detect approaching vehicles and emit signalization light. We have built an experimental testbed that consists of 20 nodes and a cellular gateway. In this paper, implementation details of the above system, including extensive measurements and performance evaluations in realistic field deployments are presented.

ROAD NAIL: INTELLIGENT ROAD MARKING SYSTEM

Bojan Miladinovic, Dragan Samardzija, Erne Kovac, Djordje Isailovic, Nikola Teslic, Mihajlo Katona