

Анализа и експериментална реализација система оптичких бежичних комуникација

Analysis and Experimental Implementation of Optical Wireless Communication systems

Немања Лукач, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – ЕНЕРГЕТИКА,
ЕЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОМУНИКАЦИЈЕ

Кратак садржај – У раду је представљена анализа и експериментална реализација оптичких бежичних комуникација са посебним освртом на примену видљиве светлости као преносног медијума. Рад је фокусиран на реализацију једноставног VLC система заснованог на OOK модулацији, коришћењем SDR уређаја USRP за физички слој комуникације и GNU Radio алата за генерисање и обраду сигнала.

Кључне речи, VLC, Интернет ствари USRP, GNU Radio

Abstract – This paper presents an analysis and experimental implementation of an Optical Wireless Communication system, with a specific focus on the application of Visible Light Communication as a transmission medium. Paper focuses on the implementation of a simple VLC system based on OOK modulation, using the USRP SDR device for the physical communication layer and the GNU Radio tool for signal generation and processing.

Keywords: VLC, Internet of Things, USRP, GNU Radio

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је била др Милица Петковић, доцент.

1. УВОД

Растућа потражња за капацитетом мобилних мрежа, коју покрећу апликације Интернета ствари (енг. *Internet of Things* – IoT) и проширена/виртуелна реалност (AR/VR), резултовала је потребом за развојем 5G и будућих 6G мрежа. 6G бежични комуникациони системи се очекују да подрже апликације Интернета свега (енг. *Internet of Everything* – IoE) и омогуће интеграцију различитих мрежа, укључујући копнене и некопнене. Технологија оптичких бежичних комуникација (енг. *Optical Wireless Communications* – OWC) представља економичну и перспективну допуну постојећим радиофреквентним (енг. *Radio Frequency* - RF) бежичним системима услед експоненцијалног пораста интернет саобраћаја. У овом раду извршена је практична имплементација једног система базираног

на видљивој светлости (енг. *Visible Light Communication* – VLC) и његова анализа.

2. OWC КОМУНИКАЦИЈЕ

Као допуна постојећим RF бежичним системима, OWC технологија представља економично и перспективно решење за пренос података великог протока (до 30 Gb/s), које има потенцијал да постане један од водећих кандидата за наредну генерацију широкопојасног бежичног приступа, са циљем превазилажења изазова „последње миље“ и „последњег крака“ у приступним мрежама [1]. Овај потенцијал произилази из низа предности OWC технологије, као што су: одсуство потребе за лиценцирањем спектра; готово неограничена ширина спектра, што омогућава изузетан капацитет и подршку апликацијама високих брзина попут VLC чија је ширина спектра знатно већа од RF опсега; могућност остваривања домета од неколико метара до чак 5 km; енергетска ефикасност и еколошка прихватљивост захваљујући малој потрошњи енергије, смањеној интерференцији и отпорности на фединг; висока скалабилност и могућност реконфигурације; повећан ниво безбедности и приватности, јер је оптички сноп ограничен унутар одређеног простора, што смањује ризик од прислушкивања. Ове технологије су комплементарне традиционалним RF решењима и заједно чине основу за хетерогене комуникационе мреже будућности, омогућавајући висококвалитетне сервисе и апликације [2].

3. ПОДЕЛА OWC

OWC је кључна технологија за испуњавање експлозивно растућих захтева за капацитетом и брзином преноса података у еволуцији 5G и 6G комуникационих система. Четири главне OWC технологије, VLC, светлосна комуникација (енг. *Light Fidelity* – LiFi), оптичке комуникације путем камера (енг. *Optical Camera Communication* – OCC) и оптичка комуникација слободним простором (енг. *Free Space Optical communication* – FSO), представљају перспективна решења која могу испунити захтеве 5G/6G комуникационих система. Са аспекта инфраструктуре, оне се међусобно разликују по врсти

предајника, пријемника и комуникационом медијуму [3].

VLC користи LED диоде као предајнике у нерегулисаној спектру видљиве светлости (380–780 nm), нудећи изузетно велики пропусни опсег и потенцијал за брзине реда терабита по секунди у затвореном простору [3].

LiFi представља напредну VLC технологију фокусирану на успостављање двосмерних мрежних решења за више корисника у затвореном простору, пружајући брз и сигуран приступ за системе у 6G ери [3].

OCC користе стандардне камере (попут CMOS камера у паметним телефонима) као пријемнике за хватање сигнала емитованих помоћу LED диода, што је економично, али ограничава брзину преноса због фреквенције кадрова [3].

FSO користи инфрацрвене (IR) ласере као предајнике за успостављање висококапацитетних линкова на великим даљинама, што га чини кључним за терестријалне везе и комуникацију између сателита [3].

4. GNU RADIO

GNU Radio је програм који пружа блокове за обраду сигнала ради имплементације софтверски дефинисаних радио система (енг. *Software Defined Radio* – SDR). У пракси, то значи да корисник не мора да дизајнира све хардверске компоненте (као што су интегрисана кола за демодулацију, филтрирање или синхронизацију). Уместо тога, системи могу да се реализују софтверски, на комерцијално доступним рачунарима, уз евентуалну подршку периферијског RF хардвера. Ова флексибилност омогућава истраживачима, академској заједници и хобистима да прототипирају комуникационе системе, мере перформансе, интегришу нове модуларне или канале, и на тај начин резултује у бржем развоју и експериментисању него код класичних радио решења. Архитектонски, GNU Radio нуди модуларни приступ: корисник гради „*flowgraph*“, граф блокова који представљају филтере, демодулационе јединице,

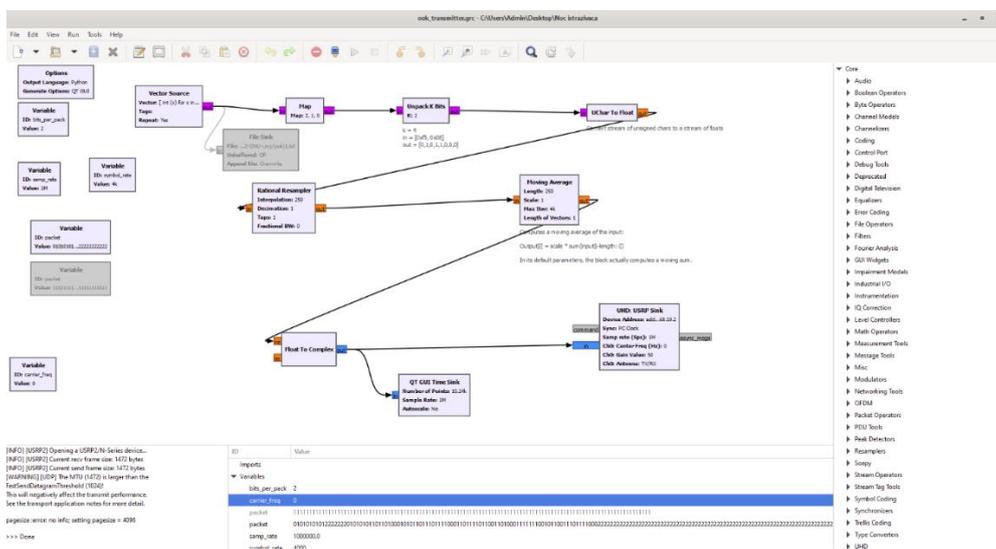
модулације, визуелне слајсове и друге елементе обраде сигнала. GNU Radio такође подржава два главна режима: режим са хардвером и режим без хардвера (симулациони). На пример, може да се искористи за изучавање LiFi/VLC комуникација, интеграцију са 5G/6G протоколима, реализацију нових модулационих шема, мерење перформанси канала, тестирање прототипова у лабораторијама и слично [4].

5. ОПРЕМА

За реализацију практичне симулације VLC комуникације коришћена је комбинација специјализованог хардвера и софтверског алата GNU Radio, који је служио за обраду и управљање сигналом. Централни хардверски елемент био је USRP (енг. *Universal Software Radio Peripheral* - USRP), SDR уређај који функционише као пријемник и предајник, садржи D/A и A/D конверторе и повезује се са рачунаром путем Ethernet кабла. На предајној страни коришћена је LED лампа произвођача *Thorlabs* (модел M780LP1, 780 nm, 800 mW) са носачем SM1U25-A, чијим излазним светлосним сигналом је управљао мануелни драјвер (*Thorlabs*), омогућавајући ручну контролу модулације у струјном опсегу од 200 mA до 1200 mA. На пријемној страни, светлосни сигнал прихвата фотодетектор, такође произвођача *Thorlabs*, који је повезан са USRP-ом и омогућава механичко подешавање добитка (*gain*) израженог у децибелима.

5.1. ПРЕДАЈНИК

Предајник користи GNU Radio као логички део система који говори SDR-у које инструкције треба да изврши. Користи USRP као уређај који служи за пренос података као и LED лампу која шаље сигнал ка пријемнику. USRP се повезује са рачунаром преко Ethernet порта. Такође имамо и драјвер који је повезан са USRP-ом и LED лампом. Блок шема предајника дата је на слици 1.



Слика 1. Блок шема предајника у GNU Radio-у

Блок „Options“ дефинише метаподатке пројекта (наслов, аутор, ID) и омогућава генерисање кода у Python-у. Параметар „Generate Options“ подешен је на QT GUI за графички приказ тока извршавања.

Блокови „Variable“ чувају кључне системске променљиве без графичког интерфејса, као што су „smp_rate“, „symbol_rate“, „bit_per_pack“, „packet“ и „carrier_freq“.

Блок „Vector Source“ генерише низ правоугаоних импулса, представљајући секвенцу нула и јединица која се континуирано понавља. OOK модулација је имплементирана представљањем бинарних вредности различитим ширинама импулса.

Блокови „Map“ и „Unpack K Bits“ служе за пресликавање података и издвајање појединачних битова.

Блок „UChar To Float“ конвертује податке из типа карактер (*char*) у реалне бројеве (*float*).

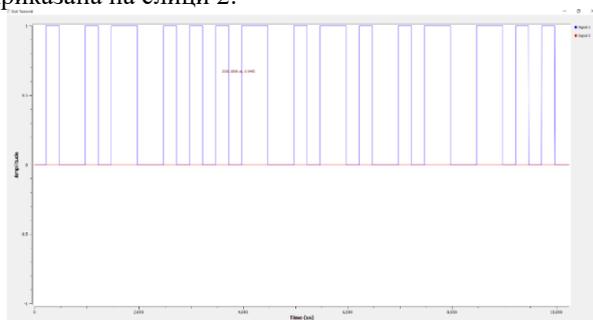
Rational Resampler мења брзину одабирања улазног сигнала помоћу FIR филтра.

Блок „Moving Average“ израчунава просек улазних података.

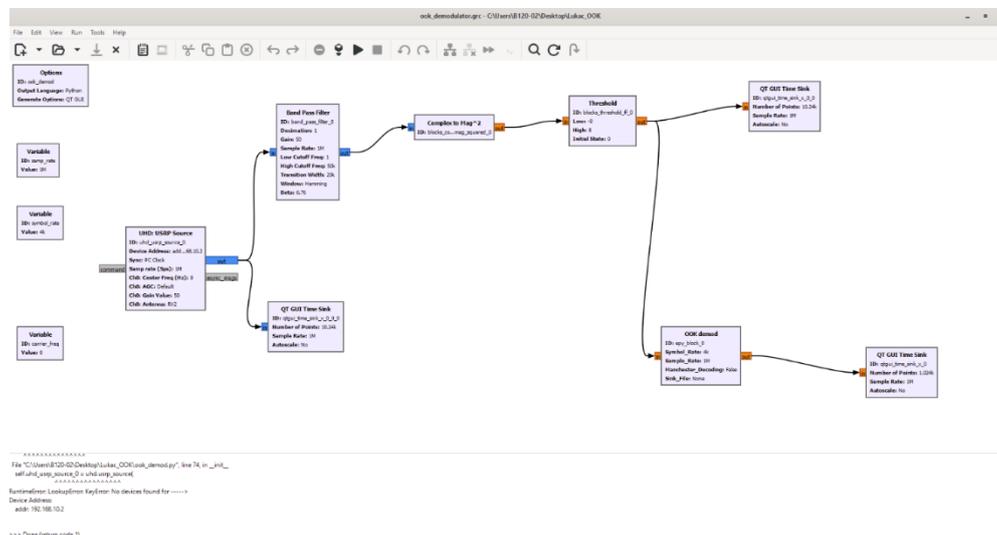
Блок „Float To Complex“ врши конверзију реалних вредности (*float*) у комплексне (*complex*) ради припреме сигнала за USRP обраду.

Кључни блок је „UHD: USRP Sink“, који прослеђује узорковани сигнал ка USRP уређају за емитовање. Добитак (*gain*) је подешен на 50, а antenna на TX/RX порт.

Блок „QT GUI Time Sink“ омогућава визуелну анализу емитоване секвенце у временском домену и она је приказана на слици 2.



Слика 2. Изглед послатог сигнала



Слика 4. Блок шема пријемника у GNU Radio-у

Правоугаони импулси шаљу се са предајника уз помоћ SDR, драјвера и LED лампе. LED лампа треба да генерише довољно јаку светлост коју ће фотодетектор на пријемнику примити и прочитати. Пријемник треба да ове сигнале реконструише што тачније могуће.

5.2. КОМУНИКАЦИЈА

Слика 3 илуструје комуникацију између фотодетектора и LED лампе. Највећи изазов ове комуникације је наћи право растојање између ова два уређаја. Ако су преблизу, фотодетектор неће бити у могућности да прими послати сигнал и добиће се само шум, док ако су предалеко сигнал на фотодетектору биће преслаб и нећемо моћи успешно да реконструишемо послати сигнал. Такође велики проблем овог типа комуникације је спољашњи шум (светлост у просторији) који може дати погрешне вредности. Жељено растојање је свега неколико центиметара, да би избегли горе наведене проблеме.



Слика 3. Приказ комуникације LED лампе и фотодетектора

5.3. ПРИЈЕМНИК

Пријемник је реализован на сличан начин као и предајник, с тим што уместо LED лампе и драјвера имамо фотодетектор. Блок шема пријемника дата је на слици 4.

Блокови „Options u Variable“ имају идентичну улогу као код предајника.

Блок „UHD: USRP Source“ прима сигнал са USRP хардвера. Добитак је подешен на 50, а antenna на RX2 порт.

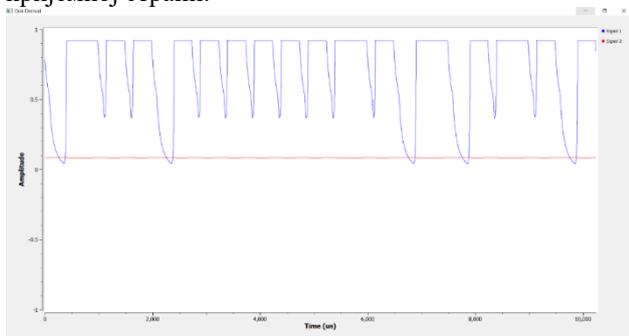
Блок „Band Pass Filter“ пропушта фреквенције унутар одређеног опсега. Користи FIR филтар са *Hamming* прозором, а добитак је постављен на 50.

Блок „Complex to Mag²“ израчунава квадрат величине (*magnitude*) сваког комплексног узорка.

Блок „Threshold“ тестира улазни сигнал у односу на горњу (*high*) и доњу (*low*) вредност прага. Кључан за смањење шума и бољу реконструкцију сигнала, чиме се излаз подешава на један или нула.

Блок „OOK Demod“ врши демодулацију сигнала како би се на излазу добио сигнал што ближи послатом. *Manchester* декодовање је постављено на *False*.

На слици 5. приказан је реконструисан сигнал на пријемној страни.



Слика 5. Изглед реконструисаног сигнала

Праг помаже у склањању дела шума и због тога имамо доста добру реконструкцију примљеног сигнала из ког можемо јасно видети када је послата јединица а када нула. Највећи изазов представља проналажење одговарајућег одстојања изеђу LED лампе и фотодетектора.

6. ЗАКЉУЧАК

Експериментална реализација је потврдила могућност поузданог преноса података путем VLC технологије користећи GNU Radio и расположиву опрему, доказујући применљивост OWC метода у контролисаним условима. Међутим, уочена су значајна ограничења. Растојање представља највеће ограничење за стабилну комуникацију и ограничено је на неколико центиметара. Фотодетектор је такође показао осетљивост на zasiћење при малом растојању. Значајан је утицај амбијенталног осветљења, што доводи до повећаног шума и деградације сигнала. Ова ограничења указују на потребу за даљом оптимизацијом пријемног дела система и применом метода за побољшање отпорности на шум, али постигнути резултати потврђују да OWC технологије имају значајан потенцијал за будуће комуникационе системе, посебно у погледу високе пропусности, безбедности и отпорности на електромагнетне сметње.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] D. Borah, A. Boucouvalas, C. Davis, S. Hranilovic, and K. Yiannopoulos, “A review of communication-oriented optical wireless systems,” *EURASIP J. Wireless Commun. Netw.* vol. 1, no. 1, pp. 91:1–91:28, Mar. 2012.
- [2] A. Mahdy and J. S. Deogun, “Wireless optical communications: A survey,” in *Proc. IEEE WCNC*, 2004, pp. 2399–2404.
- [3] Z. Ghassemlooy, S. Arnon, M. Uysal, Z. Xu, and J. Cheng, “Emerging Optical Wireless Communications-Advances and Challenges”, *J. Sel. Areas Commun.*, vol. 33, no. 9, pp. 1738–1749, 2015.
- [4] Интернет страница:
https://wiki.gnuradio.org/index.php?title=What_Is_GNU_Radio (приступљено у октобру 2025.)

Кратка биографија:



Немања Лукач рођен је у Новом Саду 2001. год. Дипломски рад на Факултету техничких наука одбранио је 2024. год. из области Информационо-комуникационе технологије. Од 2025. год. је запослен у звању сарадника у настави, на Катедри за телекомуникације и обраду сигнала, Департман за енергетику, електронику и телекомуникације.

Контакт:

nemanjalukac01@gmail.com