



فصلنامه علمی پژوهش‌های سایبرالکترونیک

صاحب امتیاز: دانشکده علوم و مهندسی دفاعی دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)

سر دبیر: دکتر محمدعلی جوادزاده

مدیر مسئول: دکتر محمد کاظم بصیرتی

اعضای هیئت تحریریه

دکتر محمد کاظم بصیرتی	استادیار دانشگاه
دکتر حمیدرضا لشکریان	استادیار دانشگاه
دکتر مسعود باقری	دانشیار دانشگاه
دکتر محمدعلی جوادزاده	استادیار دانشگاه
دکتر حمید باباخانیان	مدرس دانشگاه
دکتر ضرغام رستمی	استادیار دانشگاه
دکتر حسین صابری	استادیار دانشگاه
دکتر مهدی علی‌نژاد	استادیار دانشگاه
مهندس سید محمود قطبانی	مدرس دانشگاه
مهندس علیرضا صفایی	مدرس و عضو هیئت علمی دانشگاه
مهندس حامد شیروی	مدرس دانشگاه
مهندس مرتضی یزدان‌پناه	مدرس دانشگاه
مهندس یوسف برجعلی	مدرس دانشگاه



همکاران علمی و داوران این شماره

دکتر منصور احدنژاد، دکتر حمید اکبری، دکتر رضا جلالی، دکتر بهروز خادم، دکتر علی کریمی، دکتر مصطفی عباسی،
دکتر مهدی علی‌نژاد، دکتر مهدی نقوی، مهندس علی بهتری، مهندس حامد شیروی، مهندس رامین دلیر،
مهندس سامان کشوری، مهندس پیمان قنوازی، مهندس مجید حاج جواد

مدیر اجرایی: مهندس علیرضا صفایی

ویراستار ادبی: سرکار خانم مهندس طوفانی

ویراستار انگلیسی و مترجم: مهندس فرامرز شمس سوسه‌باب

حروفچین و صفحه‌آرا: مهندس مرتضی یزدان‌پناه

طراح جلد: مهندس علی ذوالفقاریان

شمارگان: ۱۰۰ (نسخه چاپی) ۲۰۰ (نسخه الکترونیکی) قیمت نسخه چاپی:

نشانی: تهران، بزرگراه شهید بابایی، بعد از پل لشکرک، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)، دانشکده علوم و مهندسی دفاعی، تلفن: ۷۷۱۰۳۰۵۰ داخلی ۱۰۹

Web Site: www.Jce.ihuo.ac.ir

E-mail: Jce@ihuo.ac.ir

تمام حقوق مادی و معنوی برای دانشکده علوم و مهندسی دفاعی محفوظ است.

فهرست

- ❖ سخن سردیر..... (یازده)
- ❖ تقسیم‌بندی معنایی برای تصاویر پهپاد با استفاده از روش‌های یادگیری عمیق..... ۱۳
 - سید محمدعلی ضیائی
- ❖ کاربرد سطوح انتخاب‌گر فرکانسی پهن باند در الکترونیک دفاعی..... ۲۷
 - علی عزیزی
- ❖ بررسی ارتباطات بی‌سیم برای شبکه هوشمند مبتنی بر رویکردها و فناوری‌های نوپدید از دیدگاه EMC..... ۳۷
 - ضرغام رستمی، احمد عطائی
- ❖ تحلیل و شبیه‌سازی ساختار نیم جمع‌کننده‌های نوری مبتنی بر بلورهای فوتونی و ارائه پیشنهادهایی جهت بهبود عملکرد در مدارهای مجتمع نوری..... ۴۷
 - محمد مقصودی
- ❖ مزایای استفاده از جنگ سایبر الکترونیک در محیط‌های عملیاتی..... ۵۷
 - مهرداد نجفی نوکاشتی، محمدرضا موحدی‌صفت
- ❖ ارائه یک دسته‌بندی بر اساس مشخصه‌های سیستم عامل‌های بی‌درنگ..... ۷۱
 - مهدی قزلسفلو، مهدی نقوی

بررسی ارتباطات بی سیم برای شبکه هوشمند مبتنی بر رویکردها و فناوری های نوپدید از دیدگاه EMC

ضرغام رستمی^۱، احمد عطائی^۲

چکیده

بررسی ارتباطات بی سیم از منظر سازگاری الکترومغناطیسی و باند مورد استفاده از موضوعات چالش برانگیز در شبکه های هوشمند است. همچنین نحوه قرارگیری آنتن ها در این شبکه ها به طوری که بهترین حالت از منظر سازگاری الکترومغناطیسی داشته باشد نیز از مسائل مطرح در این حوزه است. در این مقاله، چگونگی عملکرد ارتباطات مخابراتی به خصوص در شبکه های هوشمند و تشخیص سیگنال های آن حتی در جایی که سطح سیگنال اطلاعات و نویز از لحاظ مقادیر یکسان است بررسی می گردد و نشان داده شده است در این حالت نیز دارای عملکرد پایدار و بدون تداخل است. همچنین در این مقاله نحوه قرارگیری اجزای شبکه هوشمند به منظور رسیدن به کمترین تداخل الکترومغناطیسی بررسی و دو روش برای یافتن مکان بهینه آنتن ها ارائه شده است.

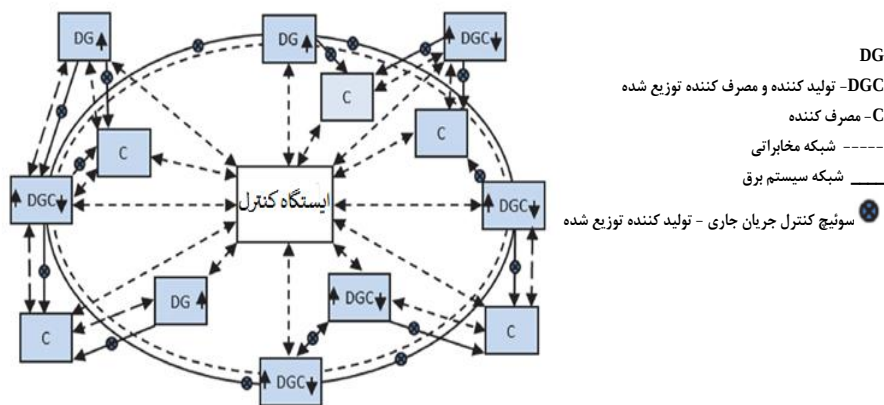
واژگان کلیدی: سازگاری الکترومغناطیسی (EMC)، شبکه هوشمند برق، 5G، پهن باند

۱. عضو هیئت علمی دانشکده برق و جنگ الکترونیک، دانشگاه جامع امام حسین (ع) Zrostami@ihu.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری دانشکده برق و جنگ الکترونیک، دانشگاه جامع امام حسین (ع) A.ataee1370@gmail.com

۱- مقدمه و تاریخچه

در یک سیستم شبکه هوشمند برق، تولید برق متمرکز عمده باید با تعداد فزاینده‌ای از منابع کوچک‌تر، پاک‌تر و کارآمدتر تولید برق توزیع‌شده مانند فناوری‌های باد، فتوولتائیک، توربین‌های گاز، سلول‌های سوختی و ذخیره‌سازی باتری همزیستی داشته باشد [۱]. دستگاه‌های برق به توزیع و کنترل هوشمندتر تمام منابع تولید برق باکیفیت در دسترس نیاز دارند تا نیازهای بار را با وقفه‌های کمتر برآورده کنند. سیستم توزیع نیروی برق باید در برابر هرگونه تلفات خط انتقال یا ایستگاه تولید مقاومت کند. ولتاژ، فرکانس و حالت پایدار و پایداری گذرا برق باید در حد تلورانس‌های قابل قبول باشد. سیستم توزیع برق باید ایمن، کم‌هزینه و کارآمد باشد. برای کنترل اجزای یک شبکه هوشمند، یک سیستم ارتباطی و تبادل اطلاعات قابل اعتماد ضروری است؛ بنابراین، یک شبکه مخابراتی بخشی جدایی‌ناپذیر از یک سیستم برق شبکه هوشمند است. سیستم برق و شبکه‌های مخابراتی باید بدون تداخل الکترومغناطیسی با یکدیگر همزیستی داشته باشند. سیستم کنترل باید توانایی نظارت و کنترل دستگاه‌های تولید، خطوط انتقال، توزیع، پست‌های توزیع و بارهای متصل را داشته باشد. سیستم کنترل، حسگرها، کنتورهای انرژی و دستگاه‌های ارتباطی و تبادل اطلاعات باید طبق برنامه عمل کنند و نباید در معرض نویز الکتریکی تولیدشده یا توسط سیستم برق و یا پیش‌بینی شده در محیط اطراف باشند. در شکل (۱) ساختار مفهومی SGP آورده شده است.



شکل ۱. ساختار مفهومی سیستم SGP

در [۱] به بررسی کلی ساختار و روش‌های کلاسیک، مرسوم و همچنین روش بر اساس نسل پنجم (5G) ارائه شده است. روش ابتدایی استفاده از خطوط مسی برای ارتباط است که این روش دارای هزینه بالا و نویزپذیری بالا است. روش بعدی که مورد بررسی قرار گرفت استفاده از فیبر نوری برای ارتباط بین نودهای شبکه است. این

روش در کنار مزیت های زیادی مانند امنیت بالا، احتمال شنود پایین، تداخل پذیری کم معایب بزرگی نیز دارا است. از معایب فیبر نوری می توان به آسیب پذیر بودن در برابر اتفاقات مکانیکی (به دلیل نازک و شکننده بودن)، آرک، آلودگی محیطی و رطوبت اشاره نمود.

جدیدترین روش استفاده از فناوری نسل پنجم یا همان 5G است [۲-۳]. معماری 5G هر دو باند فرکانس مجاز و بدون مجوز را پوشش می دهد. باندهای بدون مجوز/معافیت از مجوز طیفی را نشان می دهند که برای استفاده جمعی توسط تعداد نامشخصی از کاربران مستقل بدون ثبت یا مجوز عملیاتی تعریف شده است. ویژگی های شبکه 5G را می توان برای ارتباطات شبکه هوشمند پیکربندی و استفاده کرد. باین حال، لایه های پیوند فیزیکی و داده ای معماری 5G باید برای برنامه های شبکه هوشمند بهینه شوند. انتظار می رود که 5G برای پشتیبانی از برنامه های مرتبط با امنیت و برنامه های کنترل حیاتی مأموریت، تأخیر بسیار دقیق (کمتر از ۲ میلی ثانیه) و الزامات قابلیت اطمینان را برآورده کند. معماری 5G برای کامل کردن هر دوی شبکه تعریف شده نرم افزار (SDN) و مجازی سازی توابع شبکه^۱ (NFV) طراحی خواهد شد [۴]. SDN یک معماری شبکه نوظهور است که در آن یک کنترل کننده شبکه متمرکز، هوش و وضعیت کل شبکه را حفظ می کند. کنترل کننده شبکه قوانین کنترل مسیریابی ترافیک را برای دستگاه های شبکه ناهمگن از فروشندگان مختلف ارائه می دهد. NFV با ایجاد ماشین های مجازی روی سرورهای سخت افزاری با حجم بالا و دستگاه های ذخیره سازی متصل به سوئیچ های شبکه عمومی با حجم بالا، زیر ساخت مجازی ایجاد می کند. از آنجایی که از سخت افزار عمومی استفاده می شود، شبکه به طور مؤثر بر روی یک پلت فرم مشترک کار خواهد کرد. سخت افزار عمومی و معماری پلت فرم مشترک، مزایای تولید انبوه را فراهم می کند که نویدبخش هزینه کمتر دستگاه و همچنین کاهش هزینه های عملیاتی و نگهداری است.

درد سترس بودن طیف ۶۰ گیگاهرتز (۵۷ - ۷۱ گیگاهرتز) برای استفاده از سیستم ارتباط بی سیم بدون مجوز اخیراً توسط FCC اعلام شده است [۵]. این محدوده فرکانس را می توان به طور قابل اعتماد برای ارتباطات بی سیم با برد کوتاه و بیش از ۱ گیگاهرتز بر ثانیه استفاده کرد. این در حالی است که باندهای دارای مجوز فناوری 4G از حداکثر پهنای باند ۲۰ مگاهرتز و پهنای باند انبوه تا ۱۰۰ مگاهرتز پشتیبانی می کنند. در مقابل، سیستم بی سیم ۶۰ گیگاهرتز می تواند پهنای باندی در حد چند گیگاهرتز ارائه دهد که این نکته ای است که در بخش بعدی این مقاله مورد نیاز ما است.

مشکل سازگاری الکترومغناطیسی (EMC) یکی از بالاترین اولویت ها در فناوری مخابراتی بی سیم مدرن را دارد. وسایل سستی به وجود آورنده EMC شامل برنامه ریزی فرکانس^۲ که تحت نظارت نهادهای ملی و بین المللی است، استفاده از آنتن ها با پترن تشعشع باریک و غیره است [۶]. در عین حال، مشکل اطمینان از الزامات EMC دستگاه های

^۱Software Defined Network

^۲Network Functions Virtualization

^۳Frequency planning

بی سیم، به دلیل الزامات برای تراکم بالای کانال‌های ارتباطی در هر مترمربع از منطقه کاری، پهنای باند و مصونیت نویز آن‌ها تحت تداخل ناخواسته و عمدی، ضروری می‌شود. روش اصلی ارائه EMC در دستگاه‌های ارتباطی موبایل بی سیم، کاهش سطح میدان‌های الکترومغناطیسی است [۷-۱۰].

با توجه مقدمات بیان شده در ادامه و در بخش دوم به بحث عملکرد ارتباطات بی سیم در شبکه هوشمند خواهیم پرداخت. همچنین در بخش سوم در مورد نحوه قرارگیری و چیدمان ریز شبکه‌های شبکه هوشمند برای رسیدن به عملکرد بهتر صحبت خواهیم کرد و در انتها در بخش چهارم نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی ارائه خواهد شد.

۲- بررسی عملکرد ارتباطات بی سیم در شبکه هوشمند SGP

برای فراهم کردن سطح لازم از سازگاری الکترومغناطیسی دستگاه‌های مخابراتی ارتباطات سیار، فناوری ارتباطات فوق پهن باند توانمند است. ماهیت آن انتقال پالس‌های کدگذاری شده کم‌توان در یک باند فرکانس بسیار گسترده بدون فرکانس حامل است. علاوه بر این، پهنای باند سیستم نه با قدر مطلق عرض باند فرکانسی استفاده شده، بلکه با نسبت طیف پیام، تعیین شده توسط سرعت اطلاعات و عرض طیف سیگنال تعیین می‌شود. فرض کنید که ΔF عرض طیف پیام، W عرض طیف سیگنال، و T دوره تناوب زمانی سیگنال است. ضرب $B = WT$ پایه سیگنال است. به طور معمول برای دستگاه‌های پهنای باند $\Delta F \gg W$ و $B \gg 1$ با گسترش باند فرکانس از ΔF به W ،

امکان افزایش نرخ انتقال اطلاعات، کوتاه کردن سیگنال‌های ارسالی از مقدار $T \cong \frac{1}{\Delta F}$ به $T_1 \cong \frac{1}{W}$ و وجود دارد.

بنابراین، مقداری افزونگی به سیگنال ارسالی وارد می‌شود که اندازه آن ضریب گسترش طیف $K_f \cong \frac{W}{\Delta F}$ را تعیین می‌کند. وجود این افزونگی است که ویژگی‌های دستگاه‌های باند فوق‌العاده مانند توانایی غلبه بر پدیده چند مسیری، مقاومت در برابر تداخل، و توانایی استفاده مؤثر از طیف در هنگام استفاده از محدوده فرکانس بیش‌ازحد و پردازش سیگنال دیجیتال را تعیین می‌کند.

معمولاً حد پایین نسبت چگالی طیفی سیگنال N_s تداخل N_0 از ۷- دسی‌بل در ورودی گیرنده عملکرد طبیعی آن را تضمین می‌کند. این سطح با نسبت زیر مطابقت دارد:

$$\frac{N_s}{N_0} \leq 0.2 \quad (1)$$

علاوه بر این، چگالی طیف N_s توسط رابطه زیر تعیین می گردد:

$$N_s = \frac{P}{W} = \frac{E}{WT} \quad (2)$$

که در آن: P توان سیگنال است.

W عرض طیف سیگنال است.

E انرژی سیگنال است.

T مدت زمان سیگنال است.

بنابراین، با در نظر گرفتن روابط (۱)، (۲) معیار برآوردن الزامات EMC حل نامساوی زیر می شود:

$$\frac{E}{WT} \leq 0.2 \quad (3)$$

بر اساس تئوری پتانسیل ایمنی نوین V. Kotelnikova [۱۱] مشخصه های سیگنال اطلاعاتی به نسبت انرژی

مضاعف سیگنال E به چگالی طیفی توان نوین N_0 بستگی دارد و عبارت است از:

$$Q = \frac{2E}{N_0} = 2q_0 B$$

که در آن: $q_0 = \frac{E}{N_0 W}$ نسبت میانگین توان سیگنال $p_{s0} = \frac{E}{T}$ به توان نوین $p_{N0} = N_0 W$ در ورودی

گیرنده است و $B = WT$ پایه سیگنال است.

علاوه بر این رابطه ۳ به صورت زیر می گردد:

$$\frac{q^2}{WT} \leq 0.4 \quad (4)$$

که در آن خود معیار بر حسب نسبت سیگنال به نویز در ورودی گیرنده q و بهره حاصل از پردازش WT تعریف می شود.

کاهش سطح تشعشعات الکترومغناطیسی روش اصلی ارائه EMC در دستگاه های ارتباطی بی سیم است؛ بنابراین، اطمینان از عملکرد پایدار و بدون پرش، کاهش سیگنال اطلاعاتی در ورودی گیرنده به سطح نویز ($q=1$)

است. این، معیار برای برآوردن الزامات EMC دستگاه‌های مخابراتی برای ارتباطات سیار بی سیم $WT \geq 2.5$ را تعیین می‌کند.

بنابراین، برای اطمینان از الزامات سازگاری الکترومغناطیسی دستگاه‌های موبایل بی سیم، مناسب‌ترین راه استفاده از فناوری سیگنال فوق پهن باند با پایه سیگنال $B \geq 2.5$ است.

حال باتوجه به فرض مسئله در نظر گرفتن کل باند ۶۰ گیگاهرتز (۵۷-۷۱ گیگاهرتز) به صورت پهن باند باتوجه به اینکه پهنای باند بزرگ‌تر از ۲,۵ گیگاهرتز است و نشان داده شد که در صورت برقراری این حالت شرط لازم را برآورده می‌شود و عملکرد مناسب سیستم ارتباطات بی سیم در شبکه SGP را تضمین می‌کند. به عبارت دیگر بر اساس تئوری پتانسیل ایمنی نویز، امکان عملکرد پایدار و بدون تداخل در یک شبکه SGP در شرایط، جایی که سطح سیگنال اطلاعات و نویز از لحاظ مقادیر یکسان است نشان داده شده است. امکان حذف سیگنال اطلاعات انتقال داده شده نیز از ترکیب نویز و سیگنال مفید با همبستگی (کرولیشن) سیگنال‌های دریافتی و مرجع ثابت شده است.

۳- محل قرارگیری اجزای شبکه هوشمند

در [12] نشان داده شده است که برای برقراری الزامات EMC در آنتن‌های به کاررفته بر روی برد موبایل، لازم است چیدمان آنتن‌ها به گونه‌ای انجام گیرد که حداقل ضریب تزویج آنتن تضمین گردد. برای بهینه‌کردن این چیدمان از دو روش بهینه‌سازی گاوس - زیدل و روش جستجو استفاده و نتایج قابل قبولی را ارائه نموده است.

حال اگر در یک حالت خاص از شبکه SGP فرض کنیم تک تک شبکه‌ها خود شامل چند آنتن باشد، همان مسئله بررسی شده در مقاله [۱۲] در دو حالت قابل مدل‌سازی است:

اولاً در هر کدام از زیر شبکه‌ها باید آنتن‌ها به گونه‌ای چیدمان شوند که الزامات EMC را رعایت کنند.

ثانیاً زیر شبکه‌ها هر کدام جداگانه با زیر شبکه دیگر امکان تداخل الکترومغناطیسی دارند و می‌بایست نحوه چیدمان این زیر شبکه‌ها نسبت به یکدیگر نیز مورد بررسی قرار گیرند.

در ادامه به صورت اختصار این تکنیک به کار گرفته شده شرح داده خواهد شد:

ابتدا باید ضرایب تزویج به دست آورده شود:

$$\alpha_a = \frac{P_r \eta_r}{P_t \eta_t} \quad (5)$$

که در آن P_r توان در خروجی آنتن دریافتی است، تعیین می‌شود. P_t توان فرستنده تداخل است. η_r, η_t به ترتیب تلفات کابل گیرنده و فرستنده هستند.

اجازه دهید ابتدا با استفاده از (۵)، ضریب تزویج آنتن را برای میدان دور تعیین کنیم. در اینجا، برای P_r ما داریم:

$$P_r = \frac{P_t \eta_t G_t G_r \lambda^2 S}{(4\pi D)^2} \quad (6)$$

که در آن G_t و G_r به ترتیب بهره های آنتن های ارسالی و دریافتی هستند. λ طول موج فرستنده است. S ضریب تطبیق پلاریزاسیون آنتن است. D کوتاه ترین فاصله بین آنتن های فرستنده و گیرنده است. پس، برای α_a از (۵) و (۶) داریم:

$$\alpha_a = \frac{G_t G_r \lambda^2 S \eta_r}{(4\pi D)^2} \quad (7)$$

اگر رابطه ۷ به صورت دسی بل بیان شود، داریم:

$$\alpha_a = G_t + G_r + \eta_r + S + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi D} \right) \quad (8)$$

برای منطقه فرنل، برای در نظر گرفتن اصل محافظت (شیلدینگ) برد، ضریب شیلدینگ را معرفی می کنیم.

$$K_1 = \frac{A}{\eta A + \varepsilon}, K = 10 \log K \quad (9)$$

که در آن:

$$A = \rho \psi_s^2 \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda D}}$$

و ρ شعاع استوانه برحسب متر است. ψ_s زاویه اطراف استوانه مسیر انتشار برحسب رادیان است. و D کوتاه ترین فاصله قطعه استوانه ای مسیر انتشار برحسب متر است.

باتوجه به ضریب شیلدینگ، ضریب تزویج آنتن ممکن است به صورت زیر (برحسب دسی بل) نوشته شود.

$$\alpha_a = G_t + G_r + \eta_r + S + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi D} \right) - K \quad (۱۰)$$

در (۱۰) ضریب K علامت منفی دارد. به‌طور حسی این منها می‌تواند با استدلال زیر توضیح داده شود. از آنجایی که استوانه یک شیلد است، باید ضریب تزویج بین آنتن‌ها را کاهش دهد. اما با توجه به (۹) ضریب شیلدینگ در همه موارد بیش از صفر است؛ بنابراین در (۱۰) ضریب K باید با علامت منفی باشد. پس از محاسبه ضریب تزویج آنتن‌ها توسط رابطه (۱۰) داریم:

حداقل مقدار ضریب تزویج آنتن‌ها در محدودیت‌های داده‌شده در پوشش برای هر آنتن ما را مورد توجه قرار می‌دهد. معمولاً می‌توانیم آنتن‌ها را در محدوده‌هایی جابه‌جا کنیم، جایی که پوشش‌های آن‌ها هنوز ذخیره می‌شود. سپس، می‌توانیم حداقل مقدار ضریب تزویج آنتن را جستجو کنیم و آنتن‌ها را در محدوده‌های مجاز جابه‌جا کنیم. برای این کار می‌توانیم از روش جستجو یا روش بهینه‌سازی گاوس - زیدل استفاده کنیم. در روش جستجو، ضریب تزویج آنتن برای هر مختصات آنتن‌های فرستنده و گیرنده در محدوده‌های مجاز محاسبه می‌شود. سپس، حداقل مقدار آن از تمام محدوده‌ها نمونه‌برداری می‌شود. در اینجا نیز مختصات آنتن که با حداقل مقدار ضریب تزویج آنتن مطابقت دارد، ثبت می‌شود. روش جستجو زمانی توصیه می‌شود که نواحی مجاز مختصات آنتن کوچک باشد. در غیر این صورت، استفاده از روش بهینه‌سازی گاوس - زیدل ضروری است که در ادامه به بررسی آن خواهیم پرداخت. آنتن فرستنده - گیرنده در ابتدا به‌عنوان یک آنتن فرستنده به‌صورت جفتی با یکی از آنتن‌های گیرنده استفاده می‌شود. سپس به‌عنوان آنتن گیرنده به‌صورت جفتی با یکی از آنتن‌های گروه فرستنده استفاده می‌شود.

پس از تعیین حداقل مقدار یک ضریب تزویج آنتن برای جفت اول، جفت دوم را نیز شامل آنتن‌های فرستنده و گیرنده و غیره در نظر می‌گیریم. در این حالت، هر آنتن فرستنده می‌تواند با هر یک از آنتن‌های گیرنده جفت باشد. اینجا در قسمت مختصات آنتن‌های گیرنده مشکلی وجود دارد. اجازه دهید برای اولین جفت آنتن، از روش جستجو یا روش بهینه‌سازی گاوس - زیدل استفاده کنیم که در آن مختصات آنتن‌ها تعریف شده‌اند که با حداقل مقدار ضریب تزویج آنتن بین آن‌ها مطابقت دارد. اگر اکنون برای جفت دوم متشکل از آنتن فرستنده دیگر و آنتن گیرنده جفت اول، برای تعیین حداقل مقدار ضریب تزویج آنتن بین آن‌ها، مختصات آنتن گیرنده احتمالاً با جفت اول متفاوت خواهد بود. در این شرایط، مختصات آنتن گیرنده با مصالحه تعیین می‌شود که شامل موارد زیر است. ضرایب تزویج آنتن برای هر جفت آنتن نسبت به حداقل مقادیر آن‌ها افزایش می‌یابد. بدیهی است که با این مقادیر افزایش‌یافته، نه یک موقعیت آنتن گیرنده، بلکه مقداری از مختصات مطابقت دارد. هر چه میدان بیشتر باشد، ضریب تزویج آنتن بیشتر خواهد شد. دامنه تلاقی میدان‌های دریافتی، یک میدان مختصاتی برای آنتن گیرنده می‌دهد. در مواردی که آنتن گیرنده برای جفت‌های بیشتری مشترک خواهد بود نیز همین‌گونه است. در این مورد، ما به دنبال عبور از میدان‌های دریافتی، برای همه جفت‌های دارای این آنتن گیرنده مشترک هستیم.

درجه افزایش ضرایب تزویج آنتن باید به‌گونه‌ای باشد که حداقل میدان مختصات آنتن گیرنده را دریافت کند.

در اینجا، در نقش یک تابع هدف، مقدار مجموع ضرایب تزویج آنتن دستگاه های اطلاعاتی متقابل را می پذیریم. مشکل روش بهینه سازی شامل به حداقل رساندن یک تابع هدف در محدودیت های تعیین شده در پوشش آنتن است. اجازه دهید اکنون روش بهینه سازی گاوس - زیدل را در نظر بگیریم که همان طور که در بالا ذکر شد، برای تعیین حداقل مقدار ضریب تزویج آنتن بین یک جفت آنتن فرستنده و گیرنده استفاده می کنیم. استفاده از روش بهینه سازی گاوس - زیدل شامل تغییر مختصات یکی از دو آنتن و در محاسبه هر مورد ضریب تزویج آنتن (α_a) است. اگر مختصات اولیه این آنتن ρ_0, φ_0, z_0 باشد، مختصات جدید باتوجه به معادلات تعیین می شود.

$$\rho_1 = \rho_0 - h_\rho \frac{\partial \alpha_a(\rho_0, \varphi_0, z_0)}{\partial \rho} \quad (11)$$

$$\varphi_1 = \varphi_0 - h_\varphi \frac{\partial \alpha_a(\rho_1, \varphi_0, z_0)}{\partial \varphi} \quad (12)$$

$$z_1 = z_0 - h_z \frac{\partial \alpha_a(\rho_1, \varphi_1, z_0)}{\partial z} \quad (13)$$

که در آن h_ρ, h_φ, h_z مراحل تکراری باتوجه به مختصات ρ, φ, z هستند. در اینجا، انتقال به مختصات زیر تنها زمانی انجام می شود که ضریب تزویج آنتن افزایش نیافته باشد. اگر این اتفاق بیفتد، مرحله تکرار کاهش یافته و ضریب تزویج آنتن دوباره محاسبه می شود. این روش تا زمانی ادامه می یابد که حداقل مقدار ضریب تزویج آنتن در این مختصات (تکرار داخلی) پیدا شود. یک مرحله از تکرار خارجی زمانی تکمیل می شود که مختصات آنتن موبایل مقادیر ρ_1, φ_1, z_1 را بپذیرد.

برای مرحله دوم تکرار خارجی معادلات زیر استفاده می شوند:

$$\rho_2 = \rho_1 - h_\rho \frac{\partial \alpha_a(\rho_1, \varphi_1, z_1)}{\partial \rho} \quad (14)$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 - h_\varphi \frac{\partial \alpha_a(\rho_2, \varphi_1, z_1)}{\partial \varphi} \quad (15)$$

$$z_2 = z_1 - h_z \frac{\partial \alpha_a(\rho_2, \varphi_2, z_1)}{\partial z} \quad (16)$$

سپس، رویه مطابق با (14) - (16) پیش خواهد رفت. روش توصیف شده تا زمانی ادامه می یابد که حداقل مقدار ضریب تزویج آنتن به دست آید.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله ابتدا توضیحاتی در مورد شبکه هوشمند برق SGP ارائه شد و روش‌های مرسوم ارتباطات در این سیستم‌ها بیان گردید. سپس روش جدید استفاده از فناوری 5G مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده گردید که به دلیل پهن باند بودن طیف فرکانسی آن (از ۵۷ تا ۷۱ گیگاهرتز)، می‌توان نشان داد که امکان عملکرد عالی حتی در حالت یکسان بودن سطح سیگنال اطلاعات و نویز وجود دارد. در ادامه با فرض وجود آنتن در زیرشبکه‌ها به بررسی محل قرارگیری بهینه این آنتن‌ها در زیر شبکه پرداخته و با استفاده از روش‌های گاوس - زیدل و روش جستجو مکان‌های بهینه مشخص گردید. باتوجه به نتایج مناسب به دست آمده در زمینه استفاده از فناوری 5G و قابلیت مصنویت در برابر نویز داشتن آن و درعین حال پیچیدگی پیاده‌سازی در برد بلند، پیشنهاد می‌گردد که در بحث پیاده‌سازی‌های شبکه‌های هوشمند چنانچه کاربرد مدنظر در برد کوتاه باشد از فناوری 5G استفاده و در صورت کاربرد برد بلند از روش فیبر نوری استفاده گردد. همچنین در هر دو کاربرد برای پیاده‌سازی شبکه، چیدمان بهینه آنتن‌ها با روش‌های گاوس - زیدل و روش جستجو به صورت بهینه تعیین گردد. در ادامه پیشنهاد می‌گردد روش‌هایی طراحی گردد که بتوان از فناوری 5G در بردهای نسبتاً بلند نیز استفاده نمود تا از مزیت‌های بسیار مناسب امنیت بالا، عدم نیاز به مجوز طیفی و مصون از نویز الکتریکی در همه بردها استفاده نمود.

منابع:

- [1] D.Moongilan, "5G wireless communications (60GHz Band) for Smart Grid – An EMC perspective," Nokia bell laboratories, IEEE2016.
- [2] J.Rodriguez, "Fundamental of 5G Mobile Networks", 2015 John Wiley & Sons Ltd, pp 23-24
- [3] P.Popovski, "Ultra reliable Communication in 5G Wireless Systems", 2014 1st int. conf. on 5G for Ubiquitous Connectivity (5GU), pp 146-151
- [4] M.K. Weldon, "the future X network, A Bell lab perspective", 2016 CRC press, Taylor & Francis group, pp 356,382
- [5] FCC, "Federal register" vol 81, No8 jan 13, 2016
- [6] A.Serkov, K.Trubehaninova, I.Yakpvenko, "Electromagnetic Compatibility of Mobile Telecommunication Systems," IEEE2020.
- [7] M.V. Sokolova, "Ultra-wideband wireless communication: history and development prospects", T-Comm. Telecommunications and transport, 2008, pp. 50–55. [rus]
- [8] S.S. Adzhemov, M.V. Sokolova, Yu.F. Uryadnikov, V.V. Shtyrkin, "Ultra-wideband is the result of the development of broadband access technologies", Electrosvyaz. vol 2. pp.18–23 (2006). [rus]
- [9] C. Wu, Z. Liu, D. Zhang, T. Yoshinaga and Y. Ji, "Spatial Intelligence toward Trustworthy Vehicular IoT", IEEE Communications Magazine, vol. 56, no. 10, pp. 22-27, October 2018, doi: 10.1109/MCOM.2018.1800089.
- [10] Junqing Zhang, Trung Q. Duong, Roger Woods, Alan Marshall, "Securing Wireless Communications of the Internet of Things from the Physical Layer, An Overview", Entropy 2017, vol. 19(8), paper no. 420, doi:10.3390/e19080420
- [11] V.A. Kotelnikov, Potential Immunity Theory. Gosenergoizdat, 1956.151p. [rus]
- [12] E. Ibatoulline, "The Antennas on a Mobile Board and Their Electromagnetic Compatibility", IEEE2003.

Examining wireless communication for smart network based on new approaches and technologies from the EMC point of view

Zargham Rostami, Ahmad Atayi

Abstract

Examining wireless communication from the perspective of electromagnetic compatibility and the used band is one of the challenging issues in smart networks. Also, how to place the antennas in these networks so that it has the best condition from the point of view of electromagnetic compatibility is also one of the issues raised in this field. In this article, the functioning of telecommunication communications, especially in smart networks, and the detection of its signals, even where the level of the information signal and noise are the same in terms of values, is investigated, and it is shown that in this case it has a stable performance without interference. Also, in this article, how to place smart network components in order to achieve the lowest electromagnetic interference, and two methods to find the optimal location of antennas are presented .

Keywords: electromagnetic compatibility (EMC), smart grid, 5G, broadband