



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: مخابرات

عنوان: مدلولاسیون های وقفی

استاد راهنما: جناب آقای مهندس مصطفوی

نگارش: وحید وفایی

مرداد ۹۲

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۷	مقدمه
۹	فصل ۱: سیستم انتقال وقتی
۱۳	فصل ۲: تکنیک های مدولاسیون
۱۴	۲.۱ تکنیک های سرعت-متغیر
۱۶	۲.۲ تکنیک های توان-متغیر
۱۷	۲.۳ احتمال خطای متغیر
۱۸	۲.۴ تکنیک های کدینگ-متغیر
۱۹	۲.۵ تکنیک های هایبرید
۲۰	فصل ۳: نرخ-متغیر توان-متغیر MQAM
۲۱	۳.۱ کران های احتمال خطا
۲۳	۳.۲ ساختارهای نرخ و توان تطبیقی
۲۷	۳.۳ کانال وارون با نرخ ثابت
۲۹	۳.۴ تطبیق نرخ-گسسته
۳۷	۳.۵ میانگین مدت منطقه محو
۴۰	۳.۶ دقت در برابر احتمال خطای بیت تقریبی
۴۱	۳.۷ خطا و تاخیر تخمین کانال

عنوان صفحه

۳.۸ مدولاسیون کد شده ی تطبیقی ۴۶

فصل ۴ : مدولاسیون های M سطحی کلی ۵۰

۴.۱ تطبیق نرخ-پیوسته ۵۱

۴.۲ تطبیق نرخ-گسسته ۵۸

۴.۳ BER متوسط مورد نظر ۶۰

فصل ۵ : تکنیک های تطبیقی در محو شدن ترکیبی سریع و آهسته ۶۶

نتیجه گیری ۷۰

مراجع ۷۱

چکیده ی مطالب

بسیاری از کانال های موجود در طبیعت متغیر با زمان هستند یعنی شرایط آن ها دائما در حال تغییر است به این معنی که در لحظه ای ممکن است سیگنال در کانال دچار محوشدگی یا تغییر شود و در لحظه ای دیگر این اتفاق رخ ندهد هر چند امکان دارد مقادیر محوشدگی یا تغییر سیگنال متفاوت باشد که این به نوع کانال بستگی دارد؛ لذا برای افزایش بازده طیفی در کانال های متغیر با زمان باید از مدولاسیون های وفقی بهره برد؛ زیرا این نوع مدولاسیون ها با تخمین کانال در گیرنده و فیدبک آن به فرستنده، به فرستنده این امکان را می دهند تا ساختار خود از جمله نرخ، توان، کدینگ و ... را با مشخصات کانال تطبیق دهد، که این عمل باعث می شود که بتوان از کانال در شرایط کم بازده هم استفاده نمود. ذکر این نکته نیز لازم است که همیشه نمی توان از مدولاسیون وفقی استفاده کرد زیرا این مدولاسیون دارای محدودیت هایی نیز است از جمله این که همیشه باید یک مسیر فیدبک بین فرستنده و گیرنده وجود داشته باشد؛ به علاوه، کانال نباید سریع تر از سرعت تخمین و فیدبک به فرستنده، تغییر کند که در غیر این صورت مدولاسیون وفقی کارایی نخواهد داشت.

فصل ۱ این پایان نامه سیستم انتقال وفقی را به طور کلی مورد بررسی قرار داده است. فرض های اولیه، تعریف متغیرها، بررسی شرایط کانال، هم چنین توضیح مختصری در مورد مدل سیستم داده شده است. علاوه بر این ها، رابطه ی بازده طیفی مدولاسیون M سطحی که ما در این پایان نامه به دنبال بهینه سازی آن در مدولاسیون های وفقی نسبت به مدولاسیون های غیر وفقی هستیم نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

در مورد انواع تکنیک های مدولاسیون وفقی در فصل ۲ به طور اجمالی بحث شده است. تکنیک هایی مانند سرعت-متغیر که در آن نرخ داده متناسب با بهره ی کانال تغییر می کند یا تکنیک توان-متغیر که در اصل به تنهایی برای جبران SNR در اثر محوشدگی استفاده می شود موضوع بحث این فصل است. از دیگر تکنیک های بحث شده در این فصل می توان به احتمال خطای متغیر، تکنیک های کدینگ-متغیر و تکنیک های هایبرید اشاره کرد.

در فصل ۳ نرخ-متغیر توان-متغیر MQAM مورد بحث قرار گرفته است و در آن حالت خاصی از مدولاسیون وفقی که در آن نرخ و توان تغییر می کند تا بازده طیفی ماکزیمم شود تشریح شده است. به همین منظور

ابتدا کران های احتمال خطا یادآوری شده است. در بخش بعد ساختارهای نرخ و توان تطبیقی با توجه به کران های احتمال خطا مورد بررسی واقع شده است و پس از آن کانال وارون با نرخ ثابت برای ثابت نگه داشتن SNR دریافتی مورد بحث قرار گرفته است. سپس تطبیق نرخ-گسسته مورد واکاوی قرار گرفته است که در این بخش بازده طیفی برای کانال وارون محاسبه و پیشینه سازی شده است. در بخش پنجم این فصل مدت زمانی که SNR معین در داخل ناحیه ی محوشدگی باقی می ماند مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش ششم نیز احتمال خطای بیت به طور دقیق تر بحث شده است. در بخش بعد یکی از فرض های ساده کننده حذف شده است و فرض شده است که تخمین کانال دارای خطا و تاخیر می باشد تا نتیجه بر روی احتمال خطای بیت مشاهده شود. در آخرین بخش این فصل مدولاسیون کد شده ی تطبیقی موضوع بحث قرار می گیرد که ایده ی اساسی آن بهره برداری از تفکیک پذیری طراحی کد و منظومه است.

فصل ۴ به بررسی مدولاسیون های M سطحی در حالت کلی پرداخته است و تکنیک های نرخ و توان متغیر که در فصل قبل از آن برای MQAM تشریح شده است به سایر مدولاسیون های M سطحی نیز اعمال می شود. در بخش ۱ این فصل تطبیق نرخ-پیوسته بررسی شده است و در بخش ۲ تطبیق نرخ-گسسته مورد بحث قرار گرفته است. در این بخش معادله ی لاگرانژ برای یافتن مقدار قطع بررسی و حل شده است. در بخش ۳ که آخرین بخش این فصل است BER متوسط مورد نظر هدف بحث است که بازده با استفاده از BER متوسط مورد نظر و استفاده از کران های ناحیه ی زیر بهینه محاسبه می شود.

موضوع بحث فصل ۵ که فصل آخر نیز می باشد تکنیک های تطبیق در محوشدگی سریع و آهسته است. در این فصل فرض می شود که محوشدگی سریع قابل تطبیق نیست و نرخ و توان فقط به محوشدگی آهسته تطبیق می شود که این خود بر روی بازده طیفی متوسط متناظر تاثیرگذار است.

مقدمه

مدولاسیون و کدینگ وفقی توانایی انتقال طیفی موثر و قوی را در کانال های متغیر با زمان دارا می باشد. فرض اساسی، تخمین کانال در گیرنده و فیدبک این تخمین به فرستنده است، که ساختار فرستنده بتواند خود را با مشخصات کانال تطبیق دهد. روش های مدولاسیون و کدینگ که با شرایط محو شدگی وفق داده نشده اند نیاز به یک حاشیه لینک ثابت دارند تا بتوانند به عملکرد قابل قبول خود زمانی که کیفیت کانال ضعیف است ادامه دهند. لذا این سیستم برای کانال با شرایط بسیار بد به طور موثر طراحی شده است. از آن جایی که محوشدگی ریلی می تواند توان سیگنال را تا ۳۰ دسی بل کاهش دهد، طراحی برای بدترین شرایط کانال می تواند منجر به این شود که بتوان از کانال در شرایط کم بازده هم استفاده نمود. تطبیق با محو شدگی کانال می تواند به طور میانگین راندمان کار را بالا ببرد، توان انتقالی لازم را کاهش دهد، یا احتمال خطای متوسط بیت را با استفاده ی مفید از شرایط مطلوب کانال برای ارسال داده های بیشتر یا توان کم تر و با کاهش نرخ داده و یا افزایش توان در کانال ضعیف تر، کاهش دهد. ما می خواهیم تکنیک های عملی تر برای مدولاسیون های وفقی و کدینگ را ارائه کنیم که در صورت ثابت باقی ماندن احتمال خطای بیت متوسط معین یا آنی منجر به افزایش بازده طیفی متوسط می شود. همان فرض اساسی می تواند به کانال های MIMO اعمال شود، انتخاب فرکانس برابر با کانال های دارای محوشدگی، OFDM یا CDMA و سیستم های سلولی.

انتقال (مخابره) وفقی برای اولین بار در اواخر دهه ۶۰ یا ۷۰ مورد بررسی قرار گرفت [1; 2]. علاقه به این روش خیلی طول نکشید شاید به علت محدودیت سخت افزار، عدم وجود روش های خوب برای تخمین کانال و یا سیستم های متمرکز بر روی لینک های رادیویی نقطه به نقطه بدون فیدبک انتقالی. به هر میزان که تکنولوژی پیشرفت کرد محدودیت این موضوع کم تر شد، در نتیجه علاقه به روش های مدولاسیون وفقی در سیستم های بی سیم 3G احیا شد [3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12]. لذا بسیاری از سیستم های بی سیم، شامل GSM و سیستم های سلولی CDMA مانند LAN های بی سیم، از روش های انتقال وفقی استفاده می کنند [13; 14; 15; 16].

چندین محدودیت عملی وجود دارد که تعیین می کند چه مواقعی باید از مدولاسیون وفقی استفاده شود.

مدولاسیون وفقی یک مسیر فیدبک بین فرستنده و گیرنده نیاز دارد، که برای برخی سیستم ها در عمل امکان پذیر نمی باشد. علاوه بر این، اگر کانال سریع تر از سرعت تخمین و فیدبک به فرستنده تغییر کند، روش های وفقی ضعیف انجام خواهند شد. بسیاری از کانال های بی سیم در مقیاس های زمانی مختلف از خود تغییرات نشان می دهند؛ برای مثال: محوشدگی چند مسیره، که می تواند بسیار سریع تغییر کند، و سایه ای، که به آرامی تغییر می کند. اغلب فقط تغییرات کند می تواند دنبال و وفق داده شود که در این صورت کاهش محوشدگی تخت به منظور پرداختن به اثرات چند مسیره نیاز است. محدودیت سخت افزار است که تعیین می کند چه مواقعی فرستنده می تواند نرخ بیت و یا توان خود را تغییر دهد، و این ممکن است بهره ی عملکرد میسر با مدولاسیون وفقی را محدود کند. و بالاخره، مدولاسیون وفقی معمولاً نرخ انتقال دیتا را متناسب با شرایط کانال تغییر می دهد. ما مشاهده خواهیم کرد که بازده طیفی متوسط مدولاسیون وفقی تحت یک توان متوسط محدود و با تنظیم نرخ بیت کم یا صفر در شرایط کانال های ضعیف افزایش خواهد یافت. اما، با این روش، کیفیت برنامه های کاربردی نرخ ثابت (مانند صدا یا تصویر) که تاخیر در آن ها دارای محدودیت های سختی است ممکن است به طور قابل ملاحظه ای در معرض خطر قرار گیرد. بنابراین، مدولاسیون وفقی در برنامه های دارای محدودیت تاخیر باید بهینه شود تا احتمال قطع برای نرخ داده ثابت به حداقل برسد [17].

پایان نامه کارشناسی

فصل ۱

« سیستم انتقال و فقی »

در این فصل ما سیستمی را تشریح خواهیم کرد که مرتبط با انتقال وقتی است. ما مدولاسیون را خطی در نظر می گیریم، که در آن تطبیق در چند نرخ سمبل $R_s = 1/T_s$ صورت می گیرد. ما هم چنین فرض می کنیم مدولاسیون از پالس های دیتای نایکوئیست ایده آل $\text{sinc}[t/T_s]$ استفاده می کند. لذا پهنای باند سیگنال $B = 1/T_s$ است. ما کانال با محو شدگی تخت را با کانال زمان گسسته مدل می کنیم که هر استفاده از کانال مطابق با یک سمبل زمان T_s است. کانال ثابت است و دارای بهره ی متغیر با زمان ارگودیک $\sqrt{g[i]}$ که وابسته به توزیع $p(g)$ داده شده و نویز گوسی سفید جمع شونده $n[i]$ ، با چگالی طیفی توان $N_0/2$ است. \bar{P} توان متوسط سیگنال ارسالی را مشخص می کند، $B = 1/T_s$ پهنای باند سیگنال دریافتی، و \bar{g} بهره متوسط کانال است. نسبت توان سیگنال به توان نویز دریافتی به صورت لحظه ای (SNR) برابر است با: $\gamma[i] = \bar{P}g[i]/N_0B$ و $0 \leq \gamma[i] < \infty$ و مقدار آن (امید ریاضی) در تمام زمان ها برابر است با: $\bar{\gamma} = \bar{P}\bar{g}/N_0B$. چون $g[i]$ ثابت است، توزیع $\gamma[i]$ مستقل از i است، و ما این توزیع را با $p(\gamma)$ مشخص می کنیم.

در انتقال وقتی ما بهره ی توان و SNR دریافتی در زمان i را تخمین می زنیم و سپس مطابق با آن پارامترهای مدولاسیون و کدینگ را تطبیق می دهیم. پارامترهایی که در تطبیق بیشتر معمول هستند عبارتند از: نرخ داده $(R[i])$ ، توان انتقالی $(P[i])$ و پارامترهای کدینگ $(C[i])$. برای مدولاسیون M سطحی نرخ داده برابر است با:

$$R[i] = \log_2 M[i]/T_s = B \log_2 M[i] \text{ bps}$$

بازده طیفی مدولاسیون M سطحی برابر است با:

$$R[i]/B = \log_2 M[i] \text{ bps/Hz}$$

ما تخمین SNR را با رابطه مقابل مشخص می کنیم: $\hat{\gamma}[i] = \bar{P}\hat{g}[i]/N_0B$ ، که براساس تخمین بهره ی توان $(\hat{g}[i])$ است. فرض کنید توان ارسالی متناسب با $\hat{\gamma}[i]$ تطبیق داده شود. ما این توان

تطبیقی ارسالی را در زمان i با $P(\hat{\gamma}[i]) = P[i]$ نشان می دهیم، و توان دریافتی در زمان i برابر است با: $\gamma[i]P(\hat{\gamma}[i])/P$. به طور مشابه ما می توانیم نرخ داده ی مدولاسیون

($R(\hat{\gamma}[i]) = R[i]$) و یا پارامترهای کدینگ ($C(\hat{\gamma}[i]) = C[i]$) را متناسب با تخمین $\hat{\gamma}[i]$

تطبیق دهیم. وقتی که متن واضح باشد ما مرجع زمانی i را حذف خواهیم کرد و این گونه به کار خواهیم

برد: $P(\gamma)$ ، $R(\gamma)$ و $C(\gamma)$.

مدل سیستم در شکل ۱.۱ نشان داده شده است. ما فرض می کنیم که یک تخمین $\hat{g}[i]$ از بهره ی توان

کانال ($g[i]$) در زمان i بعد از تاخیر زمانی i_e قابل دسترسی برای گیرنده است و این تخمین مشابه بعد

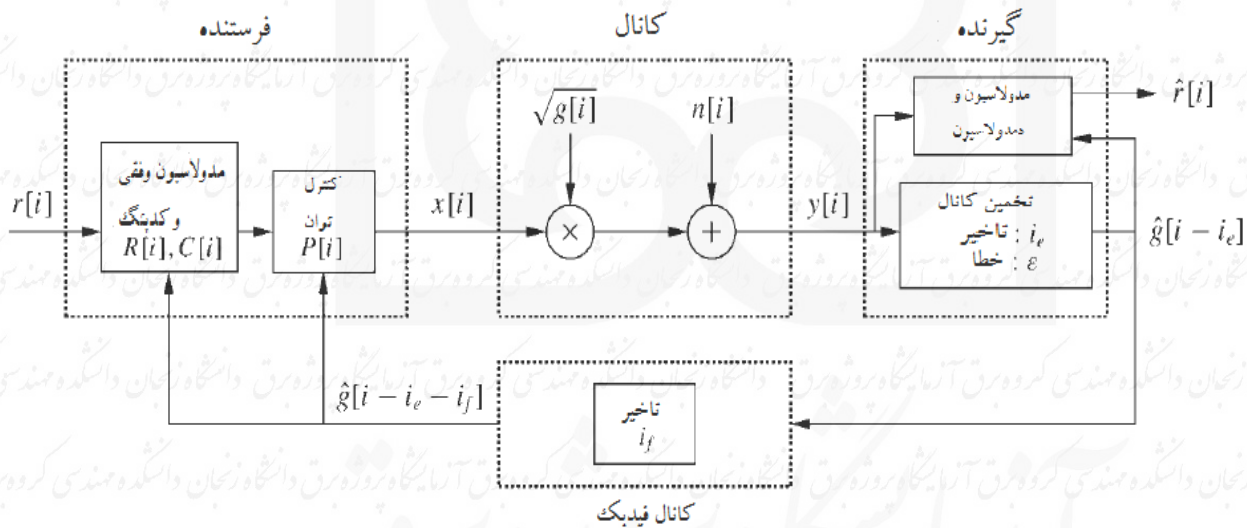
از یک برآورد و سپس جمع با تاخیر مسیر فیدبک ($i_d = i_e + i_f$) برای فرستنده هم قابل

دسترس است. در دسترس بودن این اطلاعات کانال در فرستنده به آن اجازه می دهد که ساختار خود را

متناسب با تغییرات کانال تطبیق دهد. استراتژی تطبیق ممکن است محاسبه ی تخمین خطا و تاخیر در

$\hat{g}[i - i_d]$ یا بحث در مورد $\hat{g}[i - i_d]$ به عنوان بهره ی واقعی باشد. این موضوع با جزئیات

بیشتر در بخش ۳.۷ مورد بررسی قرار خواهد گرفت.



شکل ۱.۱ مدل سیستم

ما فرض می کنیم که مسیر فیدبک هیچ خطایی را وارد نمی کند، که اگر در مسیر فیدبک از تصحیح خطای قوی و آشکارساز کد استفاده شود و اگر بسته های مرتبط با خطاهای آشکارسازی شده دوباره ارسال گردند این یک فرض منطقی است.

نرخ (سرعت) تغییر کانال است که مشخص می کند چه زمانی فرستنده باید پارامترهای ارسالش را تطبیق دهد، و این هم چنین تخمین خطای $g[i]$ را تحت تاثیر قرار می دهد. زمانی که بهره ی کانال متشکل از هر دو مولفه ی محوشدگی سریع و آهسته است، ارسال تطبیقی می تواند به هر دو تطبیق شود اگر $g[i]$ به اندازه ی کافی آرام تغییر کند، یا می تواند فقط به محوشدگی آهسته تطبیق شود. در حالت خاص اگر $g[i]$ برابر با سایه و محوشدگی چند مسیره باشد، که در سرعت های کم سایه اساسا ثابت است و محوشدگی چند مسیره به اندازه ی کافی آهسته صورت می گیرد که تخمین زده شود و به همراه تخمین خطا و تاخیر به فرستنده فیدبک شود تا افت قابل ملاحظه ای در عملکرد پیش نیاید. در سرعت های بالا سیستم نمی تواند به مدت طولانی به طور موثر برای تطبیق در محوشدگی چند مسیره تخمین بزند و فیدبک نماید. در این صورت، انتقال تطبیقی فقط برای تغییرات سایه ای به نتیجه می رسد و خطای احتمالی مدولاسیون براساس توزیع محوشدگی سریع متوسط گیری می شود. تکنیک های تطبیق برای ترکیب محوشدگی سریع و آهسته در فصل ۵ بحث خواهد شد.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

نتیجه گیری:

در کانال های متغیر با زمان برای انتقال طیفی موثر و کارآمد باید از مدولاسیون های وقتی بهره برد تا زمانی که سیگنال بر اثر شرایط کانال دچار تضعیف یا محوشدگی می شود بازده طیفی پایین نیاید و سیستم بتواند روند عادی خود را در ارسال داده ها دنبال کند. تطبیق با محوشدگی کانال می تواند راندمان کار را به طور چشم گیری افزایش دهد.

برای هر نوع مدولاسیون وقتی، فرض اساسی یکسان است و آن این است که توان ارسالی و اندازه ی منظومه با شرایط کانال تطبیق داده می شوند تا احتمال خطای بیت آنی معین را برای هر سمبل هنگامی که نرخ داده ی متوسط افزایش می یابد ثابت باقی نگه دارند این بدین معناست که تکنیک عملی مورد استفاده در مدولاسیون های وقتی این است که در صورت ثابت باقی ماندن احتمال خطای بیت متوسط معین منجر به افزایش بازده طیفی متوسط می شود.

این موضوع در مدولاسیون MQAM با تطبیق نرخ-گسسته به وضوح مشاهده می شود. در طرح ارسالی MQAM نرخ-متغیر توان-متغیر در هر نمونه زمان یک سمبل از مجموعه ی منظومه ارسال می شود و این انتخاب منظومه وابسته به سطح محوشدگی SNR است؛ بسته به مقدار SNR تعیین می شود کدام منظومه باید ارسال شود و توان ارسالی مربوطه چه مقدار باید باشد. هم چنین نرخ که در آن فرستنده باید منظومه و توان خود را تغییر دهد به دست می آید. اندازه ی منظومه ی مربوط به هر SNR با جداسازی محدوده ی سطح محوشدگی کانال تعیین می شود؛ به این معنا که این میزان محوشدگی است که مقدار SNR لازم را تعیین می کند. با افزایش پارامتر M که تعداد نقاط داخل یک منظومه ی سیگنال را مشخص می کند نرخ و در نتیجه بازده طیفی افزایش می یابد ولی این افزایش، باعث افزایش احتمال خطای بیت نیز می شود که امری نامطلوب است لذا نمی توان مقدار M را به صورت نامحدود افزایش داد؛ در نتیجه باید این مقدار را به گونه ای انتخاب کرد که تعادلی میان بازده طیفی و احتمال خطای بیت حاصل شود، به همین منظور باید از مدولاسیون های وقتی بهینه سازی شده با توجه به شرایط کانال استفاده کرد.

مراجع :

[1] J. F. Hayes, "Adaptive feedback communications," *IEEE Trans. Commun. Tech.*, pp. 29–34, February 1968.

[2] J. K. Cavers, "Variable-rate transmission for Rayleigh fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, pp. 15–22, February 1972.

[3] S. Otsuki, S. Sampei, and N. Morinaga, "Square-QAM adaptive modulation/TDMA/TDD systems using modulation level estimation with Walsh function," *Elec. Lett.*, pp. 169–71, February 1995.

[4] W. T. Webb and R. Steele, "Variable rate QAM for mobile radio," *IEEE Trans. Commun.*, pp. 2223–30, July 1995.

[5] Y. Kamio, S. Sampei, H. Sasaoka, and N. Morinaga, "Performance of modulation-level-controlled adaptive-modulation under limited transmission delay time for land mobile communications," *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf.*, pp. 221–5, July 1995.

[6] B. Vucetic, "An adaptive coding scheme for time-varying channels," *IEEE Trans. Commun.*, pp. 653–63, May 1991.

[7] M. Rice and S. B. Wicker, "Adaptive error control for slowly varying channels," *IEEE Trans. Commun.*, pp. 917–26, February–April 1994.

[8] S. M. Alamouti and S. Kallel, "Adaptive trellis-coded multiple-phased-shift keying for Rayleigh fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, pp. 2305–14, June 1994.

[9] T. Ue, S. Sampei, and N. Morinaga, "Symbol rate and modulation level controlled adaptive modulation /TDMA/TDD for personal communication systems," *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf.*, pp. 306–10, July 1995.

[10] H. Matsuoka, S. Sampei, N. Morinaga, and Y. Kamio, "Symbol rate and modulation level controlled adaptive modulation /TDMA/TDD for personal communication systems," *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf.*, pp. 487–91, April 1996.

[11] S. Sampei, N. Morinaga, and Y. Kamio, "Adaptive modulation /TDMA with a BDDFE for 2 Mbit/s multi-media wireless communication systems," *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf.*, pp. 311–15, July 1995.

[12] S. T. Chung and A. J. Goldsmith, "Degrees of freedom in adaptive modulation: A unified view," *IEEE Trans. Commun.*, pp. 1561–71, September 2001.

[13] A. Furuskar, S. Mazur, F. Muller, and H. Olofsson, "EDGE: Enhanced data rates for GSM and TDMA/136 evolution," *IEEE Wireless Commun. Mag.*, pp. 56–66, June 1999.

[14] A. Ghosh, L. Jalloul, B. Love, M. Cudak, and B. Classon, "Air-interface for 1XTREME/1xEVDV," *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf.*, pp. 2474–8, May 2001.

[15] S. Nanda, K. Balachandran, and S. Kumar, "Adaptation techniques in wireless packet data services," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 54–64, January 2000.

[16] H. Sari, "Trends and challenges in broadband wireless access," *Proc. Sympos. Commun. Veh. Tech.*, pp. 210–14, October 2000.

[17] K. M. Kamath and D. L. Goeckel, "Adaptive-modulation schemes for minimum outage probability in wireless systems," *IEEE Trans. Commun.*, pp. 1632–5, October 2004.

[18] J. Hagenauer, "Rate-compatible punctured convolutional codes (RCPC codes) and their applications," *IEEE Trans. Commun.*, pp. 389–400, April 1988.

[19] G. J. Foschini and J. Salz, "Digital communications over fading radio channels," *Bell System Tech. J.*, pp. 429–56, February 1983.

[20] G. D. Forney, Jr., R. G. Gallager, G. R. Lang, F. M. Longstaff, and S. U. Quereshi, "Efficient modulation for band-limited channels," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, pp. 632–47, September 1984.

[21] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 2001.

[22] M. Filip and E. Vilar, "Implementation of adaptive modulation as a fade countermeasure," *Internat. J. Sat. Commun.*, pp. 181–91, 1994.

[23] C. C. Tan and N. C. Beaulieu, "On first-order Markov modeling for the Rayleigh fading channel," *IEEE Trans. Commun.*, pp. 2032–40, December 2000.

[24] L. Kleinrock, *Queueing Systems*, vol. I: *Theory*, Wiley, New York, 1975.

[25] W. C. Jakes, Jr., *Microwave Mobile Communications*, Wiley, New York, 1974.

[26] H. S.Wang and P.-C. Chang, "On verifying the first-order Markov assumption for a Rayleigh fading channel model," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, pp. 353–7, May 1996.

[27] X. Tang, M.-S. Alouini, and A. Goldsmith, "Effect of channel estimation error on M-QAM BER performance in Rayleigh fading," *IEEE Trans. Commun.*, pp. 1856–64, December 1999.

[28] J. K. Cavers, "An analysis of pilot symbol assisted modulation for Rayleigh fading channels," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, pp. 686–93, November 1991.

[29] A. J. Goldsmith and L. J. Greenstein, "Effect of average power estimation error on adaptive MQAM modulation," *Proc. IEEE Internat. Conf. Commun.*, pp. 1105–9, June 1997.

[30] D. L. Goeckel, "Adaptive coding for time-varying channels using outdated fading estimates," *IEEE Trans. Commun.*, pp. 844–55, June 1999.

[31] A. Duel-Hallen, S. Hu, and H. Hallen, "Long-range prediction of fading signals," *IEEE Signal Proc. Mag.*, pp. 62–75, May 2000.

[32] M.-S. Alouini and A. J. Goldsmith, "Adaptive modulation over Nakagami fading channels," *Kluwer J. Wireless Pers. Commun.*, pp. 119–43, May 2000.

[33] S.-G. Chua and A. J. Goldsmith, "Adaptive coded modulation for fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, pp. 595–602, May 1998.

[34] S. Vishwanath, S.A. Jafar, and A. J. Goldsmith, "Adaptive resource allocation in composite fading environments," *Proc. IEEE Globecom Conf.*, pp. 1312–16, November 2001.