



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

تئوری ارتباطی زمانی و مکانی با استفاده از آرایه های آنتن تطبیقی

Spatial and Temporal Communication Theory Using Adaptive Antenna Array

استاد درس
دکتر جواد امیدی

ارئه دهنده
طیبه قلی پور ۸۷۰۵۲۸۴

تابستان ۱۳۸۸

تئوری ارتباطی زمانی و مکانی با استفاده از آرایه های آنتن تطبیقی

چکیده

اگر نقشه مطلوب آنتن و کنترل فعال آرایه آن به منظور پیدا کردن وزن های آنتن و بروز رسانی آن در نرم افزار انجام شود آرایه آنتن تطبیقی یا آنتن هوشمند یک آنتن نرم افزاری نامیده می شود. این آنتن می تواند ابزاری برای تحقق رادیو نرم افزاری باشد. یک آنتن نرم افزاری می تواند به عنوان فیلتر تطبیقی برای قلمرو زمانی و مکانی در ارتباطات رادیویی باشد. در اینجا یک تئوری ارتباط رادیویی در قلمروهای زمانی و مکانی بر اساس آرایه های تطبیقی آنتن معرفی می کنیم. و کانال مدل شده زمانی و مکانی، equalization، یک گیرنده بهینه را در این تئوری بررسی می کنیم. این تئوری به منظور کاهش اثر محوشدگی چند مسیری (multipath fading) به کار می رود.

کلمات کلیدی: آرایه های آنتن تطبیقی، خرابی چند

مسیری، equalization زمانی و مکانی

مقدمه

تحقیقات اخیر نشان داده است که تلاش برای بهبود کیفیت سیگنال و افزایش سرعت انتقال در سیستم های سلولار یکی از مهمترین مسائل در ارتباطات رادیویی بی سیم است. این مشکلات می توانند به intersymbol interference (ISI) که مربوط به تاخیر سیگنال است و در طول کانال چند مسیری اتفاق می افتد و co-channel interference (CCI) است که وابسته به دسترسی چندگانه می باشد. راههای زیادی برای مبارزه با خرابی سیگنال وجود دارد. یک equalizer که تنها از قلمرو زمانی استفاده می کند برای مواردی که تاخیر سیگنال کم است مناسب می باشد. اما زمانی که تاخیر زیاد می شود پیچیدگی این سیستم بالا می رود.

یک آرایه آنتن گروهی از آنتن هایی است که به شکل هندسی خاصی و با فواصل مشخصی توزیع شده اند. خروجی آرایه آنتن بوسیله ترکیب خاصی از خروجی هر آرایه مشخص می شود. با این نوع عملکرد امکان استخراج سیگنال مطلوب از سیگنال های رسیده شده وجود دارد.

یک آرایه از آنتن ها می تواند تداخل ناشی از سیگنالها را، با استفاده از زاویه ورود یا جهت ورود سیگنال به آنتن کاهش دهد (DOA). حتی اگر تاخیر سیگنال زیاد هم باشد پیچیدگی سیستم بخاطر استفاده از جهت یابی آنتن بالا نمی رود. از آنجاییکه ترکیب یک آرایه آنتن به همراه equalizer می تواند خرابی های سیگنال را جبران نماید بنابراین می توان با استفاده از آرایه آنتنی که هم از قلمرو زمانی استفاده می کند و هم جهت ورود سیگنال را در نظر می گیرد و از قلمرو مکانی استفاده می کند، ظرفیت سیستم را اضافه کرد. پردازش زمانی و مکانی سیگنال بر روی آرایه آنتن می تواند

برای نسل سوم ارتباط بی سیم مناسب باشد. این ایده برای کاربردهایی با زمان طولانی سروکار دارند مانند رادار و تکنولوژی های ماهواره ای موفقیت آمیز می باشد. طرحهایی که وزنه های بهینه را برای آنتن تعیین می کنند شامل دو گروه زیر می

شوند. ۱- روشهای تطبیقی در قلمرو زمانی که شامل الگوریتمهای Least Mean Squares (LMS), Recursive Least Squares (RLS), and the Constant Modulus Algorithm (CMA) می شود. و از نقطه نظر تکنیک های

گسترش یک فیلتر دیجیتال تطبیقی پیشنهاد شده اند. ۲-

الگوریتمهای تخمین DOA که از نقطه نظر تحلیل طیف در قلمرو مکانی هستند و شامل discrete Fourier transform (DFT), the maximum entropy method (MEM), MUSIC, ESPRIT می شوند. از آنجاییکه تکنولوژی ارتباطات به سرعت در حال گذار از آنالوگ به دیجیتال و از باند باریک به باند پهن می باشد پردازش های بنیادی (مدولاسیون، دمدولاسیون، equalization

و غیره) در نرم افزار انجام می شود. که به معماری رادیو نرم افزاری رجوع می کند. چون شکل های گوناگون نقشه آنتن و کنترل فعال آن می تواند توسط نرم افزار انجام شود می توانیم آرایه آنتن تطبیقی را آنتن نرم افزاری یا آنتن هوشمند بنامیم. تحلیل یک سیستم ارتباط رادیویی می تواند توسط کامپیوتر شبیه سازی شود. تجهیزات سخت افزار یک آرایه آنتن تطبیقی باید به گونه ای باشد ویژگی ها را بهبود ببخشد و پیچیدگی را ارزیابی کند. یک آنتن نرم افزاری یک شکل downconverter دهنده ی سیگنال است که به ترتیب به یک تبدیل کننده آنالوگ به دیجیتال و یک پردازش کننده سیگنال دیجیتال مجهز شده است.

آرایه های آنتن تطبیقی

آرایه آنتن تطبیقی آرایه ای از آنتن هاست که نقشه اش را به طور مداوم توسط کنترل فیدبک تنظیم می کند. یک آرایه آنتن TDL با تاخیرهای میانی در شکل ۱ نشان داده شده است. یک فیلتر دیجیتال در هر عنصر آرایه که می تواند پاسخ فرکانسی را هم کنترل کند وجود دارد. نقشه هر آرایه با تنظیم دامنه و فاز سیگنال هر عنصر آنتن پیش از ترکیب سیگنالها، کنترل می شود. زمانی که سیگنال

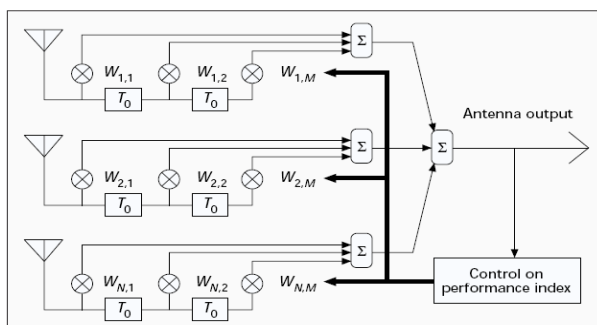


Figure 1. An adaptive TDL antenna array with N element antenna and M taps in each element.

ورودی به آنتن TDL برابر $x(t)$ است خروجی آرایه به صورت زیر است: (۱)

$$y(t) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M x(t - mT_0) w_{n,m} \exp(-jn\phi)$$

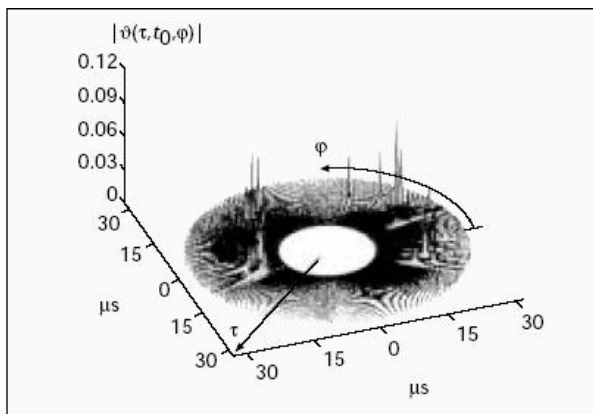


Figure 3. A real measured impulse response according to DOA

باشد [4]. در شکل ۲ دیده می شود که مسیر انتشار خاص با پاسخ ضربه متفاوت برای هر DOA تعریف می شود. هر مسیر با زاویه ورود خاص دارای تاخیرهای متفاوتی است. پاسخ ضربه مسیر k ام با $h_k(\tau)$ به ازای DOA خاص با زاویه ورود θ_k که $k=(1,2,...K)$ است، نشان داده می شود.

$$h_k(t) = \sum_{i=1}^{I_k} g_{k,i} \delta(t - \tau_{k,i}) \exp(j\psi_{k,i}) \quad (4)$$

که $g_{k,i}$ ، $\tau_{k,i}$ و $\psi_{k,i}$ به ترتیب دامنه مسیر، تاخیر مسیر و فاز مسیر برای سیگنال تاخیری i ام در طول مسیر k ام می باشند. I_k شمار سیگنالهای تاخیر دار یا delay spread در مسیر k ام است. و $\delta(t)$ تابع دلتای دیراک است. معادله مختلط باند پایه سیگنال رسیده شده در عنصر n ام آرایه به ازای مسیر k ام که با $R_n(t, \theta_k)$ نشان داده می شود برابر است با:

$$R_n(t, \theta_k) = \sum_{i=1}^{I_k} g_{k,i} S_b(t - \tau_{k,i}) \times \exp(-j2\pi \frac{\sin \theta_k}{\lambda} \tau_{k,i}) \exp(j\psi_{k,i}) \quad (5)$$

که در آن $S_b(t)$ سیگنال مختلط باند پایه فرستاده شده می باشد و $\phi_{k,i}$ آفست فاز شبکه است.

Equalization زمانی و مکانی:

با استفاده از مدل کانال زمانی و مکانی گفته شده در بالا ما می توانیم یک تئوری پیشرفته نایکویست برای کانال شناخته شده بکار ببریم. هرچند برای کانالهای شناخته نشده یا متغیر با زمان الگوریتمهای کوناگونی برای محاسبه و بروز رسانی وزنهاى آنتن وجود دارند.

معیار نایکویست مکانی و زمانی

معیار نایکویست در قلمروهای زمانی و مکانی با استفاده از معادله ۱ و ۲ بدست می آید. خروجی آرایه $y(t)$ با $y(t, \theta)$ تبدیل شود. زیرا خروجی آرایه به زمان و دستگاه زاویه $\Theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_K)$ وابسته است. خروجی آرایه از رابطه زیر بدست می آید.

$$y(t, \Theta) = \sum_{k=1}^K p(t, \theta_k) \quad (6)$$

که $p(t, \theta_k)$ به صورت زیر تعریف می شود..

که T_0 تاخیر بین واسطه های میانی است. $w_{n,m}$ ضریب m امین واسطه میانی عنصر n ام آنتن است. N و M شمار عناصر و واسطه های میانی هر عنصر است. شمار واسطه های میانی برابر $N.M$ است. تفاوت فاز بین سیگنال رسیده شده در عنصرهای آنتن در یک آرایه خطی است. که با رابطه زیر بدست می آید.

$$\varphi = \frac{2\pi S \sin \theta}{\lambda} \quad (2)$$

که λ ، S و θ به ترتیب طول موج سیگنال ورودی، فاصله بین عناصر مجاور آرایه و DOA سیگنال رسیده شده می باشند. تابع انتقال آنتن در قلمرو زاویه مکانی θ و در قلمرو فرکانس زمانی $f = \omega/2\pi$ رابطه زیر است. (۳)

$$H(\omega, \theta) = \sum_{m=1}^M \exp(-jm\omega T_0) \sum_{n=1}^N w_{n,m} \exp(-jn\varphi)$$

زمانی که ω ثابت است معادله ۳ نقشه آنتن را نشان می دهد و زمانی که θ ثابت است این معادله بیانگر پاسخ فرکانسی آنتن است. بنابراین یک آرایه آنتن TDL می تواند به عنوان ابزاری برای سیگنالینگ، برابرسازی و آشکارسازی در قلمرو زمانی و مکانی بکار رود.

مدل کانال زمانی و مکانی

به منظور طراحی و تحلیل آرایه آنتن یک مدل انتقال در قلمرو زمانی و مکانی باید روشن شود. ویژگی های مکانی (تعریف زاویه) به اندازه ویژگی های زمانی (تعریف تاخیر) مهم هستند. ویژگی های زمانی و مکانی به محیط انتشار سیگنال بستگی دارد که می تواند شامل، محیط درونی، محیط بیرونی (فضای آزاد)، مناطق روستایی یا شهری و غیره شود. برای سادگی کار یک مدل قطعی از کانال چند مسیری در این مقاله برای تئوری زمانی و مکانی در نظر گرفته شده است. اگر تغییرات زمان و ویژگی های تصادفی پخش شدگی زمان و مکان به حساب آورده شوند مدل کانال به بیشتر از یک کاربرد گسترش خواهد یافت. ملاحظات بیان شده به نقشه سطح افقی بدون از بین بردن نکته اصلی محدود شده است. یک کانال خراب کننده چند مسیری، مانند کانال رادیویی موبایل، به این صورت مدل می شود که یک سیگنال ارسالی از فرستنده در گیرنده با تاخیرها و زاویه های مختلف می رسد. سیگنال رسیده شده در مسیر انتشار در کانال بوسیله تاخیر یا پاسخ ضربه برای DOA خاص تعریف می شود. بنابراین کانال می تواند توسط مدل 2D زمانی و مکانی معرفی شود. شکل ۲ یک چنین کانالی را نشان می دهد. شکل ۳ یک مدل کانال زمانی و مکانی که در یک سیستم خاص سنجیده شده می

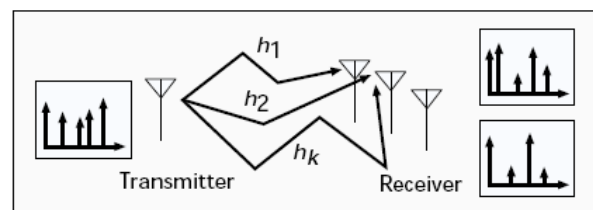
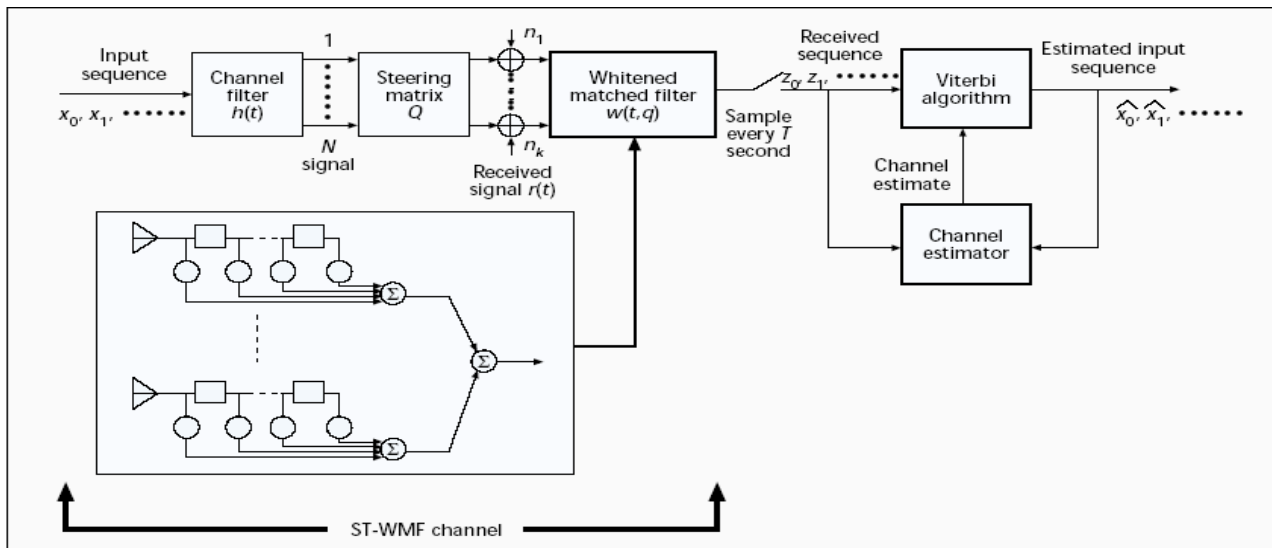


Figure 2. Spatial and temporal multipath channel model (2D channel model with paths defined by DOAs and time impulse responses of the paths).



■ Figure 4. Spatial and temporal optimum receiver.

شناخته شده است مفید می باشد. آرایه های RLS و LMS به شرط دانستن همبستگی سیگنال مرجع با سیگنال مورد نظر نیازی به دانستن DOA سیگنال مورد نظر ندارند. نقشه آرایه برای حداکثر کردن SNR به صورت فعال پی گیری می شود. آرایه CMA وزنه های آنتن را با مراجعه به پوش ثابت سیگنالهای مدوله شده جدید می کند اما تنها برای مدولاسیون دامنه دائمی در دسترس است. به طور کلی در این الگوریتمهای بهنگام آوری زمانی، همگرا شدن وزن ها به مقادیر بهینه زمان می برد.

الگوریتمهای بهنگام آوری زمانی از فیلترهای دیجیتال سرچشمه می گیرند. DOA ها می توانند از طیف فرکانس فضایی تخمین زده شوند، که می تواند بوسیله DFT یا MEM برای سیگنالهای نمونه برداری شده فضایی، تعیین شود. ضریب وزنها بوسیله حل Weiner از طیف فضایی تخمین زده شده، تعیین می شود. الگوریتم MUSIC مقدار DOA را در noise subspace تخمین می زند که بوسیله بردارهای eigen از ماتریس کوواریانس سیگنال نمونه برداری شده فضایی تعریف می شود در حالی که DFT و MEM آن را در signal subspace انجام می دهد. MUSIC ویژگی های تخمین بهتری نسبت به MEM ایجاد می کند اگر noise subspace برای سیگنالهای ناهمبسته از سیگنال بزرگتر است. این الگوریتمهای تخمین طیف فضایی می توانند استفاده شوند تا وزنه های بهینه یا نیمه بهینه را با استفاده از نمونه های فضایی گرفته شده در یک لحظه از زمان تخمین بزنند. بنابراین اگر سرعت پردازش به اندازه کافی زیاد باشد که بتواند کانالهای متغیر با زمان را دنبال کند این الگوریتمها برای کانال fast fading از الگوریتمهای قبلی جذاب تر می باشند.

بنابراین به منظور جبران اثر خرابی چند مسیری می توان از equalizer تطبیقی (که براساس فیلتر دیجیتال است) در حوزه زمانی و یک diversity antenna در قلمرو مکانی برای کانال رادیویی موبایل در تاخیرهای کم و زیاد استفاده کرد.

$$p(t, \theta_k) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^{I_k} \omega_{n,m} g_{k,i} \exp(j\phi_{k,i})$$

$$\exp(-j2\pi S \frac{\sin \theta_k}{\lambda}) S_b(t - \tau_{k,i} - mT_0)$$

فرض کنیم که زاویه مطلوب ورودی است. اگر $p(t, \theta)$ در $T = IT_d$ و $\theta = \theta_l$ برابر S_l باشد و در بقیه جاها برابر صفر باشد، ISI باید برابر صفر شود. این شرایط معیار نایکویست تعمیم یافته در قلمرو زمانی و مکانی نامیده می شود. این معیار توسط رابطه زیر نشان داده می شود. (۷)

$$\delta'(t, \theta) p(IT_d, \theta) = S_l \delta'(t - IT_d, \theta - \theta_l),$$

مشتق تابع دلتای دیراک است و S_l سمبل منتقل شده در $t = IT_d$ است. زمانی که $p(t, \theta_k)$ تنها تابعی از زمان است این معادله معیار نایکویست معمولی نامیده می شود.

Equalization زمانی و مکانی برای کاهش ISI

چندین معیار برای برابری زمانی و مکانی وجود دارد. مانند ZF (zero forcing) و MMSE (minimum mean square error) برای جدید کردن ضرایب وزنه های آنتن بکار می رود. اگر شمار نامحدودی از واسطه های میانی و عناصر آرایه داشته باشیم معیار ZF، معیار نایکویست تعمیم یافته را در مورد noise-free اجرا می کند. از آنجایی که شمار محدودی از عناصر آرایه و واسطه های میانی وجود دارند، می توان میزانی خطای برابر سازی می توان چندین ترکیب از عناصر آرایه و واسطه های میانی داشت که یک میزان خطا دارند بنابراین می توانیم از ترکیباتی استفاده کنیم که عناصر آرایه کمتر و واسطه های میانی بیشتری دارند. آرایه های آنتن تطبیقی مانند آرایه های LMS، RLS، CMA و Applebaum سیگنال را در جهت مطلوب شکل می دهند و به منظور از بین بردن تداخل، با nulls سعی می کنند تا SNR را افزایش دهند. آرایه Applebaum زمانی که DOA سیگنال مورد نظر در advance

گیرنده بهینه زمانی و مکانی

در قسمتهای قبل درباره ی equalization زمانی و مکانی برای کاهش ISI بحث شد. در Viterbi equalization هدف ماکزیمم کردن درست نمایی دنباله ورودی، با کار کردن بر روی ISI است. در حضور ISI و نویز گوسی سفید (AWGN) گیرنده بهینه شامل فیلتر تطبیق یافته (WMF)، یک تخمین زن برای حداکثر کردن درست نمایی دنباله ورودی (MLSE) یا Viterbi detector (VD) می شود، که در قلمرو زمانی و مکانی کار می کند.

Whitened Matched Filter زمانی و مکانی

در اینجا فیلتر مورد نظر از آرایه آنتن TDL استفاده می کند. SNR در خروجی آرایه آنتن با رابطه زیر بیان می شود. که D بردار تاخیر می باشد.

$$SNR = \frac{\sigma_s^2 \left| w^T(D, \Theta) \sum_{k=1}^K h_k(D) q(\theta_k) \right|^2}{\sigma^2 |w(D, \Theta)|^2} \quad (8)$$

که σ_s^2 و $w(D, \Theta)$ ، $q(\theta_k)$ ، $\sigma_s^2 h_k(D)$ به ترتیب پاسخ ضربه مسیر k ام، واریانس دنباله ورودی $x(D)$ بردار steering برای DOA مربوط به θ_k مسیر k ام، پاسخ ضربه N بعدی یا بردار وزن آنتن در دستگاه Θ و توان نویز می باشد. برای حداکثر کردن SNR از نامساوی شوارتز برای بدست آوردن $w(D, \Theta)$ در آرایه آنتن TDL استفاده می کنیم که به رابطه زیر می رسم.

$$w(D, \Theta) = \sum_{k=1}^K h_k(D^{-1}) D^{K_0} q(\theta_k) \quad (9)$$

$$q(\theta_k) = [1e^{-j\pi \sin \theta_k} \dots e^{-j(N-1)\pi \sin \theta_k}] \quad (10)$$

که این شرایط برای K_0 جهت ایجاد اطمینان است

$$\max_{k=1,2,\dots,K} \{I_k\} \leq K_0$$

اگر پاسخ ضربه کانال تنها در زمان در نظر گرفته شود فیلتر از نوع T-WMF بود و اگر یک آرایه خطی یکنواخت بخواهد در عوض آرایه TDL استفاده شود $M=1$ آنگاه یک WMF مکانی (S-WMF) خواهیم داشت. وزن های یک آنتن S-WMF بوسیله $W(\theta) = [w_1, w_2, \dots, w_N]^T$ که در w_n n امین عنصر آنتن برابر است

$$w_n = \sum_{k=1}^K \exp(jn\pi \sin \theta_k) \quad (11)$$

در اینجا فرض می کنیم که فاصله عناصر $\lambda/2$ است.

گیرنده بهینه زمانی و مکانی

شکل ۳ یک VD متصل شده به ST-WMF را نشان می دهد. (آرایه آنتن TDL است). این یک گیرنده بهینه زمانی و مکانی است. الگوریتم آشکار سازی در گیرنده به صورت زیر است.

۱- هر عنصر آنتن سیگنالها را دریافت می کند.

۲- سیگنال رسیده شده در هر عنصر آرایه بوسیله ST-WMF فیلتر می شود، که با پاسخ ضربه کانال انتقال تطبیق داده می شود.

۳- ماکزیمم دنباله درست نمایی از خروجی ST-WMF تخمین زده می شود.

احتمال خطای $P(e)$ از گیرنده بهینه پیشنهاد شده در بالا بوسیله رابطه زیر محدود می شود.

$$P(e) \leq \alpha Q_{error}(d_{\min}/2\sigma) \quad (12)$$

که $d_{\min}$ مینیمم فاصله هندسی، α یک ثابت کوچک است و $Q_{error}(\cdot)$ تابع خطا می باشد. ریت انتقال R_{st} با رابطه زیر بدست می آید.

$$R_{st} = W \log \frac{\sigma_s^2 \sum_{k=0}^{2K-1} |g_k|^2 + \sigma^2}{\sigma^2} \quad (13)$$

که W و g_k پهنای باند و بخش تاخیر پاسخ ضربه کانال جدا از هم

می باشد. شکل ۶ و BER و ریت انتقال گیرنده مورد نظر را با

گیرنده های دیگر نشان می دهد. به ازای مقادیر عددی زیر این نتایج بدست آمده است. $N=3, M=3, h_1(D) = 1 + 0.5D$ $\theta_1 = 30(deg)$ $0.7 + 0.2D$ برای DOA مربوط به

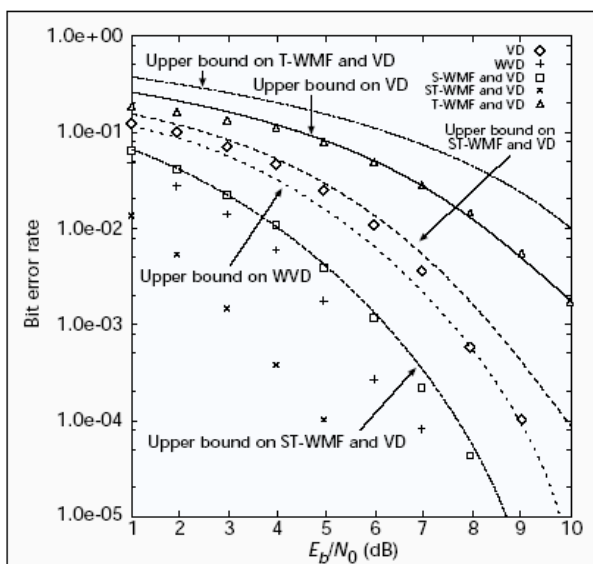


Figure 5. BER of optimum receivers in spatial and/or temporal domains.

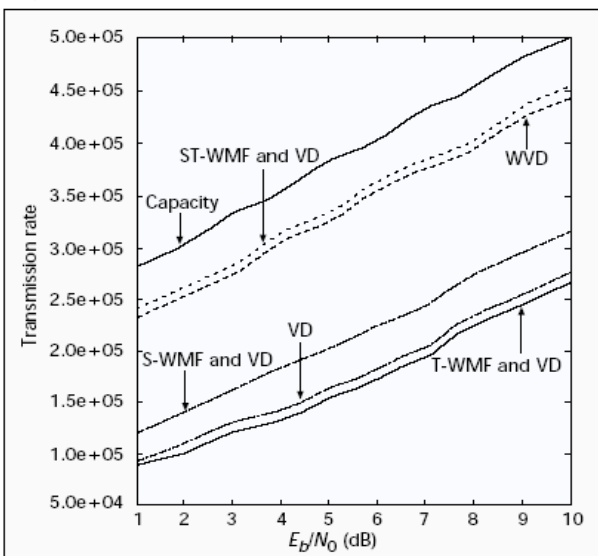


Figure 6. Achievable transmission rate of optimum receivers comparing with Shannon capacity.

برای $\theta_{3,1} = 25$ ، $h_{3,2} = 4.2D^2$ برای $\theta_{3,2} = 10$ که زاویه ها بر حسب درجه هستند.

راديو نرم افزاري و آرايه هاي آنتن

شکل 8 ساختار یک راديو نرم افزاري را در کنار آنتن های هوشمند ADC و یک downconverter نشان می دهد. هر عنصر آرايه به یک متصل شده است و بقیه عملیات در نرم افزار انجام می شود. اتصال به آنتن های هوشمند نیاز به افزایش توان پردازشی دارد، SDR هرچند این به اجزای سیستم آنتن و پردازش های مورد نظر بستگی و ASICs دارد. سخت افزار دیجیتال می تواند ترکیبی از (پردازشگر سیگنال دیجیتال) باشد. به عنوان مثال یک چیپ DSP می تواند به عنوان Xilinx Vitex-E FPGA به نام FPGA استفاده شود که دارای ۲۰ کانال ورودی و ۱۴ بیت خروجی می باشد و سرعتی معادل ۳۶۷۵ گیگا بایت بر ثانیه است که می تواند برای و آنتن های هوشمند بکار رود. SDR تحقق اتصال

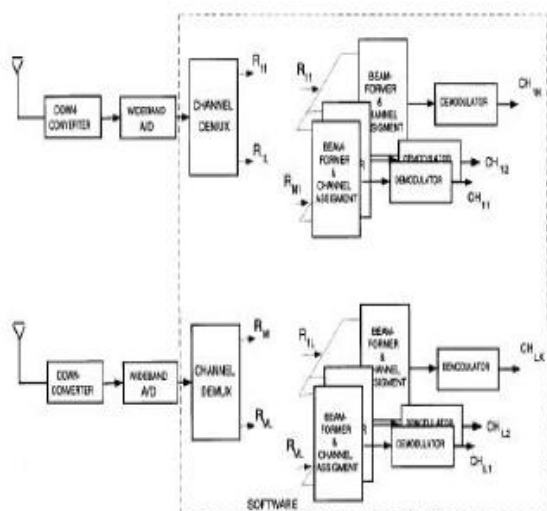


figure 8. functional block diagram of software radio by smart antenna

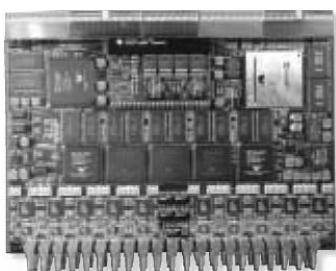


Figure 9
Xilinx Virtex-E FPGAs
on a BenADIC 20-
channel , 14-bit data

نتیجه گیری

تئوری ارتباطی زمانی و مکانی سرعت دسترسی بالاتر و قابلیت اطمینان بیشتری ایجاد می کند. در این زمینه تحقیقاتی بر روی کدینگ زمانی و مکانی هم انجام شده است. سیستم آنتن هوشمند برای ارتباطات موبایل بسیار جذاب هستند و علت آن افزایش نسبت $carrier$ به تداخل برای هر کاربر است که منجر به ظرفیت بالا و هزینه شبکه کمتر می شود. در این تئوری تاخیرهای زیاد قابل جبران هستند و بنابراین برای رادار مناسب بوده و تحقیقاتی بر روی آن صورت گرفته است.

و $\theta_2 = 60(deg)$ می باشد.

گیرنده بهینه چند کاربری در CDMA

یک کانال ارتباطی موبایل $sequence$ CDMA (DS/CDMA) بصورت یک کانال با ISI وابسته به $multipath$ و CCI وابسته به همبستگی بین دنباله پخش شده از کاربرهای دسترسی چند گانه مدل شده است. با استفاده از یک آرایه آنتن TDL ، ما یک گیرنده بهینه زمانی و مکانی چند کاربری معرفی می کنیم که $MLSE$ برای دیتای هر کاربر در حضور ISI و CCI می تواند استفاده شود. شکل ۳ ساختار این گیرنده را نشان می دهد به گونه ای که همبسته کننده برای هر کاربر در قبال $ST-WMF$ قرار دارد و $cross-coupling$ برای ساختار چند گیرنده و فرستنده با VD قرار دارد. الگوریتم آشکار سازی در گیرنده گفته شده بصورت زیر است.

۱- هر عنصر آنتن سیگنالها را دریافت می کند.

۲- سیگنال رسیده شده در هر عنصر توسط همبسته ساز هر کاربر فیلتر می شود.

۳- بردار خروجی همبسته ساز هر کاربر بوسیله $ST-WMF$ هر کاربر فیلتر می شود. که با CIR هر کاربر تطبیق داده شده است.

۴- $likelihood$ sequence ماکزیمم برای خروجی $ST-WMF$ هر کاربر تخمین زده شده، که در آن متریک مسیر محاسبه شده به درون توصیف تاثیر CCI آورده می شود.

شکل ۷، BER این گیرنده را بر اساس گین های پردازش متفاوت در حضور سه کاربر نشان می دهد. اولین کاربر با $h_{1,1} = 0.8 + .7D$ برای $\theta_{1,1} = 20$ و $h_{1,2} = .5D^2$ برای $\theta_{1,2} = -45$ ، دومین کاربر $h_{2,1} = 3.5D$ برای $\theta_{2,1} = 15$ و $h_{2,2} = 7 + 2.8D^2$ ، و سومین کاربر $h_{3,1} = 7 + 5.6D$ برای $\theta_{3,1} = -60$ و $\theta_{3,2} = -60$.

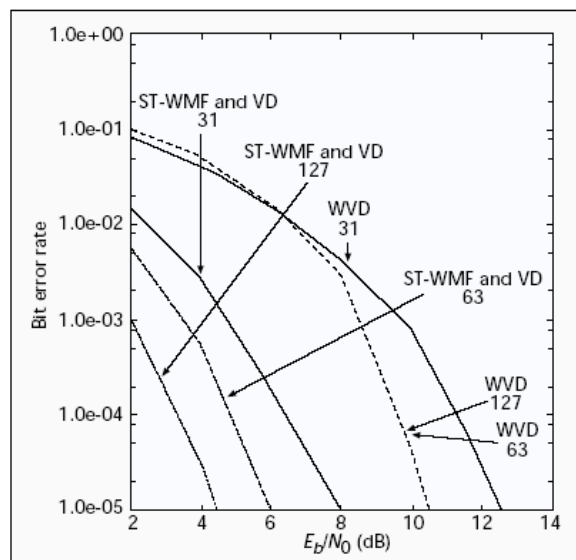


Figure 7. The BER of an optimum CDMA multi-user receiver in spatial and temporal domains according to different processing gains (three users).

البته این تئوری می تواند کاربردهای زیادی در دیگر زمینه ها چون شکل دهی موج یا انواع دیگر *equalization* در سیستم ها و شبکه های دیگر چون *WLAN* ، *indoor* و... داشته باشد و این مقاله مختصری برای آشنایی با این تئوری و نمونه ای از کاربرد آن بود.

منابع

1- Spatial and Temporal Communication Theory Using Adaptive Antenna Array

Ryuji Kohno, Yokohama National University

2-ANALYSIS OF SDMA & SMART ANTENNA TECHNIQUES FOR EXISTING AND NEW MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS

Dukiæ L. Miroslav(1) Jankoviæ Lj. Milan(2) Odadžiæ Lj. Borislav(2)

(1) Faculty of Electrical Engineering, Bul. Revolucije 73, 11000 Belgrade (2) Community of Yugoslav PTT, Palmotiaeva 2, 11000 Belgrade

3-How to Make Smart Antenna Arrays by Malachy Devlin, Ph.D. Chief Technology Officer

Nallatechm.devlin@nallatech.co

[4]- J. J. Blanz, P. Jung, and P. W. Baier, "A Flexibly Configurable Statistical Channel Model for Mobile Radio Systems with Directional Diversity,"

AGARD SPP Symp., Athens, Greece, pp. 38-1-11, 1995.