

# Ciklostacionarna analiza UWB IR signala sa TH-PPM

Ivan P. Pokrajac, Desimir Vučić i Predrag Okiljević

**Abstract** — U ovom radu analizirana je mogućnost analize (procene parametara) širokopojasnih signala na bazi impulsnog radija. Procena parametara širokopojasnih signala na bazi impulsnog radija ima značaj sa aspekta sinhronizacije i podešavanja komunikacionog para prijemnik-predajnik. Pored ovoga, analiza signala ima jednu od ključnih uloga u sistemima za elektronsko ratovanje. Za procenu parametara širokopojasnih signala korišćena je ciklostacionarna analiza signala. U radu je pokazano da je korišćenjem ciklostacionarne analize moguće proceniti sve potrebne parametre širokopojasnih signala koji koriste tehniku vremenskog skakanja, kao što su simbolska brzina, trajanje impulsa, broj frejmova. U radu su prikazani simulacioni rezultati koji potvrđuju mogućnost ove primene ciklostacionarne analize.

**Ključne reči** — ciklostacionarnost, TH-IPM, UWB IR.

## I. UVOD

NAGLI razvoj tehnologije omogućio je i uspešnu primenu bežičnih telekomunikacionih sistema u komercijalne svrhe. Prelazak sa analognih na digitalne ćelijske sisteme, uvođenje u upotrebu treće i četvrte generacije mobilnih radio sistema, kao i zamena kablovskih veza sa Wi-Fi i Bluetooth omogućilo je korisnicima pristup širokom spektru informacija sa bilo koje pozicije u bilo kom trenutku. Obzirom da korisnici zahtevaju veće kapacitete, brže servise i bolju sigurnost u prenosu podataka, nove tehnologije treba da nađu mesto u već prezauzetoj radio frekvencijskom (RF) spektru.

Jedno od rešenja koje omogućava prevazilaženje problema ograničenosti RF spektra je korišćenje tehnologije širokopojasnih signala (Ultra-wideband - UWB) [1]. UWB telekomunikacioni sistemi se u osnovi razlikuju od svih ostalih tehnika prenosa signala jer koriste ekstremno uske RF impulse za komunikaciju između predajnika i prijemnika. Korišćenje impulsa sa veoma kratkim vremenskim trajanjem (reda ns) ima za posledicu stvaranja signala koji zauzima veoma široki frekvencijski opseg. Korišćenje impulsa sa kratkim vremenom trajanja omogućava povećanje brzine prenosa, bolju zaštitu od ometanja, visoku vremensku rezoluciju, malu verovatnoću presretanja i koegzistenciju sa postojećim radio servisima.

Kod UWB impulsnog radija (UWB-IR) najčešće se

koristi impulsna položajna modulacija (IPM). Različite tehnike višekorisničkog pristupa mogu se koristiti u UWB-IR telekomunikacionim sistemima, među kojima je najatraktivnija tehnika bazirana na vremenskom skakanju (Time Hopping - TH) [2].

U dostupnoj literaturi [3], među metodama koje su najzastupljenije u sistemima za elektronsko ratovanje ubraja se i ciklostacionarna analiza signala.

Tehnike obrade ciklostacionarnih signala (CSP-Cyclostationary Signal Processing) koriste inherentne periodičnosti signala (prvog, drugog i većeg reda) i imaju značajne prednosti u detekciji, klasifikaciji i proceni parametara ciklostacionarnih signala u odnosu na klasične stacionarne metode [4]. Periodičnosti se ispoljavaju kroz korelaciju razdvojenih spektralnih komponenti kao spektralna redudansa. Frekvencija razdvajanja  $\alpha$  se naziva ciklična frekvencija. Korišćenje ove spektralne redudanse znatno poboljšava performanse analize i obrade signala. Ciklostacionarna obrada signala omogućava selektivnu detekciju signala koji se vremenski i frekvencijski preklapaju sa drugim neželjenim signalima, interferencijom i šumom.

U ovom radu je izvršena ciklična spektralna analiza UWB IR sistema koji koriste impulsnu položajnu modulaciju (Pulse-Position Modulation - PPM) i vremensko skakanje kao tehniku višekorisničkog pristupa (TH-PPM). Prilikom ciklične spektralne analize signala korišćena je metoda sa frekvencijskim usrednjavanjem (Digital Frequency Smoothing Method - DFSM). U radu su dati neki specifični rezultati dobijeni cikličnom spektralnom analizom UWB IR sistema koji koristi binarnu PPM (TH-BPPM).

## II. SPEKTRALNA KORELACIJA

Spektralna korelaciona gustina (Spectral-Correlation Density - SCD) ili ciklični spektar  $S_{xx\Delta T}^a(f)$  je veoma bitna ciklostacionarna osobina drugog reda. Ciklični spektar, za izabranu cikličnu frekvenciju  $\alpha$ , se dobija korelacijom spektralnih komponenti na frekvencijama  $f + \alpha/2$  i  $f - \alpha/2$  u vremenskom intervalu  $\Delta T$  [5]:

$$S_{xx\Delta T}^a(t, f) = \frac{1}{\Delta T} X_{\Delta T} \left( t, f + \frac{\alpha}{2} \right) \cdot X_{\Delta T}^* \left( t, f - \frac{\alpha}{2} \right) \quad (1)$$

gde  $X_{\Delta T} \left( t, f + \frac{\alpha}{2} \right)$  predstavlja kratkotrajnu Furijeovu transformaciju (Short-Time Fourier Transform - STFT) signala  $x(t)$  u vremenskom intervalu  $\Delta T$ .

I. P. Pokrajac. Autor, VP 1100 Beograd, Srbija (telefon: 381-11-2064665; faks: 381-11-2064697; e-mail: ivan.pokrajac@vs.rs).

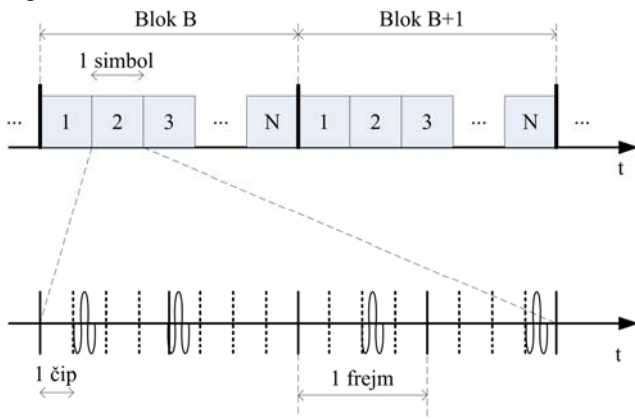
D. Vučić., Računarski fakultet, Knez Mihajlova 6, 11000 Beograd, Srbija; (e-mail: [dvucic@raf.edu.rs](mailto:dvucic@raf.edu.rs)).

P. Okiljević, Vojnotehnički institut MO RS, Ratka Resanovića 1a, 11000 Beograd.

Procena cikličnog spektra i analiza odgovarajućih cikličnih obeležja često predstavljaju ključnu fazu u izboru efikasne obrade ciklostacionarnih signala. Među algoritmima za procenu cikličnog spektra na bazi vremenskog usrednjavanja (Time Smoothing - TS) cikličnih periodograma postoje FFT akumulacioni metod i trakasti spektralno korelacioni algoritam. Na bazi frekventijskog usrednjavanja (Frequency Smoothing - FS) najpoznatiji je direktni ili digitalni FS metod (DFSM). Za razliku od metoda sa vremenskim usrednjavanjem, DFSM metod omogućava procenu cikličnog spektra za bilo koju izabranu cikličnu frekvenciju ili za određen skup cikličnih frekvencija.

### III. UWB IR TH-PPM SIGNAL

Na Sl.1 prikazana je struktura UWB IR TH-PPM signala.



Sl. 1. Struktura UWB IR TH-PPM signala.

Kod TH-PPM UWB-IR sistema sa višestrukim pristupom svaki informacioni simbol se prenosi u vremenskom intervalu dužine  $T_s$  koji je podeljen na  $N_f$  frejmova, tako da je  $T_s = N_f T_f$ , gde je  $T_f$  vremenski interval trajanja jednog frejma. Za vreme svakog frejma, jedan ili više bitova podataka se mapiraju korišćenjem vremenskog pomeraja Gausovog impulsa trajanja  $T_p \ll T_f$ . Najčešće korišćeni impuls  $p(t)$  je prvi izvod ili izvod većeg reda Gausovog impulsa. Da bi se omogućio višestruki pristup koristi se sekvence za vremensko skakanje (TH sekvence). UWB IR TH-PPM signal se može predstaviti sledećim izrazom:

$$x(t) = \sum_i \sum_{k=0}^{N_f-1} p(t - iT_s - \beta_i \Delta - kT_f - \eta_k T_C - \vartheta) \quad (2)$$

Informacioni niz  $(\beta_i)$ ,  $\beta_i \in \{b_m\}_{m=1}^M = \{m-1\}_{m=1}^M$  predstavlja PPM modulaciju sa indeksom modulacije  $\Delta$ . Pretpostavljeno je da se koristi TH sekvenca  $(\eta_k)$ ,  $\eta_k \in \{d_n\}_{n=1}^N = \{n-1\}_{n=1}^N$ ,  $N = T_f/T_C$ , sa periodom TH sekvence  $N_f$ .  $T_C > T_p$  je čip interval.  $\vartheta$  je konstanta koja predstavlja nepoznati vremenski pomeraj simbola. Za vreme svakog simbola prenosi se  $N_f$  modulisanih impulsa  $p(t)$ . Informacioni niz  $(\beta_i)$  i TH sekvenca  $(\eta_k)$  određuju pomeraj impulsa  $b_m \Delta = (m-1)\Delta$ ,  $m = 1, 2, \dots, M$ , i

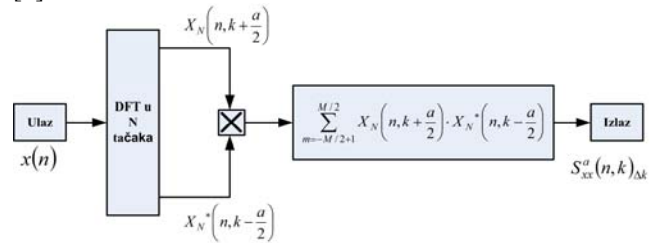
vremenski skok  $d_n T_C = (n-1)T_C$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$ . Ovaj združeni vremenski pomeraj određuje položaj impulsa  $p(t)$  unutar jednog informacionog simbola.

### IV. DFSM METODA

Računarski efikasni algoritmi za procenu cikličnog spektra zasnivaju se na bazi frekventijskog usrednjavanja (FS - Frequency Smoothing) ili na bazi vremenskog usrednjavanja (TS - Time Smoothing).

FS pristup se generalno smatra efikasnim kada se procena cikličnog spektra vrši duž linije konstantne ciklične frekvencije ili za mali broj cikličnih frekvencija. Među FS metodama izdvaja se tzv. direktni ili digitalni FS metod (DFSM-Direct/Digital Frequency Smoothing Method). Ovaj metod proračunava frekventijske komponente, a zatim se računa spektralna korelacija direktno na tim komponentama u određenom frekventijskom opsegu  $\Delta f$ .

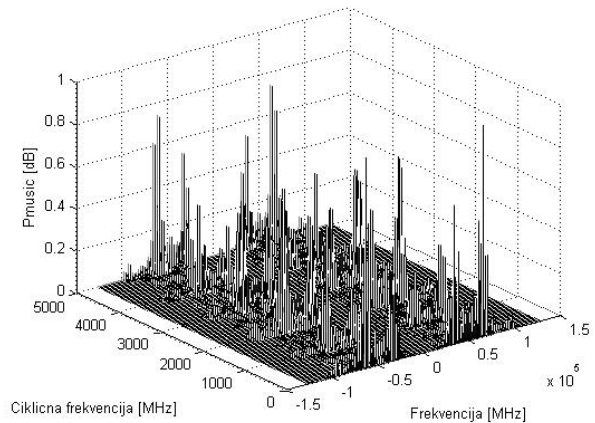
Na Sl.2 prikazana je implementacija DFSM algoritma [6].



Sl. 2. Implementacija DFSM algoritma.

### V. CIKLOSTACIONARNA ANALIZA UWB IR TH-PPM SIGNALA

U [7] je pokazano da TH-PPM UWB IR signali ispoljavaju ciklična obeležja na cikličnim frekvencijama koji predstavljaju multiple simbolske brzine,  $\alpha = n/T_s$ , gde je  $n$  ceo broj. Na Sl. 3. prikazan je ciklični spektar TH-BPPM UWB IR signala kod koga je vreme trajanja simbola  $T_s = 1 ns$ . Sa slike se može videti da se ciklična obeležja ispoljavaju na cikličnim frekvencijama koje odgovaraju multiplima simbolske brzine  $\alpha = n \cdot 1 GHz$ .



Sl. 3. Ciklični spektar TH-BPPM signala.

U dostupnoj literaturi više je pažnje dato proceni cikličnog spektra na bazi analitičkih izraza za UWB IR TH-

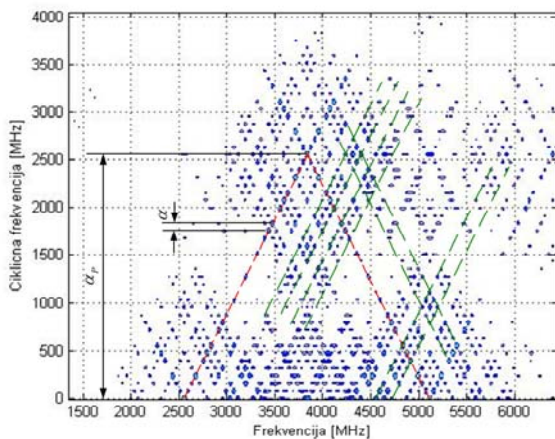
PPM signale. U ovom radu je izvršena analiza cikličnog spektra UWB IR TH-PPM signala korišćenjem DFSM metode. Sličan postupak je korišćen i pri analizi radarskih signala [8].

U Tabeli 1. dati su parametri tri UWB IR TH-BPPM signala koji su simulirani i za koje je procenjen ciklični spektar korišćenjem DFSM metode.

TABELA 1: PARAMETRI UWB IR TH-PPM SIGNALA.

<b>PARAMETRI</b>	<b>I SIGNAL</b>	<b>II SIGNAL</b>	<b>III SIGNAL</b>
Vreme trajanja informacionog simbola $T_s$ [ns]	12.5	12.5	12.5
Broj frejmova $N_f$	4	5	6
Vreme trajanja impulsa $T_p$ [ns]	0.39062	2.5	0.1737
Sekvenca skakanja	[1 0 2 3]	[1 4 0 2 3]	[1 4 0 2 5 3]

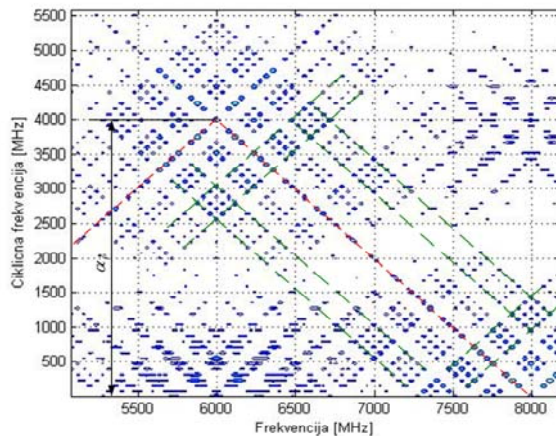
Na Sl. 4. prikazan je konturni prikaz cikličnog spektra, za I signal, u opsegu cikličnih frekvencija  $\alpha = [0 \ 4000 \text{ MHz}]$ . Na osnovu konturnog prikaza cikličnog spektra mogu se detektovati ciklična obeležja, odnosno ciklične frekvencije na kojima posmatrani signal ispoljava ciklična obeležja. Posmatrani signal ispoljava ciklična obeležja na multiplima simbolske brzine,  $\alpha = n/T_s = n \cdot 80 \text{ MHz}$ .



Sl. 4. Konturni prikaz cikličnog spektra dobijenog korišćenjem DFSM metodom za I signal.

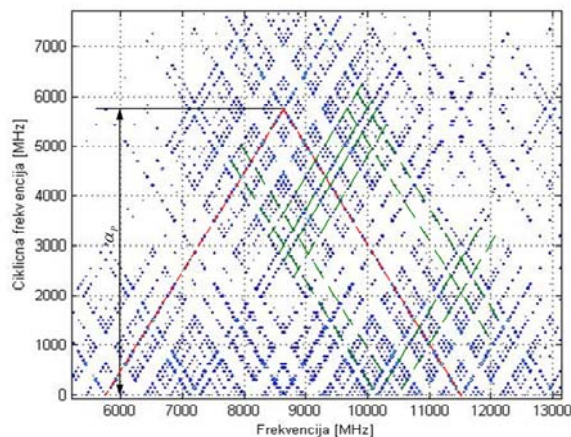
Osim što se ciklična obeležja ispoljavaju na cikličnim frekvencijama koje odgovaraju multiplima simbolske brzine, može se primetiti da postoje i dominantna ciklična obeležja u osnovnom opsegu. Krajnje dominantno ciklično obeležje se ispoljava na cikličnoj frekvenciji čija vrednost je obrnuto proporcionalna vremenu trajanja impulsa,  $\alpha_p = 1/T_p$ . Na osnovu prikazanih cikličnih spektara signala Sl. 4, Sl. 5 i Sl. 6 mogu se detektovati

odgovarajuća dominantna ciklična obeležja čije ciklične frekvencije  $\alpha_p$  su obrnuto proporcionalne vrednosti vremena trajanja impulsa  $T_p$ . Tačnost u proceni vremena trajanja impulsa zavisi od ciklične rezolucije sa kojom se izračunava ciklični spektar. Procenjena vrednost parametara UWB IR TH-PPM signala je data u Tabeli 2.



Sl. 5. Konturni prikaz cikličnog spektra dobijenog korišćenjem DFSM metodom za II signal.

Vreme trajanja impulsa kod UWB IR TH-PPM signala zavisi od vremena trajanja informacionog simbola, broja frejmova, vremena trajanja jednog čipa i broja nivoa kod PPM modulacije. U opštem slučaju vreme trajanja impulsa se može definisati kao  $T_p = T_c/k = T_s/(N \cdot N_f \cdot k)$ , gde  $k$  predstavlja odnos vremena trajanja čipa i vremena trajanja impulsa.



Sl. 6. Konturni prikaz cikličnog spektra dobijenog korišćenjem DFSM metodom za III signal.

Obzirom da je analizom cikličnog spektra moguće jednostavno proceniti vrednost vremena trajanja simbola i impulsa, ostaje pitanje određivanja parametara  $N$ ,  $N_f$  i  $k$ . Kod UWB IR TH-PPM signala veličina TH sekvence odgovara broju frejmova  $N = N_f$  i u tom slučaju problem određivanja parametara se svodi na određivanje vrednosti dva parametra  $N_f$  i  $k$ .

Posmatrajući ciklični spektar simuliranih signala može se uočiti da postoje određene oblasti (trake) u kojima signal ispoljava ciklična obeležja. Maksimalna širina ovih

oblasti odgovara vrednosti  $(N-2) \cdot \alpha$ , gde je  $\alpha$  ciklična frekvencija koja odgovara simboličkoj brzini. Na osnovu širine ovih oblasti može se odrediti parametar  $N$ .

Odnos vremena trajanja čipa i vremena trajanja impulsa, parametar  $k$ , može se dobiti na osnovu već procenjenih parametara,  $k = \frac{\alpha_p}{\alpha} \cdot \frac{1}{N^2}$ . Kod sva tri simulirana signala odnos vremena trajanja čipa i vremena trajanja impulsa je iznosio  $k=2$  što je i potvrđeno procenom parametara  $\alpha_p$ ,  $\alpha$  i  $N$ .

Analizirajući konturni prikaz cikličnog spektra dobijenog korišćenjem DFSM metodom za simulirane signale (Sl. 4, Sl. 5 i Sl. 6) mogu se proceniti sledeći parametri prikazani u Tabeli 2.

TABELA 2: PROCENJENI PARAMETRI UWB IR TH-PPM SIGNALA.

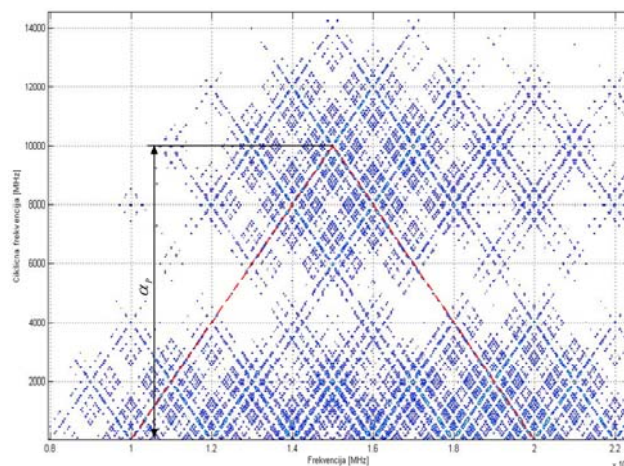
PROCENJENI PARAMETRI	I SIGNAL	II SIGNAL	III SIGNAL
Vreme trajanja informacionog simbola $T_s$ [ns]	12.5	12.5	12.5
Veličina TH sekvence i broja frejmova $N_f$	4	5	6
Vreme trajanja impulsa $T_p$ [ns]	0.39139	2.5031	0.17376

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je korišćenjem ciklostacionarne analize moguće proceniti bitne parametre UWB IR TH-PPM signala. Procena ovih parametara je značajna u sistemima koji imaju za cilj lokalizaciju UWB IR TH-PPM predajnika i onemogućavanje rada ovih sistema, kao što su sistemi za elektronsko ratovanje.

Potvrda mogućnosti procene parametra  $k$  je proverena simuliranjem IV signala kod koga je odnos vremena trajanja čipa i vremena trajanja impulsa iznosio  $k=5$ , ostali parametri su identični sa parametrima II signala. Ciklični spektar IV signala je prikazan na Sl. 7. Analizom prikazanog cikličnog spektra uočava se krajnje dominantno ciklično obeležje u osnovnom obeležje na cikličnoj frekvenciji  $\alpha_p=10\text{GHz}$ . Takođe, mogu se izdvojiti trake u kojima se ispoljavaju ciklična obeležja sa maksimalnom širinom od 240 MHz, što odgovara veličini TH sekvence, odnosno broju frejmova  $N=N_f=5$ . Na osnovu izraza  $k = \frac{\alpha_p}{\alpha} \cdot \frac{1}{N^2}$  dobija se da je vrednost parametra  $k=5$ .

## VI. ZAKLJUČAK

U radu je ispitana mogućnost primene ciklostacionarne analize signala u cilju procene parametara UWB IR TH-PPM signala. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da se analizom cikličnog spektra mogu proceniti svi bitni parametri UWB IR TH-PPM signala.



Sl. 7. Konturni prikaz cikličnog spektra dobijenog korišćenjem DFSM metodom za IV signal.

## LITERATURA

- [1] F. Nekoogar, *Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications* Prentice Hall., Aug. 2005.
- [2] M. G. Di Benedetto, T. Kaiser, A. F. Molisch, I. Oppermann, C. Politano, and D. Porcino, Eds., *UWB Communication Systems - A Comprehensive Overview*. EURASIP Book Series on Signal Processing and Communications, Hindawi Publishing Corporation, 2006.
- [3] D. Adamy: "Advances in Signal Processing for Electronic Warfare", September 1995, <http://www.jedefense.com>
- [4] W. A. Gardner (Ed.), *Cyclostationarity in Communications and Signal Processing*. IEEE Press, New York, NY, 1994.
- [5] D. Vučić, *Ciklična spektralna analiza signala*, Zadužbina Andrejević, Beograd, 2001.
- [6] W.A.Brown and H.H.Loomis, "Digital implementations of spectral correlation analyzers", *IEEE Trans. On Signal Processing*, vol.41, No.2, pp. 703-720, February 1993.
- [7] D. Vučić, M. Erić i I. Pokrajac, "Cyclic Spectral Analysis of TH-PPM UWB Impulse Radio Signal", *Zbornik radova TELSIKS 09*, 2009. – rad prihvaćen za objavljivanje.
- [8] Antonio F. Lima, „Analysis of low probability of intercept (lpi) radar signals using cyclostationary processing“, Master's Thesis, Naval Postgraduate School, 2002.

## ABSTRACT

Cyclostationary analysis of UWB impulse radio signal with TH-PPM is presented in this paper. Presented results show that using cyclic spectral analysis is possible to estimate all parameters of UWB IR TH-PPM signals.

## CYCLIC SPECTRAL ANALYSIS OF UWB IMPULSE RADIO SIGNALS WITH TH-PPM

Ivan P. Pokrajac, Desimir Vucic and Predrag Okiljevic