



دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: مخابرات

عنوان:

کاربرد فرایهن باند (UWB) در RFID

استاد راهنما: دکتر یارقلی

نگارش: طلایی مهدی

پاییز ۹۱

مقدمه ۱

فصل اول

مخابرات فراپهن باند

۱-۱ پیدایش فراپهن باند: چرایی و چگونگی ۲

۱-۲ مخابرات فراپهن باند ۴

۱-۲-۱ مخابرات فراپهن باند ، از آغاز تا کنون ۴

۱-۲-۲ مخابرات فراپهن باند و مرزهای آن ۷

۱-۲-۳ مخابرات فراپهن باند و تداخل های باند باریک ۱۰

۱-۲-۴ سیستم های دسترسی چندگانه فراپهن باند ۱۲

الف) روش CDMA: ۱۳

ب) روش FDMA: ۱۳

فصل دوم

مدولاسیون چندحاملی

۱۴

۲-۱ مبانی اولیه ۱۵

۲-۲ توصیف ریاضی مدولاسیون OFDM ۱۶

۲-۳ مدل ریاضی سیستم مخابراتی مبتنی بر OFDM ۱۸

۲-۴ ساختار و اجزاء سیستم مخابراتی مبتنی بر OFDM ۲۱

۲-۴-۱ درهمنهی ۲۳

۲-۴-۲ فاصله محافظ یا پیشوند گردشی ۲۳

۳-۴-۲ پنجره کردن ۲۵

فصل سوم

آشنایی با سیستم‌های چند ورودی - چند خروجی ۲۶

۳-۱ مقدمه ۲۶

۳-۲ تحلیل ریاضی سیستم‌های چندآنتنی ۳۱

۳-۳ ظرفیت کانال چند ورودی - چند خروجی ۳۳

۳-۳-۱ ظرفیت کانال معین چند ورودی - چند خروجی با پاسخ فرکانسی تخت ۳۳

۳-۳-۲ ظرفیت کانال با فرض اینکه فرستنده هیچ اطلاعی از کانال ندارد ۳۵

۳-۳-۳ ظرفیت کانال در صورتی که فرستنده اطلاعات کانال را داشته باشد ۳۶

۳-۴ تکنیک‌های فضا - زمان ۳۹

۳-۴-۱ کدهای فضا - زمان ۳۹

۳-۴-۲ کدهای بلوکی فضا - زمان ۴۰

۳-۴-۳ کدهای ترلیس فضا - زمان ۴۲

۳-۴-۴ مالتی پلکس فضایی ۴۴

فصل چهارم

بررسی سیستم **Multi band - OFDM MIMO UWB** ۴۸

۴-۱ مقدمه ۴۸

۴-۲ مدل سیستم چند ورودی - چند خروجی فرایه‌ن باند چند بانندی ۵۱

۴-۲-۱ مشخصات فرستنده ۵۲

۴-۲-۲ مدل کانال ۵۴

۴-۲-۳ پردازش گیرنده ۵۶

۴-۳ آنالیز عملکرد سیستم ۵۸

۴-۳-۱ فیدینگ مستقل ۶۰

۴-۳-۲ فیدینگ همبسته ۶۵

۴-۴ نتایج شبیه سازی ۶۹

فصل پنجم:

Radio Frequency Identification

۱۰۸

فصل ششم:

RFID & UWB

۱۱۵

مراجع

۱۳۸

مقدمه

سیگنال‌های با پهنای باند بسیار وسیع (ultra wideband) در سال‌های اخیر توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند و به عنوان اولین و تنها کاندیدا برای استفاده در مخابرات فوق سریع برد کوتاه مطرح گشته‌اند. ویژگی‌های این سیگنال‌ها علاوه بر ایجاد قابلیت‌های منحصر به فرد در آنها، چالش‌هایی را نیز برای استفاده گسترده از آنها سبب شده است که از جمله آنها می‌توان مساله تداخل

بر / از دیگر سیستم‌های مخابراتی باند باریک، دشواری طراحی یک سیستم دسترسی چندگانه با نرخ

اطلاعاتی بسیار بالا و تعداد کاربر زیاد، و دشواری سنکرونسازی آنها را نام برد. تاکنون در این رابطه

روش‌های دسترسی چندگانه زیادی پیشنهاد شده است ولی در همگی آنها داشتن عملکردی خوب در

برابر تداخل‌های دسترسی چندگانه و دستیابی به نرخ‌های اطلاعاتی بسیار بالا، ویژگی‌هایی متناقض به

شمار می‌روند. همچنین در همه آنها سنکرونسازی کدهای دسترسی چندگانه فرایندی زمان‌بر و

دشوار به حساب می‌آید. در این گزارش به بررسی سیستم MB-OFDM چند رودی - چند خروجی OFDM

UWB می‌پردازیم. به همین منظور، در ابتدا به معرفی تکنولوژی فرایهن باند (UWB) پرداخته و در

ادامه به توصیف مدولاسیون OFDM و تکنیک چند رودی - چند خروجی می‌پردازیم. در نهایت به

بررسی سیستم Multiband-OFDM چند رودی - چند خروجی UWB می‌پردازیم.

فصل اول

مخابرات فراپهن باند^۱

۱-۱ پیدایش فراپهن باند : چرایی و چگونگی

بر اساس تعریفی که برای سیگنال‌های فراپهن باند مطرح و پذیرفته شد، سیگنال فراپهن باند

سیگنالی با پهنای باند نسبی^۲ (نسبت پهنای باند به فرکانس میانی) بیش از ۲۰٪ یا حداقل پهنای باند

۵۰۰MHz می‌باشد [۱]. این تعریف، که به نظر می‌رسد نیم‌نگاهی به جنبه‌های تجاری فراپهن باند

دارد، اندکی با ذهنیت قبلی موجود درباره این گونه سیگنال‌ها متفاوت است. در اینجا با نگاهی کوتاه

به تاریخچه پیدایش و کاربرد این سیگنال‌ها، روند توسعه کاربرد و تغییرات آن را بیان می‌کنیم.

لفظ فراپهن باند در اوایل دهه ۹۰ میلادی، برای بیان دسته‌ای از پالس‌های بسیار کوتاه که قبل از

آن با نام‌هایی چون سیگنال‌های غیرسینوسی [۲]، ضربه‌ای، بدون حامل و باند پایه [۳] شناخته

می‌شدند، به وجود آمد [۴]. مشخصات عمومی این پالس‌ها، پهنای زمانی بسیار کم و گسترش طیفی

از نزدیک فرکانس صفر تا ناحیه مایکروویو طیف فرکانسی بود. گذشته از استفاده نظامی از این گونه

سیگنال‌ها در دست‌یابی به مخابرات پوشیده و امن در دوران جنگ جهانی دوم، کاربرد عمومی آنها از

اوایل دهه ۱۹۶۰ و در مطالعه رفتار گذرای برخی شبکه‌های مایکروویو بود [۳]. این مطالعات منجر به

استفاده از این پالس‌ها در رادارهای گشت که به دلیل ویژگی‌های مخصوصشان، دارای مزایایی نسبت

۱- Ultra Wide Band (UWB)

۲- Fractional Bandwidth

به رادارهای معمولی بودند، کاربردهای خاصی پیدا کردند. مهم‌ترین این ویژگی‌ها دقت و قدرت تفکیک بسیار زیاد در اندازه‌گیری برد و شناسایی اهداف، قابلیت عملکرد در محیط‌هایی که وجود عواملی چون مه، باران یا تداخل‌کننده‌های مصنوعی (نظیر chaff) مانع عملکرد سایر رادارها می‌شدند، و نیز توانایی تشخیص در زیر خاک، یخ و... بود [۲]، [۴]. به تدریج استفاده از این تکنولوژی در کاربردهای مخابراتی چون ایجاد ارتباط بسیار سریع بین کامپیوترها توسط کابل‌های کواکسیال راه یافت و امکان کاربرد آن در ارتباط‌های مخابراتی بی‌سیم با برد کوتاه مطرح شد [۳]. به دلیل وجود عامل محدودکننده مهمی چون فیدینگ ناشی از جمع مسیره‌های مختلف در مخابرات سیار، استفاده از پالس‌های بسیار باریک می‌توانست امنیت و مقاومت بسیار خوبی را در این رابطه، با ایجاد تمایز بین مسیره‌های مختلف و جلوگیری از جمع مخرب سیگنال‌های آنها، ایجاد کند. اما در این میان، کاربرد در مخابرات سیار با چالش‌هایی مواجه بود. پهنای باند بسیار وسیع این سیگنال‌ها تداخل بالقوه‌ای برای سایر سیستم‌های مخابراتی به شمار می‌آمد و علیرغم وجود ادعاهای بسیاری مبنی بر ناچیز و غیرمحسوس بودن این تداخل به دلیل پایین بودن سطح چگالی طیفی در نتیجه گسترش انرژی در یک باند فرکانسی بسیار وسیع، سال‌ها طول کشید تا مجوز لازم در این رابطه صادر شود. در واقع مطرح شدن قابلیت استفاده از این سیگنال‌ها در شبکه‌های بی‌سیم فوق سریع، که بازار بسیار خوبی محسوب می‌شد، فشارها و بودجه لازم برای این کار را فراهم آورد.

۱-۲ مخابرات فرایهن باند

۱-۲-۱ مخابرات فرایهن باند، از آغاز تا کنون

تاریخچه استفاده از امواج غیرسینوسی و مخابرات رادیویی بدون حامل به همان اوایل اختراع رادیو برمی‌گردد. در واقع، هاینریش هرتز در ۱۸۹۳، از تخلیه الکتریکی بین دو الکترود کربنی برای تولید امواج الکترومغناطیسی جهت انجام آزمایش‌هایش استفاده کرد [۲]. پس از ظهور و توسعه

ژنراتورهای فرکانس بالای امواج سینوسی و لزوم استفاده از حامل در ارسال‌های مخابراتی برای ایجاد امکان عملکرد چندین فرستنده به‌طور همزمان و دریافت انتخابی آنها، سیگنال‌های بدون حامل برای سال‌ها به فراموشی سپرده شدند.

اگرچه به نظر می‌رسد ظهور مجدد و گسترده سیگنال‌های غیرسینوسی با پهنای باند زیاد از سال ۱۹۶۰ و در رادارهایی باشد که از خواص خوب انتشار این‌گونه سیگنال‌ها برای مقاصد ویژه استفاده می‌کردند [۲]، ولی در حقیقت پیشنهاد استفاده از این‌گونه سیگنال‌ها برای مقاصد رادیویی به اوایل دهه

۴۰ میلادی برمی‌گردد و چندین پرونده در این مورد به اداره ثبت اختراعات آمریکا ارجاع شد. لیکن طبقه‌بندی‌های اطلاعاتی موجود اجازه انتشار آنها را تا سال‌ها پس از پایان جنگ جهانی دوم ندارد [۵]. در این میان آنچه که جالب توجه است، تحقیقات R. J. Pierce در این زمینه و شباهت آن با سیستم‌هایی است که در اوایل دهه ۹۰ و با نام UWB-TH مطرح شدند [۸]. در گزارش پایانی

محرمانه نشستی که در تابستان ۱۹۵۰ جهت بررسی برخی تکنیک‌های مخابرات نظامی در M.I.T.^۱ برگزار شد، سه روش برای دستیابی به مخابرات پوشیده (امن) ذکر شده بود که یکی از آنها روش

پیشنهادی Pierce بود. این روش از پالس‌های بسیار باریک جهت دستیابی به گستردگی طیف استفاده می‌کرد و کدگذاری لازم در فاصله پالس‌های ارسالی انجام می‌شد [۶]. البته در مقاله‌ای که در سال ۱۹۵۲ چاپ شد، Pierce و Hopper پس از بیان کلی ایده CDMA^۲ و منسوب کردن آن به کاری منتشر نشده از Shannon، سیستم مشابهی را برای استفاده در خطوط تلفن پیشنهاد کردند [۷].

با وجود چنین اختراع در زمینه مخابرات، کاربرد عمده فرایهن باند تا اوایل دهه ۹۰ در رادار باقی ماند. این زمان، آغاز دوره‌ای بود که در آن تحقیقات آکادمیک زیادی درباره جنبه‌های مختلف سیستم‌های فرایهن باند، همچون تکنیک‌های مختلف مدولاسیون، مدل‌سازی کانال انتشار و بررسی

۱- Massachusetts Institute of Technology

۲- Code Division Multiple Access

عملکرد در آن، تداخل با سایر سیستم‌های رادیویی و... انجام شد و تاکنون نیز ادامه دارد [۸]، [۹]، [۱۰]، [۱۱]، [۱۲]، [۱۳]، [۱۴].

خواص جالب سیگنال‌های فرایهن باند، شرکت‌های تجاری بسیاری را برانگیخت تا با استفاده از آن چشم‌انداز تازه‌ای را بر فعالیت‌ها و محصولات خود باز کنند؛ ولی قبل از هر چیز لازم بود تا مجوز مورد نیاز را برای استفاده از چنین سیگنال‌هایی، که پهنای باند بسیاری را اشغال می‌کردند و تداخل‌کننده بالقوه‌ای برای سیستم‌های بسیار دیگری به شمار می‌آمدند، از FCC^۱ دریافت کنند. در

همین راستا ریزنی‌های زیادی با FCC جهت متقاعد کردن آن صورت گرفت؛ ولی FCC نیز دلایلی برای نگرانی در مورد انتشار چنین سیگنال‌هایی داشت: باید از ایجاد تداخل در سیستم‌های حیاتی مانند GPS^۲ جلوگیری می‌شد و سیستم‌های زیادی دیگری نظیر رادار، ناوبری هوایی و یا سیستم‌های مبتنی بر استانداردهای IEEE ۸۰۲،۱۱ نیز می‌توانستند مورد تداخل قرار گیرند.

پس از پرسش و پاسخ‌ها و صرف هزینه‌های فراوان از سوی شرکت‌های ذی‌نفع، در سال ۲۰۰۲،

FCC بالاخره تعریف خود را از فرایهن باند ارائه کرد و مقررات اولیه‌ای در مورد چگونگی

سیستم‌های فرایهن باند وضع نمود [۱]. کلیه این قوانین در ایجاد محدودیت بر PSD^۳ سیگنال ارسالی

در فرکانس‌های مختلف، برای کاربردهای گوناگون، خلاصه می‌شود. همان‌گونه که خواهیم دید PSD پیشنهادی در زمینه مخابرات درون‌ساختمانی (شکل ۱-۱) به گونه‌ای است که امکان استفاده از تکنولوژی فرایهن باند را در مخابرات بسیاری سریع برد کوتاه (کم‌تر از ۱۰ متر) فراهم می‌آورد [۱۵].

این ویژگی سبب گشت تا فرایهن باند به عنوان اولین (و تنها) راه‌حل استاندارد IEEE ۸۰۲،۱۵،۳a،

که موضوع آن ارتباط بی‌سیم دستگاه‌ها و وسایل موجود در محوطه کار شخصی (WPAN)^۴ با

۱- Federal Communications Commission

۲- Global Positioning System

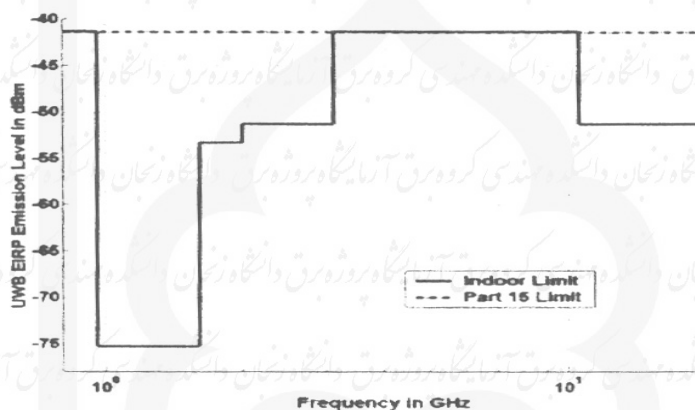
۳- Power Spectral Density

۴- Wireless Personal Area Network

پیشچیدگی، قیمت و مصرف توان پایین و نرخ اطلاعاتی بسیار بالا (بزرگتر از 110 Mb/s) می باشد، پیشنهاد شود [5]، [16].

با این وجود در یکی دو سال اخیر شاهد تلاش گسترده‌ای از سوی شرکت‌های فعال در این زمینه در جهت تبدیل فن‌آوری فرایهن باند از حالت جذاب و ساده Impulse Radio به یک حالت چندباندی (multiband) بوده‌ایم [17]. در این حالت با تقسیم پهنای باند بسیار بزرگ سیگنال به باندهای فرکانسی کوچکتر (به طوری که پهنای هر یک بیش از 500 MHz باشد)، یک فرستنده در هر زمان تنها در یک باند به ارسال خواهد پرداخت. دلایل عمده اعمال این تغییر در ماهیت اولیه

پالس‌های فرایهن باند را می‌توان چنین برشمرد:



شکل (۱-۱): PSD پیشنهادی در زمینه مخابرات درون‌ساختمانی توسط FCC

۱- پایین آوردن آهنگ A/D و سایر قطعات دیجیتال برای توسعه تجاری این روش.

۲- مقابله با بعضی تداخلات باند باریک محتمل.

۳- ایجاد قابلیت دسترسی چندگانه در نرخ‌های بالای اطلاعاتی.

علیرغم اینکه این تکنیک نیز نام فرایهن باند را یدک می‌کشد، در این حالت سادگی و زیبایی

مفهوم اولیه فرایهن باند از بین می‌رود. علاوه بر آن، گسترش زمانی پالس از مقاومت آن در برابر

فیدینگ کانال می‌کاهد و همان‌گونه که خواهیم دید، تکنیک‌های دسترسی چندگانه موجود برای آن،

در نرخ‌های اطلاعاتی بالا تعداد کاربران زیادی را پشتیبانی نخواهد کرد.

تکنیک چند بانندی^۱ از سوی شرکت‌های بسیار مورد استقبال قرار گرفته است [۱۷] و برخی نیز بر استفاده از تکنیک (قدیمی!) Impulse Radio و مزایای آن اصرار می‌ورزند [۱۸]. به هر حال هر دو دسته سعی دارند تا استانداردهای آتی در این زمینه، طرح پیشنهادی آنها را دربر گیرد.

۲-۲-۱ مخابرات فرایهن باند و مرزهای آن

همان‌گونه که گفته شد، یکی از چالش‌های مهم مخابرات فرایهن باند، مساله تداخل بر دیگر

سیستم‌های مخابراتی است. به همین دلیل FCC در آمریکا، ETSI در اروپا و موسسه مشابهی در

ژاپن، محدودیت‌هایی را بر توان ارسالی این سیستم‌ها (در حقیقت بر PSD سیگنال ارسالی) قرار

داده‌اند. لذا عملکرد سیستم‌های فرایهن باند در قالب یک نظام توان محدود (Power-limited) خواهد

بود. برای کسب دیدی بهتر نسبت به محدودیت فوق، تقریبی سرانگشتی از ظرفیت سیستم (در حالت

تک‌کاربرده و در کانال AWGN) به دست می‌آوریم. بنا بر فرمول ظرفیت کانال شانون داریم:

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P}{N} \right)$$

C ظرفیت کانال، P توان سیگنال و N توان نویز است. فرض می‌کنیم طیف سیگنال در محدوده

۱۰،۶GHz-۳،۱ (۱-۱) قرار دارد و فرستنده با ماکزیمم توان مجاز (با ماکزیمم سطح PSD، P_m ،

برابر با $-۴۱,۳ \text{ dBm/MHz}$) ارسال کند. در صورتی که تلفات سیستم را تنها تلفات مسیر (در حالت

دید مستقیم)، به شکل

$$L(d) = 20 \log \left(\frac{4\pi s f_c d}{c} \right) \text{ dB}$$

^۱ - Multiband

در نظر بگیریم [۱۹]، که f_c میانگین هندسی فرکانس‌های بالایی و پایینی طیف، d فاصله فرستنده و گیرنده و c سرعت نور است، و اگر چگالی طیفی توان نویز گیرنده $\frac{N_0}{2}$ (که آن را در محاسبات

$$C(d) = W \log_2 \left(1 + \frac{P_{om}}{L(d)N_0} \right)$$

برابر با -117 dBm/MHz در نظر می‌گیریم) باشد، داریم:

با رسم عبارت فوق برای مقادیر عددی داده شده بر حسب d (شکل ۲-۱)، ملاحظه می‌شود که با وجود اینکه برای فواصل نزدیک ظرفیت بسیار زیاد است، با افزایش برد سیستم ظرفیت به شدت کاهش می‌یابد.

از اینجا می‌توان دلیل انتخاب این فناوری برای استفاده در مخابرات بسیار سریع برد کوتاه را دریافت. اما این امر مانع از استفاده این فناوری در سیستم‌های مخابراتی با برد بیشتر نمی‌شود. در واقع

اگر SNR^۱ بر سمبول را چنین بنویسیم:

$$\frac{E_s}{N_0} = \frac{P}{RN_0} \propto \frac{P_t}{d^2 R}$$

که R نرخ ارسال سمبول و P_t توان ارسالی فرستنده است. مشاهده می‌شود که با توجه به ثابت

بودن توان، با افزایش برد سیستم برای جلوگیری از افت عملکرد آن لازم است که نرخ ارسالی را کاهش دهیم.

^۱ - Signal to Noise Ratio

مراجع

[۱] First report and order, revision of part ۱۵ of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission system Washington, DC: FCC, ET Docket ۹۸-۱۵۳, ۲۰۰۲.

[۲] Henning, F. Harmuth, Nonsinusoidal waves for radar and radio communication. Academic Press, ۱۹۸۱.

[۳] C.L Bennett and G.F. Ross, "Time-domain electromagnetics and its application", *Proc. IEEE*, Vol. ۶۶, pp. ۲۹۹-۳۱۸, ۱۹۷۸.

[۴] R.J. Fontana, "Recent system applications of short-pulse ultra-wideband (UWB) technology", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, Vol. ۵۲, pp. ۲۰۸۷-۲۱۰۴, sept. ۲۰۰۴.

[۵] G.R. Aiello and G.D. Rogerson, "Ultra-Wideband wireless systems" *Microwave Magazine, IEEE*, Vol. ۴, pp. ۳۶-۴۷, Jun ۲۰۰۳.

[۶] Simon et al., *Spread spectrum communications Handbook*. New York: McGraw-Hill, ۱۹۹۴.

[۷] J.R. Pierce and A.L. Hopper, "Nonsynchronous time division with holding and with random sampling", *Proc. Of the IRE*, Vol. ۴۰, pp. ۱۰۷۹-۱۰۸۸, Sept ۱۹۵۲.

[۸] R.A.Scholtz, "Multiple Access with Time-Hopping Impulse Radio",
Proc. Of the IEEE Milcom Conference, Boston,MA, USA, pp.۴۴۷-۴۵۰,
Oct. ۱۹۹۳

[۹] M.Z. Win and R.A. Scholtz, "Ultra-Wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications"
IEEE Trans. Commun., Vol.۴۸, pp.۶۷۹-۶۹۱, Apr.۲۰۰۰.

[۱۰] D.Choi and W.Stark, "performance of UWB communications with suboptimal receivers in multipath channels" *IEEE J. Select. Areas Commun*, Vol.۲۰, pp. ۱۷۵۴-۱۷۶۶, Dec.۲۰۰۲.

[۱۱] M.Hamainen, "On the UWB system coexistence with GSM۹۰۰, UMTS/WCDMA, and GPS" *IEEE Jour. Sel. Areas Commun.* Vol.۲۰, pp.۱۷۱۲-۱۷۲۱, Dec.۲۰۰۲.

[۱۲] G.Durisi, S.Benedetto, "Performance evaluation and comparison of different modulation schemes for UWB multi-access systems" *IEEE int. Conf. Commun.* , ۲۰۰۳.

[۱۳] F.Ramirez-Mireles, "On performance of Ultra-Wideband signals in Gaussian noise and dense multipath" *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. ۵۰, pp.۲۴۴-۲۴۹, Jan. ۲۰۰۱.

[۱۴] D.Cassoli, M.Z. Win and A.F. Molisch, "The ultra widebandwidth indoor channel: From statistical model to simulations" *IEEE J.Select. Areas Commun.* , pp. ۱۲۴۷-۱۲۵۷, Aug. ۲۰۰۲.

[۱۵] S.Roy, J.R.Foerster, V.S. Somayazulu and D.G. Leeper, "Ultrawideband

radio design: the promise of high-speed, short-range wireless connectivity", *Proc.of the IEEE*, Vol. ۹۲, pp. ۲۹۵-۳۱۱, Feb.۲۰۰۴.

[۱۶] D.Porcino and W.Hirt, "Ultra-Wideband radio technology: potential and

challenges ahead", *IEEE Commun. Mag.*, Vol.۴۱, pp.۶۶-۷۴, July ۲۰۰۳.

[۱۷] W.D. Jones, "Ultrawide gap on ultrawideband", *IEEE Spectrum*, Vol.۴۱,

Jan. ۲۰۰۴.

[۱۸] A.Batra et al., "Design of a multiband OFDM system for relastic UWB

channel environments", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, Vol.۵۲, pp.۲۱۲۳-۲۱۳۸, Sept.۲۰۰۴.

[۱۹] I.E. Telatar and D.N.C. Tse, "Capacity and mutual information of

wideband multipath fading channels" *IEEE Trans. Inform. Theory*, Vol.۴۶, pp.۱۳۸۴-۱۴۰۰, July ۲۰۰۰.

[۲۰] M.Medard and R.Gallager, "Bandwith scaling for fading multipath

channels" *IEEE Trans. Inform. Theory*, Vol.۴۸, pp.۸۴۰-۸۵۲, Apr.۲۰۰۲.

[۲۱] Li Zhao and A.M. Haimovich, "Performance of ultra-wideband

communications in the presence of interference", *IEEE J.Select. Areas Commun.* Vol. ۲۰, pp. ۱۶۸۴-۱۶۹۱, Dec.۲۰۰۲.

[۲۲] R.W.Chang, "Synthesis of band limited orthogonal signal for multi

channel data transmission", *Bel Syst/Tech.J.*, Vol.۵۵, pp.۱۷۷۵-۱۷۹۶, December ۱۹۹۶.

[۲۳] R.Salzberg, "Performance of an efficient parallel data transmission system", *IEEE Trans Comm. Tech*, Vol. ۱۵, pp.۸۰۵-۸۱۳, December ۱۹۶۷

[۲۴] S.B. Weinstein and P.M. Ebert, "Data Transmission by frequency-division multiplexing using the discrete Fourier transform", *IEEE Trans.*

Commun. Technol., vol.COM-۱۹, pp.۶۲۸-۶۳۴, Oct. ۱۹۷۱.

[۲۵] H. Schulze, C. Luders, *The Theory and Application of OFDM and CDMA*. John Wiley & Sons, ۲۰۰۵.

[۲۶] H. Liu and G. Li, *OFDM-based broadband wireless networks: design and optimization*. John Wiley & Sons, ۲۰۰۵.

[۲۷] G. Foschini and M. Gans, "On limits of wireless communication in a fading environment when using multiple antennas." *Wireless Pres.*

Comm. Vol. ۶, pp.۳۱۱-۳۳۵, March ۱۹۹۸.

[۲۸] I. E. Telatar, "Capacity of multi antenna Gaussian channels" *European Trans. Tel.*, Vol ۱۰, PP.۵۸۵-۵۹۵, November ۱۹۹۹.

[۲۹] S. M. Alamouti "A simple transmit diversity technique for wireless communications." *IEEE J. select. Areas Commun*. Vol. ۱۶, pp. ۱۴۵۱-

۱۴۵۸, Oct. ۱۹۹۸.

[۳۰] 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.

[۳۱] Tse and Viswanath, Fundamental of wireless communication. Cambridge University Press, May ۲۰۰۵.

[۳۲] F. Neeser, J. Massey, "Proper complex random processes with application to Information theory", *IEEE Trans. Inf. Theory*, pp. ۱۲۹۳-۱۳۰۲, July ۱۹۹۳.

[۳۳] David j. Love, Robert W. Heath, W.Santipach, and M.L. Honig, "What is the value of limited feedback for چند خروجی - چند رودی channels?" *IEEE. Com. Magazine*, October ۲۰۰۴.

[۳۴] M. Vu and A.Paulraj, "Some Asymptotic Capacity Results for چند رودی - Wireless with and without Channel Knowledge at Transmitter ", in *Proc. ۳۷th Asilomar Conf. on Signals, Systems, and computers*, pp.۲۵۸-۲۶۲, NOV ۲۰۰۳.

[۳۵] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A.R. Calderbank, "Space-Time block coding for wireless communication: Performance results ", *IEEE J. select Area Commun.*, Vol. ۱۷, no. ۳, pp. ۴۵۱-۴۶۰, Mar. ۱۹۹۹.

[۳۶] V. Tarokh, N. Seshadri, and A.R. Calderbank, "Space-Time codes for high data rate wireless communications: performance analysis and code construction", *IEEE Tran. Inform. Theory*, Vol. ۴۴, no. ۲, pp. ۷۴۴-۷۶۵, Mar. ۱۹۹۸.

[۳۷] R. A. Scholtz, "Multiple accesses with time-hopping impulse modulation," in *Proc. MILCOM Conf., Boston, MA, Oct. ۱۹۹۳*, pp. ۴۴۷–۴۵۰.

[۳۸] J. R. Foerster, "The performance of a direct-sequence spread ultrawideband system in the presence of multipath, narrowband interference, and multiuser interference," in *IEEE Conf. Ultra Wideband Systems Tech.*, May ۲۰۰۲, pp. ۸۷–۹۱.

[۳۹] N. Boubaker and K. B. Letaief, "Ultra wideband DSSS for multiple access communications using antipodal signaling," in *IEEE Int. Conf. Commun.*, vol. ۳, May ۲۰۰۳, pp. ۱۱–۱۵.

[۴۰] E. Saberinia and A. H. Tewfik, "Pulsed and nonpulsed OFDM ultra wideband wireless personal area networks," in *IEEE Conf. Ultra Wideband Systems Tech.*, Nov. ۲۰۰۳, pp. ۲۷۵–۲۷۹.

[۴۱] A. Batra et al., "Design of a multiband OFDM system for realistic UWB channel environments," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. ۵۲, no. ۹, pp. ۲۱۲۳–۲۱۳۸, Sep. ۲۰۰۴.

[۴۲] S. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. ۱۶, no. ۸, pp. ۱۴۵۱–۱۴۵۸, Oct. ۱۹۹۸.

[۴۳] B. M. Hochwald and T. L. Marzetta, "Unitary space-time modulation for multiple-antenna communication in Rayleigh flat fading" *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. ۴۶, pp. ۵۴۳-۵۶۴, Feb. ۲۰۰۰.

[۴۴] W. Su, Z. Safar, M. Olfat, and K. J. R. Liu, "Obtaining full-diversity space-frequency codes from space-time codes via mapping," *IEEE Trans. Signal Process.* vol. ۵۱, no. ۱۱, pp. ۲۹۰۵-۲۹۱۶, Nov. ۲۰۰۳.

[۴۵] _____ "Systematic design of space-frequency codes with full rate and full diversity," in *IEEE Wireless Commun. Networking Conf.*, vol. ۳, Mar. ۲۰۰۴, pp. ۱۴۳۶-۱۴۴۱.

[۴۶] Y. Gong and K. B. Letaief, "Space-frequency-time coded OFDM for broadband wireless communications," in *IEEE Global Telecommun. Conf.* vol. ۱, Nov. ۲۰۰۱, pp. ۵۱۹-۵۲۳.

[۴۷] A. F. Molisch, M. Z. Win, and J. H. Winters, "Space-time-frequency (STF) coding for چند خروجی - چند رودی-OFDM systems," *IEEE Commun. Lett.* vol. ۶, no. ۹, pp. ۳۷۰-۳۷۲, Sep. ۲۰۰۲.

[۴۸] W. Su, Z. Safar, and K. J. R. Liu, "Towards maximum achievable diversity in space, time and frequency: Performance analysis and code design," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. ۴, no. ۴, pp. ۱۸۴۷-۱۸۵۷, Jul. ۲۰۰۵.

[۴۹] W. P. Siriwongpairat, M. Olfat, and K. J. R. Liu, "Performance analysis

and comparison of time hopping and direct sequence UWB- چند رودی -
چند خروجی systems," in *EURASIP J. Appl. Signal Process. Special Issue*
on "UWB State of the Art", vol. ۲۰۰۵, Mar. ۲۰۰۵, pp. ۳۲۸-۳۴۵.

[۵۰] L. Yang and G. B. Giannakis, "Analog space-time coding for
multiantenna ultra-wideband transmissions," *IEEE Trans. Commun.*, vol.
۵۲, no. ۳, pp. ۵۰۷-۵۱۷, Mar. ۲۰۰۴.

[۵۱] M. Weisenhorn and W. Hirt, "Performance of binary antipodal signals
over the indoor UWB چند خروجی - چند رودی channel," in *IEEE Int. Conf.*
Commun., vol. ۴, May ۲۰۰۳, pp. ۲۸۷۲-۲۸۷۸.

[۵۲] D. Cassioli, M. Z. Win, and A. F. Molisch, "The ultra-wide bandwidth
indoor channel—from statistical model to simulations," *IEEE J. Sel. Areas*
Commun., vol. ۲۰, pp. ۱۲۴۷-۱۲۵۷, Aug. ۲۰۰۲.

[۵۳] J. R. Foerster et al., Channel Modeling Sub-Committee Report Final,
Nov. ۱۸, ۲۰۰۳. IEEE ۸۰۲/۱۵-۰۲/۴۹۰.

[۵۴] H. Hashemi, "Impulse response modeling of indoor radio propagation
channels," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. ۱۱, no. ۷, pp. ۹۶۷-۹۷۸, Sep.

[۵۵] Z. Feng and T. Kaiser, "On channel capacity of multi-antenna UWB
indoor wireless systems," in *IEEE Int. Symp. Spread Spectrum*

Techniques and Applications, Sydney, NSW, Australia, Aug. ۳۰–Sept. ۲

۲۰۰۴.

[۵۶] H. Liu, "Performance of a pulse amplitude and position modulated ultra-wideband system over lognormal fading channels," *IEEE Commun. Lett.*

vol. ۷, no. ۱۱, pp. ۵۳۱–۵۳۳, Nov. ۲۰۰۳.

[۵۷] IEEE ۸۰۲.۱۵ WPAN High Rate Alternative PHY Task Group ۳a (TG۳a)

[Online]. Available: www.ieee802.org/15/pub/TG3a.html

[۵۸] R. A. Horn and C. R. Johnson, *Matrix Analysis*. New York: Cambridge Univ. Press, ۱۹۸۵.

[۵۹] M. Nakagami, "The m-distribution: A general formula of intensity distribution of rapid fading," in *Statistical Methods in Radio Wave*

Propagation, W. G. Hoffman, Ed. Oxford, U.K.: Pergamon, ۱۹۶۰.

[۶۰] J. G. Proakis, *Digital Communications*. ۴th Ed. New York: McGraw-Hill, ۲۰۰۱.

[۶۱] M. K. Simon and M.-S. Alouini, *Digital Communication over Fading Channels*, ۲nd Ed, New York: Wiley, ۲۰۰۴.

[۶۲] S. S. Ghassemzadeh, L. J. Greenstein, T. Sveinsson, and V. Tarokh,

"A multipath intensity profile model for residential environments," in *IEEE Wireless Commun. Networking Conf.*, vol. ۱, Mar. ۲۰۰۳, pp. ۱۵۰–

۱۵۵.