

# Ultraširokopasovne brezžične povezave v osebni omrežjih

Rudolf Sušnik, Savo Leonardis in Sašo Tomažič

**Povzetek** — V tem članku predstavljamo zahteve, možnosti in stanje na področju ultraširokopasovnih (UWB – Ultra-Wideband) brezžičnih povezav v osebni omrežjih. Opisan je časovni potek dogodkov, ki so vodili do dodelitve frekvenčnega pasu in začetka standardizacije. Poseben poudarek je namenjen dogajanju v evropskih regulatornih telesih. Opisane so še tehnične lastnosti sistemov UWB, njihov pomen v osebni omrežjih, pričakovani obseg uporabe in problemi pri uvajanju tehnologije.

**Ključne besede** — ultraširokopasovne komunikacije, brezžična osebna omrežja, IEEE 802.15.3a

**Abstract** — This article explains how Ultra-Wideband (UWB) communications became an important technology in wireless personal area networks (WPAN), what are requirements for future WPAN and how current situation looks like. Timeline of events which led to the first agreements, standards and spectrum allocation is described. The article concentrates on UWB activities in European regulatory bodies. Technical characteristics of UWB, role of UWB in personal area networks, traffic loads, extension of usage and unsolved topics about UWB implementation are also addressed.

**Keywords** — Ultra-Wideband, Wireless Personal Area Networks, IEEE 802.15.3a

## I. UVOD

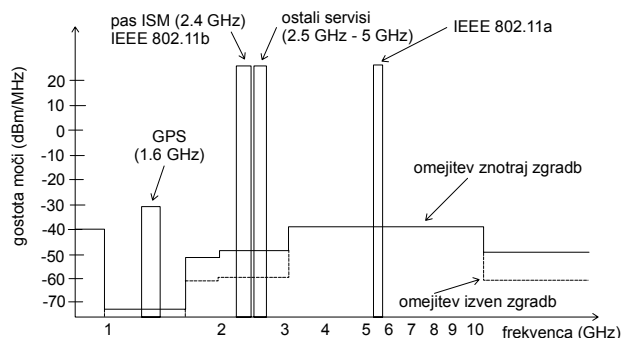
Priča smo hitrem razvoju in uveljavljanju brezžičnih lokalnih omrežij po raznih različicah standarda IEEE 802.11x s prenosoma 11 ali 55 Mb/s in dosegi med 20 in 100 m. To je omogočil napredek tehnologije ob določitvi dovolj širokih frekvenčnih pasov brez licence (pri 2,4 in 5,2 GHz skupaj pasovne širine ca 300 MHz).

Žal preje omenjene izvedbe niso ustrezne za hišna ali pisarniška omrežja, ker ta vsebujejo poleg računalniške opreme še multimedijske naprave, za katere rabimo precej višje prenosne hitrosti. Poleg tega potrebujemo več sočasnih brezžičnih povezav znotraj sorazmerno majhne površine, česar standard 802.11x ne zagotavlja. Poleg tega še zahtevamo, da so naprave brezžičnih povezav majhne, z majhno porabo in s ceno, ki je primerljiva petim odstotkom vrednosti naprave, v katero jo vključujemo.

Večino tehničnih in ekonomskih zahtev brezžičnih povezav za hišna omrežja lahko sodobna tehnologija reši. Osnovni problem, ki preostane, je v razpoložljivem radiofrekvenčnem spektru. Za brezžične povezave z video napravami v hišnih omrežjih bi potrebovali vsaj za en velikostni razred širši frekvenčni pas. Glede na zasedenost frekvenčnega prostora posebno v spodnjem delu, ki zagotavlja cenene naprave, to ni mogoče zaradi prezasedenosti. Edina rešitev je v povezavah, ki delujejo

na načelu razširjenega spektra v širšem frekvenčnem pasu z majhno močjo, znotraj že razdeljenega pasu raznim licenčnim uporabnikom. Pri tem uporabniki z licencami ne smejo biti moteni.

Velike multinacionalke v ZDA, proizvajalke rač. in multimedijske opreme, so si že v 90. letih prizadevale pri regulatorju radijskega spektra FCC (Federal Communication Commission) za dodelitev ustrezno širokega frekvenčnega pasu, ki bi omogočal povezave zelo velikih hitrosti na majhne razdalje znotraj in zunaj prostorov. Pri FCC so se leta 1998 lotili analize možnosti zelo širokopasovnih brezžičnih povezav z razširjenim spektrom, ki so jih poimenovali UWB (Ultra-Wideband). V 2000 je FCC objavil prvi razpis za predloge industrije. Postopek usklajevanja med interesi in raznimi institucijami je potekal do spomladi 2002, ko je FCC objavila formalna pravila, ki dovoljujejo legalno delovanje sistemov UWB. Spektralne zahteve prikazuje slika 1. S tem so odprli pot brezžičnim omrežjem v majhnih celicah na podeželju in mestih v ZDA. Ta tehnika se bo nato razširila po svetu. Pri tem bodo problemi zaradi različnih politik dodeljevanja in zasedenosti posameznih segmentov spektra po svetu.



Slika 1: Spektralne zahteve za naprave UWB

Sedaj zelo intenzivno poteka preverjanje ameriškega standarda UWB pri evrop. institucijah. Standardizacija zasnov naprav UWB tudi v ZDA pri IEEE še ni dokončno narejena.

Uporaba tehnike UWB v osebni omrežjih (PAN – Personal Area Network) predstavlja velik obet za

proizvajalce polprevodniških vezij na področju računalništva in večpredstavnosti. Pričakujemo lahko podoben prodor brezžične tehnike, kot jo je ta dosegla pri mobilni telefoniji, kljub temu da imamo pri hišnih omrežjih bistveno drugačne zahteve in tudi sedaj že precej rešitev z vodniki. Proizvajalci napovedujejo za letos prva vezja UWB in v prihodnjem letu tudi naprave.

## II. TEHNIČNE LASTNOSTI SISTEMOV UWB

V skladu s Shannonovim teoremom se kapaciteto kanala najpreprosteje poveča s povečanjem frekvenčnega pasu, zato kombinacija širokega frekvenčnega spektra (3,1 GHz – 10,6 GHz) in nizkega nivoja moči (-41,3 dBm/MHz) ustreza postavljenim zahtevam. Delovna skupina IEEE 802.15.3a je pred izborom določila minimalne pogoje za naprave UWB, ki so v tabeli 1.

Tabela 1: Minimalni pogoji za naprave UWB

prenosne hitrosti	110, 200 in 480 Mbit/s
razdalja	10m
poraba energije	100 mW in 250 mW
število piko-celic na enem mestu	4
občutljivost na motnje	neobčutljivost na ostale standarde IEEE, Packet Error Rate < 0.08 za pakete dolžine 1024 byte
soobstoj z drugimi omrežji	nivo motnje, ki jo povzroča 802.15.3a, mora biti vsaj za 6 dB nižja, kot je občutljivost motene naprave
cena	primerljiva z Bluetooth
kompatibilnost	komp. s standardi 802.15 in prilagodljivost na zahteve regulatornih organov
antena	velikost primerljiva z napravo

Proizvajalci so oblikovali dve tehnični rešitvi:

- modulacija OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) in
- IR (Impulse Radio).

Prva, OFDM, rešitev predvideva razdelitev spektra med 3,1 GHz in 10,6 GHz na ožje pasove (npr. 528 MHz kot je predlagal Texas Instruments), pri čemer mora pasovna širina ustrezati definiciji ultraširokopasovnosti, ki pravi, da je signal ultraširokopasoven, če ima razmerje med centralno frekvenco in pasovno širino več kot 0,2 ali pasovno širino večjo od 500 MHz. Pasovna širina UWB signala je frekvenčni pas, omejen s frekvencama, kjer je nivo signala 10 dB nižji od najvišje vrednosti signala.

Druga rešitev, impulzni radio, izrablja celoten ali vsaj večino frekvenčnega spektra, ki je na voljo za UWB. V spektru med 3,1 GHz in 10,6 GHz je lahko en ali več ultraširokopasovnih kanalov (npr. XtremeSpectrum je predlagal 2 kanala pasovne širine 1,368 GHz in 2,736 GHz). Na osnovi impulznega radia sta nastali dve rešitvi:

- TH (Time Hopping): s skakanjem, tj. časovni multipleks in
- DS (Direct Sequence): s kodnim multipleksom.

V znanstveni literaturi sta obe rešitvi impulznega radia zastopani enakovredno, saj sta si matematični obravnavi obeh primerov dokaj podobni, medtem ko v praktičnih rešitvah in standardizacijskih predlogih prevladuje izvedba s kodnim multipleksom (DS-UWB).

Predloge za izvedbo UWB je podalo 29 podjetij. Med tri najboljše predloge so bili uvrščeni impulzni radio (XtremeSpectrum in Motorola), OFDM in večkanalni OFDM (Texas Instruments) ter večkanalni impulzni radio (Intel). Zagovorniki zadnjih dveh možnosti so svoja predloga strnili v en predlog večkanalskega OFDM (MultiBand OFDM – MB-OFDM) in ostalo je pri dveh rešitvah, od katerih nobena ni bila izbrana z absolutno večino, tako da obstaja možnost, da bomo imeli naprave UWB dveh različnih izvedb.

V tabelah 2 in 3 najdemo strnjen pregled glavnih karakteristik OFDM-UWB in IR-DS-UWB.

Tabela 2: Lastnosti OFDM-UWB

frekvenčni pasovi	3 + 10 opsijskih pasov
pasovna širina	528 MHz
frekvenčna območja	sk. A: 3,168 – 4,725 GHz sk. B: 4,752 – 6,072 GHz sk. C: 6,072 – 8,184 GHz sk. D: 8,184 – 10,296 GHz
modulacija	TFI-OFDM, QPSK
soobstoj z WLAN	frekvenčni pas v okolici IEEE 802.11a je izločen
sodostop	časovno – frekvenčno prepletanje
zaščitno kodiranje	konvolucijske kode
prenosne hitrosti	110 Mbps – do 10m 200 Mbps – do 4m 480 Mbps – do 2m

Tabela 3: Lastnosti IR-DS-UWB

frekvenčni pasovi	2 pasova
pasovna širina	1,368 GHz in 2,736 GHz
frekvenčna območja	3,2 – 5,15 GHz 5,825 – 10,6 GHz
modulacija	BPSK, PPM, DS-SS, QPSK
soobstoj z WLAN	frekvenčni pas v okolici IEEE 802.11a je izločen
sodostop	CDMA
zaščitno kodiranje	konvolucijske kode, Reed-Solomon kode
prenosne hitrosti	114 Mbps – do 10m 200 Mbps – do 4m 600 Mbps – do 2m

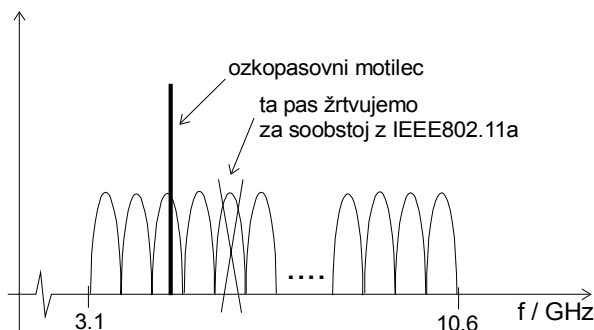
Naprave med sabo ne bodo združljive, z uporabo signalizacijskega postopka Common Signalling Mode (CSM) pa bo zagotovljeno, da se bodo med sabo motile le minimalno. Postopek CSM je bil deležen velike pozornosti, kar je posledica dejstva, da si naprave različnih tipov lahko izmenjujejo kontrolna sporočila, ki

zagotovijo pravično razdelitev frekvenčnega pasu, z nizko prenosno hitrostjo si lahko izmenjujejo podatkovne pakete, za zagotovitev vsega tega pa v naprave ni potrebno vgrajevati dodatnih elementov.

### A. OFDM

V rešitvi OFDM imamo opravka z različnimi skupinami kanalov. V skupini A so trije 528 MHz kanali, ki se uporabljajo za običajne aplikacije. Skupino C sestavljajo štiri kanali, ki se uporabljajo kadar je na istem mestu hkrati več piko-celic. Skupini B in D sta zaenkrat rezervirani za rabo v prihodnosti.

Modulacija OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) predstavlja enega novejših modulacijskih postopkov. Uporablja se v sistemih kot npr. DAB in DVB (Digital Audio/Video Broadcasting), ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line), IEEE 802.11a ipd. Gre za prenos z več nosilci (multi-band), kar pomeni, da podatkovnega signala ne prenašamo v enem frekvenčnem pasu, pač pa za to uporabimo več ožjih pasov (sub-bands), ki so razporejeni glede na razmere v prenosnem kanalu. S spreminjanjem položajev frekv. pasov se lahko izognemo ozkopasovnim motnjam, pa tudi če zaradi motenj v kanalu žrtvujemo kak frekvenčni pas, zaradi dodane redundance kvaliteta prenosa ne trpi. Število frekvenčnih pasov oziroma kanalov je lahko veliko, tudi 1000 in več. V UWB je zaradi zahteve po ultraširokopasovnosti (>500 MHz) število kanalov veliko manjše, teoretično jih je lahko največ 15. To seveda ne ustreza prej napisanemu, zato je vsak od teh kanalov razdeljen na ožje kanale, tako da je hkrati zadoščeno ultraširokopasovnosti in ideji OFDM.



Slika 2: Princip večkanalnega OFDM (prilagajanje razmeram v kanalu)

### B. Impulzni radio

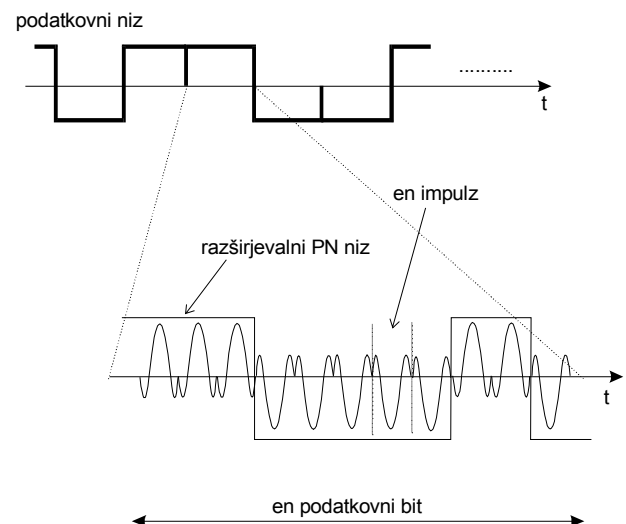
Impulzni radio (Impulse Radio, IR) je že od nekdaj veljal za osnovno izvedbo tvorjenja ultraširokopasovnih signalov, do nedavnega pa je veljal tudi za sinonim tehnologiji UWB. Za razliko od običajnih komunikac. sistemov, ki potrebujejo nosilec, gre pri impulznem radiu za komunikacijo v osnovnem pasu, kar zagotavlja tudi lažjo implementacijo naprav. Gre za pošiljanje kratkih impulzov neposredno na anteno, impulzi pa imajo zaradi kratkega trajanja frekvenčni spekter lahko širok tudi več GHz. Razširitev spektra lahko dosežemo

tudi s časovnim skakanjem (Time Hopping, TH-UWB) ali z neposrednim razširjanjem (Direct Sequence, DS-UWB). V obeh primerih je trajanje enega podatkovnega simbola (ali bita) lahko večkratnik trajanja oddanega impulza. To pomeni, da posamezen simbol prenašamo z več impulzi. Oblika impulza pomembno vpliva na lastnosti sistema UWB, v praksi se uporablja Gaussova oblika in njeni odvodi, Rayleighjeva oblika in različne optimizirane oblike. Pri obravnavi impulzov se moramo zavedati, da antena deluje na impulze kot diferenciator.

V izvedbi IR s skakanjem (TH-UWB) se uporablja položajna modulacija impulzov, zato v literaturi najdemo tudi poimenovanja kot npr. Pulse Modulation UWB ali kaj podobnega.

Za izvedbo neposrednega razširjanja ali pa za časovno skakanje potrebujemo (pseudo) naključna zaporedja – kode. V sistemih TH-UWB pseudonaključni niz (PN) vsakega uporabnika določa položaj impulza tega uporabnika v časovnem oknu. V sistemih DS-UWB pa je PN niz uporabljen za ločevanje uporabnikov, kar je povsem enako kot v sistemih CDMA (Code Division Multiple Access).

Slika 3 prikazuje DS-UWB.



Slika 3: Prenos podatkov z DS-UWB

### C. Prenosni kanal in sprejemnik

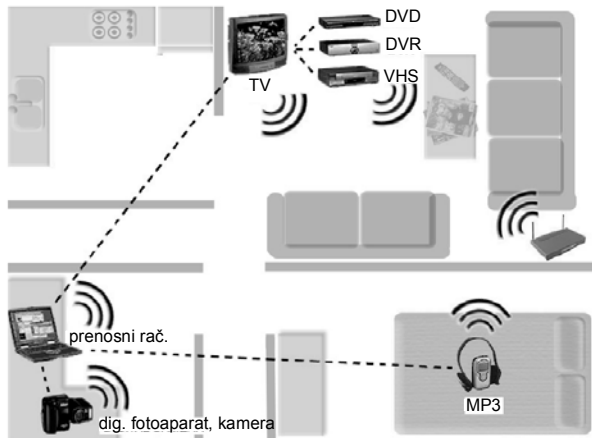
Pri uporabi radijskih sistemov v zgradbah se srečamo s celo vrsto pojavov, ki vplivajo na izbiro primernega modela prenosnega kanala. Na podlagi meritev in simulacij se je kot najboljši približek izkazala prirejena različica modela Saleh-Valenzuela.

Širjenje po več poteh je v radijskih kom. eden izmed največjih problemov, vendar so širokopasovni radijski sistemi v primerjavi z ozkopasovnimi dokaj neobčutljivi na ta pojav. Razširjanje po več poteh lahko izkoristimo tako, da sprejemnik sešteje prispevke več poti, to npr. omogoča sprejemnik Rake. V sprejemniku je potrebna natančna časovna sinhronizacija, saj vsaka pot vnese drugačno časovno zakasnitev.

### III. OSEBNA OMREŽJA IN UWB

#### A. Sestava osebne omrežja

Naprave UWB omogočajo brezžične povezave rač. in multimedijskih enot na majhnih razdaljah znotraj enega prostora. Po prostorski razsežnosti lahko govorimo o osebem omrežju - PAN (Personal Area Network). Če je večina povezav med enotami brezžična, imamo brezžično omrežje WPAN (WirelessPAN). Ponavadi vsebuje računalniški in multimedijski grozd opreme. Če so naprave koncentrirane okoli teh grozdov, lahko pričakujemo, da bodo potrebni dosegi UWB naprav tudi pod 10 m. Sestavo osebne omrežja z brezžičnimi UWB zvezami kaže slika 4. Vzemimo, da bodo UWB rabile za prenos podatkov: na tiskalnik, s fotoaparata in kamere v računalnik in prenos datotek v predvajalnik MP3. Glede na ločene ukaze za posamezne akcije in veliko prenosno hitrost UWB je malo verjetno, da bi bilo sočasno aktivnih več zvez.



Slika 4: Osebno omrežje v domačem okolju

Če celica PAN obsega še kak sosednji prostor in stene prostorov močno dušijo radijske valove, bomo za razširitev morali namestiti povezovalno napravo UWB v odprtino na vmesno steno.

#### B. Alternativne arhitekture omrežij

V osebni omrežjih ni nujno, da bi bil UWB edini način povezav raznih naprav. Vključitev UWB v omrežja mora biti dosežena zaradi prednosti v lastnostih in ceni. Mnoge povezave lahko ostanejo še žične. Naj naštejemo nekaj možnosti:

- Ethernet in Giga Ethernet več kot zadostuje za domača omrežja. Edina neprijetnost je, ko moramo instalirati nove žice ali kable.
- Za določen delež zvez so uporabne brezžične zveze z 11 ali 55 Mb/s po standardu IEEE 802.11x.
- Uporabne so še zveze do 10 Mb/s preko energetskega omrežja v hiši, za katere pa žal še ni zaključena standardizacija.

### IV. PROMET V OSEBNIH OMREŽJIH DOMA IN URADIH PREKO UWB

#### A. Zvrsti in obsegi prenosov preko UWB

Prenosi preko UWB bodo večinoma znotraj prostorov in le manjši del zunaj stavb. Po naravi prenos informacij z UWB lahko razdelimo v tri razrede:

- a) prenos velikih tekstovnih in grafičnih datotek,
- b) akustični in video pretoki,
- c) izmenjave datotek ali pretokov med omrežjem in mobilnimi napravami.

Promet in struktura omrežij se bosta bistveno razlikovala, če so ta doma ali v pisarni. V nadaljevanju si bomo ločeno ogledali njihove lastnosti. Naslonili se bomo na analize ECC (Electronic Communications Committee) pri CEPT [3]. V analizi so ocenjeni prenosi preko UWB naprav za različne storitve glede na razpoložljivo opremo na dan ali drug interval. Množina prenašane informacije za vsako storitev je ocenjena zelo visoko, kar naj bi dalo osnovo za ugotavljanje aktivnosti UWB naprav v življenjski dobi UWB sistema z neko varnostjo. Za vsako storitev je določen faktor aktivnosti (FA) za storitev pri prenosni hitrosti UWB 480 Mb/s s povprečenjem za dom na 12 ur in za pisarne na 8 delovnih ur. Pri prenosu preko UWB se doda še 30% režije. Faktor aktivnosti za dom je:

$$FA_{UWBd} = \frac{\text{množina\_prenešenih\_bitov} \times 1,3}{480 \cdot 10^6 \times 43200}$$

in za pisarno:

$$FA_{UWBp} = \frac{\text{množina\_prenešenih\_bitov} \times 1,3}{480 \cdot 10^6 \times 28800}$$

#### B. Promet v domačem okolju [3]

V omrežju doma so vključeni prenosi :

Ad) Prenos datotek za 19 MB na tiskalnik in s skenerja 5,7 MB dnevno ter na zunanji pomnilnik 2 GB enkrat tedensko. Vse skupaj daje faktor aktivnosti na dan 0,00012, kar UWB prenese v 43 s!

Bd) Video in avdio pretoki preko UWB: na brezžični monitor (s krmiljenjem na primer z notesnika) s MPEG2, 8 Mb/s, 3 ure in televizor s HD MPEG4, 24 Mb/s 7,5 ur dnevno (pojasnilo: v ZDA gledajo TV povprečno 4 ure, televizorji pa so vključeni 7,5 ur). Pri priključenem TV komunikatorju imamo enako množino pretoka kot pri TV. Našteti video pretoki povzročajo faktor aktivnosti na dan 0,094 ali približno 10% zmogljivosti ene zveze UWB. V omrežju imamo lahko še sistem domačega kina s pretokom do 1,5 Mb/s (z aktivnostjo 0,0025). V 10 do 15 letih lahko pričakujemo prehod s standardne televizije na televizijo velike resolucije (HD – High Definition), katere nekomprimirani signal ima pretok

1,5 Gb/s. Z upoštevanjem režije prenosa 30%, se hitrost na zvezi poveča na 1,95 Gb/s, kar presega zmožnosti UWB. Novejši dosežki so načrtovalce ohrabрили, da so nadalje predlagali prenos video programov z delno kompresijo in hitrostjo reda 180 Mb/s. En sam video signal bi dal faktor aktivnosti ca 0,5! V bodoče bo zaželena kakovostnejša slika tudi na monitorjih.

Cd) V zadnji skupini imamo prenose iz mobilnega okolja v stavbo in obratno. Nekaj zgledov: nalaganje glasbe na predvajalnik enkrat tedensko 100 MB, prenos z digitalnega fotoaparata 32 MB tedensko, s kamere 12 GB na dva tedna. V praksi najdemo še minimalne prenose s čitalnikov pomnilniških kartic, raznih mobilnikov in podobno. Če vse to povprečimo na dan, dobimo faktor aktivnosti 0,00044.

Za povprečen dom imamo faktorje aktivnosti pod točko Ad 0,00012, Bd 0,0965 in Cd 0,00044, kar kaže, da doma faktor aktivnosti UWB naprav praktično določajo le video storitve!

### C. Promet v pisarni [3]

Kot osebno omrežje v pisarni si lahko predstavljamo bolj bogato informatizirano delovno mesto. Oprema je predvsem računalniška in je bolj intenzivno uporabljana kot doma. Poleg brezžičnih monitorjev imamo še brezžično priključene projektorje za konference. Za bogato ocenjevanje prometa upoštevamo:

- v uradih mnogo tiskajo in skenirajo dokumente in
- vse osebje uradov uporablja informacijsko opremo v enaki meri.

Ap) prenos datotek na tiskalnik v velikosti 130 MB in od skenerja 140 MB dnevno ter 2 GB tedensko na zunanji pomnilnik. Skupna aktivnost je ca 0,0006.

Bp) brezžični monitor z MPEG2 8 Mb/s, 8ur ter brezžični projektor z MPEG4 10 Mb/s, 3 ure dnevno. Skupni faktor aktivnosti je 0,032.

Cp) prenos iz mobilnega v fiksno okolje in obratno imamo pri prenosih z dlančnikov, čitalnikov pomnilniških kartic in podobno. Ta promet bo dal zelo majhen faktor aktivnosti.

Tudi za pisarne velja, da večino aktivnosti prispevajo video pretoki.

### D. Izračun faktorja aktivnosti na osebo in napravo UWB

V prejšnjem poglavju smo spoznali faktorje aktivnosti za posamezne storitve. Dejansko aktivnost posameznega omrežja lahko določimo le, če poznamo njegovo opremljenost ter vrsto in obseg dela. Opremljenost je zagotovo zelo raznolika, lahko si pomagamo z napovedjo, kako bo Evropa preskrbljena z razno opremo za posamezne storitve. Nekaj podatkov o pogostosti naprav na osebo za Evropo je v tabeli 4. Za zgled: v EU je 379 milijonov vseh prebivalcev in ca 86 milijonov tiskalnikov, iz česar sledi, da imamo povprečno 0,225 tiskalnika na prebivalca. Če delež tiskalnika množimo s

faktorjem aktivnosti tiskanja, dobimo faktor aktivnosti tiskanja na osebo. Za uporabno simulacijo z rezultati moramo določiti še kakšen delež tiskalnikov, oziroma katerekoli naprave za storitev, bo vezanih preko UWB naprav. Končni rezultat v viru je  $8 \cdot 10^{-8}$ . Za vse izbrane storitve je skupen faktor aktivnosti ca 0,001 na osebo. Za aktivnost na dom množimo rezultat na osebo z 2,36 (povprečno število oseb na dom v EU), kar da 0,00236.

Tabela 4: Zgled zastopanosti opreme v EU za določitev aktivnosti za storitev in na osebo

Vrsta storitve z zvezo UWB	Enot v EU za storitev v mio	Enot za storitev v EU na osebo	Faktor aktivnosti za storitev
PC-Monitor MPEG2	51,18	0,134	0.0054
PC - Tiskalnik	85,74	0,225	$1,2 \cdot 10^{-6}$
CE -Televizor MPEG4	189	0,498	0,044

V dosedANJI obravnavi ni razlik v aktivnosti UWB, če ljudje živijo na podeželju, predmestju ali mestu. Ta razlika se bo s časom vedno bolj zmanjševala. Razlika v gostoti prebivalstva se bo kazala v gostoti instaliranih naprav UWB na km<sup>2</sup>. V dokumentu ECC najdemo razdelitev poseljenosti na km<sup>2</sup>, gostoto UWB naprav za osebna omrežja in število aktivnih zvez UWB na km<sup>2</sup> glede na okolje, pri aktivnosti na osebo doma 0,0099 in v pisarni 0,0029. Podatki so v tabeli 5. Za razmere doma na podeželju bosta povprečno aktivni dve UWB zvezi in v strogem centru tudi 400 zvez na km<sup>2</sup>.

Tabela 5: Gostota prebivalstva in aktivnost UWB zvez na km<sup>2</sup>

	podeželje	predmestje	mesto	center
oseb/km <sup>2</sup>	200	2500	10000	40 000
Vrsta in aktivnost na osebo	Povprečno v času večjega prometa aktivnih UWB/km <sup>2</sup>			
Dom, aktivnost 0,0099	2	25	99	396
Urad, aktivnost 0,0029	0,3	3	29	
Izven stavb 0,0000935	0,02	0.2	1	

Zveze UWB bodo zagotovo uporabljene še v druge namene. V analizi, na katero se sklicujemo, so kot možnost predvideli, da bo 95% UWB naprav namenjeno PAN in 5% drugim storitvam z aktivnostjo 5% (od teh bo 20% delovalo izven stavb). Število UWB v omrežjih PAN naj bi bilo: na podeželju 100, predmestju 1000 in v mestu 10 000 UWB naprav na km<sup>2</sup>. Tabela 6 kaže aktivnost UWB zvez pri že opisanih dejavnostih.

Podatki v tabeli 6 kažejo zmerni delež aktivnih zvez med 1 in 2%. Pri tem se moramo zavedati, da bi uporaba video signala s 180 Mb/s povečala delež aktivnih zvez v

mestu na 22%. Če bi jih krajevno enakomerno razdelili, bi bile aktivne UWB naprave na medsebojnih razdaljah dobrih 20 m.

Splošni načrt dela ECC TG3#3\_43-A7\_R0 za leto 2005 kaže stremljenje po čimprejšnjem uspešnem koncu.

## VI. ZAKLJUČEK

Tabela 6: Aktivnost zvez UWB za različna okolja pri deležu 95% za WPAN

95% UWB za WPAN in 5% UWB za druge namene			
	podeželje	predmestje	mesto
UWB/km <sup>2</sup>	100	1000	10000
Faktor aktivnosti	1,33%	1,57%	0,86%
Aktivni UWB / km <sup>2</sup>	1,33	15,65	85,93
Delež aktivnih izven stavb	2,54%	2,58%	2,36%

Kljub majhni moči UWB zveze ima lahko velika koncentracija neprijetne posledice, kot so motnje drugih uporabnikov v frekvenčnem področju od 1 do 12 GHz. Upoštevati je treba, da v tem frekvenčnem pasu delujejo mnoge življensko pomembne komunikacije (aeronavtika, meteorologija, radioastronomija, usmerjene zveze, radiodifuzija, ...).

## V. PROBLEMI PRI UVAJANJU UWB

Kot izgleda, bodo naprave UWB kmalu zaživele v ZDA. To se bo odrazilo v pritisku na preostali svet, da dovoli njihovo uporabo. Zaradi mnogih vprašanj o možnih posledicah, tudi neugodnih, na katere ni mogoče preprosto odgovoriti, sta bili dve možnosti. Prva je v pripravi začasnega dovoljenja in druga v izredno kratkem času z meritvami preveriti ustreznost oziroma predpisati dodatne omejitve. EU se je odločila za drugo možnost. Pri tem je načrtovan izredno obsežen in intenziven program meritev (tabela 7). Aktualen program je opisan v poročilu ECC [4]. Pri meritvah morajo upoštevati vse tri izvedbe UWB za katere morajo proizvajalci dostaviti naprave:

- Intel: MB-OFDM,
- Freescale: DS-UWB,
- STMicroelectronics: pulse modulation UWB.

Tabela 7: Časovni načrt ECC za meritve vpliva motenj zaradi zvez UWB

Motilci: MB-OFDM, Pulse-UWB, DS-UWB			
ogrožen sistem	1. meritve neposredne motnje na motenem	2. meritve sevanj motilca	3. meritve na mestu
Fiks. servisi	11/04	12/04	03/05
UMTS	01/05	02/05	02/05
DVB-T	01/05	02/05	02/05
T-DAB	01/05	02/05	02/05
GSM1800			03/05
RLAN			

Kot kaže, bodo komunikacije ultraširokega spektra igrale pomembno vlogo v osebnih brezžičnih omrežjih in bodo nadaljevale pohod 'osvobajanja' uporabnikov od žic, ki se je nedolgo tega začel z uveljavljanjem tehnologij WLAN in Bluetooth.

Spoznali smo, da je sedanje stanje v zvezi z UWB dokaj nedorečeno – predpisane so spektralne zahteve in zahteve za opremo, zaradi konkurenčnosti tehnologij OFDM in impulznega radia pa še ni standarda, ki bi natančneje specificiral naprave. Hkrati pa so evropski regulatorni organi nekoliko v zadregi in pospešeno izvajajo analize in meritve, ker bi spektralne zahteve, ki jih je definirala ameriški FCC lahko ogrozile evropsko ureditev frekvenčnega spektra.

Zaključimo lahko z ugotovitvijo, da bo UWB v vsakem primeru postal del naše stvarnosti, glede podrobnosti pa se pustimo presenetiti.

## ZAHVALA

Zahvaljujemo se gospodu Marjanu Trdinu, univ. dipl. ing., vodji sektorja za radiokomunikacije pri Agenciji za pošto in elektronske komunikacije v Ljubljani za zelo informativne pogovore in za dostop do dokumentov ECC o UWB.

## LITERATURA

- [1] R. Sušnik, S. Tomažič, Komunikacije ultra širokega spektra, Zbornik 13. elektrotehniške in računalniške konference ERK 2004, zvezek A, str. 91-94, sept. 2004.
- [2] Članki posebne izdaje *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* o UWB, letnik 20, št. 9, dec. 2002.
- [3] UWB WPAN Activity Assessment, dokument ECC, TG3#4\_11R1, 2004.
- [4] Future UWB measurement campaigns activities, dokument ECC, TG3#4\_43-A6\_R0, 2004.
- [5] S. Stroh, Ultra-Wideband: Multimedia Unplugged, *IEEE Spectrum*, letnik 40, št. 9, str. 23 – 27, sept. 2003.