

Komunikacije ultra širokega spektra

Rudolf Sušnik in Sašo Tomažič
Fakulteta za elektrotehniko
Univerza v Ljubljani
Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
rudolf.susnik@fe.uni-lj.si

Ultra-Wideband communications

Ultra-Wideband (UWB) technology has been well known for decades, but its use was mostly reduced to radars in industrial applications. Nowadays, UWB is gaining increasing interest from the industry due to its recent applications in communications. Impulse Radio (IR) is an implementation of UWB which has been known for years and is synonymous with the UWB technology. Recently, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) modulation has been proposed to be used in UWB. In this paper, we will describe the requirements for UWB communication systems which has been set by regulatory bodies and explain how IR-UWB works.

1. Uvod

O komunikacijah ultra širokega spektra (UWB – Ultra Wide Band) se več govori šele v zadnjem času, čeprav je tehnologija UWB poznana že iz šestdesetih let prejšnjega stoletja [1]. Do nedavnega je bila izvedba časovno kratkih impulzov in sinhronizacija le-teh dokaj težaven problem. Tehnologija UWB je primerna za komunikacije na kratkih razdaljah, zato je uporabna za lokalna in osebna omrežja. Sicer je tehnologija UWB morda še bolj kot za komunikacije primerna za uporabo v radarjih za industrijske aplikacije.

V tehnologiji UWB gre za brezžičen prenos digitalnih signalov v širokem frekvenčnem pasu in z majhno močjo. Poznani sta dve izvedbeni različici: IR (Impulse Radio) in OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). V prvi rešitvi, impulznom radiu (IR), gre za pošiljanje časovno kratkih impulzov neposredno na anteno. Nosilec ni potreben, kar pomeni lažjo implementacijo naprav. IR je predstavnik komunikacij v osnovnem pasu in uporablja celoten frekvenčni spekter, ki je na voljo za UWB. Druga rešitev temelji na modulaciji OFDM in predvideva razdelitev frekvenčnega spektra na kanale. Slednja rešitev je nova, predlagana je bila v letu 2003, sicer pa je sinonim za UWB še vedno impulzni radio o katerem bo tekla beseda tudi tu.

Kratek impulz ima širok frekvenčni spekter, dejanski spekter signala v radijskem kanalu pa je odvisen predvsem od oblike impulza in tudi od lastnosti antene. O UWB signalu govorimo, če je razmerje med centralno frekvenco in pasovno širino več kot 0,2, ali če je pasovna širina (B) večja kot 500 MHz. Pasovna širina UWB signala je frekvenčni pas, omejen s frekvencama, pri katerih je nivo signala 10 dB nižji od najvišje vrednosti signala [2].

Ker je spekter UWB signala širok po frekvenci in nizki po amplitudi, naj ne bi bil moteč, če bi ga uporabljali v frekvenčnem področju kjer že delujejo druge naprave. Naprave UWB se sme uporabljati brez dovoljenja za uporabo frekvenčnega spektra. Frekvenčni pas za UWB komunikacijske naprave je v ZDA že predpisan (3.1 GHz – 10.6 GHz) [4], v Evropi in na Japonskem pa zaenkrat še ne. Aktivnosti standardizacijskih teles nakazujejo, da se bo tudi v Evropi uporabljal enak frekvenčni pas kot v ZDA [3].

2. Standardi za komunikacije ultra širokega spektra

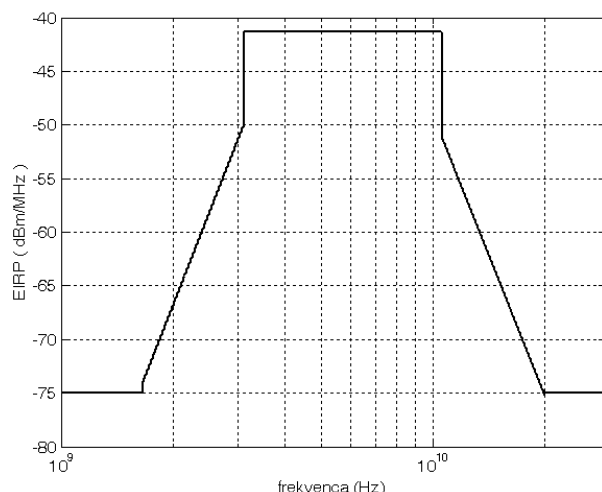
Omrežja brezžičnih komunikacij ultra širokega spektra so še v zgodnji razvojni fazi, vendar dogajanje kaže, da bo tehnologija UWB imela pomembno vlogo v osebnih brezžičnih omrežjih (WPAN – Wireless Personal Area Network) in lokalnih brezžičnih omrežjih (WLAN – Wireless Local Area Network). Na področju standardizacije je najaktivnejša organizacija IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), ki razvija standard UWB pod oznako IEEE 802.15.3a [2]. V tej delovni skupini sodelujejo tudi glavni proizvajalci tehnologije UWB: Intel, Texas Instruments, Motorola itd. V Evropi standardi UWB nastajajo v okviru organizacije ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Standardi za tehnologijo UWB v okviru ETSI pokrivajo komunikacije, radiolokacijo in radarje za rabo v avtomobilih [3]. Komunikacije pokriva delovna skupina ERM/TG31a. Osnutek standarda (draft) nosi oznako EN 302 065-1&-2. Ker o tem standardu v javnosti ni kaj dosti znanega, bomo v nadaljevanju več pozornosti namenili standardu IEEE 802.15.3a. Ta

standard je sicer usklajen predvsem s predpisi, veljavnimi v ZDA, vendar to ne pomeni, da ga ne bi mogli uporabljati tudi v Evropi.

2.1. Frekvenčni spekter

Proizvajalci opreme se zavzemajo za čim širše frekvenčne pasove, ki bi bili namenjeni UWB napravam. V skladu s Shannonovim teoremom je namreč kapaciteto kanala oz. hitrost prenosa možno najpreprosteje povečati s povečanjem frekvenčnega pasu. Glede na določila ameriške Federal Communications Commission (FCC), ki v ZDA skrbi za razdeljevanje frekvenčnega spektra, obstaja možnost, da bi UWB naprave lahko uporabljali v celotnem frekvenčnem spektru, če le njihova efektivna sevana izotropna moč (EIRP, Effective Isotropic Radiated Power) ne presega meje, ki jo določa FCC Part 15. To stališče načeloma podpira tudi ETSI, vendar stvari v realnosti postanejo drugačne, ker tudi naprave kot npr. GPS (Global Positioning System) delujejo z zelo majhnimi močmi.

Določilo FCC Part 15 predpisuje največje sevane moči, ki jih lahko oddajajo elektronske naprave, da s svojim delovanjem ne motijo drugih naprav in so hkrati same odporne na motnje v mejah predpisanih vrednosti [5]. Pri širokopasovnih signalih je posebej pomembno, da so predpisane meje sevane moči v različnih pasovih lahko različne [7], prav zaradi frekvenčnih področij posebnega pomena (radionavigacija ipd.), ki jih ni dovoljeno uporabljati v poljubne namene.



Slika 1: Frekvenčni spekter kot ga predlaga ETSI

Za uporabo naprav UWB je bil določen frekvenčni pas med 3.1 GHz in 10.6 GHz. V tem delu spektra FCC dovoljuje napravam UWB največjo efektivno izotropno sevano moč (EIRP) -41.3 dBm/MHz. Podobno stališče je zavzel tudi ETSI. Slika 1 prikazuje omejitve sevnanja UWB naprav kot predlaga ETSI.

2.2. IEEE 802.15 in IEEE 802.15.3a

Delovna skupina IEEE 802.15 skrbi za pripravo standardov za osebna brezžična omrežja (WPAN – Wireless Personal Area Network), kot npr. WPAN na osnovi tehnologije Bluetooth (IEEE 802.15.1).

Standard osebnih brezžičnih omrežij na osnovi tehnologije UWB razvija skupina 802.15.3a. Glavna naloga je standardizacija fizičnega nivoja, kjer se zahteva zlasti majhna poraba električne energije in čim cenejša implementacija opreme. Pomembna zahteva je tudi integracija oziroma možnost zamenjave fizičnega sloja v ostali WPAN terminalski opremi, ki deluje z drugimi standardi fizičnega nivoja. Standard 802.15.3a predvideva prenosne hitrosti med 110 Mbit/s in 480 Mbit/s, kar omogoča nabor številnih storitev, vključno z multimedijskimi aplikacijami, videokonferencami ipd. Prenosna hitrost ustreza npr. tudi zahtevam brezžične izvedbe vodila USB (Universal Serial Bus)

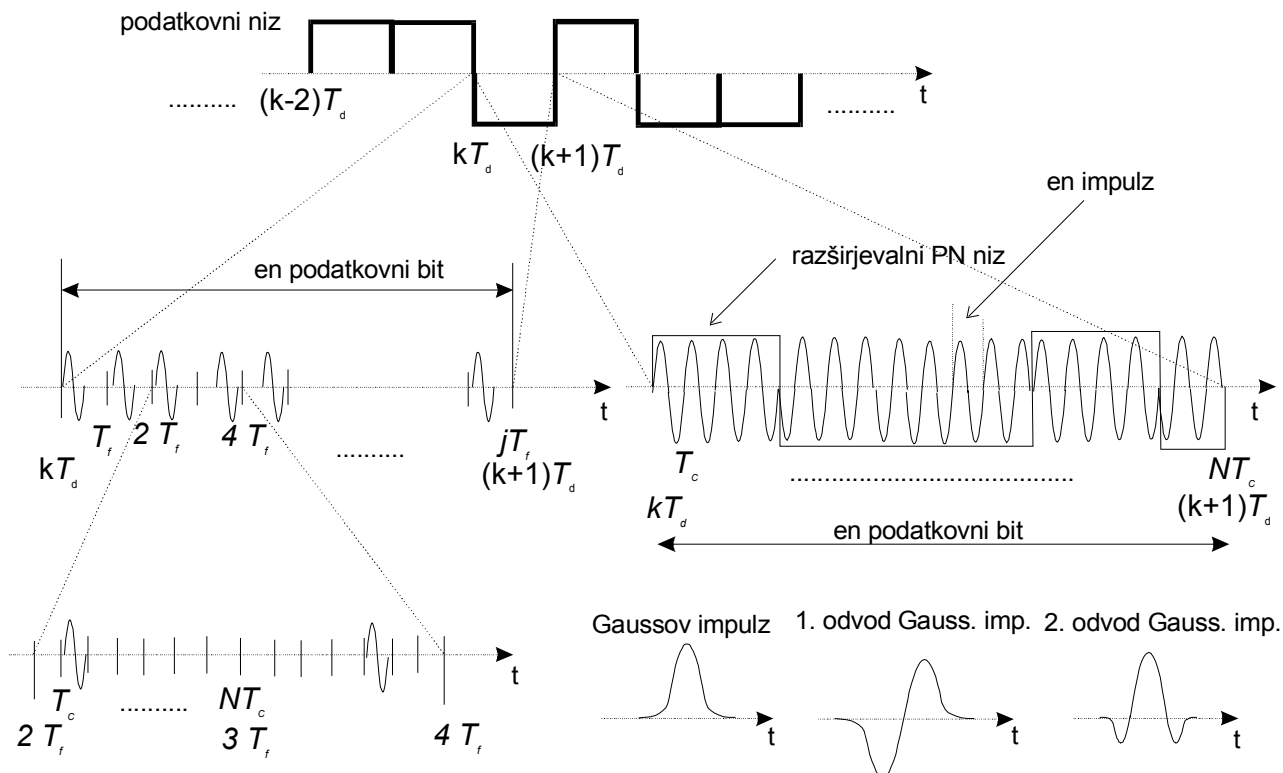
V času standardizacijskega procesa sta se izoblikovali dve tehnični rešitvi: IR (Impulse Radio) in OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Prva rešitev, Impulse Radio, izrablja celoten frekvenčni spekter, ki je na voljo za UWB in deluje na principu impulznega radia. Frekvenčni spekter impulznega radia je razdeljen v dva kanala, pri čemer se spekter med 5.2 GHz in 5.8 GHz, kjer deluje WLAN 802.11a, ne uporablja. To možnost zagovarja Motorola. Druga rešitev (OFDM) predvideva razdelitev frekvenčnega spektra med 3.1 GHz in 10.6 GHz na 528 MHz pasove, s čimer je izpolnjen pogoj za UWB signal ($B > 500$ MHz). To rešitev podpira Texas Instruments.

Vsaka od rešitev ima svoje prednosti in slabosti, možno pa je tudi, da bosta v končnem standardu obveljali obe rešitvi. Sicer pa je uporaba OFDM za komunikacije širokega spektra dokaj nova rešitev, ki je bila skupini 802.15.3a predlagana šele v letu 2003. V strokovni literaturi je sinonim za UWB impulzni radio, zato v nadaljevanju več o tem.

3. Impulzni radio

3.1. Oddajnik

Impulzni radio (Impulse Radio – IR) že od nekdaj velja za osnovno izvedbo tvorjenja ultra širokopasovnih signalov [1]. Za razliko od običajnih komunikacijskih sistemov, ki potrebujejo nosilec, gre pri impulznem radiu za komunikacijo v osnovnem pasu. Osnovni princip je zaporedno oddajanje kratkih impulzov, ki imajo zaradi kratkega trajanja frekvenčni spekter širok tudi več GHz. Uporabnik odda vsak impulz v drugem časovnem oknu, pri čemer se položaj impulza v posameznem časovnem oknu spreminja.



Slika 2: TH-UWB (levo), DS-UWB (desno) in primeri Gaussovih oblik impulza (desno spodaj)

Spekter je ultra širokopasoven, če velja:

- razmerje med centralno frekvenco in pasovno širino je večje kot 0.2 ali
- pasovna širina je večja kot 500 MHz.

V impulznem radiu razširitev spektra dosežemo s časovnim skakanjem (TH – Time Hopping) znotraj časovnih oken ali z neposrednim razširjanjem (DS-SS – Direct Sequence Spread Spectrum). V obeh primerih se en podatkovni bit (ali simbol) lahko razširi čez več oddanih impulzov. To pomeni, da posamezen podatkovni bit prenašamo z več impulzi. Obliko impulza, ki pomembno vpliva na lastnosti sistema UWB, označimo z $w(t)$. V praksi se uporablja Gaussova oblika in njeni odvodi (slika 2), Rayleighjeva oblika in različne optimizirane oblike [9].

Pri uporabi binarne amplitudne modulacije (BPAM) in časovnega skakanja je signal uporabnika m sledeč:

$$s^{(m)}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{j=1}^N w(t - kT_d - jT_f - (c_w)_j^{(m)} T_c) d_k^{(m)} \quad (1)$$

Signal uporabnika m pri uporabi BPAM in neposrednega razširjanja pa je:

$$s^{(m)}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{j=1}^N w(t - kT_d - jT_f - jT_c) (c_p)_j^{(m)} d_k^{(m)} \quad (2)$$

V zgornjih enačbah T_d pomeni čas trajanja enega podatkovnega bita, T_f časovno dolžino časovnega okna, T_c dolžino čipa (mora biti daljša ali vsaj enaka trajanju impulza T_p), d_k predstavlja k -ti podatkovni bit,

$(c_p)_j$ je j -ti čip pseudonaključne kode DS sekvence, $(c_w)_j$ faza oziroma položaj impulza v časovnem oknu (fazo določa PN sekvenca), N pa pomeni število oddanih impulzov za en podatkovni bit. Ker imamo opravka z binarno modulacijo, signal zavzame vrednosti $\{-1, 1\}$ ali $\{0, 1\}$.

V sistemih TH-UWB pseudonaključni (PN) niz vsakega uporabnika določa položaj impulza tega uporabnika v časovnem oknu. V sistemih DS-UWB pa je en podatkovni bit razširjen čez več impulzov, ki so kodirani s pseudonaključnim nizom, kar je povsem enako kot v sistemih CDMA (Code Division Multiple Access). PN niz je torej uporabljen za ločevanje uporabnikov.

Za TH-UWB velja: $T_d = N T_f$, za DS-UWB pa: $T_d = N T_c$ in $T_c = T_p = T_f$. Hitrost prenosa podatkov je:

$$R_d = \frac{1}{T_d} = \frac{1}{N T_f} \quad (3)$$

Če sta število impulzov za en podatkovni bit in dolžina impulza enaki v TH-UWB in DS-UWB, to pomeni, da je hitrost prenosa podatkov v primeru TH-UWB manjša kot v DS-UWB, ker je oddajanje v DS-UWB neprekinjeno, v TH-UWB pa oddamo le en impulz v časovnem oknu. Interval ponovitve impulza je v TH-UWB bistveno daljši, vendar pa je v tem primeru število oddanih impulzov manjše v TH in če želimo v obeh sistemih oddajati enako količino energije na podatkovni bit, mora biti energija impulza večja v

sistemu TH. Slika 2 prikazuje razliko med TH-UWB (leva stran) in DS-UWB (desna stran).

V izvedbah TH-UWB se za kodiranje bitov (vrednosti 0 in 1) pogosto uporablja položajna modulacija (PPM – Pulse Position Modulation):

$$s^{(k)}(t^{(k)}) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} w(t^{(k)} - jT_f - c_j^{(k)}T_C - \delta t^{(k)}) \quad (4)$$

V zapisu TH-UWB PPM signala (4) se pojavlja vrednost δ , ki predstavlja položajni parameter in ima enoto sekunde. Parameter pove koliko sta zamaknjena impulza, ki predstavljata 0 in 1. Če je δ enak ali večji kot T_p (dolžina impulza) sta impulza, ki predstavljata 0 in 1, ortogonalna. Položajna modulacija se uporablja tako v TH-UWB kot v DS-UWB. Tudi obravnava signalov se zaradi drugačne modulacije ne spremeni, edina sprememba je v načinu sprejema.

Poleg pseudonaključnih nizov se za TH-UWB v zadnjem času pojavlja tudi ideja o uporabi pseudokaotičnih kod, ki naj bi dodatno izboljšale spektralne karakteristike UWB signala v smislu izločanja nepotrebnih spektralnih črt [6]. Princip temelji na teoriji dinamičnih sistemov, vsak uporabnik pa ima, tako kot pri uporabi PN nizov, svoj pseudokaotičen niz.

3.2. Sprejemnik

Eden glavnih problemov UWB sistemov je sinhronizacija. Sprejemnik mora natančno vedeti kdaj se začne niz katerega od uporabnikov, da lahko izloči pravilen niz podatkov. Ta problem se še bolj zaostri ob uporabi kratkih impulzov, tako da pri uporabi impulzov dolžine reda nano-sekunde že zakasnitev delčka ns povzroči občutno slabši sprejem.

Uporaba radijskih sistemov v zgradbah prinaša še širjenje signala po več poteh. Problem postane težavnejši s povečevanjem števila uporabnikov – kompleksnost sprejemnika z upoštevanjem vseh poti razširjanja radijskega signala, ki je v takem primeru optimalen, narašča eksponentno s povečevanjem števila uporabnikov. Zato pridejo v poštev le sub-optimalne rešitve, kot npr. sprejemnik Rake ([1], [8]), ki pa upošteva le del vseh poti po katerih se razširja radijski signal. V sprejemniku Rake se vsak sprejeti signal korelira z lokalno generiranim TH nizom, pri čemer je potrebna časovna sinhronizacija med vsakim posameznim odmevom signala (različna pot vnese različno časovno zakasnitev) in TH nizom, prav tako je potrebno primerno ojačanje, da se doseže čim boljše razmerje SNR. To pravzaprav pomeni, da sprejemnik Rake potrebuje podatke o zakasnitvah posameznih poti in njihove frekvenčne karakteristike. Iz tega sledi, da je

sprejemnik Rake uporaben tudi za merjenje karakteristike kanala.

4. Zaključek

Tehnologija UWB bo, kot kaže, zaživela tudi v komunikacijskih napravah. Po napovedih agencije ABI Research [10] naj bi razširjenost komunikacij UWB do leta 2008 dosegla približno tretjino razširjenosti tehnologije Wi-Fi (Wireless LAN, IEEE 802.11x).

Impulzni radio, ki smo ga opisali v tem članku, je ena od možnih realizacij naprav UWB. Ima podobne lastnosti kot ostale širokopasovne tehnologije, zato je v primerjavi z ozkopasovnimi komunikacijskimi sistemi za osebno in lokalno rabo še posebej primerna za uporabo v zaprtih prostorih oz. zgradbah. Postopki standardizacije v okviru skupine IEEE 802.15.3a so v polnem teku, pa tudi vsi večji proizvajalci se ukvarjajo s tehnologijo UWB.

Literatura

- [1] M. Z. Win, R. A. Scholtz. Impulse Radio, *IEEE PIMRC'97*, Helsinki, 1997
- [2] K. Mandke, H. Nam, Y. Yerramneni, C. Zuniga, T. Rappaport. The Evolution of Ultra Wide Band Radio for Wireless Personal Area Networks, *High Frequency Electronics*, str. 22-32, september 2003
- [3] S. B. Sorensen. ETSI UWB Activities, *UWB Colloquium*, London, julij 2002
- [4] E. Thomas. Walk don't run – the first step in authorizing ultra-wideband technology, *UWB Colloquium London*, julij 2002
- [5] W. Gubisch. Inside FCC 15 and Canada's Corresponding Standards, *Compliance Engineering*, 1999, <http://www.ce-mag.com/99ARG/Gubish31.html>
- [6] D. C. Laney, G. M. Maggio, F. Lehmann, L. Larson. Multiple Access for UWB Impulse Radio With Pseudochaotic Time Hopping, *IEEE Journal on Sel. Areas in Comm.*, let. 20, št. 9, str. 1692 – 1700, dec. 2002.
- [7] M. Hamalainen, V. Hovinen, R. Tassi, J. H. J. Iinatti, M. Latva-aho. On the UWB System Coexistence With GSM900, UMTS/WCDMA, and GPS, *IEEE Journal on Sel. Areas in Comm.*, let. 20, št. 9, str. 1712 – 1721, dec. 2002
- [8] V. Lottici, A. D'Andrea, U. Mengali. Channel Estimation for Ultra-Wideband Communications, *IEEE Journal on Sel. Areas in Comm.*, let. 20, št. 9, str. 1638 – 1645, dec. 2002
- [9] X. Luo, L. Yang, G. B. Giannakis. Designing Optimal Pulse-Shapers for Ultra-Wideband Radios, *Journal of Comm. And Networks*, let. 5, št. 4, str. 344 – 353, dec. 2003
- [10] ABIresearch, www.abiresearch.com, julij 2004