

دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش مخابرات

عنوان: بررسی سیستم‌های MIMO-OFDM

استاد راهنما: دکتر مصطفوی

نگارش: الهه یزدانی

شهریور ۹۱

۲

۱- مقدمه ۵

۲- مدل سیستم MIMO-OFDM ۷

۱-۲ طراحی مقدمه برای سیستمهای MIMO-OFDM ۹

۲-۲ پیلوت ۱۰

۳- سنکرون در اکتساب مود ۱۱

۱-۳ مثال ۱۳

۴- آفست فرکانسی سمبلی و بررسی آن ۱۴

۱-۴ تخمین آفست فرکانسی سمبلی ۱۵

۲-۴ تخمین کانال ۱۶

۳-۴ تخمین آفست فرکانسی سمبلی ۱۶

۴-۴ مثال ۱۷

۵- تخمین کانال MIMO-OFDM ۱۸

۱-۵ تخمین پایه ای کانال ۱۸

۲-۵ رشتههای سمبلی مطلوب برای تخمین کانال ۲۲

۳-۵ ساده کردن تخمین کانال ۲۳

۴-۵ تخمین کانال پیشرفته ۲۴

۶- روشهای کدینگ زمان-فضای MIMO-OFDM ۲۶

۱-۶ کریر مدوله شده دایورسیتی تأخیری (MDDM) ۲۷

۲-۶ MIMO-OFDM حلقه بسته ۲۸

۷- تصحیح خطای کدینگ برای MIMO-OFDM ۳۰

۱-۷ LDPC ها در کانالهای فیدینگ SISO ۳۱

۲-۷ کانالهای SISO و MIMO با OFDM و بدون OFDM ۳۳

۸- آنتن و بیم گزینشی ۳۴

۱-۸ آنتن گزینشی ۳۴

۲-۸ بیم گزینشی ۳۵

۳-۸ الگوریتم گزینش ۳۵

۴-۸ مقایسه آنتن و بیم گزینشی ۳۸

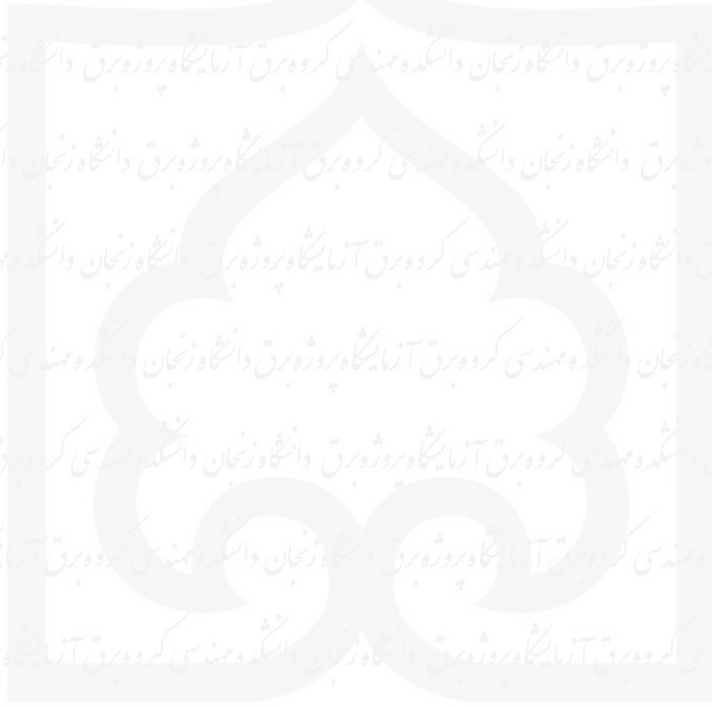
۹- کنترل دسترسی رسانه (MAC) ۳۸

۱۰- اجرای نرمافزار رادیویی ۳۹

۱-۱۰ نگاهی بر نرمافزار رادیویی ۳۹

۲-۱۰ اجرای MIMO-OFDM ۴۰

۱۱- نتیجه گیری ۴۰

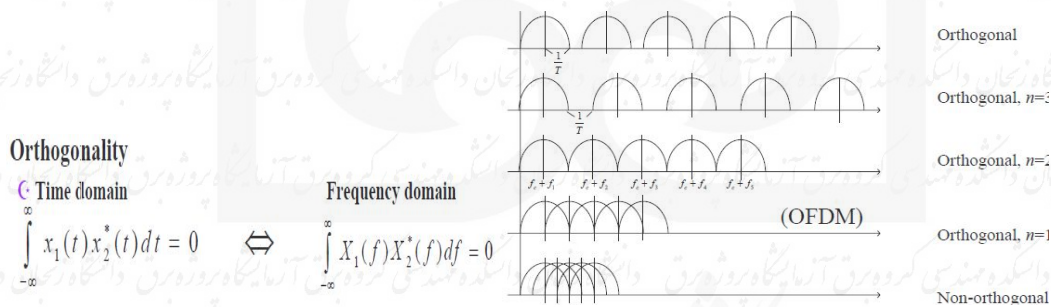


۱- مقدمه

OFDM تقسیم فرکانسی چندگانه متعامد یک روش کارآمد برای انتقال سیگنال روی کانال‌های بی‌سیم است و در استانداردهای ^۱DAB، ^۲DVB-T، IEEE 802.16، IEEE 802.11، ^۳MAN، ^۴LAN پذیرفته شده است. OFDM همچنین به ارتباطات رنج کوتاه (DSRC)^۵ برای ارتباطات وسایل نقلیه در جاده می‌پردازد و پتانسیل استفاده از آن برای سیستم‌های موبایل (۴G) را نیز دارد.

OFDM یک کانال فرکانس-گزینشی را به مجموعه‌ی موازی از زیرکانال‌ها تبدیل می‌کند. زیرکانال‌ها دارای فرکانس‌های کوچک جدایی هستند که به برقراری تعامد متناظر با شکل حوزه زمانشان نیاز دارند. سیگنال‌های مشابه با زیرکانال‌های مختلف در حوزه‌ی فرکانس روی هم می‌افتند. بنابراین پهنای باند در دسترس خیلی مهم است. اگر کانال قابل دسترس در فرستنده را بشناسیم در این صورت فرستنده OFDM می‌تواند سیگنال را با کانال وفق دهد. در حقیقت OFDM از تعداد زیادی زیرکانال با فضای محدود استفاده می‌کند.

OFDM یک بلوک مدوله شده است که N سمبل اطلاعاتی روی N زیرکریر موازی انتقال داده می‌شوند. طول زمانی یک سمبل OFDM، N برابر یک کریر تنهاست. OFDM زمانی اجرا می‌شود که یک تبدیل عکس فوریه (IDFT)^۶ روی N سمبل اطلاعاتی به وسیله‌ی یک آنالوگ به دیجیتال (ADC)^۷ انجام شود. برای کم کردن تأثیر تداخل بین سمبلی (ISI) که به دلیل گسترش زمانی کانال ایجاد می‌شود، در ابتدای هر بلوک یک سیکل پیشوندی (CP)^۸ و یا وقفه‌ی حفاظتی قرار می‌گیرد، طول هر CP برابر با کمترین طول کانال است. CP یک کپی از آخرین بخش سمبل می‌گیرد و به ابتدای آن اضافه می‌کند. (شکل ۲)



شکل ۱: تعامد

^۱ Digital audio broadcasting

^۲ Digital video broadcasting

^۳ Metropolitan area network

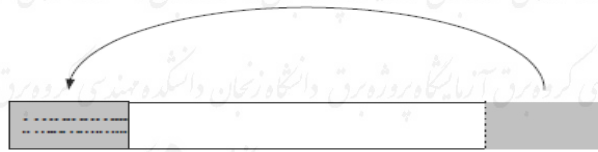
^۴ Local area network

^۵ Dedicated short-range communication

^۶ Inverse discrete Fourier transform

^۷ Analog-to-digital converter

^۸ Cyclic prefix



شکل ۱: نحوه عملکرد CP

تحت این شرایط کانولوشن خطی بین سمبل و کانال به کانولوشن حلقوی تبدیل می‌شود. در نتیجه تاثیر ISI به سادگی و به طور کامل رفع می‌شود. علاوه بر این در این روش گیرنده می‌تواند از پردازش سریع سیگنال مانند تبدیل فوریه با سرعت بالا (FFT) استفاده کند. مشابه این تکنولوژی را می‌توان در سیستم تک کریبر به وسیله مقدم کردن هر دیتا به طول N با یک CP به طول G به کار گرفت، در حالیکه از یک جبرانساز در گیرنده استفاده می‌شود.

آنتن‌های چندگانه در فرستنده و گیرنده استفاده می‌شوند و به ترتیب ورودی چندگانه خروجی - چندگانه یا سیستم MIMO^۲ نامیده می‌شود. سیستم‌های MIMO ممکن است با روش‌های مختلفی برای به دست آوردن گین دایورسیتی^۳ به منظور مقابله با فیدینگ^۴ سیگنال یا به دست آوردن ظرفیت گین اجرا شوند. عموماً سه دسته تکنولوژی MIMO وجود دارد. اولین دسته افزایش بازده با استفاده از ماکزیمم کردن دایورسیتی فضایی. روش دوم افزایش بازده با استفاده از دایورسیتی تأخیری^۵ و بلوک کدهای فضا-زمان (STBC)^۶ و کدهای شبکه فضا-زمان (STTC)^۷ است. روش سوم دانش کانال در فرستنده است که توسط استخراج مقدار منفرد (SVD)^۸ ماتریس کانال به دست می‌آید و به صورت ماتریس‌های واحد به صورت پیش و پس فیلتر در فرستنده و گیرنده برای افزایش بازده استفاده می‌شوند.

در استانداردهای IEEE 802.16a و LAN و IEEE 802.11a و LAN/MAN پذیرفته شده است. OFDM همچنین در IEEE 802.20a بررسی شده است این استاندارد برای ارتباط با پهنای باند زیاد و حرکت با سرعت بالای 60 mph است. در استاندارد LAN IEEE 802.11a نرخ دیتا بالای 54 Mb/s (شرایط اجازه کانال) با فضای کانال 20-MHz است و حاصل پهنای باند موثر 2.7 b/s/Hz است.

^۱ Fast Fourier transform

^۲ Multiple-input multiple-output

^۳ diversity به افزایش قابلیت اطمینان سیگنال مخابرات از طریق استفاده از چند کانال مخابراتی با ویژگی‌های مستقل گفته می‌شود. دایورسیتی نقش مهمی را در فیدینگ دارد. دایورسیتی با ارسال چند مدل از سیگنال و یا دریافت چند مدل از سیگنال و ترکیب آنها در گیرنده می‌تواند به تصمیم صحیحتری در مورد سیگنال ارسالی بیانجامد.

^۴ Fading به میزان تضعیف یک سیگنال مدوله شده مخابراتی در هنگام عبور از یک محیط مشخص گفته می‌شود. محوشدگی ممکن است با زمان، مکان و یا فرکانس تغییر کند و معمولاً به صورت یک فرایند تصادفی مدل می‌شود.

^۵ Delay diversity

^۶ Space-time block code

^۷ Space-time treal code

^۸ Singular value decomposition

گذردهی واقعی به قانون متوسط کنترل در دسترس (MAC)^۱ بستگی دارد. اخیرا تکنولوی MIMO پیشرفت‌هایی داشته که بازده سیستم‌های OFDM را به صورت قابل توجهی بالا برده است. سیستم‌های پهن باند MIMO-OFDM با پهنای باند موثر 10 b/s/Hz برای محیط‌های LAN/MAN امکان پذیر است. این مقاله به بخش‌های مختلفی از سیستم MIMO-OFDM می‌پردازد.

بخش ۲ مدل سیستم MIMO-OFDM را بیان می‌کند که همهی گیرنده‌ها شامل سنکرون زمانی، تخمین آفست فرکانسی و تخمین کانال هستند. در بخش ۳ نگاهی بر پردازش سیگنال و تخمین آفست فرکانسی داریم. در بخش ۴ اصلاح آفست فرکانسی بررسی می‌شود. در بخش ۵ تخمین کانال بحث می‌شود. در بخش ۶ تکنولوژی کدینگ سیستم MIMO-OFDM بررسی می‌شود. در بخش ۷ خطاگیری کدینگ بیان می‌شود. در بخش ۸ MAC بررسی می‌شود. بخش ۹ به نرم افزار رادیویی MIMO-OFDM می‌پردازد و بخش ۱۰ خلاصه‌ی مقاله را بیان می‌کند.

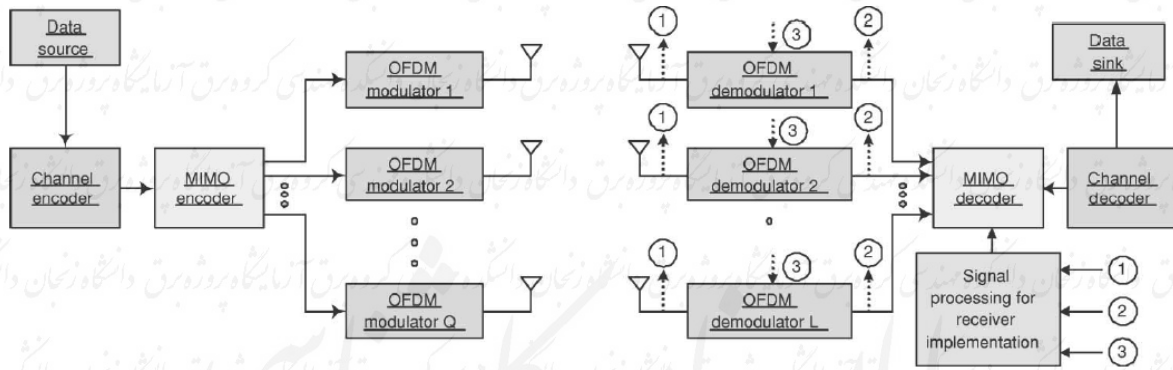
۲- مدل سیستم MIMO-OFDM

سیستم چند کریری یک روش موثر در جدا کردن زمان با استفاده از یک معکوس FFT (IFFT) برای عمل مدولاتور و FFT برای عمل دمدولاتور است. دیتا در حوزه فرکانس انتقال داده می‌شود و سمبل‌ها در خروجی IFFT به شکل حوزه زمان انتقال داده می‌شوند. شکل ۳ مدل پیاده سازی MIMO-OFDM را نشان می‌دهد. $X = \{X_0, X_1, \dots, X_{N-1}\}$ بلوک دیتا سمبل به طول N را مشخص می‌کند. با گرفتن IDFT از دیتا حاصل آن در حوزه زمان به دست می‌آید $x = \{x_0, x_1, \dots, x_{N-1}\}$

برای کم کردن تأثیر تأخیر کانال یک وقفه حفاظتی شامل یک CP یا پسوند به رشته X اضافه می‌شود. داده‌های انتقال داده شده با وقفه حفاظتی به صورت

$$x_n^g = x_{(n)N}, n = -G, \dots, -1, 0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

^۱ Medium access control



شکل ۲: مدل سیستم MIMO-OFDM

G طول وقفه حفاظتی در سمبل هاست و $(n)_N$ باقیمانده n به پیمانه N است. OFDM به طور عمده رشته سمبل‌های x^G را با نرخ $1/T$ از میان ADC (با تولید اجزای واقعی و تصویر) عبور می‌دهد. برای جلوگیری از ISI، طول CP باید بزرگتر یا برابر با طول پاسخ ضربه کانال باشد. زمانی که یک OFDM برای انتقال سمبل نیاز دارد $T_s = NT + GT$ است که زمان سمبل OFDM نامیده می‌شود. سیگنال OFDM روی کانال میانگذر RF انتقال داده می‌شود، دریافت می‌شود و به پایین گذر تبدیل می‌شود. کانولوشن خطی بین سمبل انتقال داده شده با پاسخ ضربه کانال را به کانولوشن حلقوی تبدیل می‌کند. در گیرنده ابتدا G سمبل از هر بلوک دریافت می‌شود و توسط تبدیل فوریه گسسته N نقطه‌ای (DFT) حذف می‌شوند.

شکل ۴ ساختار یک نوع سیستم MIMO OFDM را نشان می‌دهد. مقدمه OFDM شامل Q سمبل به طول $G \leq N_I \leq N, N_I + G$ و I یک عدد صحیح بخش پذیر بر N است. اغلب طول وقفه‌ی حفاظتی در رشته سمبل دو برابر می‌شود، به عنوان مثال در IEEE 802.16. کمک به سنکرون کردن، تخمین آفست فرکانسی و کوتاه کردن کانال، باید طول کانال بیشتر از طول وقفه‌ی حفاظتی باشد.

در ابتدا بخش مقدمه OFDM بررسی می‌شود. طول رشته‌های مقدمه $G + N_I$ است که I ضربی از بردار در حوزه فرکانس با رشته سمبل‌های غیر صفر و به طول N است. رشته سمبل‌های حوزه فرکانس انتقال داده شده توسط i آنتن $\{S_k^{(q)}\}_{k=1}^N$ است، $q = (C-1)Q + i$ و $C = 1, 2, \dots, Q$ برای به دست آوردن رشته سمبل در حوزه زمان و به طول N_I از $\{S_k^{(q)}\}_{k=1}^N$ IDFT N نقطه‌ای گرفته می‌شود. یک CP به هر رشته سمبل به طول N_I در حوزه زمان اضافه می‌شود. H_{ij} بردار زیر کانال بین i فرستنده و j گیرنده است و $\{R_k^{(i)}\}_{k=0}^{N_I-1}$ رشته سمبل دریافتی از I تا آنتن گیرنده است. بعد از حذف وقفه حفاظتی، سمبل‌های دریافتی $\{R_k^{(i)}\}_{k=0}^{N_I-1}$ در I زمان تکرار می‌شوند و توسط FFT N نقطه‌ای دم‌دوله می‌شوند.

۲-۱۰ اجرای MIMO-OFDM

اجرای نرم‌افزارهای رادیویی OFDM در [۷۸] - [۷۳] بررسی شده است. اما هنوز اجرای نرم-افزارهای رادیویی برای MIMO-OFDM متداول نشده است. نرم‌افزار رادیویی سیستم MIMO-OFDM 2×2 با کد فضا-زمان در شکل ۲۰ بر پایه روش الموتی [۴] نشان داده شده است. در [۷۹] این سیستم به طور کامل بررسی شده است. از طرف دیگر شکل فرستنده را روی برد DSP نمایش می‌دهد. ورودی برد از MAC شروع می‌شود. انتقال شامل دیتا موازی، IFFT, QAM, کدینگ فضا-زمان است. این الگوریتم در A, B, C, D پردازش می‌شود.

این الگوریتم شامل سنکرون زمانی، تخمین آفست فرکانسی، جبران کننده، تخمین کانال سمبل دمدوله شده و QAM است و در چهار برد DSP به طور جداگانه اجرا می‌شود و با پردازش‌های A, B, C, D طبق شکل توضیح داده می‌شود. خروجی این برد از میان یک FPDP I/O عبور می‌کند و با پردازشگر MAC که در یک PC قرار داده شده است دریافت می‌شود.

گیرنده به دلیل عمل سنکرون نسبت به گیرنده به پردازشگر پر قدرت تری نیاز دارد. دیتا با MIMO-OFDM در DSP در شکل ۲۱ نشان داده شده است. شکل ۲۱ پردازش الگوریتم با پردازشگر A را نشان می‌دهد. پردازش مشابه در پردازشگر B انجام می‌شود. پردازشگر C برای تحویل دادن دیتا از پردازشگر A به B به کار می‌رود.

۱۱- نتیجه گیری

این مقاله روی اجرای سیستم‌های MIMO-OEDM بحث کرد. جزئیات سنکرون و تخمین کانال بررسی شد. کدینگ فضا-زمان و سیستم‌های MIMO-OFDM حلقه بسته با دانش کانال در فرستنده بررسی شد. خطاگیری کدینگ با تأکید بر کدها با نرخ بالای LDPC بیان شد. سرانجام نرم‌افزار رادیویی در Gerogia Tech برای MIMO-OFDM معرفی شده است.

مراجع:

[۱] Part ۱۱; Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications; High-Speed Physical Layer in the ۵ GHz Band, IEEE Standard ۸۰۲.۱۱a-۱۹۹۹.

[۲] Local and Metropolitan Area Networks—Part ۱۶. Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, IEEE Standard IEEE ۸۰۲.۱۶a.

[۳] L. J. Cimini, Jr., "Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiplexing," IEEE Trans. Commun., vol. COM-۳۳, pp. ۶۶۵-۶۷۵, July ۱۹۸۵.

[۴] S. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. ۱۶, pp. ۱۴۵۱-۱۴۵۸, Oct. ۱۹۹۸.

[۵] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-time block codes from orthogonal designs," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. ۴۵, pp. ۱۴۵۶-۱۴۶۷, July ۱۹۹۹.

[۶] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: Performance criterion and code construction," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. ۴۴, pp. ۷۴۴-۷۶۵, Mar. ۱۹۹۸.

[۷] P. W. Wolniansky, G. J. Foschini, G. D. Golden, and R. A. Valenzuela, "V-Blast: An architecture for realizing very high data rates over the rich-scattering channel," in Proc. Int. Symp. Signals, Systems and Electronics (ISSE ۱۹۹۸), pp. ۲۹۵-۳۰۰.

[۸] J. Ha, A. N. Mody, J. H. Sung, J. Barry, S. McLaughlin, and G. L. Stuber, "LDPC coded OFDM with Alamouti/SVD diversity technique," J. Wireless Pers. Commun., vol. ۲۳, no. ۱, pp. ۱۸۳-۱۹۴, Oct. ۲۰۰۲.

[۹] G. G. Raleigh and J. M. Cioffi, "Spatio-temporal coding for wireless communication," IEEE Trans. Commun., vol. ۴۶, pp. ۳۵۷-۳۶۶, Mar. ۱۹۹۸.

[۱۰] D. Agrawal, V. Tarokh, A. Naguib, and N. Seshadri, "Space-time coded OFDM high data-rate wireless communication over wideband channels," in Proc. IEEE Vehicular Technology Conf., ۱۹۹۸, pp. ۲۲۳۳-۲۲۳۶.

[۱۱] H. Bölcskei and A. Paulraj, "Space-frequency coded broadband OFDM systems," in Proc. IEEE Wireless Communications Networking Conf., ۲۰۰۰, pp. ۱-۶.

[۱۲] B. Lu and X. Wang, "Space-time code design in OFDM systems," in Proc. Globecom, vol. ۲, ۲۰۰۰, pp. ۱۰۰۰-۱۰۰۴.

[۱۳] H. Bölcskei and A. Paulraj, "Space-frequency codes for broadband fading channels," in Proc. IEEE Int. Symp. Info. Theory, ۲۰۰۱, p. ۲۱۹.

[۱۴] H. Bölcskei, M. Borgmann, and A. Paulraj, "Space-frequency coded MIMO-OFDM with variable multiplexing-diversity tradeoff," presented

at the IEEE Int. Conf. Communications (ICC), Anchorage,

AK, ۲۰۰۳.

[۱۵] Y. Liu, M. P. Fitz, and O. Y. Takeshita, "Space time codes: Performance criteria and design for frequency selective fading channels,"

in Proc. IEEE Int. Conf. Communications (ICC), vol. ۹, ۲۰۰۱, pp.

۲۸۰۰-۲۸۰۴.

[۱۶] H. El Gamal, A. R. Hammons, Jr., Y. Liu, M. P. Fitz, and O. Y.

Takeshita, "On the design of space-time and space-frequency codes

for MIMO frequency selective fading channels," IEEE Trans. Inform.

Theory, vol. ۴۹, pp. ۲۲۷۷-۲۲۹۲, Sept. ۲۰۰۳.

[۱۷] Z. Liu, Y. Xin, and G. Giannakis, "Space-time-frequency coded

OFDM over frequency-selective fading channels," IEEE Trans.

Signal Processing, vol. ۵۰, pp. ۲۴۶۵-۲۴۷۶, Oct. ۲۰۰۲.

[۱۸] M. Guillaud and D. Slock, "Full-rate full-diversity space-frequency

coding for MIMO OFDM systems," in Proc. IEEE Benelux Signal

Processing Symp., ۲۰۰۲, pp. 8-۱۴.

[۱۹] Y. (G.) Li, J. H. Winters, and N. R. Sollenberger, "MIMO-OFDM for

wireless communications: Signal detection with enhanced channel

estimation," IEEE Trans. Commun., vol. ۵۰, pp. ۱۴۷۱-۱۴۷۷, Sept.

۲۰۰۲.

[۲۰] S. Kaiser, "Spatial transmit diversity techniques for broadband

OFDM systems," in Proc. IEEE Globecom, ۲۰۰۰, pp. ۱۸۲۴-۱۸۲۸.

[۲۱] A. Dammann and S. Kaiser, "Standard conformable antenna diversity

techniques for OFDM and its application to the DVB-T system,"

in Proc. IEEE Globecom, ۲۰۰۱, pp. ۳۱۰۰-۳۱۰۵.

[۲۲] A. Dammann, P. Lusina, and M. Bossert, "On the equivalence of

space-time block coding with multipath propagation and/or cyclic

delay diversity in OFDM," in Proc. Eur. Wireless ۲۰۰۲, pp. ۸۴۷-۸۵۱.

[۲۳] J. Tan and G. L. Stüber, "Multicarrier delay diversity modulation for

MIMO systems," IEEE Trans. Wireless Commun., to be published.

[۲۴] A. N. Mody and G. L. Stuber, "Efficient training and synchronization

sequence structures for MIMO OFDM systems," presented at the 6th

OFDM Workshop ۲۰۰۱, Hamburg, Germany.

[۲۵] "Synchronization for MIMO OFDM systems," in Proc.

Globecom ۲۰۰۱, pp. ۵۰۹-۵۱۳.

[۲۶] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-time block

coding for wireless communications: Performance results," IEEE J.

Select. Areas Commun., vol. ۱۷, pp. ۴۵۱-۴۶۰, Mar. ۱۹۹۹.

[۲۷] A. N. Mody and G. L. Stuber, "Sampling frequency offset estimation

and time tracking for MIMO OFDM systems," presented at the 6th

OFDM Workshop ۲۰۰۳, Hamburg, Germany.

[۲۸] "Receiver implementation for a MIMO OFDM system," in

Proc. Global Communications Conference (Globecom ۲۰۰۲), vol.

۱, pp. ۷۱۶-۷۲۰.

[۲۹] T. M. Schmidl and D. C. Cox, "Robust frequency and timing

synchronization for OFDM," IEEE Trans. Commun., vol. ۴۵, pp.

۱۶۱۳-۱۶۲۱, Dec. ۱۹۹۷.

[۳۰] B. Yang, K. B. Letaief, R. S. Cheng, and Z. Cao, "Timing recovery

for OFDM transmission," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. ۱۸,

pp. ۲۲۷۸-۲۲۹۱, Nov. ۲۰۰۰.

[۳۱] Y. (G.) Li, N. Seshadri, and S. Ariyavisitakul, "Channel estimation

for OFDM systems with transmitter diversity in mobile wireless

channels," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. ۱۷, pp. ۴۶۱-۴۷۱,

Mar. ۱۹۹۹.

[۳۲] Y. (G.) Li, L. J. Cimini, Jr., and N. R. Sollenberger, "Robust channel

estimation for OFDM systems with rapid dispersive fading channels,"

IEEE Trans. Commun., vol. ۴۶, pp. ۹۰۲-۹۱۵, July ۱۹۹۸.

- [۳۳] Y. (G.) Li, "Simplified channel estimation for OFDM systems with multiple transmit antennas," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. ۱, pp. ۶۷-۷۵, Jan. ۲۰۰۲.
- [۳۴] A. Wittneben, "A new bandwidth efficient transmit antenna modulation diversity scheme for linear digital modulation," in *Proc. IEEE Int. Conf. Communications*, ۱۹۹۳, pp. ۱۶۳۴-۱۶۳۴.
- [۳۵] N. Seshadri and J. H. Winters, "Two signaling schemes for improving the error performance of frequency-division-duplex (FDD) transmission systems using transmitter antenna diversity," *Int. J. Wireless Inform. Networks*, vol. ۱, pp. ۲۴-۴۷, Jan. ۱۹۹۴.
- [۳۶] J. H. Winters, "The diversity gain of transmit diversity in wireless systems with Rayleigh fading," in *Proc. IEEE Int. Conf. Communications*, ۱۹۹۴, pp. ۱۱۲۱-۱۱۲۵.
- [۳۷] . "The diversity gain of transmit diversity in wireless systems with Rayleigh fading," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. ۴۷, pp. ۱۱۹-۱۲۳, Feb. ۱۹۹۸.
- [۳۸] X. Zhu and R. D. Murch, "Performance analysis of maximum likelihood detection in a MIMO antenna system," *IEEE Trans. Commun.*, vol. ۵۰, pp. ۱۸۷-۱۹۱, Feb. ۲۰۰۲.
- [۳۹] A. Duel-Hallen, "Equalizers for multiple input/multiple output channels and PAM systems with cyclostationary input sequences," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. ۱۰, pp. ۶۳۰-۶۳۹, Apr. ۱۹۹۲.
- [۴۰] J. H. Sung and J. R. Barry, "Bit-allocation strategies for MIMO fading channels with channel knowledge at the transmitter," presented at the Spring VTC, Jeju, Korea, ۲۰۰۳.
- [۴۱] . "Bit-allocation strategies for closed-loop MIMO OFDM," presented at the Vehicular Technology Conf. (VTC'۰۳), Orlando, FL.
- [۴۲] R. G. Gallager, *Low-Density Parity-Check Codes*. Cambridge, MA: MIT Press, ۱۹۶۳.
- [۴۳] D. J. C. MacKay, "Good error-correcting codes based on sparse very matrices," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. ۴۵, pp. ۳۹۹-۴۳۱, Mar. ۱۹۹۹.
- [۴۴] J. Ha, J. Kim, and S. W. McLaughlin, "Rate compatible puncturing of LDPCs," *IEEE Trans. Inform. Theory*, to be published.
- [۴۵] C. Jones, T. Tian, A. Matache, R. Wesel, and J. Villaseñor, "Robustness of LDPCs on periodic fading channels," presented at the Globecom ۲۰۰۲, Taipei, Taiwan, R.O.C.
- [۴۶] L. Goulet and H. Leib, "Serially concatenated spacetime codes with iterative decoding and performance limits of block-fading channels," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. ۲۱, pp. ۷۶۵-۷۷۳, June ۲۰۰۳.
- [۴۷] A. Stefanov and T. Duman, "Performance bounds for turbo-coded multiple antenna systems," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. ۲۱, pp. ۳۷۴-۳۸۱, Apr. ۲۰۰۳.
- [۴۸] B. Hassibi and B. Hochwald, "High-rate codes that are linear in space and time," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. ۴۸, pp. ۱۸۰۴-۱۸۲۵, July ۲۰۰۲.
- [۴۹] W. Su, Z. Safar, M. Olfat, and R. Liu, "Obtaining full-diversity space-frequency codes from space-time codes via mapping," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. ۵۱, pp. ۲۹۰۵-۲۹۱۶, Nov. ۲۰۰۳.
- [۵۰] K. Lee and D. Williams, "A space-frequency transmitter diversity technique for OFDM systems," in *Proc. Globecom*, vol. ۳, ۲۰۰۰, pp. ۱۴۷۳-۱۴۷۷.
- [۵۱] R. Blum, Y. (G.) Li, J. Winters, and Q. Yam, "Improved space-time coding for MIMO-OFDM wireless communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. ۴۹, pp. ۱۸۷۳-۱۸۷۸, Nov. ۲۰۰۱.
- [۵۲] Y. Gong and K. Letaief, "An efficient space-frequency coded wideband

OFDM system for wireless communications," in Proc. ICC,

vol. 1, 2002, pp. 475-479.

[53] B. Lu, X. Wang, and K. Narayanan, "LDPC-based space-time coded OFDM systems over correlated fading channels: Performance analysis and receiver design," IEEE Trans. Commun., vol. 50, pp. 74-88, Jan. 2002.

[54] Y. Liu and M. Fitz, "Space-time turbo codes," presented at the 37th Annu. Allerton Conf., Monticello, IL, 1999.

[55] R. W. Heath, S. Sandhu, and A. Paulraj, "Antenna selection for spatial multiplexing systems with linear receivers," IEEE Commun. Lett., vol. 5, pp. 142-144, Apr. 2001.

[56] D. Gore and A. Paulraj, "Space-time block coding with optimal antenna selection," in Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 4, 2001, pp. 2441-2444.

[57] R. S. Blum and J. H. Winters, "On optimum MIMO with antenna selection," in Proc. IEEE Int. Conf. Communications, vol. 1, 2002, pp. 386-390.

[58] "On optimum MIMO with antenna selection," IEEE Commun. Lett., vol. 6, pp. 322-324, Aug. 2002.

[59] K. U-yen, J. S. Kenney, and T. Assavapokee, "An optimization technique for low-loss $n \times m$ microwave switch matrices," presented at the 2002 IEEE Radio and Wireless Conf. (RAWCON), Boston, MA.

[60] H. Shi, M. Katayama, T. Yamazato, H. Okada, and A. Ogawa, "An adaptive antenna selection scheme for transmit diversity in OFDM systems," in Proc. IEEE Vehicular Technology Conf., vol. 4, 2001, pp. 2168-2172.

[61] H. Asplund, A. F. Molisch, M. Steinbauer, and N. B. Mehta, "Clustering of scatterers in mobile radio channels—Evaluation and modeling in the COST 259 directional channel model," in Proc. IEEE Int. Conf. Communications, vol. 2, 2002, pp. 901-905.

[62] C.-C. Chong, C.-M. Tan, D. I. Laurenson, S. McLaughlin, M. A. Beach, and A. R. Nix, "A new statistical wideband spatio-temporal channel model for 5-GHz band WLAN systems," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 21, pp. 139-150, Feb. 2003.

[63] J. H. Winters and M. J. Gans, "The range increase of adaptive versus phased arrays in mobile radio systems," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 48, pp. 353-362, Mar. 1999.

[64] R. J. Mailloux, Phase Array Antenna Handbook, New York, Artech House Inc., 1994.

[65] F. Caldwell, J. S. Kenney, and M. A. Ingram, "Design and implementation of a switched-beam smart antenna for an 802.11b wireless access point," presented at the 2002 IEEE Radio and Wireless Conf. (RAWCON), Boston, MA.

[66] K.-H. Li, M. A. Ingram, and E. O. Rausch, "Multibeam antennas for indoor wireless communications," IEEE Trans. Commun., vol. 50, pp. 192-194, Feb. 2002.

[67] K.-H. Li and M. A. Ingram, "Space-time block-coded OFDM systems with RF beamformers for high-speed indoor wireless communications," IEEE Trans. Commun., vol. 50, pp. 1899-1901, Dec. 2002.

[68] L. Dong and M. A. Ingram, "Beam selection algorithm based on PTR metric and its synchronization performance," presented at the 2002 IEEE Radio and Wireless Conf. (RAWCON), Boston, MA.

[69] J.-S. Jiang and M. A. Ingram, "Comparison of beam selection and antenna selection techniques in indoor MIMO systems at 5.8 GHz," presented at the 2002 IEEE Radio and Wireless Conf. (RAWCON), Boston, MA.

[70] M. F. Demirkol and M. A. Ingram, "Stream control in networks with interfering MIMO links," presented at the IEEE Wireless Communications and Networking Conf. (WCNC), New Orleans, LA, ۲۰۰۳.

پایان نامه کارشناسی

