

Razvoj UWB radarja

Marko Malajner¹, Erich Leitgeb², Peter Planinšič¹, Dušan Gleich¹

¹UM FERI, Koroška cesta 46, 2000 Maribor

²Institut für Hochfrequenztechnik, Graz University of Technology, A-8010 Graz, Inffeldgasse 12

E-pošta: marko.malajner@um.si

Abstract

This paper proposes an improved design of a pulse-based radar. An improved design of a pulse generator is presented using step recovery diodes and a signal mixer for the received signal. Two-step recovery diodes produce pulses of 120 ps in duration. A pulse generator is improved by removing the negative power supply, resulting in a reduced number of electronic pulses. A sampling mixer at the receiver's site receives the generated signal and stretches it from picoseconds into microseconds. The improved pulse generator is also used in the sampling mixer as a strobe pulse generator, which makes the sampling mixer much simpler. The stretched signal is then sampled by a low sample rate using an analog to digital converter. The proposed radar design achieves up to 8 GHz bandwidth and an equivalent receiving sample rate of about 100 GSa/s. The radar is controlled using a software-defined radio called Red Pitaya, which is also used for data acquisition. The proposed radar design uses widely available commercial components, which makes radar design widely available with low cost implementation.

1 Uvod

Radarji z zelo širokim radiofrekvenčnim (RF) pasom (ang. UWB - Ultra Wide Band) oddajajo in sprejemajo signale s frekvenčno širino od 500 MHz do nekaj GHz. UWB radarje odlikuje dobra prostorska ločljivost za uporabo v mnogih aplikacijah kot je geologija, nadzor življenjskih funkcij, iskanje podzemnih min, itd [1]. UWB radarje lahko v osnovi delimo v dve skupini: (i) radarji, ki temeljijo na generiranju kratkih RF pulzov (časovno-domenski radarji) in (ii) radarji, ki temeljijo na frekvenčnih modulacijah (frekvenčno-domenski radarji). Slednje lahko delimo na radarje, katerim se stopnično spreminja frekvenca od minimalne do maksimalne (ang. SFCW - Stepped Frequency Continuous Wave) [2, 3] in pa radarje, katerim se frekvenca spreminja zvezno (ang. FMCW - Frequency Modulated Continuous Wave) [4]. Radarji v frekvenčni domeni imajo bolj komplicirano arhitekturo in signalno procesiranje v primerjavi z radarji v časovni domeni.

Radar v časovni domeni (pulzni radar) je sestavljen iz pulznega generatorja, detektorja pulzov, RF ojačevalnikov in anten ter enote za obdelavo signalov [5]. Na oddajni

strani mora pulzni generator proizvajati pulze, ki so krajši od nanosekunde. To lahko dosežemo z uporabo plazovnih transistorjev [6], tunelskih diod [7], nelinearnih prenosnih linij [8] ali z uporabo stopnično obnovljivih diod (ang. SRD - Step Recovery Diode) [9]. Večina pulznih generatorjev uporablja SR diode, ki lahko generirajo pulse v rangju 100 ps.

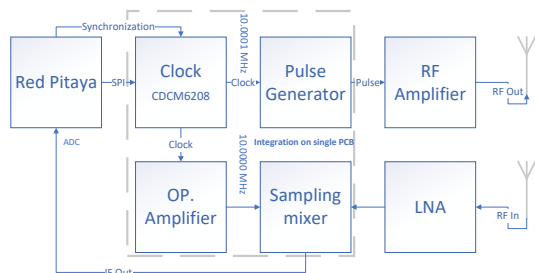
Sprejemnik pulznega radarja mora sprejeti in digitalizirati RF signale s pasovno širino nekaj GHz. Sprejemnik je bolj zapleteno narejen kot oddajnik. Za zajemanje RF signalov lahko uporabimo visoko zmogljive anologno-digitalne pretvornike (ADC). Takšen ADC mora imeti stopnjo vzorčenja več kot 10 GSa/s in je seveda zelo drag. Poleg visoke cene, takšni ADC-ji proizvedejo ogromno količino podatkov, ki jih je potrebno obdelati. Prednost pa je, da lahko delujejo v realnem času. Namesto neposrednega zajemanja z ADC-ji, lahko uporabimo t.i. ekvivalentni čas tipanja (ang. EST - Equivalent Sample Time) [10]. EST pretvorniki delujejo tako, da v vsaki periodi ponavljajočega se signala, zajamejo del tega signala in ga po določenem številu period rekonstruirajo. To pomeni, da ne zajamejo celotnega signala hkrati, ampak po delih v več periodah. Pogoj je, da mora biti zajeti signal ponavljajoč v določenem številu period. Čas zajemanja signala se poveča na račun enostavnejšega in cenejšega vezja za zajem RF signala. Z drugimi besedami: EST pretvorniki časovno raztegnejo zajeti signal, ki ga lahko potem digitaliziramo z manj zmogljivimi in cenejšimi AD pretvorniki. V tuji literaturi najdemo EST pretvornike pod imenom sampling head ali sampling mixer (vzorčevalni mešalnik) [11].

V tem članku bomo opisali načrtovanje in izdelavo celotnega predlaganega UWB radarja, ki ga odlikuje visoka zmogljivost, enostavnost, komercialno dobavljive komponente in seveda nizka cena. V poglavju 2 bomo opisali predlagano implementacijo pulznega generatorja in sprejemnika, v poglavju 3 bomo opisali integracijo vseh komponent radarja in razvoj programske opreme. V zadnjem poglavju bomo pa podali nekaj izsledkov in zaključkov implementacije radarja.

2 Načrtovanje UWB radarja

Slika 1 prikazuje blokovno shemo predlaganega radarja. Blokci znotraj prekinjajoče črte so integrirani na eni tiskanini kot je opisano v poglavju 3. Radar je sestavljen

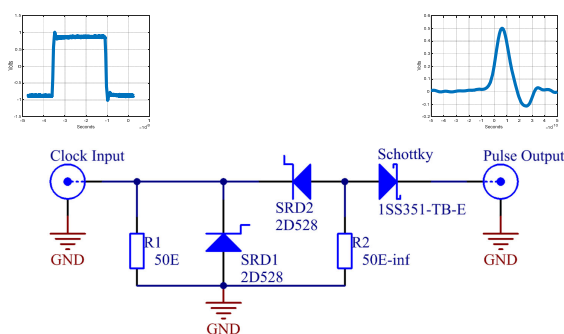
modularno, kar pomeni, da lahko priključimo željene izhodne in vhodne RF ojačevalnike in antene. Prav tako lahko izberemo poljuben AD pretvornik in mikrokrmnilnik za nadziranje radarja. V načrtu predlaganega radarja smo uporabili mikrokračnulanik Red Pitaya z integriranimi AD in DA pretvorniki [12].



Slika 1: Blokovna shema predlaganega radarja.

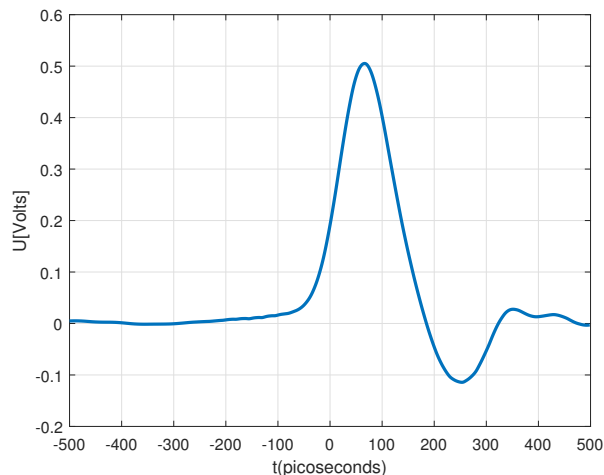
2.1 Načrtovanje pulznega generatorja

Pulzni generator smo načrtovali z uporabo SR diod. Za generiranje kratkih pulzov lahko uporabimo specifično lastnost SR diode, da lahko shrani naboj, ko tok teče v prevodni smeri. Ko tok spremeni smer iz prevodne v zaporno, SR dioda od razlike s klasično diodo, ne zapre PN spoja v trenutku, temveč ostane še določen čas prevodna. Ko zmanjka naboja, ki drži diodo prevodno, pa se zgodi takojšnje zaprtje diode. Ta vrsta diode lahko preide iz prevodnega v neprevodno stanje v manj kot 50 ps. To lastnost lahko uporabimo za generiranje zelo kratkih pulzov. Osnovo za načrtovanje generatorja smo povzeli po [9]. Generiranje pulzov smo poenostavili z uporabo generatorja preciznega pravokotnega urinega signala [13]. Shema predlaganega generatorja je na sliki 2. Generator sestavljata dve paralelno vezani SR diodi. Izhodna Schottky dioda je namenjena oblikovanju izhodnega pulza. Upor na vhodu služi 50 Ohmski impedančni prilagoditvi, vrednost upora R_2 lahko spreminjamo in s tem vplivamo na širino izhodnega pulza.



Slika 2: Generator kratkih pulzov

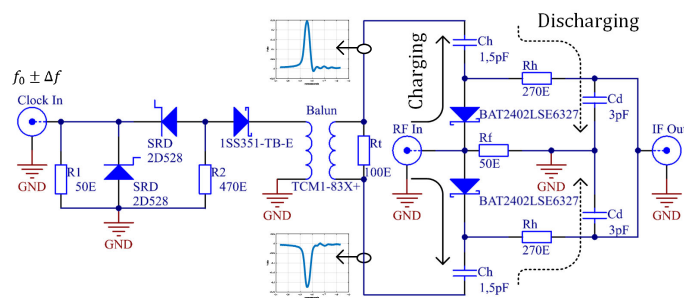
Slika 3 prikazuje izmerjen pulz na izhodu generatorja. Širina pulza je 120 ps, kar zasede pasovno širino od DC do 8 GHz.



Slika 3: Izmerjen pulz na izhodu generatorja

2.2 Načrtovanje vzorčevalnega mešalnika

Pulzni generator je lažje načrtovati in izdelati kot pa vzorčevalni mešalnik (na kratko: vzorčevalnik). Vzorčevalnik mora biti sposoben zajeti širokopasovni signal, v našem primeru od DC do 8 GHz. Kot smo omenili v uvodu, so direktni analogno-digitalni pretvorniki cenovno neprimerni za uporabo v radarjih. Zaradi tega, predlagamo uporabo vzorčevalnika, ki deluje na principu ekvivalentnega časa tipanja. V literaturi obstaja mnogo različnih izvedb takšnega vzorčevalnika. Kot osnovo, smo vzeli princip vzorčevalnika na dveh vzorčevalnih diodah [11] in ga nadgradili za naše potrebe.



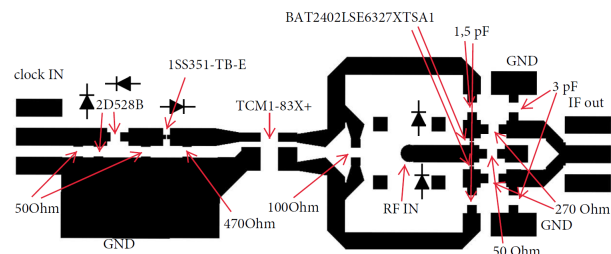
Slika 4: Shema predlaganega vzorčevalnega mešalnika

Slika 4 prikazuje shemo predlaganega vzorčevalnega mešalnika. Vhodni RF signal vzorčevalnik zajema z odpiranjem in zapiranjem hitrih Schottky diod (BAT2402). Odpiranje diod se vrši s stroboskopskimi pulzi, ki jih generiramo z generatorjem opisanim v prejšnjem poglavju. Pulzi morajo imeti zadostno veliko amplitudo, da odprejo

diode, v tem primeru najmanj 0,3 V, kolikor znaša barijera uporabljenih diod. Generiran pulz je potrebno razdeliti na dva pulza, ki imata nasprotno polariteto, da odpirata obe diodi in stem zajemamo pozitivne in negativne RF signale. Pulz razdelimo z uporabo baluna. Generator pulzov prožimo z urinim signalom na vходу. Frekvenca urinega signala je določena glede na frekvenco pojavnosti pulzov (ang.: PRF-Pulse Repetition Frequency) na oddajni strani. Vzorčevalnik mora sekvenčno zajemati delčke signala v vsaki periodi, kar pomeni, da mora biti sinhroniziran z oddajnikom. Frekvenca ure na vzorčevalniku ($f_0 \pm \Delta f$) je za nekaj deset ali sto Hz višja ali nižja od PRF frekvence oddajnika, kar pomeni, da vzorčevalna frekvenca skenira čez frekvenco oddajnika. Faktor raztezanja signala α lahko določimo kot: $f_0 / \Delta f$. Če izberemo $f_0 = 10MHz$ in $\Delta f = 100Hz$, dobimo faktor raztezanja 100000. Z drugimi besedami: tako nastavljen vzorčevalnik raztegne signal iz 200 ps na 20 μs .

Ko sta diodi odprti, se vhodni RF signal shrani v kondenzatorjih Ch. Ob zaprtju diod pa se shranjen signal prazni skozi upor Rh in polni kondenzator Cd. Raztegnjen signal zajemamo na obeh Cd kondenzatorjih in ga lahko digitaliziramo z uporabo manj zmogljivih AD pretvornikov.

Zaradi zelo širokega spektra signala in pa majhnih amplitud, je potrebno veliko pozornosti posvetiti načrtovanju tiskanega vezja. Pri tem smo si pomagali s simulacijskimi orodji za načrtovanje RF vezij. Rezultat simulacije je tiskano vezje na sliki 5.



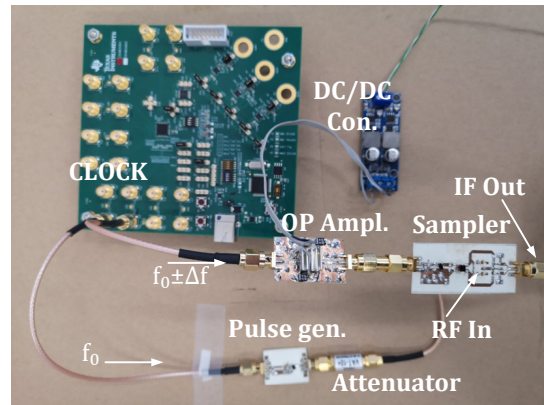
Slika 5: Tiskano vezje vzorčevalnika

Tiskano vezje je izdelano na laminatu ROGERS RO-4350B z dielektrično konstanto 3,66 in debelino substrata 0,762 mm. Izdelan vzorčevalnik, pulzni generator in generator ure CDC6208 je prikazan na sliki 6. Za izvedbo meritev smo sklenili izhod generatorja z vhomom v vzorčevalnik preko atenuatorja.

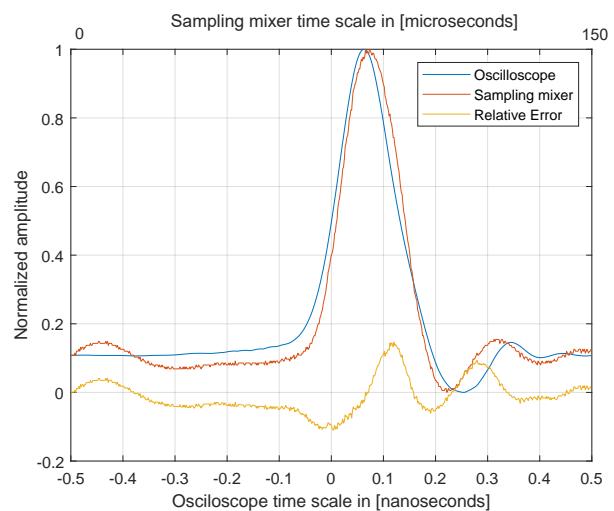
Na sliki 7 je primerjava generiranega pulza zajeta z 40 GSa/s osciloskopom in pulza raztegnjenega z vzorčevalnikom in kasneje zajetega z 2 GSa/s osciloskopom. Rumena krivulja predstavlja relativni pogrešek, ki je v povprečju manjši od 1 %.

3 Integracija komponent radarja in razvoj programske opreme

Prvi prototip radarja je bil razvit modularno, zaradi lažjega razvoja in izvedbo meritev. Ko so bili vsi sklopi razviti, smo se lotili integracije radarja na eno tiskano vezje.



Slika 6: Tiskano vezje vzorčevalnika

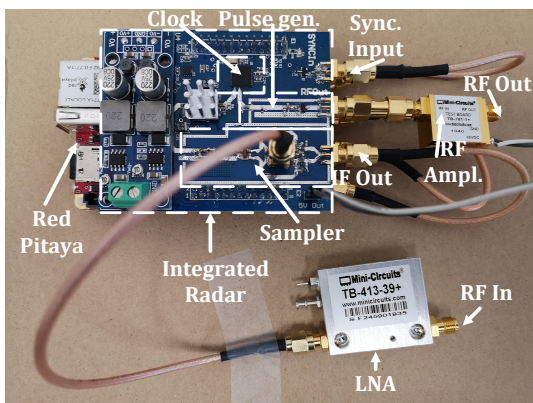


Slika 7: Primerjava zajetih pulzov z osciloskopom in vzorčevalnikom. Rumena krivulja prikazuje relativni pogrešek.

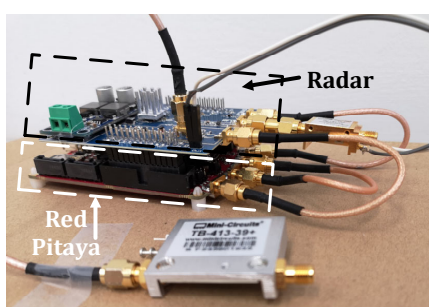
Tiskano vezje je narejeno tako, da se lahko natakne na konektorje od Red Pitaye. Red Pitaya služi kot procesna in krmilna enota za radar, omogoča tudi povezljivost preko etherneteta za nadaljno obdelavo signalov. Na tiskanem vezju so integrirane komponente, ki so znotraj črtkane črte na sliki 1. Morebitni izhodni in vhodni RF ojačevalniki ter antene se priključijo na radar preko SMA konektorjev. Sliki 8 in 9 prikazujeta integriran radar priključen na Red Pitayo.

3.1 Razvoj programske opreme in grafičnega vmesnika

Razvoj programske opreme lahko razdelimo na dva dela: (i) program, ki se izvaja na Red Pitayi in skrbi za generiranje in zajemanje signalov, sinhronizacijo sprejemnika in oddajnika ter za komunikacijo preko etherneteta, (ii) drugi del programske opreme se izvaja na osebni računalniku ali laptopu in skrbi za vizualizacijo prejetih podatkov. Red Pitaya nima svojega grafičnega vmesnika, zato pošiljamo podatke preko etherneteta na drugo napravo, kjer

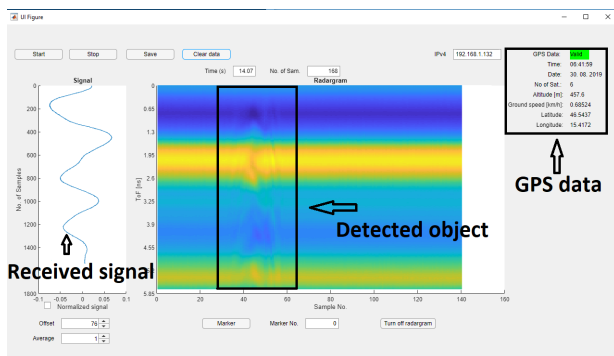


Slika 8: Radar (modra ploščica) nataknen na Red Pitayo



Slika 9: Stranski pogled na celoten radar

lahko vizualiziramo podatke. Za vizualizacijo radarskih podatkov smo uporabili programski paket Matlab. V Matlabu izrisujemo v realnem času sprejete signala radarja v načinu B-scan (Slika 10).



Slika 10: Grafični vmesnik radarja. Na levi strani je prikazan zajet signal na sprejemniku, v sredini so zaporedni signali združeni v radarsko sliko (B-scan). Na desni strani se prikazuje GPS podatki, če je na radar priključen GPS modul.

4 Zaključek

V članku smo opisali razvoj in izdelavo cenovno ugodnega UWB pulznega radarja s pasovno širino od DC do 8 GHz. Pulzni generator in vzorčevalnik smo nad-

gradili in uporabili komponente, ki so komercialno dobavljive. Vse skupaj smo integrirali na eno tiskano vezje, ki se lahko priključi na Red Pitayo. Takšen radarski sistem ima možnost poljubnih nadgradenj, strojnih in programskih ter se lahko uporabi v mnogih aplikacijah.

Zahvala

Del prispevka je nastajal v času mobilnosti v okviru projekta CEEPUS CIII-BG-1103-04-1920-M-139006 na TŰ Graz, julij 2020.

Literatura

- [1] L. Li, A. E. Tan, K. Jhamb, and K. Rambabu. Buried object characterization using ultra-wideband ground penetrating radar. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 60(8):2654–2664, Aug 2012.
- [2] I. Nicolaescu, P. van Genderen, K. W. Van Dongen, J. van Heijenoort, and P. Hakkaart. Stepped frequency continuous wave radar-data preprocessing. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar, 2003.*, pages 177–182, 2003.
- [3] D. Šipoš and D. Gleich. A lightweight and low-power uav-borne ground penetrating radar design for landmine detection. *Sensors*, 8(20), April 2020.
- [4] G.L. Charvat. *Small and Short-Range Radar Systems*. CRC Press Inc.: Boca Raton, FL, USA, 2014.
- [5] L. Liu, X. Xia, S. Ye, J. Shao, and G. Fang. Development of a novel, compact, balanced, micropower impulse radar for nondestructive applications. *IEEE Sensors Journal*, 15(2):855–863, Feb 2015.
- [6] Nikolai Beev, Jonas Keller, and Tanja E. Mehlstäubler. Note: An avalanche transistor-based nanosecond pulse generator with 25 mhz repetition rate. *Review of Scientific Instruments*, 88(12):126105, 2017.
- [7] A. Matiss, A. Poloczek, A. Stohr, W. Brockerhoff, W. Prost, and F. Tegude. Sub-nanosecond pulse generation using resonant tunneling diodes for impulse radio. In *2007 IEEE International Conference on Ultra-Wideband*, pages 354–359, Sep. 2007.
- [8] J. M. Johnson, J. M. Parson, D. V. Reale, A. A. Neuber, J. J. Mankowski, and J. C. Dickens. 10 kv, 44 ns pulse generator for 1 khz trigatron replate operation of ntl. In *2014 IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference (IPMHVC)*, pages 108–110, June 2014.
- [9] L. Zou, S. Gupta, and C. Caloz. A simple picosecond pulse generator based on a pair of step recovery diodes. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 27(5):467–469, May 2017.
- [10] J. Han and C. Nguyen. Development of a tunable multi-band uwb radar sensor and its applications to subsurface sensing. *IEEE Sensors Journal*, 7(1):51–58, Jan 2007.
- [11] C. Zhang, A. E. Fathy, and M. Mahfouz. Performance enhancement of a sub-sampling circuit for ultra-wideband signal processing. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 17(12):873–875, Dec 2007.
- [12] Red pitaya. 2020.
- [13] Cdc6208 2:8 ultra low power, low jitter clock generator — ti.com. 2020.