

# Sistem višestrukih podnosilaca baziran na Affine Fourierovoj transformaciji u mobilnim satelitskim kanalima

Alen Pelinković, Đuro Stojanović, *Member, IEEE*, Igor Djurović, *Senior Member, IEEE*

**Sadržaj** — U radu je predstavljen sistem višestrukih podnosilaca baziran na Affine Fourierovoj transformaciji (AFT-MC) u mobilnim satelitskim kanalima sa kombinovanim Doplerovim profilom snage (DPS). AFT-MC predstavlja uopštenje ortogonalnog frekvencijskog multipleksa (OFDM) koji zadržava sve bitne osobine OFDM-a i daje dodatan stepen slobode u smanjivanju interferencije izazvane Doplerovim širenjem u vremenski-promjenjivim kanalima. Dobijeni su optimalni parametri i dati praktični primjeri AFT-MC modulacionog postupka u LMS kanalima, koji potvrđuju efikasnost tehnike.

**Gljučne riječi** — Mobilni satelitski kanali, Affine Fourierova transformacija, Doplerovo širenje, Doplerov profil snage, vremenski-promjenjivi kanali.

## I. UVOD

NARASTAJUĆA potreba za mobilnim komunikacijama dovela je do porasta primjene mobilnih satelitskih (LMS- land-mobile satellite) komunikacija u raznim aplikacijama poput navigacije, radiodifuzije itd. [1]. LMS je prepoznat kao kandidat za primjenu u slabo naseljenim oblastima sa slabom komunikacionom infrastrukturom gdje nije isplativa implementacija zemaljskih komunikacionih sistema [2].

Performanse LMS komunikacionog sistema se degradiraju usled kretanja mobilne jedinice i multipath (višestruke) propagacije, što je blisko povezano sa tipom okruženja u kome se odvija komunikacija. Vremenska disperzija koja je posledica višestruke propagacije dovodi do pojave intersimbolske interferencije (ISI-intersymbol interference), dok Doplerovo širenje, koje se odnosi na kretanje mobilne jedinice, dovodi do pojave interferencije između podnosilaca (ICI-intercarrier interference) [3]. Uticaj višestruke propagacije se može eliminisati dodavanjem zaštitnog intervala (GI - guard interval) dovoljnog trajanja.

Sistem višestrukih podnosilaca baziran na Affine Fourierovoj transformaciji (AFT-MC) predstavlja uopštenje Fourierove i fracione Fourierove transformacije

A. Pelinković, Telemont d.o.o., Vijenci Danila Kiša 2, 81000 Podgorica, Crna Gora; (e-mail: alen.p@t-com.me)

Đ. Stojanović, Crnogorski Telekom A.D., Bulevar Sv. Petra Cetinskog 3, 81000 Podgorica, Crna Gora; (e-mail: djuro.stojanovic@telekom.me).

I. Djurović, Elektrotehnički fakultet u Podgorici, Bulevar Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora; (e-mail: igordj@ac.me)

(FrFT). Kao takva tehnika, od skora je predložena za upotrebu u bežičnim kanalima [4]. U [5] i [6] je demonstrirano da je AFT-MC optimalan za prenos unutar kanala sa LOS (Line-of-sight) komponentom i uskim snopom multipath komponenti, i kao takav prepoznat kao kandidat za prenos u satelitskim kanalima.

U ovom radu ćemo razmatrati AFT-MC sistem u LMS kanalima sa asimetričnim (Jakes-ovim) modelom Doplerovog profila snage (DPS) i LOS komponentom koja slijedi lognormalnu raspodjelu. Ovaj model dobro opisuje fizičke fenomene kanala [7].

Promjene izazvane Doplerovim širenjem i multipath propagacijom su estimirane korišćenjem momenata funkcije kanala. Momenti i optimalni parametri su dobijeni u zatvorenoj formi, praćeni proračunom za praktičan slučaj LMS kanala. Dobijeni rezultati potvrđuju činjenicu da AFT-MC ima odlične sposobnosti u suzbijanju interferencije izazvane Doplerovim širenjem u kanalima sa LOS komponentom i uskim snopom multipath komponenti. AFT-MC ima bolje karakteristike u LMS kanalima i predstavlja efikasan komunikacioni sistem. U najgorem slučaju, kada nije prisutna LOS komponenta, AFT-MC ponaša kao ortogonalni frekvencijski multipleks (OFDM).

Rad je organizovan na sljedeći način. Analiza snage interferencije je data u dijelu II. Karakteristike kanala i optimalni parametri u zatvorenoj formi su predstavljeni u dijelu III. Primjer praktične implementacije je dat u dijelu IV. Konačno na kraju je u dijelu V dat zaključak.

## II. ANALIZA SNAGE INTERFERENCIJE

Signal AFT-MC sistema u osnovnom opsegu učestanosti sa ukupno  $M$  podnosilaca je dat kao:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{M-1} c_{n,k} g_{n,k}(t), \quad (1)$$

gdje su  $\{c_{n,k}\}$  simboli,  $n$  i  $k$  su redni brojevi simbola i podnosilaca, respektivno,  $g_{n,k}$  predstavlja vremenski pomjerenu i modulisanu (chirp bazom) verziju osnovnog impulsa  $g(t)$ :

$$g_{n,k}(t) = g(t-nT) e^{j2\pi(c_1(t-nT)^2 + c_2k^2 + \frac{k}{T}(t-nT))}, \quad (2)$$

gdje je  $T$  period simbola,  $c_1$  i  $c_2$  su AFT parametri. Pretpostavljeno je da su simboli podataka  $\{c_{n,k}\}$  statistički nezavisne, identično distribuirane slučajne promjenjive sa nultom srednjom vrijednošću i jediničnom varijansom.

Signal na strani prijema je dat kao [8]:

$$r(t) = (\mathbf{H}s)(t) + n(t), \quad (3)$$

gdje je dvostruko disperzivni kanal modelovan sa multipath fading linearnim operatorom  $\mathbf{H}$ ,  $n(t)$  predstavlja aditivni bijeli Gausov šum sa jednostranom spektralnom gustinom snage šuma  $N_0$ . Signal na strani prijema se rekonstruiše projekcijom prijemnog signala na set  $\{g_{n,k}(t)\}$ . Prijemni simboli  $\{c_{n,k}\}$  se mogu izraziti kao [9]:

$$\begin{aligned} \hat{c}_{n,k} &= \langle \mathbf{H}s, g_{n,k} \rangle + \langle n, g_{n,k} \rangle \\ &= \sum_{n'=-\infty}^{\infty} \sum_{k'=0}^{M-1} c_{n',k'} g_{n,k,n',k'} + \langle n, g_{n,k} \rangle. \end{aligned} \quad (4)$$

gdje koeficijenti  $g_{n,k,n',k'} = \langle \mathbf{H}g_{n,k,n',k'} \rangle$  predstavljaju produkte kanala, unešene između predajnog i prijemnog impulsa.

Za većinu bežičnih kanala je kao standardni stohastički model prihvaćen WSSUS model (Wide-sense stationary uncorrelated scattering model) [8]. Ovaj model pretpostavlja da su različita kašnjenja i Doplerovi pomjeraji međusobno nekorelisani. U skladu sa WSSUS osobinama, scattering funkcija koja u potpunosti karakteriše kanal se može definisati kao :

$$E[h(\tau, \nu)h^*(\tau_1, \nu_1)] = S(\tau, \nu)\delta(\tau - \tau_1)\delta(\nu - \nu_1). \quad (5)$$

Scattering funkcija karakteriše osobine kanala u odnosu na vremensko kašnjenje  $\tau$  i Doplerov pomjeraj  $\nu$ . Projekcija scattering funkcije duž  $\tau$  i  $\nu$  ose se zove profil snage kašnjenja (PSK) i DPS :

$$Q(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\tau, \nu) d\nu, \quad (6)$$

$$P(\nu) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\tau, \nu) d\tau, \quad (7)$$

respektivno. Za scattering funkciju se može pretpostaviti da ima nultu srednju vrijednost i jediničnu ukupnu snagu. Slično kao klasična ambiguity funkcija [9], linearno transformisana ambiguity funkcija  $A(\tau_p, \nu_p)$  se može definisati kao [5]:

$$A(\tau_p, \nu_p) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t)g^*(t - \tau_p)e^{-j2\pi\nu_p t} dt, \quad (8)$$

gdje je

$$\begin{aligned} \tau_p &= (n' - n)T + \tau, \\ \nu_p &= \frac{1}{T}(k' - k) + \nu - c_0 - 2c_1((n' - n)T + \tau). \end{aligned} \quad (9)$$

Razmotrimo sada uopšten slučaj gdje imamo sistem sa pravougaonim impulsima  $g(t) = 1/\sqrt{T}$ ,  $-T/2 \leq t \leq T/2$  bez GI. Za ovaj slučaj se ambiguity funkcija  $|A(\tau_p, \nu_p)|^2$  za  $n=n'$  i  $k=k'$  može izraziti kao [6]:

$$|A(\tau_p, \nu_p)|_{n=n', k=k'}^2 = \frac{\sin^2 \pi(\nu - c_0 - 2c_1\tau)(T - \tau)}{\pi^2(\nu - c_0 - 2c_1\tau)^2 T^2}. \quad (10)$$

Korisna snaga se dobija kao [5]:

$$P_U = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} S(\tau, \nu) |A(\tau_p, \nu_p)|_{n=n', k=k'}^2 d\tau d\nu. \quad (11)$$

Snaga interferencije  $P_I$  u bežičnim kanalima se dobija kao:

$$P_I = 1 - \int_{-\nu_d}^{\nu_d} \int_0^{\tau_{\max}} S(\tau, \nu) |A(\tau_p, \nu_p)|_{n=n', k=k'}^2 d\tau d\nu. \quad (12)$$

gdje vremensko i frekvencijsko širenje imaju konačnu vrijednost  $\tau \in [0, \tau_{\max}]$  i  $\nu \in [-\nu_d, \nu_d]$ .

AFT-MC sistem se svodi respektivno na FrFT i OFDM bazirani sistem za  $c_1 = \cot\alpha/(4\pi)$  i  $c_1=0$  u (9) [5]. Bitno je naglasiti da AFT-MC parametar  $c_2$  ne utiče na interferenciju sistema.

Dodavanjem GI dovoljnog trajanja, efekti kašnjenja prouzrokovanog multipath komponentama se mogu eliminisati. U tom slučaju se interferencija može ograničiti sa gornje i donje strane korišćenjem osobina Tejlorovog reda [5][6]. Gornja granica se dobija iz (12) korišćenjem osobina Tejlorovog reda  $1 - \cos\theta \geq (1/2)\theta^2 - (1/24)\theta^4$  kao [10]:

$$P_{IUB} \leq \frac{1}{3} m_{20}(c_0, c_1) \pi^2 T^2, \quad (13)$$

gdje  $m_{i,j}(c_0, c_1)$  za  $i, j \in N$  predstavlja momente scattering funkcije definisane kao [5]:

$$\begin{aligned} m_{ij}(c_0, c_1) &= \int_{-\nu_d}^{\nu_d} \int_0^{\tau_{\max}} S(\tau, \nu) \\ &\quad \times (\nu - c_0 - 2c_1\tau)^i \tau^j d\tau d\nu. \end{aligned} \quad (14)$$

OFDM momenti  $m_{i,j}(0,0)$  se mogu dobiti za  $c_0=0$  i  $c_1=0$ .

AFT-MC momenti  $m_{i,j}(c_0, c_1)$  se mogu izračunati iz OFDM momenata  $m_{i,j}(c_0, c_1)$  kao [5]:

$$\begin{aligned} m_{ij}(c_0, c_1) &= \sum_{k=0}^i \sum_{l=0}^{i-k} (-1)^{l+k} \binom{i}{k} \binom{i-k}{l} \\ &\quad \times c_0^l (2c_1)^k m_{i-k-l, k+j}(0,0). \end{aligned} \quad (15)$$

### III. KARAKTERISTIKE KANALA

Analizirajmo sada uopšteni slučaj multipath scenarija. Snaga LOS komponente koja stiže u trenutku  $\tau=0$  sa frekvencijskim offset-om  $\nu_{LOS}$  je  $K/(K+1)$ . Multipath komponente su modelovane sa scattering funkcijom sa snagom  $1/(K+1)$ . Parametar  $K$  je Rice-ov faktor i predstavlja odnos snage LOS komponente i snage multipath komponenti.

Uopštena scattering funkcija se može modelovati kao:

$$\begin{aligned} S(\tau, \nu) &= \frac{K}{K+1} \left[ a \cdot \delta(\tau) \delta(\nu - \nu_{LOS}) + b \cdot P_{1diff}(\nu) \right] \\ &\quad + \frac{1}{K+1} S_{diff}(\tau, \nu), \end{aligned} \quad (16)$$

gdje se sa  $S_{diff}(\tau, \nu)$  modeluju multipath komponente, dok  $P_{1diff}(\nu)$  predstavlja Gauss-ov DPS, pri čemu za snage direktne komponente  $a$  i Gauss-e DPS komponente  $b$  važi  $a+b=1$ .

#### LMS model kanala

U LMS kanalima, generalno imamo pored multipath komponenti i jaku LOS komponentu. Spektralne karakteristike ovih komponenti zavise od slabljenja prouzrokovanog okolnim objektima (kućama, šumom, manjim zgradama, itd.). Analiza ponašanja kanala zavisi od osobina funkcije  $S_{diff}(\tau, \nu)$ .

Postoje tri karakteristična scenarija u LMS kanalima u zavisnosti od  $S_{diff}(\tau, \nu)$ : odvojena scattering funkcija,

odvojena scattering funkcija sa grupom rasutih multipath putanja i scenario sa dvije putanje.

U ovom radu će biti analiziran drugi scenario kanala.

Odvojena scattering funkcija ima oblik:

$$S_{diff}(\tau, \nu) = P_{2diff}(\nu) \delta(\tau - \tau_{diff}), \quad (17)$$

gdje  $\tau_{diff}$  predstavlja vremensko kašnjenje rasutih komponenti, a  $P_{2diff}(\nu)$  DPS multipath komponenti. Pretpostavimo da  $P_{1diff}(\nu)$  i  $P_{2diff}(\nu)$  zadovoljavaju:

$$\int_{-v_d}^{v_d} P_{n,diff}(\nu) d\nu = 1, \quad (18)$$

dok  $v_d$  predstavlja maksimalan Doplerov pomjeraj i  $n$  uzima vrijednosti 1 i 2. Sada se parametri  $\alpha_{1i}$  i  $\alpha_{2i}$  mogu definisati kao:

$$\begin{aligned} \alpha_{1i} &= \int_{-v_d}^{v_d} P_{1diff}(\nu) \nu^i d\nu, \\ \alpha_{2i} &= \int_{-v_d}^{v_d} P_{2diff}(\nu) \nu^i d\nu, \end{aligned} \quad (19)$$

Momenti scattering funkcije se mogu izračunati kao:

$$\begin{aligned} m_{10}(0,0) &= \frac{K}{K+1} [a \cdot v_{LOS} + b \cdot \alpha_{11}] + \frac{1}{K+1} \alpha_{21}, \\ m_{20}(0,0) &= \frac{K}{K+1} [a \cdot v_{LOS}^2 + b \cdot \alpha_{12}] + \frac{1}{K+1} \alpha_{22}, \\ m_{01}(0,0) &= \frac{1}{K+1} \beta_1, \\ m_{02}(0,0) &= \frac{1}{K+1} \beta_2, \\ m_{11}(0,0) &= \frac{1}{K+1} \alpha_{21} \beta_1. \end{aligned} \quad (20)$$

Momenti  $m_{20}(0,0)$  i  $m_{02}(0,0)$  imaju značajan fizički smisao jer predstavljaju Doplerovo i vremensko širenje, respektivno.

#### A. Optimalni parametri

Optimalni koeficijenti  $c_{0opt}$  i  $c_{1opt}$  se mogu izračunati minimizovanjem Doplerovog širenja  $m_{20}(c_0, c_1)$  kao [11]:

$$\begin{aligned} c_{0opt} &= \frac{m_{02}(0,0)m_{10}(0,0) - m_{01}(0,0)m_{11}(0,0)}{m_{02}(0,0) - m_{01}^2(0,0)}, \\ c_{1opt} &= \frac{m_{11}(0,0) - m_{01}(0,0)m_{10}(0,0)}{2(m_{02}(0,0) - m_{01}^2(0,0))}. \end{aligned} \quad (21)$$

Momenti za AFT-MC se mogu dobiti iz (20), pri čemu se parametri  $c_0$  i  $c_1$  uzimaju kao (21). Snaga interferencije za OFDM ili AFT-MC sistem se može direktno izračunati ubacivanjem  $m_{20}(0,0)$  i  $m_{20}(c_0, c_1)$  u (13).

#### IV. PRAKTIČNI PRIMJERI

MC tehnike u LMS kanalima predstavljaju trenutno atraktivno područje istraživanja [1]. U ovom dijelu rada predstavljamo praktičan primjer LMS kanala za scenario sa LOS komponentom i grupom rasutih komponenti koji se može opisati preko (16) i (17) [12]. Pretpostavljeno je da je trajanje simbola  $T=224\mu s$ , noseća frekvencija  $f_c=1.55$  GHz, maksimalni Doplerov pomjeraj zavisi od brzine  $v_{max}=v_{max}f_c/c$ , gdje  $c$  predstavlja brzinu svjetlosti, a maksimalna brzina do  $v_{max}=50$  m/s.

U ovom slučaju mobilni prijemnik se nalazi u ruralnoj oblasti i koristi usmjerene antene, koje su postavljene u pravcu kretanja. Rezultujući DPS u ovom okruženju je asimetričan [13][14]. Pored multipath komponenti na prijemu imamo i sporo promjenljivu LOS komponentu koja slijedi lognormalnu raspodjelu. Radi što približnijeg proračuna fizičkoj stvarnosti potrebno je uzeti u obzir i asimetričan Jakes-ov DPS i Gauss-ov DPS.

Pretpostavljeno je da je ugao između pravca kretanja mobilne jedinice i položaja antene  $\eta=15^\circ$ , elevacioni ugao je  $\zeta=45^\circ$  i usmjerenost antene je  $\beta=12^\circ$ . Parametri Jakes-ovog DPS-a se mogu dobiti kao [15]:

$$\begin{aligned} v_{j1} &= v_d \cos(\eta + \beta/2), \\ v_{j2} &= v_d \cos(\eta - \beta/2), \\ v_{LOS} &= v_d \cos(\zeta) \cos(\eta). \end{aligned} \quad (22)$$

Rasijane komponente su modelovane pomoću ograničenog Jakes-ovog modela kao [7][16]:

$$P_{2diff}(\nu) = \psi_2 \frac{1}{v_{max} \sqrt{1 - \left(\frac{\nu}{v_{max}}\right)^2}}, \nu_{j1} \leq \nu \leq \nu_{j2}, \quad (23)$$

gdje je  $k_0$  realan parametar u intervalu od (0,1]. Ako je  $k_0=1$  onda se dobija klasičan Jakes-ov DPS, dok ako je  $0 < k_0 < 1$  dobija se ograničen Jakes-ov model. Konstanta  $\psi_2$  predstavlja faktor uveden da normalizuje asimetričan DPS i data je kao:

$$\psi_2 = 1 / \left[ \arcsin\left(\frac{v_{j2}}{v_{max}}\right) - \arcsin\left(\frac{v_{j1}}{v_{max}}\right) \right]. \quad (24)$$

DPS za LOS komponentu sa uskim regionom ograničenim oko direktne komponente se modeluje sa Gauss-ovom funkcijom kao [7]:

$$P_{1diff}(\nu) = \psi_1 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_c} e^{-\left(\nu - v_{LOS}\right)^2 / 2\sigma_c^2}, \quad (25)$$

gdje je  $v_{LOS}$  Doplerov pomjeraj LOS komponente,  $\psi_2$  je normalizacioni faktor koji je dat kao:

$$\psi_1 = \frac{1}{\text{Erf}\left(\frac{\Delta v_c}{\sqrt{2}\sigma_c}\right)} \quad (26)$$

Parametar  $\sigma_c$  se odnosi na 3-dB cut-off frekvenciju  $\Delta v_c = k_0(f_{max}/k_c)$  i dobija se prema [7]:

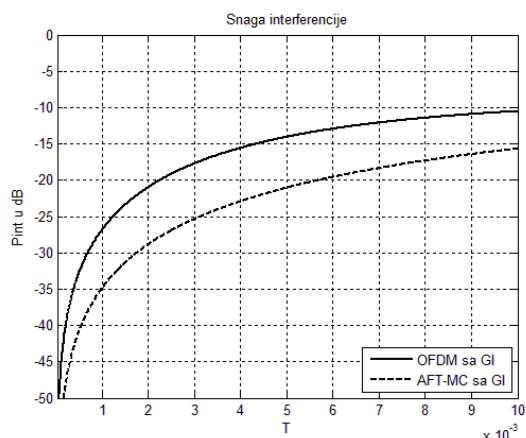
$$\sigma_c = \frac{k_0 f_{max}}{\sqrt{2 \ln(2)} k_c}, \quad (27)$$

Konstanta  $k_c$  je uvedena radi pogodnijeg izražavanja  $\sigma_c$ . Granice Gauss-ovog modela su  $v_{g1} = v_{LOS} - \Delta v_c$  i  $v_{g2} = v_{LOS} + \Delta v_c$ .

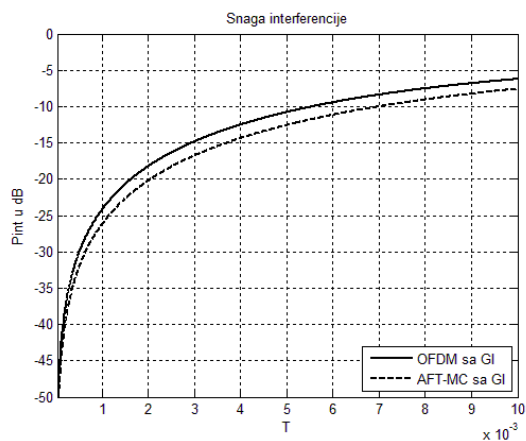
Parametri  $a$  i  $b$  su definisani kao 0.7 i 0.3, respektivno. Za ruralni nebrdoviti model  $\tau_{diff}=33 \mu s$ .

Na sl. 1 i sl. 2 je dato poređenje snage interferencije za OFDM (sa korekcijom frekvencijskog offset-a) i AFT-MC. U prvom primjeru je analiziran slučaj slabog sijenčenja, dok je u drugom slučaju sijenčenje izražajnije. Sa sl. 1 i sl. 2 se jasno vidi da je AFT-MC bolji od OFDM-a u oba slučaja: u prvom za 6-8 dB, a u drugom za 2-3 dB.

Takođe, može se zaključiti da se sa povećanjem asimetrije rezultujućeg DPS-a, povećava superiornost



Sl. 1. Poređenje snage interferencije za OFDM i AFT-MC u LMS kanalima sa kombinovanim asimetričnim Jakes-ovim i Gauss-ovim DPS-om za  $K=7\text{dB}$ ,  $k_c=10$  i  $k_0=0,6731$



Sl. 2. Poređenje snage interferencije za OFDM i AFT-MC u LMS kanalima sa kombinovanim asimetričnim Jakes-ovim i Gauss-ovim DPS-om za  $K=-2.33\text{dB}$ ,  $k_c=10$  i  $k_0=0,6831$

#### V. ZAKLJUČAK

U ovom radu su istraživane osobine AFT-MC tehnike u LMS kanalima sa kombinovanim DPS-om. Dobijeni su optimalni parametri kao i izrazi za momente scattering funkcije u zatvorenoj formi. Dati su primjeri praktične implementacije koji prikazuju efikasnost i fleksibilnost AFT-MC u smanjivanju interferencije izazvane Doplerovim širenjem u LMS kanalima. S obzirom da AFT-MC predstavlja uopštenje OFDM-a, pogodan je za aplikacije gdje se koristi OFDM, gdje bi u najgorem slučaju imao iste performanse. Dodatno, superiornost nad OFDM-om kada je prisutna LOS komponenta čini AFT-MC dobrim kandidatom za prenos u LMS kanalima.

#### LITERATURA

- [1] W. W. Wu, "Satellite communications," *Proc. IEEE*, vol. 85, no. 7, pp. 998–1010, June 1997. W.K. Chen, *Book style*. Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 1–15.
- [2] J. V. Evans, "Satellite systems for personal communications," *Proc. IEEE*, vol. 86, no. 7, pp. 1325–1341, July 1998.
- [3] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 4th. ed., New York: McGraw-Hill, 2000.
- [4] T. Erseghe, N. Laurenti, and V. Cellini, "A multicarrier architecture based upon the affine Fourier transform," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 53, no. 5, pp. 853–862, May 2005.
- [5] Đ. Stojanović, I. Đurović, and B. R. Vojčić, "Interference analysis of multicarrier systems based on Affine Fourier transform," *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 8, no. 6, pp. 2877–2880, June 2009.
- [6] A. Pelinković, I. Đurović, Đ. Stojanović "Sistem višestrukih podnosilaca baziran na Affine Fourierovoj transformaciji u vazduhoplovnim kanalima," IT' 2010 Žabljak, Žabljak, Crna Gora, 24–27. Februara 2010.
- [7] M. Patzold, Y. Li, F. Laue, "A Study of a Land Mobile Satellite Channel Model with Asymmetrical Doppler Power Spectrum and Lognormally Distributed Line-of-Sight Component," *IEEE Trans. on Vehicular Tehnology*, vol. 47, pp. 297–310, February 1998.
- [8] P. A. Bello, "Characterization of randomly time-variant linear channels," *IEEE Trans. Commun. Syst.*, vol. 11, no. 4, pp. 360–393, Dec. 1963.
- [9] W. Kozek and A. F. Molisch, "Nonorthogonal pulseshapes for multicarrier communications in doubly dispersive channels," *IEEE J. Select. Areas In Commun.*, vol. 16, no. 8, pp. 1579–1589, Oct. 1998.
- [10] Y. Li and L. Cimini, "Bounds on the interchannel interference of OFDM in time-varying impairments," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 49, no. 3, pp. 401–404, March 2001.
- [11] S. Barbarossa and R. Torti, "Chirped-OFDM for transmissions over time-varying channels with linear delay/Doppler spreading," in *Proc. IEEE ICASSP'01 Salt Lake City*, vol. 4, pp. 2377–2380, May 2001.
- [12] F. P. Fontan, M. Vazquez-Castro, C. E. Cabado, J. P. Garcia, E. Kubista, "Statistical modeling of the LMS channel," *IEEE Trans. Veh Technol.*, vol. 50, no. 6, pp. 1549–1567, Nov 2001.
- [13] B. Vucetic and J. Du, "Channel modeling and simulation in satellite mobile communication systems," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 10, no. 8, pp. 1209–1218, 1992.
- [14] M. J. Miller, B. Vucetic, and L. Berry, Eds., *Satellite Communications: Mobile and Fixed Services*, 3rd ed. Boston, MA: Kluwer, 1995.
- [15] M. Rice and E. Perrins, "A Simple Figure of Merit for Evaluating Interleaver Depth for the Land-Mobile Satellite Channel," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 49, no. 8, pp. 1343–1353, Aug. 2001.
- [16] M. Paetzold, *Mobile Fading Channels*, Wiley, New York, 2002.

#### ABSTRACT

We present a multicarrier system based on the Affine Fourier transform (AFT-MC) in land-mobile satellite channels (LMS) with the combined Doppler power profile (DPP). The AFT-MC is considered as a generalization of the orthogonal frequency division multiplexing (OFDM), which keeps all important properties of OFDM and, in addition it gives new degree of freedom in reducing interference caused by Doppler spreading in time-varying multipath systems. The optimal parameters are obtained in the closed form, where is showed the efficiency of the AFT-MC technique.

#### Multicarrier Communications Based on Affine Fourier Transform in Land Mobile Satellite Channels

Alen Pelinković, Đuro Stojanović, Igor Djurović