

## ارائه یک روش جدید برای سنکرون سازی زمانی و فرکانسی مبتنی بر تبدیل فوریه کسری در سیستم های OFDM

محمدرضا حیدرپور

پدرام صمدی

محسن نادرطهرانی

mrheidarpour@gmail.com

pedramsamadi@gmail.com

mntehrani@gmail.com

### چکیده

برتری بی چون چرای روش پیشنهادی نسبت به روش های قبل، مخصوصاً در SNR های پایین می باشد.

### مقدمه

امروزه در بسیاری از استانداردهای مخابرات بی سیم که سعی در ایجاد ارتباط با سرعت بالا دارند، استفاده از تکنولوژی OFDM، جایگاه ویژه ای پیدا کرده است. ایده اصلی که در پشت این تکنولوژی قرار دارد این است که کل باند فرکانسی (که دارای ویژگی frequency selective می باشد) را به تعدادی زیر کانال تقسیم کنیم که در این زیر کانال ها مشخصه فرکانسی هموار باشد. با توجه به ویژگی های سیستم های OFDM تمایل بسیاری وجود دارد که از این تکنولوژی به نحوی در سیستم های با دسترسی همگانی استفاده شود. از ترکیب تکنولوژی OFDM و سیستم های FDMA، سیستم های OFDMA

امروزه استفاده از مخابرات باند گسترده بدلیل افزایش حجم مبادله اطلاعات اجتناب ناپذیر است و از میان روش های پیشنهادی برای این کار، روش استفاده از OFDM بدلیل ویژگی های منحصر به فرد (از قبیل سادگی همسان سازی کانال، سادگی پیاده سازی (توسط الگوریتم FFT) و...) مورد توجه فراوان قرار گرفته است به طوری که در بسیاری از استانداردهای بی سیم از این روش به عنوان روش مدولاسیون استفاده می کنند. علاوه بر روشی برای مدولاسیون، می توان از OFDM به عنوان روشی برای استفاده همزمان از یک کانال (multiplexing) استفاده نمود. این همان کاری است که در استاندارد WiMax انجام می گیرد. یکی از مسائل پیش رو در تکنولوژی OFDM نحوه سنکرون سازی ارتباط است. در این مقاله سعی شده است که ضمن مروری بر کارهای انجام شده در این زمینه، روشی برای سنکرون سازی فرکانس و زمان بر اساس استفاده از تبدیل فوریه کسری (Fractional Fourier Transform) ارائه شود. نتایج، نشان دهنده

می شود. که این امر باعث ایجاد تضعیف در سیگنال می شود.

- سنکرونیزاسیون فرکانسی: عبارت است از فرآیند حذف افست فرکانسی به وجود آمده در کانال در اثر شیفت داپلر و یا عدم هماهنگی کامل اوسیلاتورهای محلی فرستنده و گیرنده. در صورتی که این افست فرکانسی مضرب صحیحی از فاصله کریرها باشد، این امر موجب جابجا شدن کریرها با حفظ تعامد بین آنها می شود. و در صورتی که این افست فرکانسی به اندازه بخشی از فاصله میان کریرها باشد، این امر موجب از بین رفتن تعامد بین کریرها و در نتیجه کاهش SNR می شود. در صورتی که این افست بیش از چهار تا پنج درصد فاصله کریرها باشد افت توان سیگنال قابل صرفه نظر کردن نیست. در ادامه به بررسی کارهایی که تا کنون در زمینه سنکرونیزاسیون انجام شده می پردازیم و اشاره مختصری به نقاط ضعف و قدرت آنها خواهیم کرد.

سنکرونیزاسیون زمانی شامل دو مرحله می باشد. ابتدا تشخیص آمدن یک فریم جدید. و در مرحله بعد تشخیص دقیق محل فریم. اولین روش پیشنهادی توسط Nogami (N&N) و Nagashima ارائه شده که در آن، در ابتدای فریم یک سمبل خالی ارسال می شد. افت توان در گیرنده نشان دهنده وجود یک سمبل جدید بود. این روش فاقد دقت کافی بود و برای حالت ارسال به صورت burst نیز کارایی نداشت [1]. روش عمومی برای حل

حاصل می شود که در آن بخشی از زیر باندها به کاربرهای متفاوت تخصیص داده می شود. در این سیستم وجود سنکرونیزاسیون زمانی و فرکانسی و سنکرونیزاسیون فرکانس ساعت نمونه برداری از اهمیت بسیاری برخوردار است چرا که در صورت عدم سنکرونیزاسیون تعامد بین کریرها به هم می خورد و باعث ایجاد تداخل در میان کریرها (ICI) می شود.

بسیاری از تکنیک هایی که برای سنکرونیزاسیون در سیستم های OFDM به کار می آید، در سیستم های OFDMA در حالت downlink نیز کاربرد دارد. ولی در حالت uplink در این سیستم ها وضعیت پیچیده تر است، چرا که سیگنال دریافتی در گیرنده مخلوطی از سیگنال هایی با تاخیرهای متفاوت و با خطاهای سنکرونیزاسیون متفاوت هستند.

- سنکرونیزاسیون زمانی: عبارت است از فرآیند یافتن ابتدای سمبل دریافتی جهت تعیین محل شروع پنجره FFT، چرا که برای جلوگیری از ISI لازم است که پنجره FFT تنها شامل نمونه های یک سمبل OFDM باشد. از آنجایی که معمولاً طول CP بزرگتر از طول CIR می باشد، با وجود ISI هنوز بخشی از CP دست نخورده باقی می ماند و یک حاشیه امنیتی را برای انتخاب شروع پنجره FFT ایجاد می نماید، که در صورت انتخاب درست ما تنها یک چرخش فاز در کریرها خواهیم داشت. ولی در غیر این صورت، این امر موجب ایجاد ISI و در ادامه از دست رفتن تعامد میان مؤلفه ها و ایجاد ICI

را می توان به صورت تاثیر کانال فیزیکی بر روی سیگنال مدل کرد. به عبارت دیگر اگر پاسخ کانال واقعی به صورت  $h_1=[h(0),h(1),\dots,h(L-1)]T$  باشد آنرا به صورت  $h_2(\Delta\theta)=[h(\Delta\theta),h(1+\Delta\theta),\dots,h(L-1+\Delta\theta)]T$  در نظر می گیرند سپس از روشهای تخمین کانال برای تخمین خطای زمانی  $(\Delta\theta)$  استفاده می کنند [5].

پس از تشخیص فریم و بدست آوردن محل دقیق ابتدای آن لازم است که گیرنده تخمینی از فرکانس حامل داشته باشد تا بتواند اسیلاتور محلی خود را با سیگنال دریافتی هماهنگ کند. یک روش این کار استفاده از بلوک های مرجع در ابتدای هر فریم می باشد. از این بلوک می توان برای بدست آوردن هماهنگی زمانی نیز استفاده کرد. آنچه متداول است، این است که این ساختار ها از بخش های تکرار شوند تشکیل شده باشند که در اثر عبور از کانال مشابه همدیگر باقی بمانند، بجز چرخش فازی که در اثر خطای فرکانسی ایجاد شده است. این روش در ابتدا توسط Moose پیشنهاد شد [6]. که در آن چرخش فاز بین دو بلوک مشابه را در حوزه فرکانس و در خروجی FFT اندازه گیری می کند. اشکال این روش رنج محدود تشخیص اختلاف فاز می باشد که در محدوده  $[-\pi, \pi]$  قرار می گیرد. این رنج فرکانسی کمتر از نصف فاصله بین کریر ها را شامل می شود. برای افزایش رنج تشخیص روشی توسط Schmidl و Cox، (S&C) پیشنهاد شد [2]. که در آن خطای فرکانسی را به دو بخش جزئی و صحیح تقسیم می کند. خطای جزئی

این مشکل استفاده از یک بلوک مشخص در ابتدای فریم است که دارای یک ساختار تکرار شونده در حوزه زمان باشد. در این روش ما به دنبال ساختار هایی هستیم که مقدار ماکزیمم، هنگام همبستگی گیری بر روی این بخش های تکرار شونده زیاد باشد. این ایده اساسا توسط Schmidl و Cox، (S&C) مطرح شد [2] که ساختار پیشنهادی آنها از دو قسمت مشابه با طول  $N/2$  در ابتدای فریم تشکیل شده بود. در اینجا برای تشخیص، نمونه های زمانی را به پنجره لغزان یک همبستگی گیر با  $N/2$  نمونه، تاخیر ارائه کرده و انتظار داریم هنگامی که این دو بخش با ساختار مشابه بر روی یکدیگر قرار گرفتند خروجی همبستگی گیر ماکزیمم شود. شکل زمانی مقدار ماکزیمم خروجی همبستگی گیر در این روش حالت پهن داشت و از دقت خوبی برخوردار نبود. برای رفع این مشکل باید ساختار بلوک مرجع را به گونه تغییر داد که بتوان به خروجی های تیزتر در همبستگی گیر دست یافت. Shi و Serpedin (S&S) ساختاری به صورت زیر را برای بلوک مرجع پیشنهاد دادند  $[+B +B -B +B]$ ، ساختاری تکراری متشکل از 4 قسمت که علامت قسمت سوم معکوس می باشد [4],[3]. همان گونه که در [3] نیز اشاره شده است، ساختار هایی با بیش از چهار قسمت تکراری منجر به شکل موجهای تیزتری خواهند شد.

در بعضی از کاربرد ها به دلیل وجود خطا در فرکانس نمونه برداری، در مدت زمان طولانی افسست زمانی قابل ملاحظه ای ایجاد می شود. این خطای زمانی

( FRFT ) بیان کنیم. برای این منظور ادامه مطالب شامل بخشهای زیر است :

در بخش ۱ ، با تبدیل FrFT و خواص مهم آن آشنا می شویم . در بخش ۲ به نحوه استفاده از این تبدیل برای کارهای سنکرون سازی زمانی و فرکانسی می پردازیم و در نهایت در بخش ۳ به مقایسه روش پیشنهادی با برخی از روشهای دیگر از طریق شبیه سازی مبادرت می کنیم .

### بخش ۱) تبدیل فوریه ی کسری ( fractional fourier transform ) :

در این قسمت به صورت مختصر با روش تحلیل زمان فرکانس تبدیل فوریه کسری (FrFT) که نسخه ی کلی تر تبدیل فوریه کلاسیک می باشد آشنا می شویم . FrFT یک سیگنال مانند  $s(t)$  بصورت زیر تعریف می شود. [8]

$$FrFT_{\alpha}(u) = F^{\alpha}[s(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t)K_{\alpha}(t, u)dt$$

که در آن  $K_{\alpha}$  به صورت زیر می باشد .

$$K_{\alpha}(t, u) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1-j \cot \alpha}{2\pi}} \exp\left(j\frac{t^2+u^2}{2} \cot \alpha - jtu \csc \alpha\right)\pi, & \text{If } \alpha \text{ is not a multiple of } \pi \\ \delta(t-u) & \text{If } \alpha \text{ is a multiple of } 2\pi \\ \delta(t+u) & \text{If } \alpha + \pi \text{ is a multiple of } 2\pi \end{cases}$$

شامل خطاهای فرکانسی کمتر از  $1/(NT)$  و بخش صحیح شامل مضرب صحیحی از  $2/(NT)$  می باشد. برای این منظور از دو بلوک مرجع که به نحو مناسب انتخاب شده اند استفاده می شود. بلوک اول ساختاری مشابه ساختار بلوکی دارد که برای هماهنگی زمانی به کار می رود و بلوک دوم از کدینگ متفاوتی استفاده می کند، که شامل یک سری اعداد pseudo-noise برای مولفه های زوج و یک سری دیگر برای مولفه های فرد می باشد. روش دیگری که دارای رنج تشخیص زیاد می باشد و در عین حال سربار آن کم تر از روش S&C است روشی است که توسط Morelli و Mengali ، (M&M) پیشنهاد شد [7]. که در آن به جای استفاده از دو بلوک مرجع، از یک بلوک با ساختار تکرار شونده بیش از دو قسمت استفاده می شود. اگر تعداد تکرار ها را با Q نشان دهیم رنج تشخیص این روش، خطاهای فرکانسی کمتر از  $Q/2$  می باشد که با انتخاب مناسب Q می توان رنج تشخیص را افزایش داد. برای تخمین دقیق خطای فرکانسی لازم است ابتدا خطای فرکانسی تشخیص داده شده در مرحله قبل جبران شود که برای این کار لازم است به سیگنال دریافتی چرخش فاز مناسبی اعمال شود. در ادامه برای جلوگیری از ICI لازم است خطای فاز باقی مانده به صورت پیوسته دنبال شده و اصلاح شود.

در این مقاله سعی داریم روش دیگری برای سنکرون سازی زمانی و فرکانسی بر مبنای تبدیل فوریه کسری

تخمین پارامترهای سیگنال های LFM<sup>1</sup> در رادار اشاره کرد. این ویژگیهای مهم عبارتند از:

(۱) اگر ورودی FrFT با پارامتر  $\alpha$  یک chirp با نرخ  $\alpha$  باشد خروجی تبدیل یک تابع ضربه خواهد شد:

$$s_{\alpha}(v) = \sqrt{\frac{1-j\cot\alpha}{2\Pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{j(\Pi g_0 t^2 + 2\Pi f_0 t)} e^{j\frac{(t^2+v^2)\cos\alpha - 2tv}{2\sin\alpha}} dt$$

$$s_{\alpha}(v) = A_{\alpha} \delta(v - 2\Pi f_0 \sin\alpha)$$

$$A_{\alpha} = \sqrt{\frac{1-j\cot\alpha}{2\Pi}} e^{j(v^2/2)\cot\alpha}$$

(۲) خاصیت مدولاسیون:

در صورتی که  $g(x) = e^{jbx} f(x)$  تبدیل FRFT

$g(x)$  بر حسب  $f_a$  برابر است با:

$$g_a(\xi) = e^{jb\cos\alpha(\xi + \frac{1}{2}b\sin\alpha)} f_a(\xi + b\sin\alpha)$$

(۳) شیفت زمانی:

در صورتی که  $g(x) = f(x+b)$  تبدیل FRFT

$g(x)$  بر حسب  $f_a$  برابر است با:

$$g_a(\xi) = e^{jb\sin\alpha(\xi + \frac{1}{2}b\cos\alpha)} f_a(\xi + b\cos\alpha)$$

برای پی بردن به اینکه FrFT حالت کلی تبدیل فوریه ی کلاسیک است. به بررسی مشاهدات زیر می پردازیم:

الف) حالتی که  $\alpha = 0$  است: در این حالت خروجی FrFT برابر با ورودی آن می باشد بنابراین پارامتر  $u$  همان زمان ( $t$ ) می باشد.

ب) حالتی که  $\alpha = \Pi/2$  است: در این حالت FrFT همان FT (تبدیل فوریه) می باشد در این صورت پارامتر  $u$  متناظر با فرکانس ( $f$ ) است.

با توجه به مشاهدات فوق می توان نتیجه گرفت که متغیر  $u$  مخلوطی از زمان و فرکانس است. و بر حسب اینکه مقدار  $\alpha$  به 0 یا  $\Pi/2$  نزدیک باشد خاصیت زمانی و یا فرکانسی بیشتری پیدا می کند. ویژگی های کلیدی FrFT را می توان در مرجع [8] یافت.

با دقت در فرمول سنتز FrFT که در بالا آمده است می توان دریافت که kernel این تبدیل یک سیگنال chirp می باشد که در بالا به آن اشاره شد (در صورتی که در تبدیل فوریه kernel به صورت  $e^{j\omega t}$  می باشد) این امر همراه با ویژگی های مهم FrFT موجب شده است که از این تبدیل به عنوان ابزاری جهت آشکارسازی و یافتن پارامترهای سیگنال هایی که ساختار chirp دارند استفاده ی وسیعی شود. از جمله می توان به آشکارسازی و

<sup>1</sup> Linear Frequency Modulation (LFM)

## بخش ۲) روش پیشنهادی :

روش پیشنهادی ما استفاده از یک سیگنال chirp به عنوان سیگنالی که در ابتدای فریم برای انجام کارهای سنکرون سازی و تخمین کانال می آید (pilot) و سپس استفاده از تبدیل FrFT در گیرنده برای آشکارسازی این chirp است. با استفاده از این روش می توان تخمین دقیقی از فرکانس دوپلر و تاخیر زمانی بدست آورد.

ا. تخمین فرکانس دوپلر :

از ویژگی اول و دوم می توان برای تخمین فرکانس دوپلر سیگنال هایی با ساختار chirp استفاده کرد. همینطور که در مرجع [9] آمده است، این روش برای SNR های پایین هم چنان کارآمد و غیرقال مقایسه با روش های پیشنهادی برای تخمین فرکانس دوپلر مانند S&C و M&M میباشد.

اا. تخمین تاخیر زمانی :

از ویژگی های اول و سوم می توان برای تخمین دقیق تاخیر زمانی سیگنال های با ساختار chirp استفاده کرد. همانطور که در مرجع [10] آمده است خطای این تخمین حتی در SNR های پایین همچنان مقدار قابل قبولی دارد.

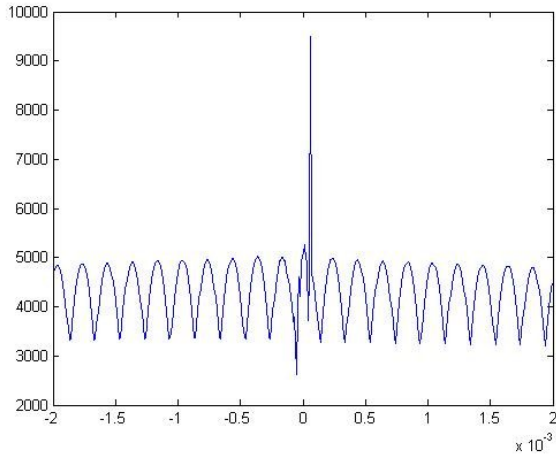
در اینجا لازم به تذکر است که در صورت استفاده از روش پیشنهادی می توان به صورت کارآمدی برای تخمین کانال نیز استفاده کرد که برای اطلاعات بیشتر در این زمینه می توانید مرجع [11] را مطالعه کنید.

با توجه به مطالب فوق و با توجه به اینکه پیچیدگی محاسباتی FRFT از مرتبه ی  $N \log(N)$  می توان برای Synchronization در سیستم OFDM و یا ترجیحا در سیستم های MCM که از FRFT به جای FFT استفاده می کنند از بسته هایی با الگوی chirp استفاده نمود و بدین ترتیب به تخمین فرکانس دوپلر (که ناشی از اختلاف فرکانسی LO های فرستنده و گیرنده و یا سرعت نسبی آنها نسبت به یکدیگر می باشد) و تاخیر زمانی مربوط به یک کاربر (در حالت uplink در سیستم های OFDMA که BTS همزمان با چند کاربر ارتباط دارد و همچنین تخمین کانال استفاده نمود.

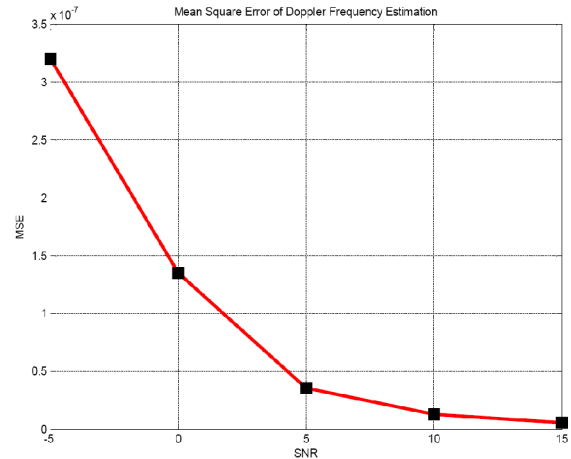
## بخش ۳) شبیه سازی :

- سنکرون سازی فرکانسی: در این قسمت برای نمایش عملکرد بهتر FRFT نسبت به روش های متداول S&C و M&M شبیه سازی توسط نرم افزار Matlab انجام شده است. در این شبیه سازی شیفت فرکانس دوپلر سیگنال chirp توسط FRFT و خاصیت مدولاسیون آن تخمین زده شده است و منحنی MSE آن به ازای SNR های مختلف رسم شده است.

می رسیم که دارای خاصیت مطلوب فوق می باشد.



شکل ۳-۳

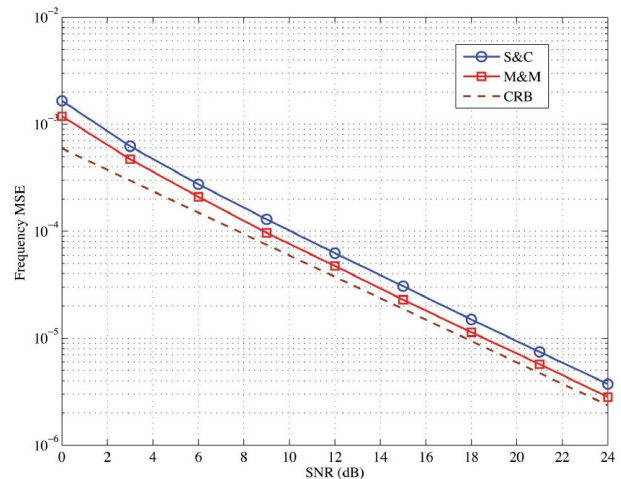


شکل ۱-۳

این در حالی است که منحنی عملکرد روش های M&M و S&C به صورت شکل ۲-۳ است [7][2]

### نتیجه گیری

در این مقاله روشی برای سنکرون سازی برای سیستم های OFDMA براساس استفاده از سیگنال های chirp به عنوان pilot در فرستنده و استفاده از FrFT در گیرنده به منظور آشکار سازی دقیق آنها ارائه گردید. این روش علاوه بر اینکه نسبت به روش های قبلی عملکرد مطلوب تری دارد، همانطور که بیان شد قابلیت کمک به سایر بخش های سیستم مخابراتی مانند بخش همسان سازی کانال را داراست، هر چند که در این مقاله تاکید بر استفاده از آن به عنوان روشی برای جبران شیفت فرکانسی



شکل ۲-۳

سنکرون سازی زمانی: در سنکرون سازی زمانی پیک زدن تیز خروجی همبستگی گیر از اهمیت زیادی برخوردار است. اگر بر روی نمونه های رسیده به گیرنده یک پنجره لغزان بگذاریم و از خروجی پنجره ها FrFT بگیریم به منحنی زیر

[5] B. Yang, K. B. Letaief, R. S. Cheng, and Z. Cao, B Timing recovery for OFDM transmission,[ IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 18, no. 11, pp. 2278–2291, Nov. 2000.

[6] P. H. Moose, B A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correction,[ IEEE Trans. Commun., vol. 42, no. 10, pp. 2908–2914, Oct. 1994.

[7] M. Morelli and U. Mengali, BAn improved frequency offset estimator for OFDM applications,[ IEEE Commun. Lett., vol. 3, no. 3, pp. 75–77, Mar. 1999.

[8] V. Namias, “The fractional Fourier transform and its application in quantum mechanics,” J. Inst. Appl. Math., vol.25, pp.241–265, 1980.

[9] Jiaqiang LI, Ronghong JIN, JunPing GENG†, Yu FANand Wei MAO “Detection and Parameter Estimation of LFM Signal Using Integration of Fractional Gaussian Window Transform” IEICE TRANS. COMMUN., VOL.E90–B, NO.3 MARCH 2007

[10] Pu Wang Jianyu Yang Yuming Du “A Fast Algorithm for Parameter Estimation of Multi-Component LFM Signal at Low SNR “

[11]Enqing Chen, Ran Tao, and Xiangyi Meng” The OFDM System Based on the Fractional Fourier Transform“Proceedings of the First International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC'06)0-7695-2616-0/06 \$20.00 © 2006

( Frequency synchronization ) و تاخير زمانی

( time synchronization ) بود.

مراجع:

[1]. H. Nogami and T. Nagashima, B A frequency and timing period acquisition technique for OFDM systems,[ in Proc. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Sep. 1995, vol. 3, pp. 1010–1015.

[2] T. M. Schmidl and D. C. Cox, B Robust frequency and timing synchronization for OFDM,[ IEEE Trans. Commun., vol. 45, no. 12, pp. 1613–1621, Dec. 1997.

[3] H. Minn, V. K. Bhargava, and K. B. Letaief, B A robust timing and frequency synchronization for OFDM systems,[ IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 2, no. 4, pp. 822–839, Jul. 2003.

[4] K. Shi and E. Serpedin, BCoarse frame and carrier synchronization of OFDM systems: A new metric and comparison,[ IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 3, no. 4, pp. 1271–1284, Jul. 2004.