

КОХЕРЕНТНИ IEEE 802.15.4 РАДИО ПРИЈЕМНИК ЗАСНОВАН НА СОФТВЕРСКОМ РАДИЈУ

Пројекат:	Развој и моделовање енергетско ефикасних, адаптивних, вишепроцесорских и вишесензорских електронских система мале снаге
Ознака пројекта	ТР 32043
Руководилац пројекта:	Горан Димић
Врста документа:	Техничка документација пројекта
Степен поверљивости	Поверљиво – интерно
Одговорно лице:	Урош Пешовић, pesovic@yahoo.com
Реализатори:	Урош Пешовић, Сениша Ранђић

САДРЖАЈ

1. КРАТАК ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА	3
2. СТАЊЕ У СВЕТУ	4
3. ДЕТАЉАН ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА	4
3.1 Спецификација система	5
3.2.1 Функционални захтеви.....	7
3.2.2 Интерфејси	7
3.2.3 Услови рада и климо – механичке карактеристике.....	7
3.2.4 Цена.....	7
3.2 Архитектура пријемника	8
3.3 Верификација пријемника	10

1. КРАТАК ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Примена од (дд.мм.гггг): 15. септембар 2015. године
Година: 2015
Одговорно лице: Урош Пешовић

Опис: Кохерентни пријемници пружају боље демодулационе карактеристике у односу на некохерентне пријемнике нарочито у случају сигнала са високим присуством шума. Ови пријемници захтевају синхронизацију носећег сигнала помоћу преамбуле која се емитује на почетку IEEE 802.15.4 пакета. Код комерцијално доступних IEEE 802.15.4 пријемника синхронизација се врши у аналогном делу пријемника помоћу Костасове петље која мења фреквенцију и фазу локалног осцилатора све док се она не поклопи са централном фреквенцијом носећег сигнала. У случају софтверског радија није могуће утицати на аналогни део, па је синхронизацију потребно извршити након модулације у дигиталном делу. Ово техничко решење приказује реализацију кохерентног IEEE 802.15.4 пријемника на софтверском радију које поседује софтверску синхронизацију у основном спектру.

Техничке карактеристике: Бежична комуникација: IEEE 802.15.4
Фреквентни опсег: 2.4 GHz ÷ 2.5 GHz
Предајна снага: -30 dBm ÷ 0 dBm
Жична мрежа: Gigabit Ethernet

Техничке могућности: Реализовани кохерентни пријемник прима пакете у складу са IEEE 802.15.4 стандардом.

Реализатори: Пешовић Урош, Ранђић Сениша

Корисници: Реализовани пријемник се користи у Лабораторији за обраду сигнала и даљинско управљање, Факултета за електротехнику, рачунарство и информатику, Универзитета у Марибору у Словенији. Набавком софтверског радија за потребе овог пројекта, систем ће бити коришћен у истраживачком раду и на Факултету техничких наука у Чачку.

Подтип решења: Прототип (M85)

2. СТАЊЕ У СВЕТУ

Софтверски радио представља реконфигурабилну радио платформу која истраживачима омогућава брз и једноставан развој комуникационих уређаја. Досадашње имплементације IEEE 802.15.4 примопредајника на софтверском радију су у пар наврата развијане од стране индивидуалних истраживача за потребе својих истраживања, тако да на тржишту не постоје комерцијално доступне решења. Досадашња решења на софтверском радију била су имплементирана помоћу IEEE 802.15.4 пријемника који су били засновани на некохерентној демодулацији, која није захтевала синхронизацију са носећим сигналом, што је у многоме олакшавало имплементацију. Ово техничко решење представља реализацију IEEE 802.15.4 пријемника са кохерентним демодулатором, код кога је реализован блок за софтверску синхронизацију у основном спектру, након демодулације.

3. ДЕТАЉАН ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Како би се неки пријемник могао успешно примити послате податке неопходно је да ради у истом каналу (на истој фреквенцији) и да користи исти тип модулације. Ови услови су неопходни, али не и довољни да би неки сигнал био успешно примљен и демодулисан, па је неопходно је да пријемник буде синхронизован са предајником. Синхронизација је јако битан део пријемника и може се поделити на следеће нивое:

1. синхронизација на нивоу носећег сигнала
2. синхронизација на нивоу модулационих симбола
3. синхронизација на нивоу пакета

Синхронизација на нивоу носећег сигнала омогућава да пријемник у потпуности буде синхронизован са радом предајника, тако што се синхронизише са високофреквентним сигналом (носиоцем) који се прима преко антене. Чак и када су подешени да раде на истој централној фреквенцији, фреквенција локалних осцилатора у пријемнику и предајнику може варирати услед разних утицаја, до чак ± 40 ppm колико је дозвољено за IEEE 802.15.4 примопредајнике. Такође, уколико су пријемник или предајник мобилни, услед кретања долази до Доплеровог ефекта, што изазива промену фреквенције примљеног сигнала. Такође, фаза примљеног сигнала може бити различита од фазе локалног осцилатора у пријемнику. Код већине пријемника синхронизација се изводи померањем учестаности локалног осцилатора у пријемнику помоћу Костасове петље, све док она не буде једнака фреквенцији примљеног сигнала. Овај ниво синхронизације неопходан је код кохерентних пријемника, док некохерентни пријемници могу радити без потребе за синхронизацијом са носећим сигналом. Кохерентни пријемници поседују боље демодулационе карактеристике у односу на некохерентне пријемнике, поготову при демодулисању сигнала код којих је изражен утицај шума. Некохерентни пријемници не захтевају синхронизацију носиоца, већ информације могу демодулисати из несинхронизованог сигнала, што за последицу има губитак перформанси.

Синхронизација на нивоу модулационих симбола, омогућава правовремено одабирање модулационих симбола чиме се омогућава исправно извајање корисне информације из примљеног сигнала. Синхронизација на нивоу пакета, омогућава правилно формирање пакета од примљених информација.

Комерцијално доступни IEEE 802.15.4 примопредајници се реализовани као монолитне компоненте код којих није могућ приступ унутрашњим степенима пријемника. Софтверски радио омогућава израду бежичних примопредајника са отвореним приступом свим деловима примопредајника што је од значаја у

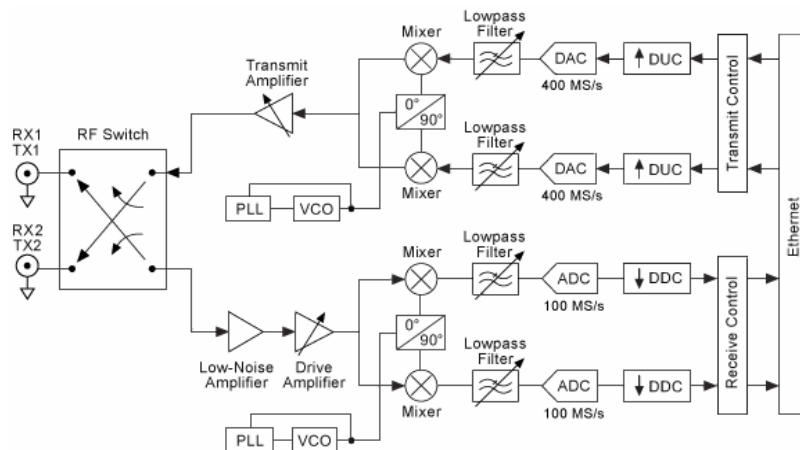
истраживању и брзом развоју нових архитектура примопредајника. Софтверски радио омогућава да се радио сигнали могу директно увести у рачунар како би се могао пратити њихов спектар, или демодулацијом издвојити њихов користан садржај.

Софтверски радио се састоји од предефинисаног аналогног блока који врши модулацију, трансмисију, пријем и демодулацију сигнала и дигиталног дела који омогућава процесирање у основном спектру (baseband) који је имплементиран на FPGA колу. Пошто је аналогни блок на софтверском радију предефинисан, није могуће додати кола која би вршила корекцију централне фреквенције пријемника, тако даје хардверску синхронизацију јако тешко реализовати на софтверском радију. Техника софтверске синхронизације омогућава накнадну синхронизацију коју је могуће извести након демодулације примљеног сигнала. Ове технике су погодне за имплементацију на софтверском радију, јер не захтевају интеракцију са аналогним делом софтверског радија, већ се синхронизација обавља у дигиталном делу у основном спектру примљеног сигнала.

3.1 Спецификација система

NI USRP-2921 софтверски радио представља програмабилну радио платформу засновану на Xilinx® Spartan® 3A-DSP 3400 FPGA чипу на коме се може имплементирати процесирање радио сигнала. NI USRP-2921 софтверски радио поседује примопредајни адаптер који подржава рад у фреквентним опсезима 2.4-2.5 GHz и 4.9-5.9 GHz. Примопредајни адаптер поседује две примопредајне антене које су повезане са остатком уређаја преко радио селектора. Максимална предајна снага радио адаптера износи 100 mW (20 dBm). Такође, два или више софтверских радио уређаја могу се спојити у јединствен MIMO (Multiple In-Multiple Out) систем преко одговарајућих интерфејса. Примљени радио сигнал се појачава и демодулише са носећим сигналом одређене фреквенције како би се издвојио користан сигнал. Пошто је у питању ортогонална модулација, добијају се два ортогонална сигнала, I и Q који су фазно померени за $\pi/2$. Примљени I/Q сигнали се филтрирају и дигитализују 14-битним А/Д конверторима брзином 100 MS/s. Дигитализовани I/Q сигнал се конвертује жељеном фреквенцијом одабирања и шаље у рачунар преко Gigabit Ethernet интерфејса. Максимална фреквенција одабирања износи 25MS/s при 16-битној резолуцији или 50MS/s при 8-битној резолуцији. Током трансмисије дигитални I/Q сигнали генерисани од стране рачунарске апликације се конвертују у сигнал фреквенције 400MS/s који се доводи на улаз 16-битног Д/А конвертора. Добијени аналогни I/Q сигнал се модулише сигналом носеће фреквенције, појачава се и шаље једном од антена.

Блок дијаграм NI USRP-2921 софтверског радија приказан је на слици 1.



Слика 1. Блок дијаграм NI USRP-2921 софтверског радија

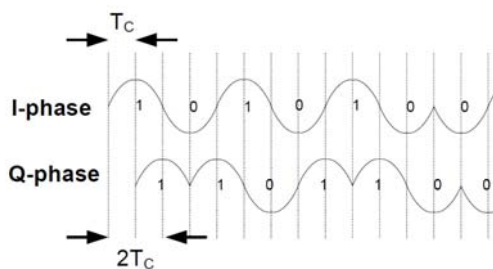
Софтверски радио се повезује са рачунаром преко Gigabit-ног Ethernet адаптера где се може интегрисати у Matlab и Labview апликације коришћењем одговарајућег USRP драјвера. USRP драјвер пружа могућност хардверско/софтверске конфигурације софтверског радија, као и операције пријема и трансмисије података преко софтверског радија.

Пакет који је потребно послати радио-предајником, најпре се подели на симболе, величине 4 бита. Сваки симбол се кодира одговарајућом секвенцом од 32 чипа, чиме се имплементирала техника проширеног спектра. Секвенце чипова садрже једнак број нула и јединица и одабране су тако да се што више разликују једна од друге. Секвенце чипова су подељене у две групе секвенци (C0 да C7 и C8 до C15), где се секвенце из једне групе формирају цикличним померањем чипова претходне секвенце за четири места у десно. Чип секвенце друге групе добијају се инверзијом вредности непарних чипова одговарајуће секвенце из супротне групе секвенци (C0 у C8; C1 у C9; ... ; C7 у C15). Функција пресликавања симбола у секвенце чипова приказана је у табели 1.

Табела 1: Пресликавање IEEE 802.15.4 симбола у чип секвенце

Симбол	Чип секвенца	Симбол	Чип секвенца
S ₀ (0x0)	C ₀ (0x744AC39B)	S ₈ (0x8)	C ₈ (0xDEE06931)
S ₁ (0x1)	C ₁ (0x44AC39B7)	S ₉ (0x9)	C ₉ (0xEE06931D)
S ₂ (0x2)	C ₂ (0x4AC39B74)	S ₁₀ (0xA)	C ₁₀ (0xE06931DE)
S ₃ (0x3)	C ₃ (0xAC39B744)	S ₁₁ (0xB)	C ₁₁ (0x06931DEE)
S ₄ (0x4)	C ₄ (0xC39B744A)	S ₁₂ (0xC)	C ₁₂ (0x6931DEE0)
S ₅ (0x5)	C ₅ (0x39B744AC)	S ₁₃ (0xD)	C ₁₃ (0x931DEE06)
S ₆ (0x6)	C ₆ (0x9B744AC3)	S ₁₄ (0xE)	C ₁₄ (0x31DEE069)
S ₇ (0x7)	C ₇ (0xB744AC39)	S ₁₅ (0xF)	C ₁₅ (0x1DEE0693)

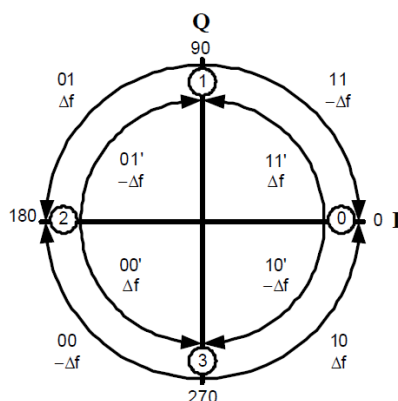
Секвенце чипова се потом модулишу O-QPSK HSS дигиталном модулацијом са ортогоналним I/Q сигналама, где чипови са парним индексом модулишу I сигнал, а чипови са непарним индексом модулишу Q сигнал. Квадратни импулси оба сигнала обликују се множењем са полусинусоидном импулсом. Q сигнал се закасни за период трајања једног чипа након чега се сабира са I сигналом и модулише на носећи сигнал од 2.4 GHz (слика 2). Коришћењем ове модулације остварује се континуална промена фазе сигнала што омогућава појачавање овако модулисаног сигнала са нелинеарним појачивачима који се користе у енергетски ефикасним IEEE 802.15.4 примопредајницима.



Слика 2. -QPSK HSS модулација чип секвенце C₀

Приликом пријема IEEE 802.15.4 сигнала, најпре се врши O-QPSK HSS демодулација. Уколико се демодулација врши некохерентним пријемником, није неопходна синхронизација носећег сигнала, па се демодулација врши техником диференцијалног декодирања којом се прати промена фазе током трајања једног чипа (слика 3.). Уколико се демодулација врши кохерентним пријемником, неопходно је прво остварити синхронизацију са носећим сигналом како би се могло извршити одмеравање чипова у тачно дефинисаним интервалима. Примљена секвенца од 32

„чипа“, пореди се са свих 16 предефинисаних „чип“ секвенци, при чему се као резултат узима симбол чија је „чип“ секвенца најсличнија примљеној секвенци.



Слика 3. Диференцијално декодирање I/Q сигнала

Формат пакета физичког слоја, приказан на слици 4., састоји се од синхронизационог заглавља *SHR*, заглавља пакета *PHR* и садржаја пакете *PHY payload*. Синхронизационо заглавље омогућава да се помоћу преамбуле, која се састоји од 8 “нултих” чип секвенци, пријемник синхронизује са пријемним сигналом. Након пријема преамбуле и успешне синхронизације, следи SFD који означава почетак пакета (симболи S_{10} и S_7 тј, A_{7HEX}). Заглавље пакета *PHR* дефинише дужину тела *PHY payload* пакета у бајтовима која може бити од 0 до 127 бајтова.

		Octets		
		1	variable	
Preamble	SFD	Frame length (7 bits)	Reserved (1 bit)	PSDU
SHR		PHR		PHY payload

Слика 4. –Формат пакета физичког слоја

3.1.1 Функционални захтеви

Од кохерентног IEEE 802.15.4 пријемника очекују се следеће функционалности:

- **Пријем и демодулација примљеног пакета** – примљени сигнал се на пријемнику демодулише и декодира у складу са IEEE 802.15.4 стандардом
- **Промена канала** – пријемник мора бити у стању да оперише у свим каналима дефинисаним у 2.4 GHz опсегу

3.1.2 Интерфејси

Пријемник са рачунаром комуницира путем Gigabit Ethernet-a, што подразумева да рачунар поседује Gigabit Ethernet мрежни адаптер. Софтверски радио може бити директно повезан са рачунаром путем Cat5 укрштеног кабла или преко Gigabit Ethernet switch-a.

3.1.3 Услови рада и климо – механичке карактеристике

Систем може радити у опсегу радних температура од 0°C до +40°C.

3.1.4 Цена

Цена система укључујући софтверски радио износи око 3000 €

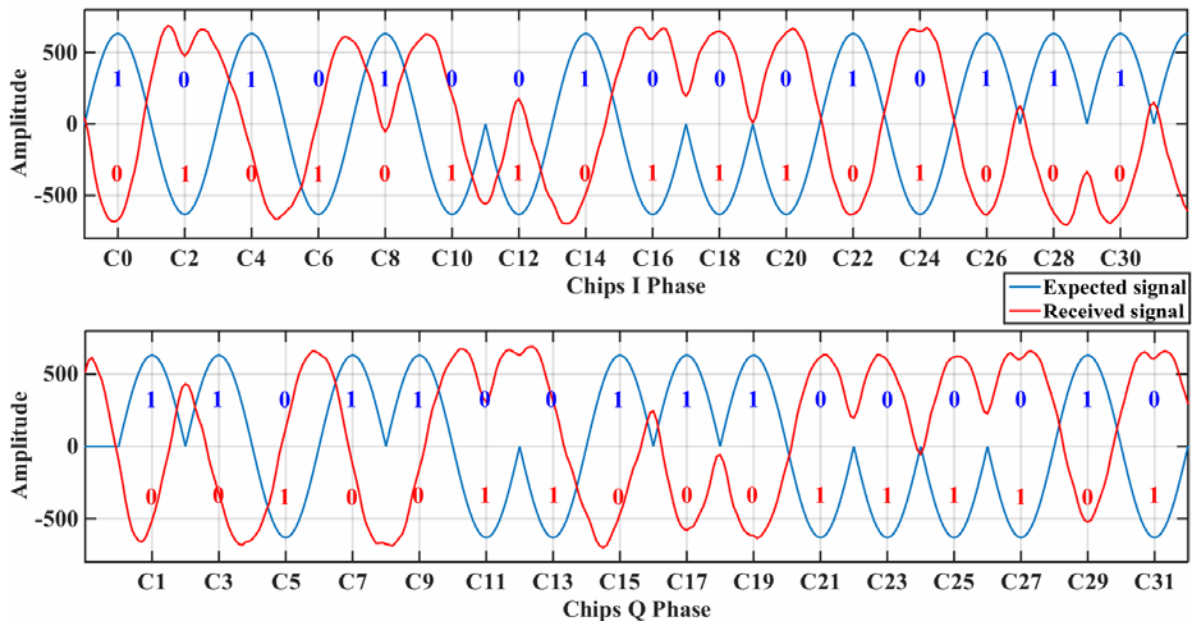
3.2 Архитектура пријемника

Кохерентни пријемник је реализован софтверски, као Matlab апликација, док се софтверски радио користи само као пријемник сигнала који се прослеђују рачунару на демодулацију. На почетку је неопходно конфигурирати софтверски радио одабиром канала на ком ће радити пријемник, где се централна фреквенција канала рачуна према формули

$$f = (k - 11) \cdot 5 + 2405 \text{ MHz}, k = 11, 12, \dots, 26$$

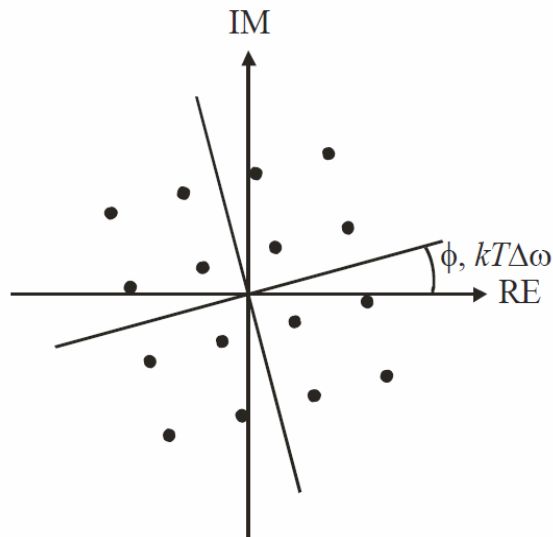
где k представља број канала.

Такође неопходно је подесити ширину канала која код IEEE 802.15.4 пријемника износи 5 MHz. Такође неопходно је на софтверском радију подесити 16 битну резолуцију и брзину одмеравања од 20MS/s. Пакетни пренос података омогућава пренос већег броја одмерака у једном Ethernet пакету. Максимална величина Ethernet пакета дефинисана параметром MTU износи 1492 бајта, што одговара низу од 362 одмерака I/Q сигнала максималне резолуције 16 бита. У једној итерацији са софтверског радија на рачунар се преноси 10000 пакета што одговара вредности од 3.620.000 одмерака I/Q сигнала, односно временском прозору у трајању од 181 ms. Један чип представљен је помоћу двадесет одмерака, тако да је целокупна чип секвенца представљена помоћу 320 I/Q одмерака који су представљени у виду комплексног броја где I фаза представља реални део а Q фаза представља имагинарни део комплексног броја. На слици 5. црвеном бојом су приказани одмерци I и Q сигнала првог примљеног симбола преамбуле S_0 .



Слика 5. – Примљени I/Q сигнали пре синхронизације

Ако би се у овом тренутку покушала кохерентна демодулација у временским тренуцима који одговарају времену одабирања чипова јавио би се јако велики број грешака на чиповима и први симбол преамбуле не би могао бити успешно декодиран. На истој слици плавом бојом су приказани I/Q сигнали очекиваног симбола преамбуле S_0 . Из приложеног је могуће закључити да између послатог и примљеног сигнала постоји фазна грешка $\Delta\phi$ која је изазвала закретање консталацијског дијаграма услед чега настају грешке у декорирању. Такође на основу положаја максимума I/Q може се закључити да између послатог и примљеног сигнала постоји фреквентна грешка $\Delta\omega$ која изазвала константну ротацију консталацијског дијаграма услед чега настају грешке у декорирању. Ротација консталацијског дијаграма услед недостатка синхронизације између пријемника и предајника, приказана је сликом 6.

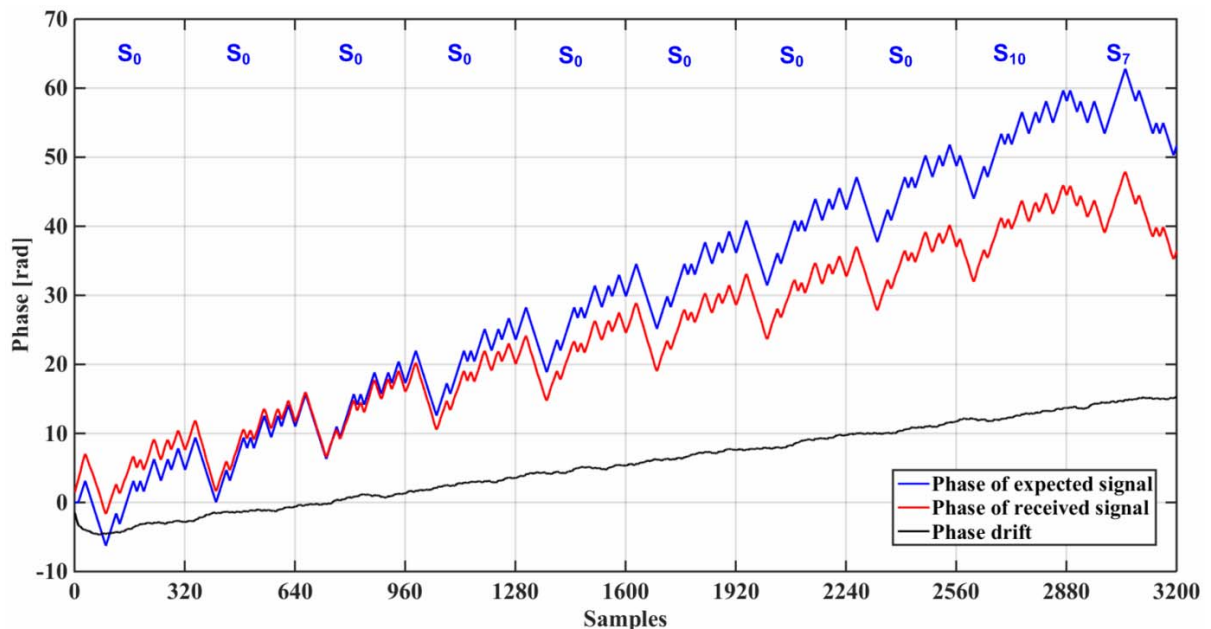


Слика 6. – Утицај фазне и фреквентне грешке на ротацију консталацијског дијаграма

Утицај фреквентне и фазне грешке на примљени сигнал R , може се представити као временски променљиви фазор који множи послати сигнал T .

$$R = T \cdot e^{j(\Delta\omega \cdot t + \Delta\phi)}$$

Вредности фреквентне и фазне грешке могуће је одредити, посматрањем разлике између фазе примљеног сигнала R и фазе послатог сигнала T , током трајања преамбуле. Фаза примљеног сигнала R приказана је на слици 7. црвеном бојом, фаза послатог сигнала T приказана је плавом бојом а њихова разлика црном бојом. За сваки примљени симбол преамбуле, одређује се разлика између примљеног и послатог симбола који се апроксимирају линеарном функцијом са параметрима $\Delta\omega$ и $\Delta\phi$. Апроксимација параметара се врши методом најмањих квадрата.



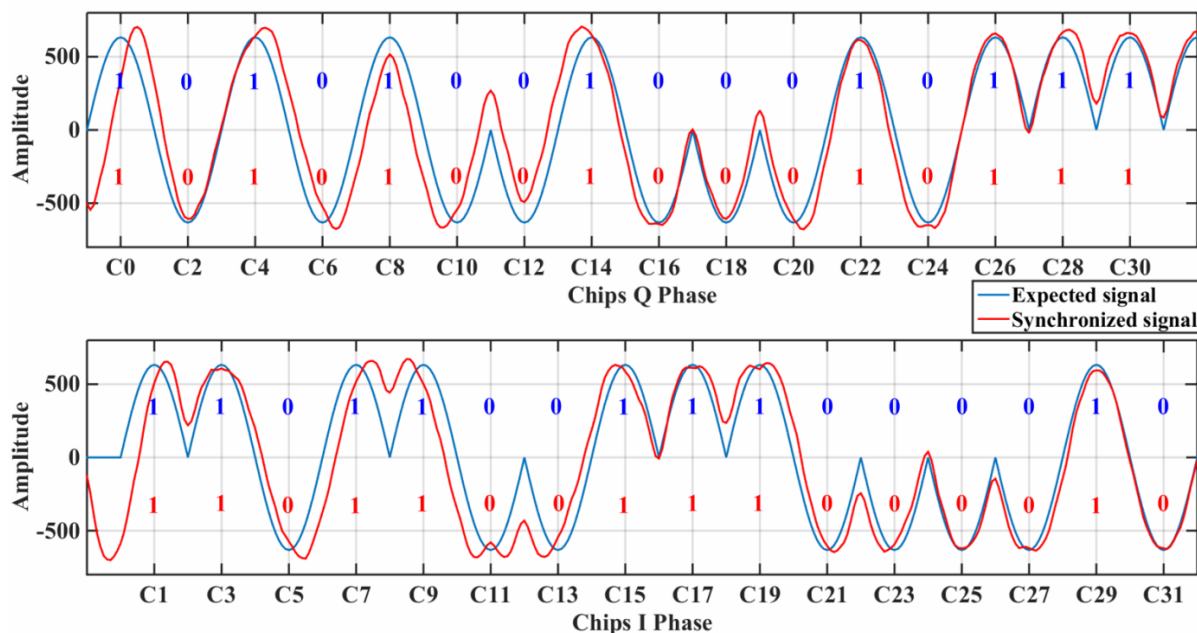
Слика 7. – Примљени I/Q сигнали пре синхронизације

Помоћу апроксимираних параметара $\Delta\omega$ и $\Delta\phi$, врши се операција софтверске синхронизације на следећем примљеном симболу. Софтверска синхронизација се изводи тако што се примљени сигнал R , множи са коњуговано-комплексним временски променљиви фазором дефинисаним параметрима фазне $\Delta\phi$ и фреквентне грешке $\Delta\omega$,

чиме се поништава утицај фазне и фреквентне грешке у синхронизованом сигналу R_s .

$$R_s = R \cdot e^{-j(\Delta\omega t + \Delta\phi)} = T \cdot e^{j(\Delta\omega t + \Delta\phi)} \cdot e^{-j(\Delta\omega t + \Delta\phi)} = T$$

Задовољавајућа синхронизација постигнута је већ након прве итерације, што се може видети на слици 8. која приказује декодирање следећег симбола преамбуле. Синхронизован сигнал приказан је на слици црвеном бојом и поклапа се са очекиваним обликом сигнала представљеним плавом бојом, тако да је синхронизована чип секвенца декодирана без иједне чип грешке. За сваки следећи симбол врши се додатна софтверска синхронизација, при чему се пореде фаза примљеног синхронизованог сигнала са фазом очекиваног симбола преамбуле. На основу разлике врши се апроксимација чиме се fino подешавају параметри $\Delta\omega$ и $\Delta\phi$.



Слика 8. –Примљени I/Q сигнали након синхронизације

3.3 Верификација пријемника

Хардверско/софтверска верификација пријемника извршена је према следећим процедурама:

- Прва процедура се односи проверу присутности напајања и подешавања Ethernet интерфејса софтверског радија према рачунару.
- Друга процедура односи се на комуникације софтверског радија са USRP драјвером MATLAB апликације предајника.
- Трећа процедура односи се на проверу пријема пакета послатог од стране предајника. Примљени I/Q сигнали на софтверском радију шаљу се на рачунар преко Gigabit Ethernet интерфејса где су посматрани у временском и фреквентном домену.
- Четврта процедура односи се на демодулацију И/Q сигнала примљених од стране софтверског радија. Примљени сигнал је успешно демодулисан и у потпуности се поклапа са пакетом послатим од стране пријемника за услов врло квалитетног пријема
- Четврта процедура односи се на декодирање демодулисаних чип секвенци у симболе и битове и груписање битова у пакете. Формирани пакети се пореде са послатим како би се проверила тачност декодирања секвенци.

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ
Број 53 – 2165/18
18. 11. 2015. год.
Ч А Ч А К

На основу члана 84. Статута Факултета техничких наука факултета, Наставно-научно веће, на седници одржаној 18. новембра 2015. год., донело је

О Д Л У К У
о именовану рецензента

Именују се рецензенти за техничко решење под називом "Кохерентни IEEE 802.15.4 радио пријемник заснован на софтверском радију", чији су аутори: др Сениша Ранђић, ред. проф. и мр Урош Пешовић, асистент, и то:

1. Др Мило Томашевић, ред. проф., Електротехнички факултет, Београд,
2. Др Миле Стојчев, ред. проф., Електронски факултет, Ниш.

Доставити:

- именованима,
- архиви ННВ.



ДЕКАН
ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА
Проф. др Јерослав М. Живанић, дипл. инж. ел.

РЕЦЕНЗИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

1. Подаци о техничком решењу

Назив техничког решења:	Кохерентни IEEE 802.15.4 радио пријемник заснован на софтверском радију
Категорија техничког решења:	M85
Назив пројекта:	Развој и моделовање енергетских ефикасних, адаптивних, вишепроцесорских и вишесензорских система мале снаге
Ознака пројекта:	ТР 32043
Руководилац пројекта:	Горан Димић
Организација:	Факултет техничких наука, Чачак, Агрономски факултет, Чачак, Електротехнички факултет, Београд
Одговорно лице	Урош Пешовић, email: pesovic@yahoo.com
Реализатори:	Урош Пешовић, Сениша Ранђић

2. Евалуација техничког решења

- Сажетак описа техничког решења:* Представљено техничко решење – кохерентни IEEE 802.15.4 пријемник садржи приказ реализације овог пријемника коришћењем софтверског радија, чиме се реализује софтверска синхронизација у основном опсегу. Кохерентни пријемник изабран је због бољих демодулационих карактеристика у односу на некохерентни пријемник. Ово нарочито долази до изражаја код преноса сигнала у повећаном присуству шума. Пријемник, који је предмет овог техничког решења реализован је коришћењем софтверског радија. При томе се јавила потреба решавања проблема синхронизације носећег сигнала. Код стандардних IEEE 802.15.4 пријемника ова синхронизација врши се у аналогном делу пријемника, док се у случају коришћења софтверског радија она мора вршити после демодулације. Ово техничко решење користи се у истраживањима која се врше у Лабораторији за обраду сигнала и даљинско управљање, Факултета за електротехнику, рачунарство и информатику, Универзитета у Марибору. Коришћење техничког решења на Факултету техничких наука у Чачку и другим институцијама које учествују на Пројекту, у оквиру кога је реализовано ово техничко решење, зависи од расположивости софтверског радија.
- Релевантност техничког решења за примењену област:* Пројекат, у оквиру кога је настало ово техничко решење, односи се на проблеме пројектовања и реализације интелигентних сензора међусобно повезаних у бежичне сензорске мреже, које се данас у великој мери базирају на IEEE 802.15.4 стандарду. Потребне за променом овог протокола и прилагођавање конкретним применама захтева постојање одговарајуће истраживачке опреме на којој би се промене верификовале. Дата потреба је између осталог мотивисала је реализацију IEEE 802.15.4 пријемника коришћењем софтверског радија.
- Проблем који се решава:* Уз непосредну реализацију кохерентног пријемника коришћењем софтверског радија овим техничким решењем решавани су и

- технички проблеми који су последица избора типа пријемника и примене софтверског радија за његову реализацију.
4. *Стање решености истог проблема у свету:* Досадашња решења сличног проблема по правилу су некомерцијална и везана су за потребе решавања проблема конкретног истраживања. За разлику од овог техничког решења досадашња решења су базирана на некохерентној демодулацији, што је било лакше за реализацију, јер се не захтева синхронизација са носећим сигналом.
 5. *Квалитет објашњења и описа решења:* Представљено техничко решење на јасан начин описује развијени систем, мотиве за његов развој и могућности побољшања. Приказ садржи потребан ниво илустрација које додатно обезбеђују висок квалитет техничког решења и његовог описа.
 6. *Применљивост резултата рада:* Систем је иницијално намењен за подизање истраживачких могућности Лабораторије за рачунарску технику, Факултета техничких наука у Чачку, са циљем побољшања услова истраживања на конкретном пројекту. Реализовани систем се може користити и за истраживања у оквиру реализације бежичних сензорских мрежа које раде по стандарду IEEE 802.15.4. Систем може да се користи и у образовне сврхе. Захваљујући таквом коришћењу студенати основних и мастер студија могу да се упознају са принципима рада комуникационог система у бежичним сензорским мрежама које раде по стандарду IEEE 802.15.4.
 7. *Научни допринос:* Научни допринос овог техничког решења треба сагледати кроз потврду могућности реализације кохерентног пријемника који треба да ради у IEEE 802.15.4 мрежама, а реализован је коришћењем софтверског радија и решавању проблема који се при томе јављају. Елемент научног доприноса представља и решавање проблема синхронизације пријемника са носећим сигналом.

ОПШТА ОЦЕНА КВАЛИТЕТА РАДА: Решење је комплетно и квалитетно урађено.

Да ли се техничко решење прихвата (Да или Не): Решење се прихвата.

3. Квалитети техничког решења

Главна карактеристика реализованог техничког решења тиче се решавања проблема синхронизације пријемника са носећим сигналом при реализацији кохерентног, IEEE 802.15.4 пријемника коришћењем софтверског радија. Треба имати у виду да су расположиви IEEE 802.15.4 пријемници углавном монолитне компоненте које не омогућавају приступ степенима. С друге стране концепт пријемника базираног на софтверском радиу чини бежичне примопредајнике отвореним уређајима, чиме је омогућен приступ свим деловима примопредајника. То омогућава примену овог техничког решења у истраживањима везаним за мреже које функционишу по IEEE 802.15.4 стандарду као и развој нових конфигурација примопредајника.

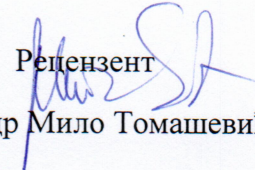
4. Примедбе на техничко решење

4.1 Суштинске примедбе

Немам суштинских примедби на ово техничко решење.

4.2 Ситније примедбе

У Београду, 30. новембра 2015. године

Рецензент

проф. др Мило Томашевић

РЕЦЕНЗИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

1. Подаци о техничком решењу

Назив техничког решења:	Кохерентни IEEE 802.15.4 радио пријемник заснован на софтверском радију
Категорија техничког решења:	M85
Назив пројекта:	Развој и моделовање енергетских ефикасних, адаптивних, вишепроцесорских и вишесензорских система мале снаге
Ознака пројекта:	TR 32043
Руководилац пројекта:	Горан Димић
Организација:	Факултет техничких наука, Чачак, Агрономски факултет, Чачак, Електротехнички факултет, Београд
Одговорно лице	Урош Пешовић, email: pesovic@yahoo.com
Реализатори:	Урош Пешовић, Сениша Ранђић

2. Евалуација техничког решења

- Сажетак описа техничког решења:* Разматрано техничко решење – кохерентни IEEE 802.15.4 пријемник представља приказ начина реализације оваквог типа пријемника на бази софтверског радија, који поседује софтверску синхронизацију у основном опсегу спектра. Предност у реализацији пријемника дата је кохерентном пријемнику, јер он има боље демодулационе карактеристике у односу на некохерентни пријемник. Ова предност нарочито долази до изражаја код сигнала са високим присуством шума. Пријемник представљен у овом техничком решењу реализован је на бази софтверског радија што је имало за потребу решавања проблема синхронизације носећег сигнала. Код стандардних IEEE 802.15.4 пријемника ова синхронизација, коришћењем преамбуле на почетку одговарајућег пакета, врши се у аналогном делу пријемника. Пошто код софтверског радија није могуће утицати на аналогни део пријемника, синхронизација се мора вршити након демодулације. Разматрано техничко решење већ је нашло своју примену у истраживањима која се врше у Лабораторији за обраду сигнала и даљинско управљање, Факултета за електротехнику, рачунарство и информатику, Универзитета у Марибору. Примена овог техничког решења на Факултету техничких наука у Чачку и другим институцијама које су учеснице на Пројекту, током чије реализације је и настало ово техничко решење, условљено је набавком софтверског радија.
- Релевантност техничког решења за примењену област:* Пројекат, током чије реализације је и настало ово техничко решење у значајној мери односи се на проблеме пројектовања и реализације интелигентних сензора који се међусобно повезују у одговарајуће сензорске мреже, које су данас по правилу бежичне. Савремене бежичне сензорске мреже се данас у великој мери базирају на IEEE 802.15.4 комуникационом стандарду. Потреба прилагођавања овог протоколског стандарда конкретним применама и конфигурацијама мрежних чворова захтева постојање одговарајуће истраживачке опреме на којој би се

- дате промене верификовале. Имајући у виду овакву потребу приступило се реализацији IEEE 802.15.4 пријемника на бази софтверског радиа.
3. *Проблем који се решава:* Поред потребе за реализацијом кохерентног пријемника на бази софтверског радиа у оквиру овог техничког решења требало је решити одговарајућу техничке проблеме узроковане избором типа пријемника и коришћењем софтверског радиа за његову реализацију.
 4. *Стање решености истог проблема у свету:* Постојећа решења углавном представљају системе развијене појединачних истраживача и реализоване за потребе њихових истраживања. На тржишту не постоје комерцијално доступна решења. Такође, досадашња решења са коришћењем софтверског радија била су заснована на некохерентној демодулацији, код које није била потребна синхронизација са носећим сигналом, што је било много лакше за реализацију.
 5. *Квалитет објашњења и описа решења:* Приказано техничко решење на јасан начин приказује развијени уређај, циљеве са којима је развијан и могућности његове даље надградње. Опис је праћен илустрацијама које додатно подижу квалитет приказа.
 6. *Применљивост резултата рада:* Иако је систем концептуално намењен за подизање истраживачких капацитета Лабораторије за рачунарску технику, Факултета техничких наука у Чачку, у контексту истраживања на конкретном Пројекту реализовани систем се може генерално користити за истраживања на плану реализације бежичних сензорских мрежа базираних на IEEE 802.15.4 стандарду. Такође, систем се може успешно користити у образовне сврхе на плану упознавања студената основних и мастер студија са принципима рада комуникационог подсистема у IEEE 802.15.4 базираним бежичним сензорским мрежама.
 7. *Научни допринос:* Научни допринос овог техничког решења се огледа пре свега у успешној реализацији кохерентног пријемника намењеног коришћењу у IEEE 802.15.4 мрежама на бази софтверског радиа и решавању проблема које овакав концепт носи са собом. Посебан значај представља аспект решавања синхронизације пријемника са носећим сигналом.

ОПШТА ОЦЕНА КВАЛИТЕТА РАДА: Решење је комплетно и квалитетно урађено.

Да ли се техничко решење прихвата (Да или Не): Решење се прихвата.

3. Квалитети техничког решења

Примарна особина реализованог техничког решења се односи на његову модуларност и аутономност. На уређај се могу додавати нови сензори чиме се подручје примене може проширити. Коришћењем фотонапонског панела батерија, којом се напаја уређај, може се допуњавати практично је обезбеђена аутономност уређаја.

Друга особина која карактерише развијени систем односи се на стандардизовану архитектуру софтвера, који се реализује на WEB серверу, а која обезбеђује флексибилност у погледу броја података који ће бити прихваћени са из бежичне сензорске мреже која прати микроклиматске параметре у затвореним просторима, у конкретном случају у оквиру пластеника намењених првенствено повртарској производњи.

4. Примедбе на техничко решење

4.1 Суштинске примедбе

Немам суштинских примедби на ово техничко решење.

4.2 Ситније примедбе

У Нишу, 27. новембра 2015. године

Рецензент
Mile Stojcev
проф. др Миле Стојчев

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ
Број 2 – 2607/18
23. 12. 2015. год.
Ч А Ч А К

На основу члана 84. Статута Факултета техничких наука, Наставно-научно веће Факултета, на седници одржаној 23. децембра 2015. год., донело је

О Д Л У К У

I ПРИХВАТА СЕ извештај рецензената и **усваја се техничко решење** под називом: "Мерење вибро-удобности возила", чији су аутори: **др Синиша Ранђић, ред. проф. и Жељко Јовановић, асистент.**

II Извештај рецензената из тачке I, саставни је део ове Одлуке.

Доставити:

- именованим ауторима,
- продекану за науку и међународну сарадњу,
- архиви ННВ.



ДЕКАН
ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА
Проф. др Небојша Митровић, дипл. инж. ел.