Archive of SID

بهبود کارایی سیستم‌های بی‌سیم آنالوگ در سمت فراسو با استفاده از ایجاد دایورسیتی فضایی

احسان یزدیان[1*]، سپهر مرتهب[2]، ابراهیم ودعی نایینی[3]

استادیار- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی اصفهان- اصفهان- ایران
yazdian@cc.iut.ac.ir

دانشجوی دکتری- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی اصفهان- اصفهان- ایران
s.mortaheb@ec.iut.ac.ir

دانشجوی دکتری - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی اصفهان- اصفهان- ایران
e.vadaei@ec.iut.ac.ir

چکیده: یکی از مهم ترین مشکلات سیستم‌های مخابراتی بیسیم، تضعیف سیگنال ارسالی در گیرنده می‌باشد و اگر این تضعیف از حد آستانه‌ای بیشتر باشد، پیام ارسالی به اصطلاح در نویز دفن شده و قابل بازیابی نخواهد بود. یکی از عوامل ایجاد تضعیف، پدیده‌ی چند مسیرگی می‌باشد که در آن سیگنال ارسالی به موانع مختلف برخورد کرده و نسخه‌های مختلف آن با تاخیرها و تضعیف‌های متفاوت به گیرنده می‌رسد. جمع شدن این نسخه‌ها باعث به وجود آمدن تضعیف‌های تصادفی شده که به آن فیدینگ می‌گویند. به منظور مقابله با اثرات مخرب فیدینگ کانال، از دایورسیتی استفاده می‌شود که در آن با ارسال و دریافت نسخه‌های مختلف سیگنال با فیدینگ متفاوت، سعی می‌شود کیفیت سیگنال دریافتی بهبود یابد. با توجه به اینکه استفاده از دایورسیتی عمدتا برای سیستم‌های دیجیتال پیشنهاد شده است، به کارگیری آن در سیستم‌های آنالوگ مانند بیسیم‌های FM به منظور بهبود کیفیت سیگنال دریافتی، یک چالش مهم می‌باشد. در این تحقیق تلاش شده است در راستای هوشمندسازی سیستم‌های بی‌سیم فعلی VHF، با استفاده از ایده دایورسیتی فضایی، سه روش مختلف برای ایجاد دایورسیتی بر روی سیستم‌های آنالوگ تکرار کننده‌ی FM در سمت فراسو پیشنهاد شود که با کمترین تغییرات در سیستم فعلی قابل پیاده‌سازی باشد. شبیه‌سازی‌های صورت گرفته، بهبود عملکرد ناشی از استفاده از این روش‌ها را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پدیده چند مسیرگی، دایورسیتی فضایی، فیدینگ، دایورسیتی، سیستم‌های رادیویی هوشمند.

تاریخ ارسال مقاله: ۹۹/۰۳/۱۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۴/۰۶
نام نویسنده مسئول: احسان یزدیان*

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

در سالیان اخیر سیستم‌ها و شبکه‌های مخابرات بی‌سیم گسترش چشم‌گیری داشته‌اند که این پیشرفت به خاطر استفاده‌ی آسان از آن‌ها، سرعت راه‌اندازی بالا و قابلیت حرکت کاربران می‌باشد که استفاده از این شبکه‌ها را در زمینه‌های مختلف عملی ساخته است. با این حال مشکلات متعددی در راه‌اندازی و استفاده از این شبکه‌ها وجود دارد که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به تداخل، تضعیف، محوشدگی، چند مسیرگی و نویز اشاره کرد. یکی از مشکلات اساسی در مخابرات بی‌سیم، تضعیف سیگنال ارسالی در گیرنده می‌باشد. اگر این تضعیف به حدی باشد که نسبت سیگنال به نویز دریافتی (*SNR*) از آستانه مشخصی کمتر شود و یا اصطلاحاً سیگنال در نویز دفن شود، هیچ‌گونه پیامی در گیرنده دریافت نمی‌شود. عواملی که باعث تضعیف سیگنال می‌شوند میزان فاصله فرستنده از گیرنده، پدیده‌ی سایه و پدیده‌ی چند مسیرگی می‌باشند. با افزایش فاصله میان فرستنده و گیرنده توان در گیرنده کاهش می‌یابد که این پدیده افت مسیر نام دارد. مشخصات افت توان در طراحی و محاسبه‌ی محدوده‌ی پوشش‌دهی آنتن فرستنده مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس نویز دریافتی در گیرنده در سیستم، سطح آستانه‌ای برای توان سیگنال در گیرنده تعریف می‌شود که بسته به مدولاسیون مورد استفاده، اگر توان سیگنال از آن سطح آستانه کمتر شود، گیرنده قادر به آشکارسازی پیام نخواهد بود. احتمال این که توان سیگنال از مقدار آستانه تعریف شده کمتر شود، احتمال از کار افتادگی سیستم نامیده می‌شود. برای تعیین محدوده‌ی پوشش‌دهی آنتن فرستنده مقدار کمینه قابل تحمل سیستم برای احتمال از کارافتادگی در نظر گرفته شده و با محاسبه‌ی آن ابعاد ناحیه‌ی تحت پوشش به دست می‌آید [۱]. در مخابرات بی‌سیم موانعی که بین فرستنده و گیرنده قرار دارند باعث ایجاد پدیده‌های فیزیکی مانند جذب، انعکاس، تفرق و انتشار سیگنال می‌شوند که این مسائل با نام پدیده‌ی سایه شناخته می‌شوند. این پدیده‌های فیزیکی نیز باعث کاهش توان سیگنال رسیده به گیرنده می‌شوند ولی میزان تضعیف توان دریافتی در این حالت بر خلاف تضعیف ناشی از فاصله، رفتار معینی ندارد و وابسته به ساختار محیط و نحوه قرار گیری اشیاء در مسیر ارسال سیگنال می‌باشد و لذا تابع مشخصی نمی‌توان به آن نسبت داد. پدیده‌ی مهم دیگری که باعث تضعیف و اعوجاج سیگنال در گیرنده می‌شود پدیده‌ی چند مسیرگی نام دارد. در صورتی که نسخه‌های متعدد سیگنال ارسالی به خاطر وجود ساختمان‌ها، موانع طبیعی و انسانی، زمین، کوه‌ها، جو و... با تاخیرها و تضعیف‌های متفاوت از مسیرهای گوناگون به گیرنده برسد، شاهد پدیده‌ی چند مسیرگی خواهیم بود. پاسخ ضربه‌ی کانال مخابراتی که اثر پدیده‌ی چند مسیرگی را شامل باشد به صورت رابطه زیر خواهد بود:

$$h(\tau,t)=\sum_{k=1}^{N(t)}\alpha_k(t)\delta\big(t-\tau_k(t)\big) \qquad (۱)$$

که در آن t پارامتر زمان، τ پارامتر تأخیر، α ضریب تضعیف و N تعداد مسیرهای بازتابی می‌باشد. در این رابطه α، τ و N فرآیندهای تصادفی می‌باشند که باید به طور مناسبی مدل شوند. در صورتی که ابعاد موانع میان فرستنده و گیرنده در حدود طول موج سیگنال حامل باشد، قادر به بازتاب سیگنال خواهند بود. به عنوان نمونه در باند *VHF* (بازه فرکانسی ۳۰ تا ۳۰۰ مگاهرتز) که در آن طول موج گستره وسیعی از ۱ متر تا ۱۰ متر را شامل می‌شود، برخی ساختمان‌ها، درختان، صخره‌ها و کوه‌ها موانع طبیعی انعکاس دهنده سیگنال می‌باشند[۲]. این سیگنال‌های تضعیف شده و شیفت یافته زمانی، می‌توانند به صورت مخرب و یا سازنده در گیرنده با یکدیگر جمع شوند و باعث کاهش یا افزایش سطح سیگنال دریافتی در گیرنده شوند. پاسخ کانال ناشی از پدیده چند مسیرگی با اندک جابجایی در محیط می‌تواند تغییر کند زیرا یک جابجایی کوچک می‌تواند منجر به تغییرات زیاد در فاز نسخه‌های مختلف سیگنال دریافتی و در نتیجه منجر به تغییرات شدیدی در دامنه سیگنال مجموع دریافتی گردد. به این معنی که با حرکت‌های ناچیز در حد طول موج سیگنال حامل یا کمتر از آن نیز ممکن است توان سیگنال دریافتی دچار تغییرات ناگهانی شود که به این پدیده فیدینگ می‌گویند. در حالت کلی میانگین توان با افزایش فاصله کاهش می‌یابد اما اثر پدیده‌ی سایه و پدیده‌ی چند مسیرگی باعث می‌شود تغییراتی تصادفی حول این میانگین داشته باشیم. هدف اصلی این مقاله بررسی پدیده چند مسیرگی و ارائه‌ی راهکاری برای مقابله با آن در سیستم‌های بی‌سیم *FM* آنالوگ می‌باشد. برای مقابله با آثار مخرب فیدینگ متداول‌ترین روش بهره‌گیری از دایورسیتی می‌باشد. ایده‌ی اصلی این روش دریافت نسخه‌های مختلف سیگنال در سمت گیرنده از طریق کانال‌های مستقل کانال‌های با مشخصات آماری مستقل از هم و بازیابی سیگنال پیام از طریق پردازش سیگنال‌های دریافتی از این کانال‌ها می‌باشد. از مهم‌ترین روش‌های ایجاد دایورسیتی می‌توان به دایورسیتی فرکانسی، دایورسیتی زمانی، دایورسیتی فضایی، دایورسیتی پلاریزاسیون، دایورسیتی زاویه‌ای و دایورسیتی

www.SID.ir

Archive of SID

همکارانه اشاره کرد[۳]–[۵]. در دایورسیتی فرکانسی، سیگنال به طور مستقل در M باند فرکانسی که از لحاظ آماری مستقل از یکدیگرند، ارسال می‌گردد. در گیرنده با ترکیب مناسب خروجی‌های این کانال‌ها پیام مورد نظر بازیابی می‌شود. این روش را می‌توان هم در مخابرات آنالوگ و هم در مخابرات دیجیتال به کار برد. بزرگ‌ترین ایراد این روش استفاده‌ی غیر بهینه از پهنای باند می‌باشد ولی در مقابل، مزیت این روش این است که برای پیاده‌سازی سیستم فقط به یک آنتن نیاز دارد که پیچیدگی پیاده‌سازی را کاهش می‌دهد. در دایورسیتی زمانی ایده‌ی اصلی ارسال کپی‌های مختلف سیگنال در فواصل زمانی متفاوت می‌باشد. از آنجا که کانال مخابرات بی‌سیم یک کانال متغیر با زمان است، با انتخاب مناسب فواصل زمانی ارسال پیام، سیگنال فیدینگ‌های مستقلی را تجربه می‌کند. این روش فقط در مخابرات دیجیتال کاربرد دارد و در مخابرات آنالوگ نمی‌توان از این روش استفاده کرد زیرا امکان ذخیره‌سازی پیام با توجه به حجم زیاد داده وجود ندارد. مشکل دیگر این روش کاهش نرخ ارسال اطلاعات به دلیل تکرار ارسال پیام می‌باشد. یکی از روش‌های مرسوم و متداول ایجاد دایورسیتی، استفاده از دایورسیتی فضایی می‌باشد [۶]–[۱۰]. در این نوع دایورسیتی سیگنال را توسط M آنتن ارسال کرده و توسط L آنتن در گیرنده آن‌را دریافت می‌کنیم. فاصله‌ی بین آنتن‌ها باید به گونه‌ای مناسب طراحی گردد تا کانال‌های مختلف ایجاد شده بین هر جفت آنتن فرستنده و گیرنده، مستقل باشند که در بخش ۲ درباره این مبحث به تفصیل صحبت خواهد شد. این روش از لحاظ استفاده از پهنای باند و نرخ ارسال اطلاعات بهینه می‌باشد ولی به خاطر استفاده از تعداد آنتن زیاد معمولاً هزینه‌بر بوده و پیچیدگی سخت افزاری را افزایش می‌دهد. در دایورسیتی پلاریزاسیون تلاش می‌شود با استفاده از ارسال سیگنال توسط پلاریزاسیون‌های افقی و عمودی کانال‌های مستقل ایجاد گردد[۱۱] , [۱۲]. مزیت این روش در مقایسه با دایورسیتی فضایی این است که برای ایجاد استقلال بین کانال‌ها نیازی نیست فاصله‌ی بین آنتن‌های مختلف فرستنده از مقدار معینی بیشتر باشد و بنابراین در فضای مناسب قابل پیاده‌سازی می‌باشد. عیب اصلی آن نیز این است که حداکثر دو کانال مستقل می‌توان ایجاد کرد و این مسئله استفاده از مراتب بالاتر دایورسیتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. روش‌های ایجاد دایورسیتی فضایی و پلاریزاسیون را هم در سیستم‌های مخابراتی آنالوگ و هم در سیستم‌های مخابراتی دیجیتال می‌توان پیاده‌سازی نمود. برای ایجاد دایورسیتی در سیستم‌های مخابراتی باند VHF تا کنون ایده‌های مختلفی ارائه شده است که در ادامه به مهم‌ترین آن‌ها اشاره خواهیم نمود. در [۱۵] یک آشکارساز سریع اعوجاج طراحی شده که در آن از ۴ آنتن در سمت گیرنده برای ایجاد دایورسیتی استفاده شده است. این ۴ آنتن به یک بلوک سوییچینگ متصل می‌باشند که مشخص می‌کند سیگنال از کدام آنتن دریافت شود و به گیرنده برسد. در گیرنده بر اساس سطح سیگنال دریافت شده و همچنین پرش‌های ناگهانی در سیگنال بازیابی شده، تصمیم گیری می‌شود که آنتن دریافت کننده‌ی سیگنال تغییر کند یا نه. در [۱۶] سیستمی ارائه شده که در آن از دو آنتن و یک سوییچ در سمت گیرنده برای ایجاد دایورسیتی فضایی استفاده شده است. این سیستم برای تصمیم‌گیری در مورد سوییچینگ بین دو آنتن، نه فقط از سطح سیگنال بلکه از میزان نویز و اعوجاج نیز استفاده می‌کند. بلوک تصمیم گیری و کنترل در این سیستم دو سیگنال کنترلی دریافت می‌کند. سیگنال اول مربوط به سطح سیگنال می‌باشد که از قسمت IF گیرنده و قبل از محدود کننده گرفته می‌شود و تمام آثار فیدینگ، نویز سوییچینگ، نویز صاعقه و ... را در خود دارد. سیگنال کنترلی دوم مربوط به سطح سیگنال پس از محدودکننده در قسمت IF می‌باشد. این دو سیگنال با یکدیگر ترکیب می‌شوند و سیگنال واحدی به نام سیگنال کنترل فیدینگ را تولید می‌کنند که این سیگنال برای تصمیم گیری در مورد سوییچینگ آنتن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در [۷] سیستمی ارائه شده که در آن آشکارسازی سریع اعوجاج و آشکارسازی آرام اعوجاج به صورت همزمان صورت می‌پذیرد. آشکارساز سریع برای اعوجاج‌های با مدت زمان کمتر از ۱۵ میکروثانیه و آشکارساز آرام برای اعوجاج‌های با مدت زمان بیشتر و مشخص کردن کیفیت سیگنال به کار می‌روند. وقتی که وجود پدیده‌ی چند مسیرگی توسط آشکارساز سریع تشخیص داده شد سیستم شروع به جستجو برای انتخاب آنتن جدید می‌کند. یک آنتن انتخاب می‌شود و کیفیت آن که توسط آشکارساز آرام مشخص می‌شود با کیفیت آنتن قبلی مقایسه می‌شود. اگر کیفیت بهتر بود آنتن برای دریافت سیگنال انتخاب می‌شود و عملیات جستجو به پایان می‌رسد و اگر کیفیت سیگنال بدتر بود جستجو ادامه می‌یابد تا آنتن با کیفیت مطلوب پیدا شود. در [۱۷] ایده‌ی اصلی این بوده که به جای استفاده از مقدار آستانه برای سطح سیگنال، از مقدار آستانه برای میزان توان نویز استفاده کنیم و سوییچینگ را زمانی انجام دهیم که توان نویز به حد مشخصی برسد. مشکلی که در اکثر این طرح‌ها وجود دارد سوییچینگ‌های متوالی می‌باشد که باعث به وجود آمدن نویز

www.SID.ir

Archive of SID

صوتی در سیگنال دریافتی می شود. در [۱۸] سعی شده مشکل سوییچینگ‌های متوالی را که در شرایط خاص اتفاق می‌افتد برطرف شود. برای این کار سطح آستانه به صورت وفقی تعیین می‌شود که تابعی از کیفیت گذشته‌ی سیگنال می‌باشد. بدین منظور هم از سطح سیگنال دریافتی و هم از باندهای مختلف صوت استریو دمدوله شده استفاده می‌شود. از باندهای صوت استریو به منظور تشخیص اعوجاج‌های شدید استفاده می‌شود. بدین صورت که فرکانس‌های بالای ۷۵ کیلوهرتز نمایانگر اعوجاج در نظر گرفته شده‌اند. در این روش میانگین این دو سیگنال نیز محاسبه می‌شود تا در تصمیم‌گیری و تعیین مقدار آستانه حضور داشته باشند. مشکلی که پیاده‌سازی این روش‌ها در سیستم‌های فعلی دارد این است که باید در ساختار داخلی بی سیم‌ها و امکانات موجود تغییرات زیادی صورت پذیرد و به برخی سیگنالهای میانی گیرنده دسترسی وجود داشته باشد و همچنین مدارات دیجیتال متعددی به آن اضافه گردد، که عملی نمی‌باشد. در این مقاله سه سیستم مختلف برای ایجاد دایورسیتی فضایی در سیستم‌های فعلی بی سیم VHF (مثل سیستم های پلیس، شهرداری ها و آتش نشانی) ارائه می‌گردد که نیاز به تغییر در ساختار داخلی بی سیم‌ها را ندارد و سپس کارایی آنها بررسی خواهد شد. در بخش ۲ روش ایجاد دایورسیتی فضایی را به طور کامل مورد بررسی قرار خواهیم داد. در بخش ۳ سیستم مورد مطالعه را معرفی خواهیم نمود. در بخش ۴ به معرفی سیستم پیشنهادی این مقاله پرداخته و مشخصات آنها را بیان خواهیم کرد. در بخش ۵ مدل‌سازی‌های صورت گرفته در حل مساله و نتایج شبیه‌سازی‌ها را ارائه خواهیم نمود و در بخش ۶ نتیجه گیری این مقاله بیان خواهد گردید.

۲- دایورسیتی فضایی

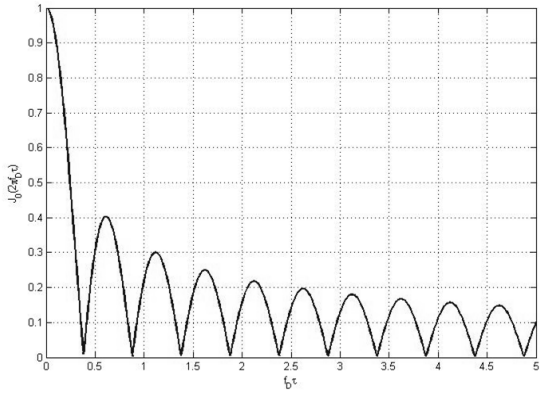
همان طور که گفتیم در روش ایجاد دایورسیتی به صورت فضایی، با اضافه کردن تعداد آنتن‌های فرستنده و گیرنده سعی در به وجود آوردن کانال‌های مختلف با رفتار فیدینگ مستقل داریم. این روش را می‌توان به دو صورت دایورسیتی در سمت گیرنده و دایورسیتی در سمت فرستنده انجام داد. در دایورسیتی سمت گیرنده تعداد آنتن‌های فرستنده برابر یک و تعداد آنتن‌های سمت گیرنده M عدد در نظر گرفته می‌شود. یعنی فرستنده سیگنال خود را به طور عادی توسط آنتن خود می‌فرستد ولی گیرنده توسط M آنتن مختلف که در فواصل مناسب قرار داده شده‌اند M پیام مختلف را دریافت می‌کند و سعی می‌کند با ترکیب مناسب آن‌ها پیام مورد نظر را استخراج نماید. در دایورسیتی سمت فرستنده بر خلاف دایورسیتی سمت گیرنده، فرستنده سیگنال مورد نظر را از طریق M آنتن ارسال می‌کند ولی گیرنده با استفاده از یک آنتن ترکیبی از سیگنال‌های مختلف را دریافت می‌کند. مرسوم‌ترین روش ایجاد دایورسیتی فضایی روش دایورسیتی در سمت گیرنده است. اما هر کدام از روش‌ها را که انتخاب کنیم، نکته‌ی مهم فاصله‌ی مناسب میان آنتن‌ها می‌باشد تا کانال‌های ایجاد شده از نظر آماری مستقل از یکدیگر باشند و سیگنال در هر یک از آن‌ها فیدینگ متفاوتی را تجربه کند. فاصله‌ی میان آنتن‌ها را برای دستیابی به کانال‌های مستقل، می‌توان هم به صورت افقی و هم به صورت عمودی ایجاد نمود که البته مقدار فاصله مناسب در این دو حالت متفاوت خواهد بود. برای محاسبه‌ی فاصله‌ی مناسب افقی، در [۱۹] کلارک ثابت کرد که اگر در محیط میان فرستنده و گیرنده، توزیع پراکندگی بازتاب دهنده‌ها را به صورت یکنواخت فرض کنیم، تابع خودهمبستگی دامنه‌ی سیگنال دریافتی متناسب با تابع $J_0(2\pi f_D \tau)$ می‌باشد که در آن f_D فرکانس داپلر، τ تأخیر مسیر و J_0 تابع بسل مرتبه صفر می‌باشد و از رابطه‌ی (۲) محاسبه می‌گردد:

$$J_0(x) = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} cos(xsin(x))\, dx \qquad (۲)$$

اندازه‌ی این تابع بر حسب τf_D در شکل ۱ رسم شده است. همان طور که در این شکل مشخص است برای $\tau f_D \approx 0.4$ یا به طور معادل $v\tau \approx 0.4\lambda$ که v سرعت نور و λ طول موج می‌باشد، اندازه‌ی تابع خودهمبستگی صفر می‌باشد و می‌توانیم فاصله‌ی میان آنتن‌ها را از این طریق محاسبه کنیم. پس می‌توان نتیجه گرفت برای این که آنتن‌های متفاوت سیگنال‌های با فیدینگ‌های مستقل را دریافت کنند می‌بایست فاصله‌ی آن‌ها 0.4λ باشند. نکته‌ی مهم دیگری که باید در نظر داشت این است که اگر فاصله‌ی میان آنتن‌ها کم شود اثر تزویج متقابل میان آنتن‌ها نیز می‌تواند کیفیت سیگنال را کاهش دهد. می‌توان نشان داد که اگر فاصله‌ی بین آنتن‌ها 0.5λ باشد، اثر تزویج متقابل حداقل شده و ضریب همبستگی سیگنال دریافتی نیز بر اساس نمودار شکل۱، مقداری مناسب می‌شود و می‌توان در این حالت کانال‌ها را با فیدینگ مستقل در نظر گرفت[۲۰].

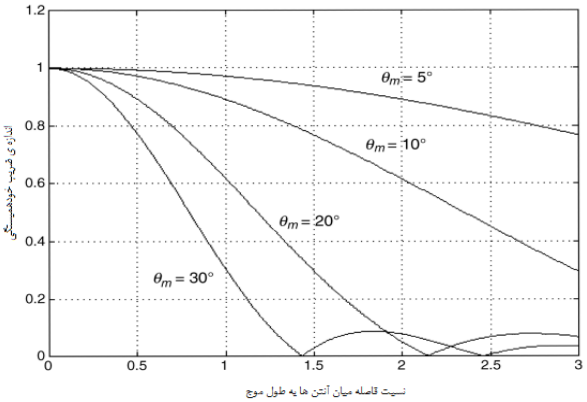
www.SID.ir

Archive of SID

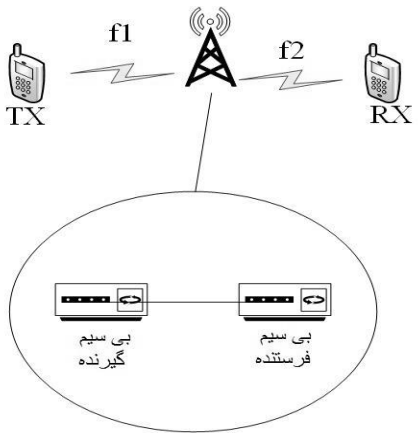


شکل ۱- تابع خود همبستگی دامنه‌ی سیگنال دریافت شده در گیرنده

ایجاد فاصله‌ی افقی معمولاً منجر به اضافه کردن دکل‌های مخابراتی اضافی در سایت‌های مرکزی می‌شود که هزینه‌ی پیاده‌سازی را افزایش داده و در بسیاری از سایت‌ها این کار به دلیل محدودیت فضا غیر ممکن می‌باشد. بنابراین کار دیگری که می‌توان انجام داد ایجاد فاصله به صورت عمودی می‌باشد که نیازمندی به نصب دکل اضافی را از بین می‌برد. اما در این حالت می‌توان نشان داد که برای دست یافتن به کانال‌های با فیدینگ مستقل به فاصله‌ی بیشتری بین آنتن‌ها نیاز داریم. با توجه به شکل۲ که اندازه‌ی ضریب همبستگی بین دامنه‌ی سیگنال دریافتی دو آنتن مختلف را بر حسب نسبت فاصله عمودی میان آن‌ها بر حسب طول موج سیگنال در زوایای مختلف دریافت سیگنال را نشان می‌دهد، می‌توان نتیجه گرفت که برای دستیابی به کانال‌های با فیدینگ مستقل، به فاصله‌ی عمودی حداقل ۱.۵ برابر طول موج نیاز داریم[۲۱]. هنگام ایجاد فاصله‌ی عمودی باید به این نکته نیز توجه کرد که آنتن‌هایی که در ارتفاع‌های متفاوتی قرار می‌گیرند، افت مسیرهای متفاوتی نیز از سیگنال‌ها تجربه می‌کنند که این مسئله می‌تواند به کاهش بهره‌ی دایورسیتی بینجامد[۲۱] که البته در ارتفاع‌های زیاد قابل توجه نمی‌باشد. مسئله دیگری که برای ایجاد فاصله عمودی بین آنتن‌ها باید به آن توجه کرد، ارتفاع نصب آنتن‌ها می‌باشد. برای بررسی اثر ارتفاع بر فاصله‌ی عمودی مناسب بین آنتن‌ها پارامتری به نام η به صورت $\eta = \frac{h}{d}$ تعریف می‌شود که در آن h ارتفاع آنتن و d فاصله‌ی مناسب بین آنتن‌ها می‌باشد. می‌توان بر اساس آزمایش‌های تجربی نمودارهای مختلفی برای اندازه‌ی ضریب همبستگی دامنه سیگنال دریافتی بر حسب پارامتر η در فرکانس‌های مختلف کاری به دست آمده و از روی آن‌ها بر اساس ضریب همبستگی مورد نیاز و ارتفاع نصب آنتن از سطح زمین، فاصله‌ی میان آنتن‌ها را محاسبه شده است[۲۲]. همچنین باید به این نکته توجه نمود که هر چه پارامتر η افزایش یابد بهره دایورسیتی کاهش می‌یابد[۲۳]. به همین خاطر هر چه ارتفاع نصب آنتن‌ها افزایش یابد، برای دستیابی به بهره‌ی دایورسیتی مناسب باید فاصله‌ی عمودی را افزایش داد. به عنوان مثال در ارتفاعات زیاد برای دستیابی به دایورسیتی در حالت ایجاد فاصله‌ی افقی بین آنتن‌ها، به فاصله‌ای در حدود ۳تا۴ برابر طول موج و در حالت ایجاد فاصله‌ی عمودی بین آنتن‌ها به فاصله‌ای در حدود ۱۲ تا ۱۳ برابر طول موج نیاز می‌شود[۲۴]. با توجه به مطالب گفته شده در این قسمت، می‌توان گفت که یکی از مهم‌ترین پارامترهای طراحی یک سیستم ایجاد دایورسیتی فضایی، فاصله‌ی میان آنتن‌ها می‌باشد که می‌بایست بر اساس ارتفاع سایت مرکزی نسبت به زمین، مساحت در اختیار، حداکثر هزینه‌ی مجاز و ارتفاع دکل مورد استفاده، فاصله‌ی مناسب طراحی گردد تا بهره‌ی دایورسیتی به اندازه‌ی مناسبی افزایش یابد.



شکل ۲- اندازه‌ی ضریب همبستگی دامنه سیگنال‌های دو آنتن مختلف بر اساس نسبت فاصله‌ی بین آن‌ها به طول موج در حالت فاصله‌ی عمودی



شکل ۳- ساختار دو فرکانسی سیستم ارتباط بی سیم

www.SID.ir

Archive of SID

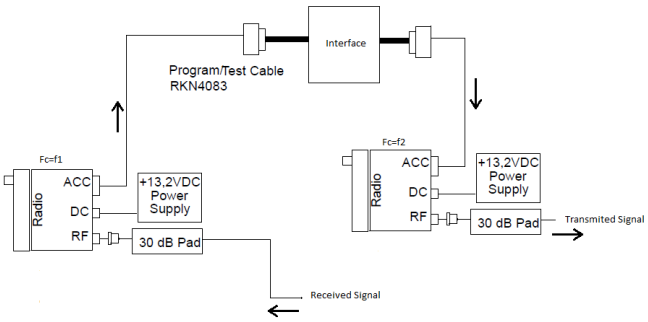
۳- سیستم ارتباط بی‌سیم مورد مطالعه

در این قسمت به معرفی سیستم ارتباط بی سیم مورد مطالعه می‌پردازیم که در نهایت هدف مقاله ارائه‌ی روشی برای ایجاد دایورسیتی فضایی بر روی این سیستم می‌باشد. در ساختار این شبکه بی‌سیم بازه فرکانسی مورد استفاده، شامل محدوده‌ای از فرکانس‌های VHF که به تعداد زیادی زیرکانال تقسیم‌بندی شده است. پهنای باند RF سیگنال‌های FM ارسالی در حدود چند کیلوهرتز می‌باشد و از لحاظ مخابراتی همه‌ی بی‌سیم‌ها می‌تواند ئاز نوع Half-Duplex می‌باشد که می‌توانند بر روی یک فرکانس و یا دو فرکانس مجزا دریافت و ارسال داده داشته باشد. البته حتی در صورتی که از دو فرکانس مجزا برای ارسال و دریافت داده استفاده شود کماکان روش Half-Duplex در بی‌سیم‌ها استفاده می‌شود. در ساختار شبکه بی‌سیم، بسته به وسعت محدوده پوشش از یکی از دو ساختار زیر استفاده می‌شود:

- ساختار تک‌فرکانس (بدون تکرارکننده)
- ساختار دو فرکانسی (ارتباط از طریق تکرارکننده)

. در این ساختار کلیه‌ی بی‌سیم‌ها مستقیماً با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. بدیهی است این ساختار در شرایطی استفاده می‌شود که محدوده پوشش‌دهی کوچک باشد و توان ارسالی بی‌سیم‌ها بتواند نسبت سیگنال به نویز لازم برای دریافت صحیح سیگنال را در کل منطقه مورد نظر تأمین کند. در ساختار دو فرکانسی که در شکل۳ نمایش داده شده است یک تکرارکننده برای دریافت سیگنال‌های فراسوی بی‌سیم‌های مختلف و تقویت و ارسال مجدد آن بر روی یک فرکانس دیگر استفاده می‌شود.

این روش در شرایطی که نیاز به یک شبکه بی‌سیم در محدوده پوشش‌دهی گسترده است، مورد استفاده واقع می‌شود. در این ساختار، سایت‌های تکرارکننده معمولاً در مکانی بسیار مرتفع قرار داده می‌شود. تکرار کننده، سیگنال‌های ارسالی بی‌سیم‌های مختلف را دریافت و به باند پایه منتقل کرده و سپس دوباره آن‌ها را در فرکانس دیگری ارسال می‌نماید. تکرار کننده‌ها به آنتن‌هایی با گین بالا مجهز می‌شوند تا بتوانند با حداکثر توان سیگنال را ارسال و دریافت نمایند. نحوه‌ی کار این سیستم به این صورت است که سیگنال دریافت شده در آنتن گیرنده توسط گیرنده که روی فرکانس مناسب گیرندگی تنظیم شده است دریافت می‌شود. پس از دمدوله شدن، سیگنال صوتی به فرستنده ارسال می‌شود. فرستنده سیگنال دریافت شده را بر روی فرکانس ارسال مدوله کرده و از طریق آنتن فرستنده آن را منتشر می‌نماید. نحوه‌ی ارتباط بین دستگاه‌های گیرنده و فرستنده در شکل۴ نمایش داده شده است.



شکل ۴- اتصالات در سیستم فرضی

در این مقاله هدف اصلی ارائه‌ی سیستمی به منظور ایجاد دایورسیتی فضایی برروی ساختار دو فرکانسی در سمت فراسو، با استفاده از آنتن‌های موجود در سایت تکرار کننده می‌باشد.

۴- سیستم‌های پیشنهادی

به منظور دستیابی به دایورسیتی فضایی با توجه به ساختار بیان شده، ساختاری برای سیستم پیشنهاد می‌گردد. همچنین تغییری نیز در ساختارهای داخلی دستگاه‌های فرستنده و گیرنده صورت نپذیرد. بنابراین فرض می‌کنیم که در گیرنده سیگنال طبقه‌ی IF در دسترس نیست و تنها سیگنال‌های دریافتی از آنتن (سیگنال RF) و سیگنال باند پایه (صوت بازسازی شده) در اختیار می‌باشد. یکی از خروجی‌های دستگاه‌های گیرنده که در طراحی این سیستم‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. خروجی مهم دیگری که در دستگاه‌های گیرنده وجود دارد خروجی(Carrier Detect (CD است که در زمان دریافت شدن سیگنال فعال شده و در غیر این صورت غیر فعال می‌باشد. از این خروجی نیز در طراحی سیستم‌ها استفاده شده است. در ادامه بلوک دیاگرام و مشخصات سیستم پیشنهادی را بیان می‌کنیم.

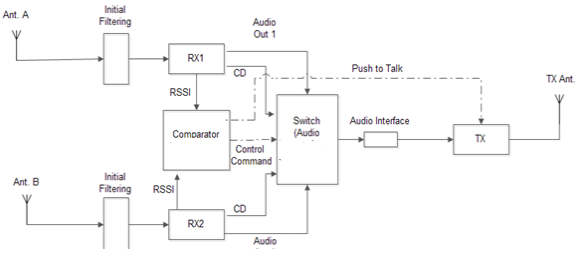
۴-۱- ساختار پیشنهادی

ساختار پیشنهادی در شکل ۵ نمایش داده شده است که شامل سه آنتن مجزا برای ارسال و دریافت سیگنال می‌باشد. در این سیستم دو آنتن موجود در سایت تکرار کننده را به عنوان آنتن گیرنده و یک آنتن را به عنوان آنتن فرستنده در نظر می‌گیریم. سیگنال‌های دریافت شده از فیلترهای مکانیکی موجود در سایت عبور کرده تا نویز موجود در آن‌ها کمتر شود. البته ذکر این نکته ضروری است که استفاده از این فیلترها ضروری نمی‌باشد و نبود آن‌ها تأثیری در کارایی سیستم نخواهد داشت.

www.SID.ir

Archive of SID

این سیگنال‌ها سپس به دستگاه‌های گیرنده برای دمدولاسیون داده می‌شوند و سیگنال صوتی استخراج می‌شود. خروجی RSSI دستگاه‌های گیرنده به یک بلوک مقایسه کننده داده می‌شود که در هر لحظه توان دریافت شده توسط هر دو آنتن را با یکدیگر مقایسه می‌کند. ایده‌ی اصلی این است که در هر لحظه پیام از گیرنده‌ای استخراج شود که توان سیگنال دریافتی آن بیشتر باشد. به این ترتیب برای ایجاد دایورسیتی فضایی از روش ترکیب انتخابی بهره برده شده است. فرمان کنترلی بلوک مقایسه کننده به بلوک ماتریس صوتی داده می‌شود که در آن پیام‌های بازیابی شده‌ی هر دو دستگاه گیرنده وارد شده است و توسط سوییچی ساده پیام متناظر با آنتن بهتر انتخاب شده و به دستگاه فرستنده انتقال می‌یابد و توسط آنتن فرستنده ارسال می‌شود. پیاده‌سازی این سیستم بسیار آسان بوده و قابلیت گسترش پذیری بسیار بالایی دارد. یعنی می‌توان به سادگی آنتن‌های دیگر را نیز به عنوان گیرنده یا فرستنده به این سیستم اضافه کرد. همچنین چون عملیات سوییچینگ در باند پایه صورت می‌پذیرد می‌توان از سوییچ‌های ارزان قیمت برای این کار استفاده نمود. اما این روش معایبی نیز دارد که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به هزینه بالا به دلیل استفاده از آنتن‌های جدید و همچنین نیاز به دستگاه گیرنده جداگانه برای هر آنتن اشاره نمود.



شکل (۵): سیستم پیشنهادی

۵- مدل‌سازی و شبیه‌سازی

در این قسمت نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده برای بررسی میزان بهبود کیفیت سیگنال دریافت شده در سایت تکرار کننده و در قسمت فراسو نشان داده می‌شود. ابتدا به توضیح چگونگی مدل‌سازی محیط و شرایط ارتباطی بین فرستنده و گیرنده می‌پردازیم. افت توان سیگنال بر حسب فاصله در محیط شهری بر اساس مدل‌ها تا در نظر گرفته شده است که در این مدل افت توان سیگنال بر حسب فاصله‌ی d از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$P_L|_{dB} = 69.55 + 26.16\,log(f_c) - 13.82\,log(h_t) - a(h_r) + (44.9 - 6.55\,log(h_t))log(d) \quad (۳)$$

در رابطه فوق h_r ارتفاع آنتن مرکزی، h_t ارتفاع آنتن متحرک و f_c فرکانس کاری می‌باشند. عبارت $a(h_r)$ که ضریب تصحیح ارتفاع آنتن متحرک نام دارد برای شهرهای کوچک و بزرگ متفاوت می‌باشد که رابطه‌ی آن برای شهرهای کوچک و متوسط به صورت

$$a(h_r) = (1.1\,log(f_c) - 0.7)h_r - (1.56\,log(f_c) - 0.8)$$

و برای شهرهای بزرگ به صورت

$$\begin{cases} a(h_r) = 3.2(log(11.75h_r))^2 - 4.97 & f_c > 300MHz \\ a(h_r) = 8.29(log(1.54h_r))^2 - 1.1 & f_c < 300MHz \end{cases}$$

می‌باشد. ارتفاع سایت تکرارکننده که در این مدل‌سازی آنتن گیرنده می‌باشد برابر ۵۰ متر و ارتفاع آنتن متحرک که در دست یک شخص معمولی قرار دارد برابر با ۱ متر از سطح زمین در نظر گرفته شده است. در این شبیه‌سازی‌ها فرکانس کاری ۲۰۰ مگاهرتز در نظر گرفته شده و نتایج برای فواصل ۱ تا ۱۰ کیلومتر محاسبه شده است. برای مدل کردن فیدینگ از مدل کانال رایلی استفاده شده است. در این مدل دامنه‌ی سیگنال دریافتی با یک متغیر تصادفی رایلی مدل می‌گردد:

$$f_V(v) = \frac{v}{\sigma^2} exp\left(-\frac{v^2}{2\sigma^2}\right) \; for\; v > 0 \quad (۴)$$

که در آن σ نشان‌دهنده میزان متوسط تضعیف سیگنال در گیرنده می‌باشد. بنابراین کانال را غیرفرکانس انتخابی می‌توان فرض نمود. سطح آستانه تصمیم گیری را در این شبیه‌سازی برابر با ۱۲dB در نظر گرفته‌ایم به این معنا که در سیگنال به نویز کمتر از این مقدار کیفیت سیگنال دریافتی در حد قابل قبول نمی‌باشد و با افت شدید مواجه می‌شود. به منظور محاسبه‌ی سطح نویز و SNR از رابطه‌ی $SNR = \frac{P_{sig}}{N_0 W}$ استفاده شده است که در آن P_{sig} نشان دهنده‌ی توان فرستنده، N_0 نشان‌دهنده‌ی چگالی توان و W پهنای باند فرستنده می‌باشد. مقدار N_0 از رابطه ی $N_0 = KTB$ محاسبه می‌گردد که در آن K ثابت بولتزمن، T دما بر حسب کلوین و B پهنای باند می‌باشد و مقدار چگالی N_0 برابر با -174dBm/Hz در نظر گرفته می‌شود. در شبیه‌سازی‌ها مقدار توان فرستنده ۲۵ وات و پهنای باند کاری آن ۱۰ کیلوهرتز در نظر گرفته شده است. میزان SNR نهایی باید با در نظر گرفتن بهره آنتن‌ها و افت مسیر بر اساس مدل هاتا به دست آید:

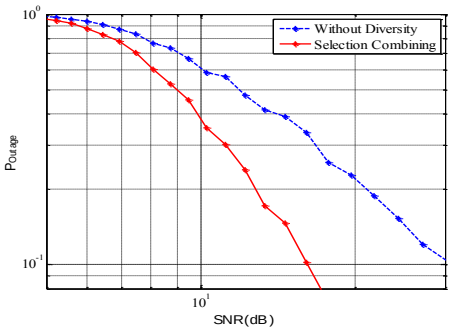
$$SNR_{final} = SNR + Path\ Loss + Antenna\ Gain \quad (۵)$$

در این رابطه مجموع بهره آنتن‌های فرستنده و گیرنده dB ۱۵ در نظر گرفته شده‌اند. شبیه‌سازی را برای ۵۰۰ ثانیه اجرا کرده و احتمال از کار افتادگی و نرخ عبور از آستانه را در این حالت محاسبه می‌کنیم. شکل ۶ احتمال از کار افتادگی و شکل ۷ نرخ عبور از آستانه را در SNRهای مختلف برای دو حالت

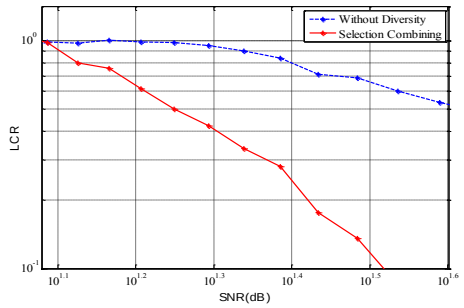
www.SID.ir

Archive of SID

بدون ایجاد دایورسیتی و پس از ایجاد دایورسیتی نشان می‌دهند. روش ترکیب دایورسیتی را در این شبیه‌سازی بر اساس آنچه در ساختارهای گفته شده بیان گردید روش ترکیب انتخابی می‌باشد. این شبیه‌سازی‌ها برای هر سه ساختار معتبر می‌باشند زیرا مستقل از تعداد و نحوه‌ی قرار گیری آنتن‌ها می‌باشد و صرفاً به نحوه‌ی ترکیب دایورسیتی وابسته است که در هر سه ساختار، روش ترکیب انتخابی در نظر گرفته شده است. همان طور که در این تصاویر نیز مشخص است با اعمال دایورسیتی بهبود قابل ملاحظه ای در احتمال از کار افتادگی و نرخ عبور از آستانه رخ داده است. به عنوان مثال اگر احتمال از کار افتادگی را ۰/۱ در نظر بگیریم، با اعمال دایورسیتی با SNR به اندازه‌ی ۱۰dB کمتر از حالت معمولی می‌توان به این احتمال رسید که نشان دهنده‌ی بهبود توان سیگنال دریافتی به اندازه‌ی ۱۰dB می‌باشد. کاهش نرخ عبور از آستانه برای حالت پس از اعمال دایورسیتی نیز به این معنی است که کاربر متحرک کمتر فیدینگ را تجربه کرده و کیفیت سیگنال دریافتی آن نسبت به حالت بدون دایورسیتی بسیار بهتر می‌باشد.



شکل ۶- مقایسه احتمال از کار افتادگی بین سیستم بدون دایورسیتی و سیستم دارای دایورسیتی فضایی



شکل ۷- مقایسه نرخ عبور از آستانه بین سیستم بدون دایورسیتی و سیستم دارای دایورسیتی فضایی

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله سیستم برای بهبود کیفیت سیگنال‌های دریافتی در سایت‌های تکرار کننده‌ی پیشنهاد شد که اساس کار آن‌ها ایجاد دایورسیتی فضایی می‌باشد. این سیستم‌ها به گونه ای طراحی شده‌اند که بهترین استفاده را از امکانات موجود برده و کمترین تغییرات را در سیستم‌ها فعلی نیاز داشته باشد. بهبود کیفیت سیگنال دریافتی با استفاده از این سیستم‌ها را با استفاده از شبیه‌سازی نشان دادیم. سیستم پیشنهاد شده از لحاظ هزینه‌ی پیاده سازی، پیچیدگی پیاده‌سازی و استفاده‌ی بهینه از آنتن‌های موجود مزایا و معایبی دارند.

مراجع

[1] A. Goldsmith, Wireless Communications. Cambridge University Press, 2005.
[2] C. Zehntner, C. Patry, and M. Maier, “Digital Communication and Multipath Propagation,” in RTO IST Symposium on “ Tactical Mobile Communications,”, pp. 14–16, 1999.
[3] J. Islam, “Performance Analysis of Diversity Techniques for Wireless Communication System,” Blekinge Institute of Technology, 2012.
[4] Marks, Daniel L., Jonah Gollub, and David R. Smith. "Spatially resolving antenna arrays using frequency diversity." JOSA A 33.5, pp. 899-912, 2016.
[5] H. Hourani, “An Overview of Diversity Techniques in Wireless Communication Systems.” 2005.
[6] R. S. Shatara and M. A. Boytim, “Technique for reducing multipath distortion in an FM receiver,” US 7720184 B2, 2010.
[7] R. S. Shatara, M. A. Boytim, and S. S. Langston, “Technique for reducing multipath interference in an FM receiver,” US 7590399 B2, 2009.
[8] R. S. Shatara and J. J. Marrah, “Automotive FM Diversity Systems , Part II : Analog Systems,” no. 724, 2007.
[9] See, Andrew PuayHoe, David Maldonado, and Gurkanwal Sahota. "Antenna diversity switching." U.S. Patent No. 10,673,484. 2 Jun. 2020.
[10] S. Treinies, J. Hopf, and S. Lindenmeier, “Advanced Analysis of FM-Reception Systems with Antenna Diversity,” Antennas Propag., pp. 464–467, 2011.
[11] J. Jootar, J.-F. Diouris, and J. R. Zeidler, “Performance of Polarization Diversity in Correlated Nakagami-m Fading Channels,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 55, pp. 128–136, 2006.
[12] T. W. C. Brown, S. R. Saunders, S. Stavrou, and M. Fiacco, “Characterization of Polarization Diversity at the Mobile,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 56, no. 5, pp. 2440–2447, 2007.
[13] Y. JING and B. HASSIBI, “Cooperative Diversity in Wireless Relay Networks with Multiple-Antenna Nodes,” in Information Theory, pp. 1–30, 2005.
[14] E. Zimmermann, P. Herhold, and G. Fettweis, “On the performance of cooperative relaying protocols in wireless networks,” Eur. Trans. Telecommun., vol. 16, no. 1, pp. 5–16, Jan. 2005.
[15] R. S. Shatara and J. J. Marrah, “RF receiver system having switched antenna diversity module,” US 7565126 B2, 2006.
[16] W. R. Rambo, “Switched diversity method and apparatus for FM receivers,” US 4566133 A, 1986.
[17] Y. Furuya, “Receiver for antenna switching diversity systems,” US 4742568 A, 1988.
[18] G. E. Gottfried, L. Ravi, and M. C. Burek, “Switching system for diversity antenna FM receiver,” US 5603107 A, 1997.
[19] R. H. CLARKE, “A statistical theory of mobile radio reception,” Bell Syst. Tech. J, pp. 975–1000, 1968.
[20] J. W.C, MICROWAVE MOBILE Communications. 1974.
[21] S. R. Saunders, Antenna and Propagation for Wireless Communication Systems. 2007.
[22] R. L. Freeman, Fundamentals of Telecommunications. 2005.
[23] W. c. y. Lee, “Vertical vs Horizontal Separations for Diversity Antennas.” 1991.
[24] “What base station antenna configuration is best for LTE-Advanced?” 2012.

www.SID.ir