



جمهوری اسلامی ایران
معاونت توسعه و فناوری رسانه

سند راهبردی اندازه گیری پترن ایستگاه های برودکست

نسخه (۱)



پاییز ۱۳۹۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



رهبر معظم انقلاب (مدظله العالی)

زنجیره‌های تخصصی را با برنامه‌ی عملیاتی و نقشه‌ی
راه تشکیل بدهید، دنبال کنید؛ یعنی از تولید علم،
فناوری، طراحی و مهندسی تا ساخت تجهیزات، تا
ماشین‌آلات، تا تأمین موادّ اولیه، تا تولید محصول،
بازاریابی، توزیع، اینها همه کارهایی است که بر عهده‌ی
شما است که باید ان شاء الله انجام بدهید.



دکتر عبدالعلی علی عسکری

رئیس سازمان صداوسیما

در دنیای امروز، ماهیت رسانه‌ها به توانمندی رقابت پذیری آنها بستگی دارد. نقش فناوری رسانه نیز در این رقابت بسیار تعیین‌کننده است، بنابراین فناوری رسانه در عرصه‌های گوناگونی از جمله تولید، که عنصر رقابتی بسیار مهمی است، می‌تواند به این امر کمک کند. ما باید به سمت HD شدن و 4K شدن تلویزیون پیش رویم و این جریانی است که ادامه دارد و امیدواریم که در خط راس تکنولوژی و فناوری بایستیم.



دکتر رضا علیادی

معاون توسعه و فناوری رسانه

توسعه نسل دوم پلتفرم انتشار زمینی تلویزیون دیجیتال، به دلیل محدودیت های نسل اول و تغییر فناوری ها، اهمیت فراوانی برای این سازمان دارد. با مطالعه دقیق و بررسی روندهای جهانی فناوری، استاندارد DVB-T2 و HEVC برای سازمان صداوسیما در این مقطع زمانی انتخاب شد که نقش مهمی در جهت تحول و توسعه های آتی سایر حوزه های زیرساختی و محتوایی این سازمان ایفا خواهد کرد.

سند راهبردی

اندازه گیری پترن ایستگاه های برودکست

سند راهبردی
اندازه گیری پترن ایستگاه های برودکست
(نسخه ۱)

به اهتمام: اداره کل نظارت و ارزیابی فنی
گروه پژوهش: امور فناوری های نوین طیف فرکانس

پاییز ۱۳۹۹

فهرست مطالب

۱- مقدمه	۱۴
۲- تأیید پترن آنتن ایستگاه‌های برودکست به کمک هواگرد	۱۵
۲-۱- نوع پترن آنتن	۱۵
۲-۲- خطا در آرایه‌های آنتن	۱۷
۳- روش اندازه‌گیری	۱۹
۴- انواع پروازهای اندازه‌گیری	۲۰
۴-۱- پرواز انتشاری	۲۱
۴-۲- پرواز عمودی	۲۴
۴-۳- پرواز دایروی	۲۶
۴-۴- انواع دیگر پرواز	۲۷
۵- تجهیزات اندازه‌گیری	۲۸
۵-۱- تجهیزات موقعیت‌سنجی	۲۹
۵-۲- آنتن اندازه‌گیری	۳۰
۵-۳- گیرنده	۳۹
۵-۴- نرم‌افزار و تجهیزات محاسباتی	۴۰
۶- روش اندازه‌گیری	۴۱

- ۴۱ ۱-۶ بررسی سایت
- ۴۳ ۲-۶ طراحی اندازه گیری
- ۴۴ ۳-۶ آزمایشات قبل از پرواز
- ۴۴ ۴-۶ پرواز اندازه گیری
- ۴۵ ۵-۶ ارزیابی تجهیزات پس از پرواز
- ۴۵ ۶-۶ پردازش داده و تحلیل
- ۴۵ ۷-۶ گزارش دهی
- ۴۶ ۷- پردازش داده های اندازه گیری
- ۴۶ ۱-۷ بررسی داده ها
- ۴۷ ۲-۷ همبسته سازی پروازهای مختلف
- ۴۸ ۳-۷ پردازش داده ها
- ۴۸ ۸- محاسبات عدم قطعیت اندازه گیری
- ۵۶ ۹- گزارش دهی
- ۵۹ ۱۰- سیستم های مختلف برودکست
- ۶۰ ۱-۱۰ VHF FM برودکست
- ۶۲ ۲-۱۰ AM برودکست
- ۶۳ ۳-۱۰ HF (AM) برودکست

۶۴	۴-۱۰ برودکست T-DAB
۶۴	۵-۱۰ برودکست DVB-T
۶۵	۱۱- نکات مربوط به وسیله هوایی
۶۷	۱۲- اندازه گیری پترن آنتن UHF با UAV
۷۶	۱۳- اندازه گیری پترن آنتن های برودکست در ایران
۸۱	۱۴- نتیجه گیری
۸۲	منابع

۱- مقدمه

این سند روش‌های اندازه‌گیری، تجهیزات لازم و روال‌های گزارش‌دهی اندازه‌گیری پترن تشعشی با استفاده از هواگرد را بیان می‌کند. توضیحات این گزارش مستقل از پلتفرم هوایی منتخب و همچنین سیستم برودکست است. اما برای هر سیستم برودکست خاص و پلتفرم‌های هوایی، توضیحات اضافه‌ای داده شده و بنابراین با نیازهای گوناگون قابل تطبیق است.

در حال حاضر، بسیاری از کشورها درگیر مهاجرت از سیستم‌های برودکست آنالوگ به سیستم‌های دیجیتال هستند. برای چنین فرآیندی تعیین شرایط فنی سیستم‌ها مثل پترن تشعشی آرایه‌های آنتن و پوشش آن‌ها حائز اهمیت هستند.

اندازه‌گیری پترن آنتن برای سرویس‌های رادیویی برودکست VHF و UHF در توصیه‌نامه ITU-R BS.1195 و استفاده از وسائل نقلیه هوایی به این منظور در گزارش ITU-R SM.2056-1 مورد تشریح قرار گرفته‌اند.

گزارش ITU-R SM.2355-0 به استفاده از هواپیمای بدون سرنشین یا UAV (Unmanned Aerial Vehicle) یا پهپاد برای اندازه‌گیری شدت میدان در سیستم‌های DTV پرداخته است. اندازه‌گیری پترن تشعشی آنتن‌های برودکست در داخل یک اتاق جاذب (اتاق بدون انعکاس) کار آسانی نیست، زیرا پترن تشعشی ممکن است با نصب سیستم تغییر کند. از سوی دیگر، برای

برودکستر و همچنین رگولاتور، اندازه گیری رفتار واقعی یک ایستگاه برودکست پس از نصب به منظور تأیید شرایط مجوزدهی بسیار مهم است. موضوع استفاده از UAV یا پهپاد برای تعیین پترن تشعشی و پوشش، حوزه خوبی برای تحقیق و نوآوری است. اما این کار در بعضی محیط ها مثل مناطق کوهستانی یا بادخیز، چالش های خاص خود را دارد. در اکثر مواقع، ایستگاه های برودکست اولاً در مرتفع ترین مکان لازم ساخته می شوند و همچنین آرایه های آنتن برای ایجاد مناطق پوشش بزرگ، روی دکل هایی تا ارتفاع بیش از ۱۰۰ متر نصب می شوند. برای اطمینان از عملکرد درست سیستم آنتن نیاز به ارزیابی و تعیین عملکرد پترن آرایه آنتن توجه به نکات فنی زیادی ضروری است که در این سند به بررسی آن ها می پردازیم.

۲- تأیید پترن آنتن ایستگاه های برودکست به کمک

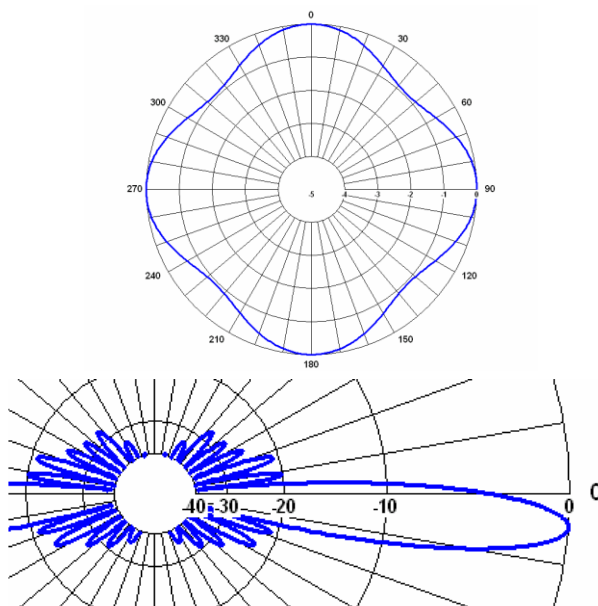
هواگرد

توصیه های این بخش مستقل از نوع پرنده منتخب و سیستم برودکست مورد استفاده است.

۲-۱- نوع پترن آنتن

پترن تشعشی تمام آنتن ها سه بعدی است. پترن های اندازه گیری شده معمولاً برش های دوبعدی از پترن سه بعدی هستند. برش های معمول پترن عمودی آنتن

و پترن افقی آنتن هستند. پترن عمودی یک برش عمودی گذرنده از آنتن و یک جهت زاویه افقی خاص است. پترن افقی یک برش افقی گذرنده از آنتن و یک ارتفاع خاص یا یک زاویه شیب خاص است (شکل ۱).

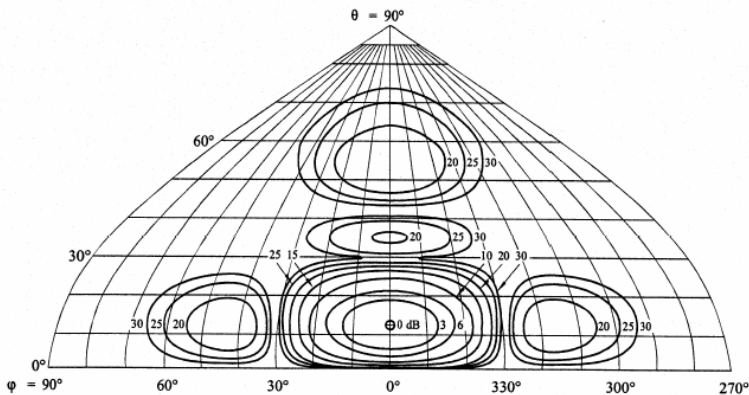


شکل ۱- پترن افقی و عمودی

گاهی بخش خاصی از پترن آنتن اهمیت بیشتری پیدا می کند. برای آنتن های برودکست HF بسیار جهتی، شکل و موقعیت دقیق لوب اصلی و همچنین ERP در لوب اصلی، تعیین کننده اثر آنتن در مناطق موردنظر است و بنابراین حائز اهمیت زیادی است. یک اندازه گیری پترن آنتن خاص می تواند آن بخش مهم پترن آنتن را نمایش دهد. نمونه پترن چنین آنتنی با یک نمایش

تجسم مرکاتوری در شکل ۲ آمده است.

اندازه‌گیری پترن آنتن را می‌توان برای زوایای افقی یا عمودی مختلف تکرار کرد تا اطلاعات بیشتری درباره پترن سه‌بعدی کامل به دست آید. این زوایای افقی یا عمودی را می‌توان بر اساس هندسه آنتن، شبیه‌سازی‌ها یا تجارب اندازه‌گیری‌های قبلی انتخاب کرد. اندازه‌گیری هر یک از انواع پترن آنتن نیازمند یک سری پروازهای خاص است اما روند اندازه‌گیری بسیار مشابه است.

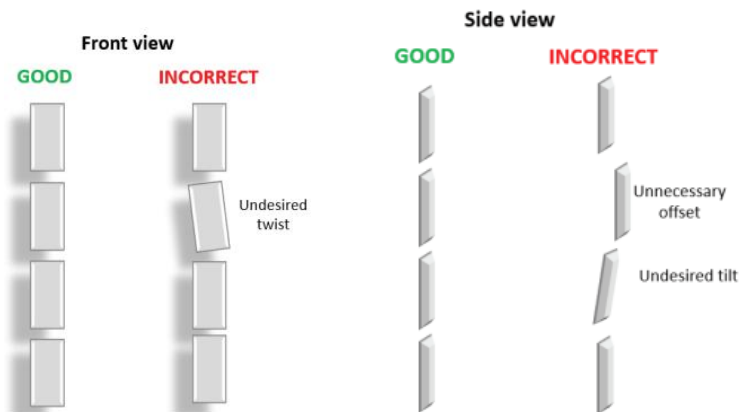


شکل ۲- پترن آنتن لوب اصلی

۲-۲ خطا در آرایه‌های آنتن

قبل از شروع به اندازه‌گیری پترن بهتر است ورودی نسبت بررسی آرایه آنتن اقدام و از تطبیق کامل آن با سیستم آنتن طراحی شده اطمینان حاصل کرده باشد تا از بروز خطاهای ناخواسته در نتایج اندازه‌گیری جلوگیری شود. به طور مثال آرایه آنتن در بناند تلویزیون و رادیوی FM معمولاً از تعدادی

المان‌های مشابه تشکیل می‌شود که اندازه این ترکیب می‌تواند تا بیش از ۱۰ متر برسد. تمام المان‌های جداگانه به طور خاصی با فازهای معین به آرایه متصل می‌شوند و لذا خطای انسانی، به ویژه در سازه‌های نصبی، می‌تواند مشکلات بسیار جدی ایجاد کند. قبل از اندازه‌گیری پترن باید به خطاهای معمول در نصب آنتن توجه کرد. دقت در محاسبات در حد میلی‌متر می‌تواند مانع از تغییر پترن تشعشعی نهایی باشد و همچنین بازبینی فیزیکی آرایه نصب شده امری ضروری است. به عنوان نمونه می‌توان پیچش ناخواسته آنتن، تیلت ناخواسته آنتن، ترازبودن آنتن‌ها و زاویه افقی آنتن‌ها را بررسی کرد. شکل ۳ خطاهای ناشی از نصب آنتن‌های UHF برای پیشگیری از نتایج غلط اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.



شکل ۳- خطاهای نصب آرایه آنتن UHF

در مورد آنتن های دیگر باندها نیز می توان مشخصات طراحی را با سیستم آنتن نصب شده تطبیق داد.

۳- روش اندازه گیری

اندازه گیری پترن آنتن، اصولاً مجموعه ای است از اندازه گیری های شدت میدان که در فاصله کاملاً مشخصی از آنتن انجام شده اند. با داشتن این دو مقدار، می توان EIRP مطلق را در هر نقطه محاسبه کرد. اگر EIRP را در مجموعه نقاطی روی یک دایره حول آنتن اندازه گیری کنیم، پترن افقی به دست می آید. دیگر برش ها را نیز می توان به دلخواه اندازه گیری کرد. فرمول محاسبه EIRP مطلق در حالت خطی به صورت زیر است:

$$P_{EIRP} = \frac{P_{RX} \cdot R^2}{g_{RX}} \cdot \left(\frac{4 \pi f}{c} \right)^2$$

که در آن:

- P_{EIRP} : power relative to an isotropic radiator (W)
- P_{RX} : power at the receiver input terminals (W)
- R : distance (m) between the receive and transmit antennas
- g_{RX} : gain (linear value) of the receive antenna relative to an isotropic radiator
- f : frequency (Hz)
- c : speed of light (m/s).

باید دقت شود که P_{RX} و موقعیت مکانی، دقیقاً هم زمان سنجیده شوند. اگر این شرط برآورده نشود نتایج مقادیر EIRP غلط خواهد بود. در این فرمول

P_{EIRP} و G_{RX} نسبت به تشعشع کننده ایزوتروپیک بیان شده اند. تلفات اضافی مثل افت کابل، افت تطبیق آنتن یا افت تطبیق پلاریزاسیون باید در مقدار G_{RX} لحاظ شوند. معمولاً استفاده از فرمول لگاریتمی بسیار عملی تر است:

$$P_{EIRP} = P_{RX} + 20 \log (R) - G_{RX} + 20 \log (f) + 20 \log (4\pi/c)$$

در این فرمول P_{RX} بر حسب dBW و G_{RX} بر حسب dBi است. بسته به کاربرد برودکست و باند مورد استفاده آن، آنتن مرجع استاندارد ممکن است آنتن دیگری غیر از تشعشع کننده ایزوتروپیک باشد (مثلاً دایپل نیم موج یا مونوپل کوتاه کم افت). برای محاسبه ERP (مرجع دایپل نیم موج) می توان از فرمول زیر استفاده کرد:

$$P_{ERP} = P_{EIRP} - 2.15 \text{ dB}$$

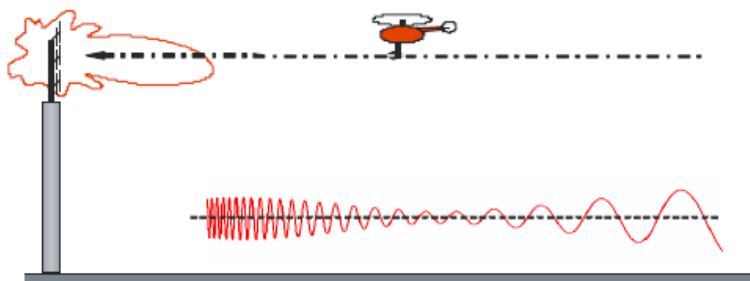
زیرا گین آنتن یک دایپل نیم موج معادل 2.15 dBi است.

۴- انواع پروازهای اندازه گیری

نوع پرواز اندازه گیری هدایت شده کاملاً به موقعیت آنتن و وسیله هوایی مورد استفاده بستگی دارد. برای مثال، برای اندازه گیری دیاگرام یک آنتن برودکست VHF با یک بالگرد، به رویکرد متفاوتی نسبت به اندازه گیری یک آرایه موج متوسط با هواپیما نیاز است. در این جا به بررسی انواع مختلف پرواز اندازه گیری و کاربرد آنها می پردازیم.

۴-۱ پرواز انتشاری

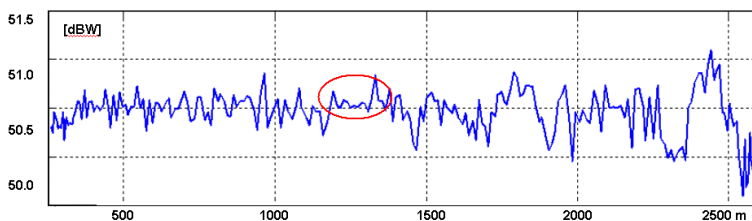
برای تعیین فاصله بهینه اندازه گیری، می توان پرواز انتشاری انجام داد. پرواز انتشاری پروازی است در یک خط مستقیم به سمت آنتن فرستنده و دقیقاً هم ارتفاع با آن. به این ترتیب موقعیت زاویه ای آنتن اندازه گیری از دید آنتن فرستنده ثابت است و بنابراین ERP فرستاده شده در آن جهت ثابت است. اگر بازتاب وجود نداشته باشد، ERP اندازه گیری شده در طول پرواز انتشاری ثابت خواهد بود. اگر بازتاب زمینی یا پراکندگی از ساختمان های اطراف وجود داشته باشد، تأثیر آن به صورت انحراف از خط مستقیم نشان داده خواهد شد (شکل ۴).



شکل ۴- پرواز انتشاری

جهت پیشنهادی اندازه گیری برای پرواز انتشاری، همان جهت لوب اصلی پترن آنتن است. پیشنهاد می شود در مورد آنتن هایی با چندین جهت تشعشع و همچنین مواردی که شرایط زمینی و در نتیجه بازتاب های زمین متفاوت هستند، چند پرواز انتشاری انجام شود.

علاوه بر نمودار تئوری شکل ۴، نتایج یک اندازه گیری واقعی نیز در شکل ۵ آمده است. این نمودار از یک فرستنده برودکست $ERP = 50 \text{ kW}$ در باند VHF FM به دست آمده است. آنتن فرستنده شامل یک آرایه از آنتن های دایبل لاگ-پریودیک با پلاریزاسیون عمودی نصب شده روی دکلی با ارتفاع تقریبی 150 m بالای سطح زمین می باشد. منحنی قرمز رنگ نشان دهنده فاصله انتخابی برای پرواز دایروی است.



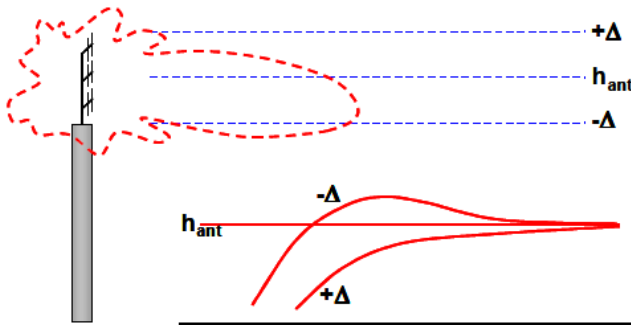
شکل ۵- نتیجه پرواز انتشاری واقعی

از نتایج پرواز انتشاری یک فاصله بهینه برای اندازه گیری های بعدی انتخاب می شود. فاصله بهینه فاصله ای است که:

- دامنه بازتاب ها حداقل باشد و
 - حداقل و حداکثر P_{ERP} ، در نزدیکترین فاصله نسبت به یکدیگرند.
- مورد اول واضح است ولی مورد دوم ممکن است نیازمند توضیح باشد. اگر حداقل و حداکثر ایجاد شده توسط بازتاب های زمینی در فاصله زیادی از هم قرار بگیرند و زمین مسطح و یکنواخت باشد و به طور مثال یک پرواز دایره ای کامل در فاصله ای که حداکثر و حداقل رخ می دهد، انجام شود. این امر منجر

به بزرگترین خطای اندازه گیری قابل دستیابی می شود، در حالی که باید حداقل تغییرات در نتیجه اندازه گیری نشان داده شود. بنابراین باید از این حالت جلوگیری کرد. در مثال بالا، فاصله اندازه گیری بهینه می تواند حدود 1300 m باشد. این فاصله در شکل ۵ با منحنی قرمز مشخص شده است.

اگر ارتفاع پرواز انتشاری با ارتفاع واقعی آنتن متفاوت باشد، با نزدیک شدن وسیله هوایی به آنتن نمودار به سمت پایین می رود. اگر پرواز در ارتفاع خیلی کم در حال اندازه گیری یک آنتن فرستنده دارای تیلت پایین باشد، نمودار ممکن است یک افزایش موقتی را قبل از این افت مقادیر نشان دهد. این اثر در شکل ۶ نشان داده شده است.



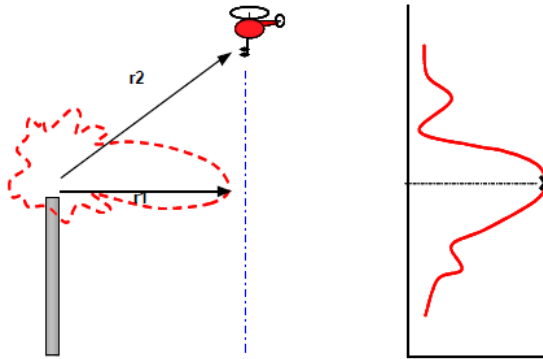
شکل ۶- تأثیر ارتفاع نادرست در پرواز انتشاری

قبل از پرواز انتشاری، صفحه نمایش خلبان با نشان دادن موقعیت واقعی وسیله هوایی نسبت به آنتن فرستنده و موقعیت مطلوب شروع پرواز انتشاری، به خلبان کمک می کند. این موقعیت را می توان با زاویه افقی و ارتفاع مطلوب با

توجه به آنتن فرستنده تعریف کرد. در طول پرواز انتشاری، صفحه نمایش خلبان با نشان دادن فاصله از مسیر پرواز مطلوب (بر حسب متر)، به خلبان کمک می کند. انجام پرواز انتشاری با یک وسیله هوایی که قابلیت کنترل و قدرت مانور خوبی در سرعت های کم دارد (مثل یک بالگرد)، آسان تر است. بالگرد می تواند در یک خط مستقیم تا ارتفاع ۲۰۰ متری دکل بالا برود، سپس متوقف شده و مسیر پرواز را طی کند. این مورد در مورد هواپیماهای کوچک سخت تر است. یک فاصله حداقلی با آنتن های فرستنده باید همیشه حفظ شود تا از قرار گرفتن در معرض میدان الکترومغناطیسی شدید جلوگیری شود. اگر آنتن فرستنده مستقیماً روی زمین نصب شده باشد (مثل آنتن های موج بلند، موج متوسط و موج کوتاه)، انجام پرواز انتشاری ممکن نیست.

۴-۲ پرواز عمودی

برای به دست آوردن پترن عمودی یک آنتن برودکست در یک جهت زاویه افقی خاص، می توان یک پرواز عمودی انجام داد. اندازه گیری پترن عمودی می تواند برای تعیین ارتفاع بهینه پرواز برای اندازه گیری پترن آنتن افقی ضروری باشد (شکل ۷).



شکل ۷- پرواز عمودی

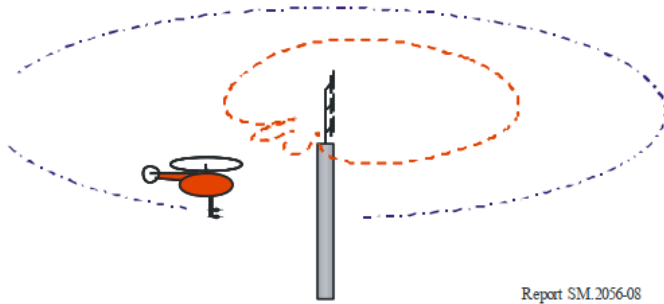
برای انجام یک پرواز عمودی، خلبان ابتدا در جهت زاویه افقی مطلوب قرار می گیرد، سپس ارتفاع را تا نقطه ارتفاعی مورد نظر کم می کند. صفحه نمایش خلبان با نشان دادن موقعیت واقعی وسیله هوایی نسبت به آنتن فرستنده و همچنین نقطه شروع برای پرواز عمودی، به خلبان کمک می کند. سپس خلبان شروع به صعود در یک خط مستقیم عمودی می کند و سعی می کند حتی الامکان موقعیت زاویه ای خود را حفظ کند. در صورت استفاده از بالگرد، حداکثر پایداری هنگامی حاصل می شود که پرواز از ارتفاع کم تر به ارتفاع بیشتر انجام شود. در طول پرواز عمودی، صفحه نمایش خلبان با نشان دادن فاصله از مسیر پرواز مطلوب (بر حسب متر) به خلبان کمک می کند. این می تواند به صورت نمایش وسیله هوایی به صورت یک نقطه روی یک صفحه نمایش دایره ای باشد. مرکز دایره نشان دهنده موقعیت افقی مطلوب و دایره نشان دهنده حداکثر جابجایی افقی مجاز هستند. خلبان می تواند در هنگام پرواز

به سمت بالا، نقطه را در داخل دایره نگه دارد. نمایشگر دایره‌ای را می‌توان به یک قطب‌نما متصل کرد تا جهت آن با جهت وسیله هوایی همسو شود. این باعث کنترل آسان‌تر وسیله هوایی می‌شود، زیرا باد تعیین‌کننده جهت وسیله هوایی است. اگر وسیله‌هوائی با قدرت پرواز عمودی در دسترس نباشد، نمی‌توان نمودار عمودی را با این روش به دست آورد. در این صورت باید نمودار عمودی را با درونیابی نقاط اندازه‌گیری شده در ارتفاع‌های مختلف پروازهای افقی تخمین زد. در طول پرواز عمودی دو عامل تصحیح‌کننده باید به کار گرفته شود: اول تفاوت گین در نمودار عمودی آنتن اندازه‌گیری و دوم تفاوت در فاصله (r_1 و r_2 در شکل ۷).

۴-۳ پرواز دایروی

برای به دست آوردن پترن افقی یک آنتن برودکست، هواگرد باید در حالی که ارتفاع و فاصله با آنتن فرستنده را حفظ می‌کند، به صورت دایره دور آنتن فرستنده پرواز کند و اندازه‌گیری در طول مسیر دایره انجام می‌شود. اطلاعات روی صفحه نمایش خلبان به حفظ مسیر کمک می‌کند. صفحه نمایش موقعیت واقعی وسیله هوایی را نسبت به مسیر ایده‌آل دور آنتن فرستنده به صورت real-time نشان می‌دهد. در طول پرواز صفحه نمایش با نشان دادن فاصله از مسیر مطلوب (هم اختلاف مسیر و هم اختلاف ارتفاع) به خلبان کمک می‌کند. در این پرواز معمولاً تعریف زاویه افقی برای نقطه شروع غیرعملی است. حرکت در جهت عقربه ساعت یا خلاف آن طبق تصمیم خلبان است و

نرم افزار باید با آن منطبق شود. بهترین پایداری زمانی خواهد بود که وسیله هوایی با یک سرعت ثابت و نه خیلی آهسته پرواز کند. با پرواز وسیله هوایی حول آنتن، جهت نسبی باد بر حسب زاویه افقی تغییر می کند، بنابراین آن سمت از وسیله هوایی که به طرف آنتن فرستنده است در طول پرواز تغییر می کند. پس شاید لازم باشد که آنتن گیرنده را در طول پرواز هدایت کنید.



شکل ۸- پرواز دایروی

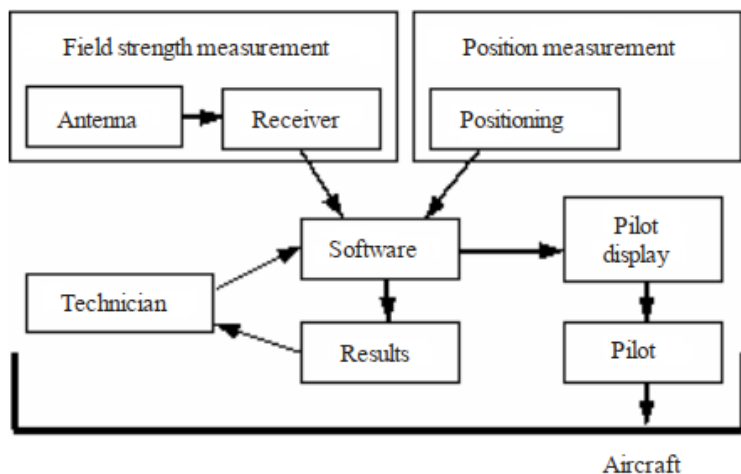
۴-۴ انواع دیگر پرواز

اندازه گیری پترن تشعشی آنتن در اطراف آنتن های زمینی (مثل آرایه های HF و دکل ها یا آرایه های موج متوسط) نیازمند رویکرد متفاوتی نسبت به فرستنده های برودکست TV یا FM نصب شده روی دکل است. برای مثال، پروازهای دایروی در ارتفاع های دیگری نسبت به ارتفاع لوب اصلی می تواند نقاط اندازه گیری لازم برای تشکیل یک تصویر سه بعدی از پترن تشعشی را

بدهد. پروازهای مستقیم در ارتفاع پایین در زاویه افقی لوب اصلی می تواند برداشتی از الگوی تشعشی عمودی را بدهد. تا زمانی که موقعیت سه بعدی نقطه اندازه گیری دقیقاً مشخص و ERP در نقطه اندازه گیری محاسبه شده باشد، هیچ محدودیتی برای مسیر پروازهای مورد استفاده وجود ندارد چرا که داده های اندازه گیری شده قابل تفسیر توسط اهل فن خواهد بود.

۵- تجهیزات اندازه گیری

همان طور که قبلاً بیان شد، ERP را می توان با اندازه گیری موقعیت دقیق و شدت میدان اندازه گیری کرد. برای سنجش موقعیت می توان از هر دستگاه موقعیت سنج که اطلاعات سریع و سه بعدی ارائه می کند، استفاده کرد. شدت میدان را می توان با یک آنتن free-space کالیبره و یک گیرنده اندازه گیری کالیبره اندازه گیری کرد. مقادیر موقعیت و شدت میدان ثبت شده و توسط رایانه پردازش می شوند. رایانه ERP و موقعیت نقطه اندازه گیری آن را نسبت به آنتن فرستنده محاسبه می کند و نتایج را به شکل مناسب نشان می دهد. تکنسین برنامه سیستم اندازه گیری را کنترل می کند و بر اساس نتایج نشان داده شده تصمیم گیری می کند. همچنین نرم افزار، اطلاعات لازم برای کنترل وسیله هوایی را تولید و در اختیار خلبان قرار می دهد و به هدایت وسیله حول سایت آنتن کمک می کند. خلبان مسئول پرواز و تمام مسائل امنیتی مرتبط با آن است. یک نمودار ساده از تنظیمات اندازه گیری در شکل ۹ نشان داده شده است که بخش های مختلف آن در ادامه توضیح داده می شوند.



شکل ۹- نمودار شماتیک یک سیستم اندازه گیری پترن آنتن با یک وسیله هوایی

۵-۱ تجهیزات موقعیت سنجی

از آن جا که فاصله مورد استفاده در فرمول ها فاصله سه بعدی است، لذا باید موقعیت اندازه گیری و موقعیت آنتن فرستنده نسبت به سه محور طول، عرض و ارتفاع مشخص باشد. تفاوت موقعیت 3D آنتن اندازه گیری نسبت به دستگاه سنجش موقعیت را نیز می توان در نظر گرفت. سیستم سنجش موقعیت مورد استفاده باید دقت کافی و نرخ به روزرسانی لازم را داشته باشد. نرخ به روزرسانی در قسمت های بعد مورد بررسی قرار گرفته است. میزان دقت به برنامه بستگی دارد ولی معمولاً ± 1 m در تمام جهات است. دقت موقعیت سنجی تعیین کننده

دقت محاسبه فاصله با آنتن فرستنده است. این به نوبه خود تعیین کننده دقت نسبت بین مقدار ERP و موقعیت است. انجام اندازه گیری در نزدیکی آنتن به دقت موقعیت سنجی بیشتری نسبت به اندازه گیری در فواصل دورتر نیاز دارد. فاصله اندازه گیری بهینه بستگی دارد به: طول موج، ابعاد آنتن تحت آزمایش و شرایط محیطی که باعث بازتاب می شوند. دقت لازم برای موقعیت سنجی در حدود 2 m است.

نرخ به روزرسانی دستگاه موقعیت سنج باید به حد کافی زیاد باشد تا نقاط اندازه گیری کافی در طول منحنی پرواز تولید شود. این تابعی است از سرعت زمینی زاویه ای وسیله هوایی است. همچنین نرخ به روزرسانی صفحه نمایش خلبان باید تقریباً real-time باشد. نرخ به روزرسانی 2 Hz حداقل مقدار مطلق است و می توان 10 Hz یا بیشتر را توصیه کرد.

۵-۲ آنتن اندازه گیری

گین

برای اندازه گیری شدت میدان مطلق، آنتن باید به حالت free-space کالیبره شده باشد. گین باید نسبت به آنتن مرجع مناسب بیان شود. دقت کالیبراسیون آنتن یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار بر دقت کلی اندازه گیری است. دقت کالیبراسیون در حد 0.5 تا 1 dB قابل دستیابی و قابل توصیه است.

مقدار واقعی گین آنتن چندان مهم نیست و فقط باید مقدار آن دقیقاً مشخص باشد. اما گین آنتن کمتر از 20 dBi - باعث تأثیر ناخواسته کابل آنتن

می شود. مقدار جهتداری (directivity) بیشتر از 6 dBi منجر به کاهش دقت به دلیل خطای هم سوئی می شود.

نمودار آنتن اندازه گیری

آنتن اندازه گیری فقط وقتی گین کالیبره شده خود را نشان می دهد که جهت خط دید افقی (bore sight) آنتن به سمت آنتن فرستنده تنظیم شده باشد. حفظ این تنظیم افقی آنتن اندازه گیری در طول پرواز نسبتاً دشوار است، بنابراین بهتر است از یک آنتن اندازه گیری استفاده کنیم که در طول لوب اصلی کمترین تغییر گین را داشته باشد. به این ترتیب حفظ تنظیم افقی دیگر چندان حیاتی نخواهد بود و دقت اندازه گیری بیشتر می شود. وقتی پرواز در ارتفاعی غیر از ارتفاع آنتن فرستنده باشد (مثلاً در طول یک پرواز عمودی)، گین آنتن اندازه گیری با زاویه ورود موج تغییر می کند. اگر پترن عمودی آنتن اندازه گیری معلوم باشد، می توان این تغییر را در نرم افزار اندازه گیری جبران کرد. برای این منظور آنتن اندازه گیری باید یک پترن هموار داشته باشد. ضرورتی برای طراحی یک آنتن اندازه گیری با نسبت front-to-back زیاد وجود ندارد. زیرا آنتن فرستنده نسبتاً به آنتن مورد نظر نزدیک است و دیگر فرستنده های برودکست روی همان فرکانس نسبتاً دور هستند. از آن جا که قدرت سیگنال با فاصله نسبت عکس دارد، لذا سیگنال مطلوب چندین برابر قوی تر از سیگنال های فرستنده هایی دیگری است که احتمالاً از دکل های دیگری دریافت شوند و معمولاً نیازی به حذف آن ها با افزایش جهتداری (directivity) آنتن اندازه گیری نیست.

تنظیم جهت آنتن اندازه گیری

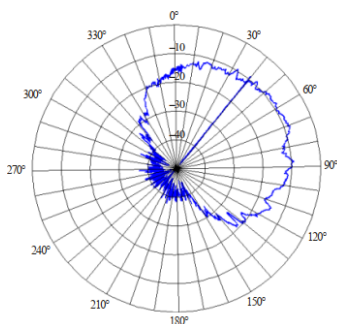
در بیشتر موارد، آنتن اندازه گیری جهتی است. بنابراین در طول پرواز آنتن اندازه گیری باید حتی الامکان نزدیک به خط دید افقی (bore sight) به سمت آنتن فرستنده، نگه داشته شود. این کار را می توان با گردنده های مکانیکی یا الکترومکانیکی کنترل شونده توسط تکنسین مربوطه انجام داد. در هر حال، برای هدف گیری تقریبی به سمت آنتن فرستنده به نشانه ای برای موقعیت واقعی آنتن نیاز داریم. برای تنظیم دقیق تر جهت می توان از تجهیزات هدف گیری استفاده کرد. یک دوربین کوچک نصب شده روی آنتن یا نزدیک آن در همان جهت آنتن می تواند راهکاری خوب و مقرون به صرفه باشد. بهتر است دوربین یک فیلتر نورخورشید هم داشته باشد. حذف وسایل کمک کننده به جهت گیری آنتن اندازه گیری به سمت آنتن فرستنده منجر به نتایج نادرست خواهد شد. تثبیت وسیله نقلیه هوایی در یک زاویه ثابت نسبت به آنتن فرستنده معمولاً امکان پذیر نیست زیرا جهت باد باعث ایجاد تغییر در مسیر پرواز خواهد شد. هم ترازوی در صفحه عمودی معمولاً شدنی نیست. لذا عدم هم ترازوی و خطای اندازه گیری ناشی از آن باید در تحلیل میزان عدم قطعیت نتایج اندازه گیری لحاظ شود.

حذف بازتاب زمین

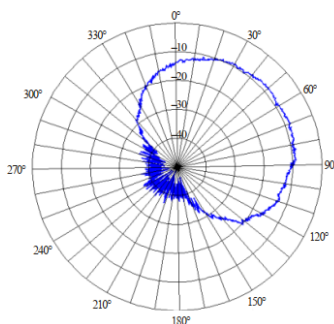
برای حصول یک نمایش دقیق از پترن آنتن، باید فقط امواج مستقیمی که از آنتن فرستنده به آنتن اندازه گیری تشعشع شده اند، اندازه گیری شوند. اما تمام

اشیای موجود در حوزه دید هر دو آنتن ممکن است باعث بازتاب امواج فرستاده شده شوند. اگر هیچ اقدامی انجام نشود، هر دو موج مستقیم و بازتابی اندازه گیری قرار می شوند و نوعی "مدولاسیون" ناخواسته را روی نمودار آنتن اندازه گیری شده ایجاد می کنند که در نمایش پترن ظاهر می شود. این مشکل شدیداً به جهتداری عمودی (vertical directivity) آنتن فرستنده و گیرنده، و همچنین ارتفاع آنتن فرستنده نسبت به فاصله اندازه گیری بستگی دارد. به عنوان مثال، آنتن های کم بهره VHF FM با دکل های کوتاه، از این نظر چالش بسیار بیشتری دارند تا سایت های UHF TV مرتفع با آنتن های پربهره. همچنین بازتاب سیگنال دریافتی که به قسمتهای مختلف وسیله نقلیه هوایی برخورد می کند نیز باید در نظر گرفته شوند. از آن جا که بازتاب زمینی جزو مهمترین عوامل عدم قطعیت نتایج کلی اندازه گیری است، ارزش توجه بیشتر به آن را دارد. طراحی مناسب آنتن اندازه گیری می تواند منجر به آسیب پذیری کمتر سیستم اندازه گیری در مقابل اختلالات ناشی از بازتاب های زمینی شود. این کار را می توان با طراحی آنتنی که در جهات موردانتظار برای بازتاب ها دارای تضعیف (یا حذف) باشد و به جهت موج مستقیم کمک کند، انجام داد. این موضوع با یک مثال عملی در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

Actual measurement using a simple measurement antenna



Same measurement, now using a specially designed measurement antenna



شکل ۱۰- مقایسه نتایج اندازه‌گیری با آنتن ساده و آنتن طراحی شده به‌طور خاص

در این مثال، یک آنتن برودکست VHF FM دو بار مورد اندازه‌گیری قرار گرفت، یک بار با یک آنتن اندازه‌گیری ساده و مجدداً با آنتنی که به‌طور خاص برای اندازه‌گیری پترن با کمک وسیله‌هوائی طراحی شده بود. در اندازه‌گیری اول، بازتاب‌ها به‌صورت مدولاسیون‌هایی خود را نشان داده‌اند. بهتر بودن اندازه‌گیری با آنتن دوم طراحی شده، در شکل واضح است.

یک روش دیگر برای تضعیف بازتاب‌ها می‌تواند بکارگیری چند آنتن اندازه‌گیری و چند گیرنده و استفاده از نرم‌افزار DSP باشد. این نرم‌افزار می‌تواند از الگوریتم‌هایی (مثل الگوریتم MUSIC) برای استخراج سیگنال مستقیم از مجموع سیگنال مستقیم و بازتابی استفاده کند. هر روشی که برای حذف بازتاب‌ها استفاده شود، به‌هر صورت باید اطمینان حاصل کرد که سطح

سیگنال بازتولید شده نمایانگر دقیقی از سطح سیگنال موج مستقیم باشد. برای تخمین اثر بازتاب های زمینی در موارد خاص می توان از شبیه سازی ها استفاده کرد. مدل شبیه سازی باید شامل ارتفاع اندازه گیری، فاصله اندازه گیری، ارتفاع آنتن تحت آزمایش، پترن عمودی موردانتظار، پترن عمودی آنتن گیرنده و یک مدل زمین واقع گرایانه با پارامترهای زمینی واقعی باشد. با استفاده از این مدل ها می توان دید خوبی از مشکلاتی که در موقعیت اندازه گیری با آن ها روبرو می شویم بدست آورد. هرچند که شبیه سازی هرگز نمی تواند جایگزینی برای اندازه گیری واقعی باشد.

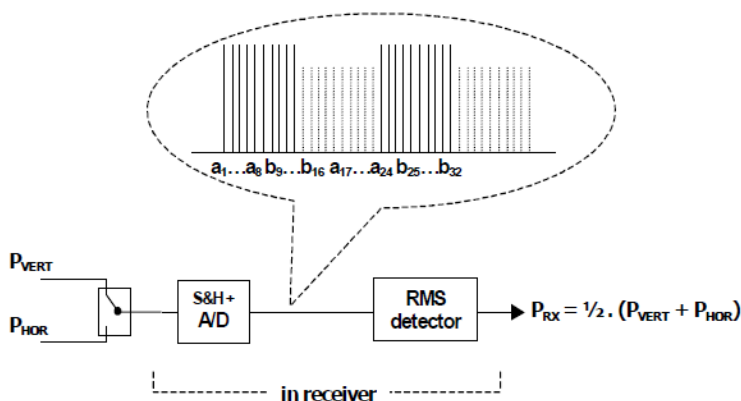
پلاریزاسیون

پلاریزاسیون آنتن اندازه گیری باید با پلاریزاسیون آنتن فرستنده منطبق باشد. در فرکانس های VHF و UHF آنتن های با پلاریزاسیون غیرخطی معمول هستند. با این آنتن ها پلاریزاسیون عملی با موقعیت نسبی آنتن تغییر می کند. بنابراین بهتر است پلاریزاسیون به طور مستقل اندازه گیری شود. دو روش برای دستیابی به این امر وجود دارد:

- استفاده از دو آنتن اندازه گیری با پلاریزاسیون متعامد و دو گیرنده اندازه گیری که هر دو گیرنده سنکرون باشند. افزودن مقادیر توان اندازه گیری شده با هر گیرنده توان دریافتی کلی مستقل از پلاریزاسیون سیگنال فرستنده را به ما می دهد. با این تنظیمات، ارائه نمودارهای صفحه های پلاریزاسیون افقی و عمودی به طور

جداگانه و همچنین پترن آنتن ترکیبی مستقل از پلاریزاسیون امکان پذیر است.

- استفاده از یک گیرنده تکی و دو آنتن اندازه گیری. گیرنده بین دو آنتن سوئیچ می کند و آشکارساز RMS در گیرنده، توان هر دو مسیر را جمع می کند. این روش هزینه کمتری دارد.
- با استفاده از روش دوم، هر صفحه پلاریزاسیون در طول 50% از زمان اندازه گیری سنجیده می شود و نتیجه پایانی دقیقاً 3 dB کمتر از مقدار واقعی است (شکل ۱۱). زمان سوئیچینگ و زمان اندازه گیری باید بر اساس مشخصات مدولاسیون سیگنال اندازه گیری و پهنای باند گیرنده انتخاب شوند. با دانش مهندسی کافی، روش دوم به اندازه روش اول دقیق خواهد بود.



شکل ۱۱- اصول سیستم مستقل از پلاریزاسیون با هزینه پایین

اگر برای یک دوره تناوب سوئیچینگ داشته باشیم:

$$p_{VERT} = \frac{\sqrt{\sum_0^T a_k^2}}{z_0} \text{ and } p_{HOR} = \frac{\sqrt{\sum_0^T b_k^2}}{z_0}$$

آنگاه:

$$p_{RX} = \frac{\sqrt{\sum_0^{T/2} a_k^2 + \sum_{T/2}^T b_k^2}}{z_0} \approx \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\sum_0^T a_k^2}}{z_0} + \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\sum_0^T b_k^2}}{z_0} \approx \frac{1}{2} (p_{VERT} + p_{HOR})$$

که در آن:

- z_0 : system impedance
 p_{VERT} : RMS input power from vertical polarized antenna
 p_{HOR} : RMS input power from horizontal polarized antenna
 p_{RX} : power measured by the receiver, using a RMS detector
 a_n : voltage amplitude of one measurement sample from the vertical antenna
 b_n : voltage amplitude of one measurement sample from the horizontal antenna
 T : period time of the antenna switch.

زمان سوئیچینگ و زمان اندازه گیری باید بر اساس مشخصات مدولاسیون سیگنال مورد نظر و پهنای باند گیرنده انتخاب شوند. با یک مهندسی درست این سیستم می تواند بسیار دقیق عمل کند. نمونه ای از یک آرایه مستقل از پلاریزاسیون کامل برای برودکست FM در شکل ۱۲ آمده است. توجه کنید که بوم آنتن جمع شده است، در حالت باز فاصله آنتن ها برابر 1.5 m است.



شکل ۱۲- نمونه‌ای از آرایه VHF مستقل از پلاریزاسیون

ابعاد

بار باد (Wind load) آنتن با سطح مؤثر آنتن و سرعت وسیله هوایی در طول اندازه گیری متناسب است. بنابراین ابعاد و وزن مجاز آنتن اندازه گیری بسیار به نوع وسیله هوایی مورد استفاده و روش نصب آنتن بر روی آن بستگی دارد. برای مثال، در حالتی که یک آنتن در انتهای خط پستی یک وسیله هوایی نصب می‌شود، بار باد باید آنقدر کوچک باشد تا بر مسیر پرواز تأثیر نگذارد و در حالتی که آنتن روی یک بوم اضافی زیر بالگرد نصب شده است، در صورت جدا شدن بوم نباید با بال چرخان دم بالگرد برخورد کند. حداکثر وزن مجاز نیز به روش نصب بستگی دارد. مثلاً نصب آنتن خیلی سنگین روی یک بوم می‌تواند مانع خروج مناسب بوم شود.

ایمنی

با نصب سیستم اندازه گیری، ایمنی وسیله هوایی باید توسط مسئولان مربوطه مجوزهای هوانوردی تأیید شود. برای این تأیید باید کل مجموعه به صورت یک واحد در نظر گرفته شود.

۵-۳ گیرنده

گیرنده مورد استفاده در این نوع از محیط می تواند یک گیرنده اندازه گیری معمولی باشد، اما توصیه می شود که گیرنده، سبک و مقاوم نسبت به شوک و ارتعاش باشد. همچنین بهتر است قادر به ذخیره داده باشد.

محدوده دینامیکی (Dynamic Range)

محدوده دینامیکی گیرنده باید به اندازه کافی بزرگ باشد. اولاً front-end گیرنده نباید توسط سیگنال های دریافتی اشباع گردد. مقدار کلی توان این سیگنال ها تعیین کننده تضعیفی است که در ورودی گیرنده لازم است. همچنان که توان با کاهش فاصله افزایش می یابد، تضعیف کننده باید برای حداقل فاصله مورد انتظار تنظیم شود. از تضعیف کننده اتوماتیک نباید استفاده کرد زیرا هیستریزیس می تواند باعث blocking گیرنده نیز بشود.

با این تنظیمات تضعیف کننده، باید محدوده دینامیکی کافی برای اندازه گیری دقیق پترن آنتن مورد نظر باقی بماند. در مورد نمودار آنتن افقی، تغییر در ERP می تواند به آسانی از 30 dB فراتر باشد. اگر فاصله تغییر کند، این تغییر نیز به نسبت زیاد می شود. برای اندازه گیری دقیق پایین ترین سطح

سیگنال، noise floor گیرنده باید 10 تا 20 dB کمتر از آن سطح باشد.

گزینندگی (Selectivity)

گزینندگی گیرنده باید طوری باشد که توان سیگنال اندازه گیری شده کاملاً به آشکارساز عبور داده شود، و در عین حال سیگنال های کانال مجاور به حد کافی تضعیف شوند. اگر فیلتر خیلی باریکی انتخاب شود، مدولاسیون فرستنده برودکست موردنظر منجر به تغییرات در سیگنال و افت دقت اندازه گیری می شود. اگر فیلتر خیلی پهن باشد، توان کانال های مجاور به توان سیگنال موردنظر اضافه می شود (در صورت وجود).

تضعیف فرستنده کانال مجاور موجود روی همان دکل، در صورتی که آنتن برودکست از ERP کمتری نسبت به کانال مجاور استفاده می کند و هر دو کانال پترن با جهت داری بالایی دارند، بسیار دشوار است. در این صورت طراحی مناسب پروازها و تنظیمات تضعیف کننده بسیار ضروری هستند. محدوده دینامیکی و کیفیت فیلترهای گیرنده، از عوامل ممانعت کننده نتایج درست هستند. گیرنده باید آشکارسازی داشته باشد که با مدولاسیون ایستگاه برودکست همخوان باشد تا چگالی توان سیگنال اندازه گیری شده درست باشد.

۴-۵ نرم افزار و تجهیزات محاسباتی

عملی ترین راه برای کنترل تجهیزات استفاده از یک واحد کنترل از راه دور کوچک (مثل لپ تاپ یا تبلت) است. این واحد با رشته کابل به بقیه تجهیزات متصل می شود. در صورت امکان، استفاده از کامپیوتر داخلی گیرنده

اندازه گیری باعث صرفه جویی در وزن و تداخل کابل می شود. نرم افزار باید تمام اطلاعات لازم برای محاسبه ERP در طول پرواز و نمایش موقعیت نسبی وسیله هوایی را داشته باشد، مثل موقعیت دکل، ارتفاع آنتن، پترن و ERP طراحی شده آنتن، فرکانس و غیره. مسیرهای پرواز از قبل طراحی شده و ارتفاع های بهینه باید از قبل به عنوان پیش فرض ذخیره شده باشند. اطلاعات دیگر مثل فرکانس، توان، ارتفاع آنتن و دیگر فرستنده های دکل نیز باید از قبل مشخص باشند. همیشه موقعیت عملی قدری با طراحی متفاوت است، لذا تغییر پارامترها در طول پرواز باید امکان پذیر باشد. نرم افزار باید تست یکپارچگی خودکار داشته باشد که کل تنظیمات را چک و یک کالیبراسیون سریع از تجهیزات انجام دهد. این بررسی یکپارچگی می تواند به طور دستی آغاز شود و یا قبل از هر اندازه گیری به طور خودکار انجام گیرد.

۶- روش اندازه گیری

در این بخش به روند اندازه گیری می پردازیم که این روند باید به ترتیب دنبال شود تا به نتایج اندازه گیری با کیفیت بالا دست یابیم.

۶-۱ بررسی سایت

قبل از انجام یا حتی طراحی هر گونه پرواز اندازه گیری باید اطلاعات زیادی درباره سایت برودکست موردنظر جمع آوری شود:

- موقعیت 3D مرکز فاز آنتن های برودکست باید به طور دقیق مشخص شود. تمام جهت گیری ها نسبت به این موقعیت صورت می گیرد و همچنین فاصله مورد استفاده در محاسبات ERP نسبت به این موقعیت خواهد بود. هم موقعیت افقی و هم ارتفاع باید با استفاده از دستگاه سنجش موقعیت وسیله هوایی تعیین شود تا اختلاف کالیبراسیون به حداقل برسد. به جای موقعیت دکل آنتن، مرکز فاز آنتن باید اندازه گیری شود. قبل از تأیید مقادیر ارتفاع آنتن و موقعیت توسط اندازه گیری، نباید به مقادیر اعلام شده کاغذی اعتماد کرد.
- محدودیت های پترن آنتن (یعنی ERP) تعیین شده در مجوز برودکستر را باید از قبل بدانیم. این محدودیت ها را می توان در نرم افزار پیش بینی نمود.
- نوع آنتن برودکست، جهت و ابعاد آن برای تخمین اثر بازتاب های زمینی و طراحی پروازهای اندازه گیری ضروری هستند.
- نوع زمین و ساختار آن باید شناخته شوند تا موانع و بازتاب های احتمالی در نظر گرفته شوند.
- توان RF و پترن آنتن فرستنده هایی دیگر در همان سایت نیز باید معلوم باشند تا بتوان خراب شدن اندازه گیری پترن آنتن به دلیل سیگنال های کانال مجاور را تخمین زد و تنظیمات

تضعیف کنندگی بهینه گیرنده را محاسبه کرد. همچنین باید یک فاصله حداقلی از دکل برای جلوگیری از آسیب های قرار گرفتن در معرض میدان های الکترومغناطیسی برای افراد و وسیله هوایی تعیین شود.

- برای اطمینان از تنظیم درست فیلترهای گیرنده باید پهنای باند اشغالی و شکل طیف فرستنده مطلوب مورد بررسی قرار گیرند. پهنای باند اشغالی فرستنده های کانال مجاور نیز باید برای اطمینان از حفاظت کافی بررسی شوند.

از آن جا که بیشتر این اطلاعات در سایت برودکستر جمع آوری می شود، این مرحله از جمع آوری داده ها را بررسی سایت می نامیم.

۶-۲ طراحی اندازه گیری

برای دستیابی به بهترین نتیجه باید یک پروژه اندازه گیری هوایی طراحی شود. اغلب باید چندین سایت برودکست پشت سرهم اندازه گیری شوند و در بسیاری موارد در یک مکان باید بیش از یک پترن آنتن اندازه گیری شود. یک طراحی مناسب تمام این اندازه گیری ها را به شکلی کارآمد ترکیب می کند. طراحی اندازه گیری شامل محاسبه زمان مسافرت به و بین سایت های برودکست و زمان لازم برای انجام تمام پروازها نیز می شود. انواع پروازهای لازم و ارتفاع بهینه پروازها، فواصل و مسیرها را می توان با اطلاعات جمع آوری شده در فاز

بررسی سایت، تعیین کرد. به طور کلی، وقتی چند فرستنده از یک آنتن استفاده می کنند، اندازه گیری چند نمودار امکان پذیر است (اما نه همیشه). زمان و مکان شارژ وسیله هوایی و دیگر موارد مربوط به پرواز باید از قبل با مسئول پرواز (که مسئولیت پرواز ایمن را برعهده دارد) مورد بحث قرار گیرند.

۳-۶ آزمایشات قبل از پرواز

از آنجا که زمان پرواز گرانترین مؤلفه‌ی اندازه گیری است، لذا تمام تجهیزات باید بعد از نصب در وسیله هوایی و قبل از شروع پرواز به طور کامل مورد آزمایش قرار گیرند. به این ترتیب می توان از غافلگیری در طول پرواز پیشگیری کرد.

۴-۶ پرواز اندازه گیری

نوع پروازهای اندازه گیری هدایت شده کاملاً به موقعیت آنتن و وسیله هوایی مورد استفاده بستگی دارد. برای مثال، برای اندازه گیری نمودار یک آنتن برودکست VHF با بالگرد، به رویکرد متفاوتی نسبت به اندازه گیری یک آرایه موج متوسط با هواپیما نیاز خواهد بود. انواع مختلف پروازها و کاربرد آنها در بخش های بعد شرح داده خواهد شد. در طول اندازه گیری، باید سیگنالی که از آنتن تحت آزمایش ارسال می شود را روی زمین مونیتور کرد تا از پایداری کافی سیگنال ارسالی اطمینان حاصل شود.

۵-۶ ارزیابی تجهیزات پس از پرواز

بلافاصله پس از پرواز اندازه گیری، آزمایشات قبل از پرواز باید تکرار شوند تا اطمینان حاصل شود که تمام تجهیزات همچنان طبق انتظار ما عمل می کنند. هر گونه مشکل باید برای کمک به پردازش های بعدی ثبت شود.

۶-۶ پردازش داده و تحلیل

در طول پرواز تمام داده های خام اندازه گیری ثبت شده اند. با ترکیب این داده ها با مقادیر معلوم مثل گین آنتن اندازه گیری، موقعیت آنتن فرستنده و دیگر فاکتورهای تصحیح، پترن آنتن مطلوب به صورت real-time تولید می شود که در طول پرواز، دید خوبی از اندازه گیری به ما می دهد. تحلیل دقیق تر را فقط بر روی زمین که وقت بیشتری داریم می توان انجام داد. از اطلاعات آماری استخراج شده از داده های اندازه گیری و اطلاعات کالیبراسیون تجهیزات برای تخمین دقت اندازه گیری استفاده می شود. می توان از مسیرهای اندازه گیری تکراری یا متقاطع برای همبسته کردن داده های اندازه گیری استفاده کرد.

۶-۷ گزارش دهی

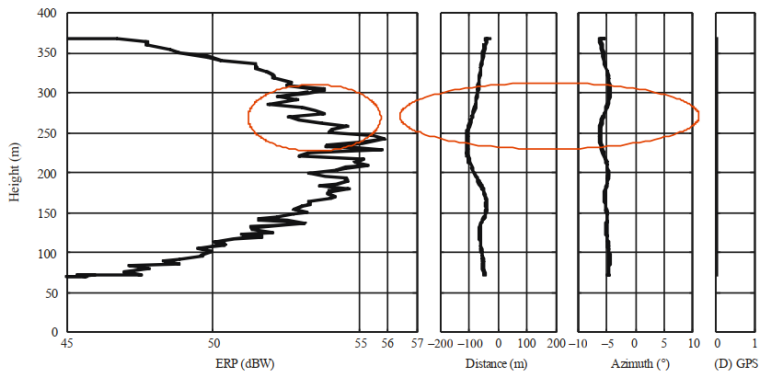
یک فرمت گزارش دهی استاندارد با استفاده از مؤلفه های یک گزارش استاندارد، مثل نمودارها و مقیاس گذاری آن ها باعث سهولت تفسیر اندازه گیری های مختلف و مقایسه آن ها می شود. بخش تحلیل عدم قطعیت

اندازه‌گیری، یک بخش ضروری گزارش است که بدون آن گزارش اندازه‌گیری کاربرد چندانی نخواهد داشت. در بخش‌های بعدی مثالی در این زمینه آورده شده است.

۷- پردازش داده‌های اندازه‌گیری

۷-۱ بررسی داده‌ها

پس از پایان اندازه‌گیری‌ها، اطلاعات باید از نظر برآورده شدن معیارهای دقت بررسی شوند. به این منظور، چندین نقشه ایجاد می‌شوند که تمام تک تک نقاط اندازه‌گیری در آن‌ها گردآوری شده است. اطلاعات اضافی مثل خطاهای ارتفاع و مسیر باید مثل نتایج اندازه‌گیری در همان نمودار رسم شوند تا بتوان ارتباط خطاهای پرواز را با ناهنجاری‌های نتایج اندازه‌گیری پیدا کرد. مثالی از این موضوع در شکل ۱۳ آمده است که نشان دهنده یک نمودار آنتن عمودی در ترکیب با سه نمودار دیگر است. نمودارها از چپ به راست نشان‌دهنده ERP، میزان تفاوت با فاصله مدنظر، میزان تفاوت با زاویه افقی مدنظر و خطای موقعیت دستگاه هستند. قسمت‌های مشخص شده از نمودار احتمالاً به دلیل ترکیبی از خطاهای فاصله و زاویه‌ای غیرقابل استفاده هستند. این تحلیل می‌توان برای استخراج بخش‌های مطمئن نمودارها استفاده کرد یا برای اندازه‌گیری مجدد بخش‌های نامطمئن تصمیم‌گیری کرد. همین روند را می‌توان برای پروازهای دایروی و افقی هم انجام داد.



Vertical flight			LOPIK 2004-05-11 LPs 94.3 MHz Radio 4			
Height			Distance	Azimuth	Date	Time
From	To					
70 m	367 m		950 m	314°	12 May 2004	10:14 uur
						10:15 uur

Measurement data file
LOPIK_2004-05-11 LPs.M01

شکل ۱۳- نمودار عمودی با اطلاعات پرواز

۲-۷ همبسته سازی پروازهای مختلف

وقتی پروازهای مختلف برای یک فرستنده انجام می گیرد، اغلب می توان این اندازه گیری ها را همبسته سازی کرد. این کار را می توان در هنگام تکرار یک نوع پرواز و همچنین متقاطع بودن مسیرهای مختلف پرواز انجام داد. با گرفتن تعداد نقاط کافی از هر پرواز در نزدیکی تقاطع می توان متوسط و انحراف معیار مقادیر را محاسبه کرد. این ها را می توان برای تشخیص همبستگی و تخمین دقت حاصله مورد ارزیابی قرار داد.

۷-۳ پردازش داده‌ها

ملزومات دقت اندازه گیری ایجاب می کند که نقاط اندازه گیری بیشتری نسبت به نقاط مورد نیاز برای نمایش نمودار داشته باشیم. بنابراین بعداً می توان از کاهش داده استفاده کرد. این کار باعث افزایش دقت نهایی برای هر نقطه نمایشی شده و نمودار نمایش داده شده هموارتر می شود و مقایسه آن با دیگر نمودارها یا منحنی های مرجع ساده تر است. برای مثال، اگر برای یک پترن تشعشعی افقی، یک نقطه برای هر زاویه افقی لازم باشد و ۲۰ اندازه گیری در هر درجه انجام شود، متوسط گیری در بازه های یک درجه ای، منجر به مقدار نمایشی نزدیکتری به مقدار واقعی خواهد شد. معمول ترین روش برای انجام این کار استفاده از یک میانگین پنجره ای روی هر بازه است. شکل پنجره و طول آن باید با بازه ای تغییرات قابل توجهی در مقادیر انتظار داریم، منطبق باشد. روش ترجیحی استفاده از یک متوسط پنجره ای sliding روی یک بازه است. در کنار مقدار متوسط، مقدار انحراف معیار روی پنجره را نیز می توان محاسبه کرد. اندازه و شکل پنجره تأثیر قابل توجهی بر نتایج نهایی دارد و باید با دقت انتخاب شود. به همین دلیل، مقدار و نوع هموارسازی نیز باید در گزارش نهایی اندازه گیری ذکر شود.

۸- محاسبات عدم قطعیت اندازه گیری

هر پترن آنتن اندازه گیری شده باید با محاسبات عدم قطعیت اندازه گیری همراه باشد و بدون آن، استفاده از اندازه گیری به منظور تأیید پترن بیهوده است.

عدم قطعیت عمومی در اندازه گیری

برای تعیین دقت اندازه گیری سیستم می توان از محاسبات عمومی عدم قطعیت اندازه گیری استفاده کرد. تمام منابع عدم قطعیت که به طور معمول در سیستم اندازه گیری و در طول اندازه گیری وجود دارند شناسایی شده و تخمین زده می شوند و یک عدم قطعیت کلی محاسبه می شود که می توانیم آن را عدم قطعیت عمومی سیستم بدانیم. این مقدار یک دید کلی از دقت سیستم اندازه گیری برای موقعیت های متوسط به ما می دهد. عدم قطعیت اندازه گیری عمومی بین 1.5 dB و 2.5 dB برای یک بازه 95% را می توان یک وضعیت خوب برای سیستم دانست. این میزان فقط در صورتی حاصل می شود که تمام منابع خطای مشارکت کننده اصلی در حداقل قرار داشته باشند و اندازه گیری با دقت بسیار بالا انجام شود.

عدم قطعیت واقعی در اندازه گیری

برای هر اندازه گیری باید محاسبه عدم قطعیت جداگانه ای با در نظر گرفتن شرایط خاص رخ داده در طول اندازه گیری واقعی انجام شود. برای مثال، تغییرات ناشی از بازتاب ها و خطاهای پروازی برای هر اندازه گیری، هر سایت فرستنده و هر پیکربندی آنتن فرستنده متفاوت هستند. فقط با در نظر گرفتن این تفاوت ها می توان یک میزان دقت صحیح برای هر اندازه گیری ارائه کرد. یک روش خوب برای این کار آن است که با محاسبه دقت عمومی شروع کنیم و تمام مقادیر آن را بررسی کرده و آن ها برای شرایط خاص رخ داده در طول اندازه گیری تصحیح کنیم. تحلیل داده های اندازه گیری ورودی مهمی برای این

فرآیند به ما می دهد. مقدار محاسبه شده به این روش را عدم قطعیت واقعی اندازه گیری می نامیم که برای هر اندازه گیری متفاوت است. این مقدار باید در گزارش اندازه گیری ذکر شود (و نه مقدار عمومی).

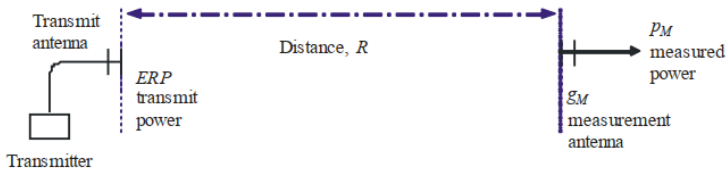
روش شناسی

محاسبات عدم قطعیت اندازه گیری باید مطابق با استانداردهای مربوطه بین المللی (مثل ISO "راهنمای بیان عدم قطعیت در اندازه گیری ها") انجام و ارائه شود. هنگام استفاده از این روش باید ابتدا هر اندازه گیری تعریف و فرمول ریاضی که نتایج نهایی (با استفاده از متغیرهای مربوطه) با آن محاسبه می شود، مشخص شود. سپس تمام این متغیرها و عدم قطعیت آن ها تعریف شده و فاکتورهای وزن دهی آن ها از نظر تأثیر بر نتیجه نهایی تعیین شوند. چنانچه متغیرهای منبع به صورت لگاریتمی بیان شده اند، ابتدا باید به مقادیر خطی تبدیل شوند. با این اطلاعات، عدم قطعیت نتیجه نهایی محاسبه می شود و به شکل استاندارد ارائه می شود. همچنین مشارکت کننده های اصلی در عدم قطعیت کلی مشخص می شوند.

مثالی از محاسبه عدم قطعیت اندازه گیری

در این بخش یک مثال عملی از محاسبه عدم قطعیت واقعی برای یک سیستم اندازه گیری پترن آنتن آمده است. این مثال تأثیر منابع مختلف خطا را نشان داده و منظور از آن کمک به انجام تحلیل عدم قطعیت اندازه گیری می باشد. مقادیر مورد استفاده در این مثال انتخابی و دلخواه هستند و در عمل ممکن است بسته به میزان بهینه سازی طراحی، بهتر یا بدتر باشند.

در این مثال یک سیستم اندازه گیری فرضی با استفاده از بالگرد برای اندازه گیری پترن آنتن افقی یک فرستنده برودکست VHF FM، به صورت ERP تشریح شده است. توان P_M در فاصله R از آنتن فرستنده اندازه گیری می شود. این کار با استفاده از آنتن اندازه گیری با گین g_M و یک گیرنده اندازه گیری انجام می شود (شکل ۱۴).



شکل ۱۴- اندازه گیری EIRP

در هر نقطه اندازه گیری محاسبات با استفاده از فرمول ارائه شده در بخش ۳ انجام می شود:

$$eirp = \frac{16\pi^2}{c^2} \cdot \frac{P_M \cdot R^2 \cdot f^2}{g_M}$$

که در آن:

- P_{EIRP} : power relative to an isotropic radiator (W)
- P_{RX} : power at the receiver input terminals (W)
- R : distance (m) between the receive and transmit antennas
- g_{RX} : gain (linear value) of the receive antenna relative to an isotropic radiator
- f : frequency (Hz)
- c : speed of light (m/s).

فرمول بالا فقط EIRP اندازه گیری شده را در آن نقطه خاص از فضا محاسبه می کند. فاکتورهای دیگری نیز وجود دارند که ممکن است باعث تفاوت EIRP اندازه گیری شده از EIRP واقعی آنتن فرستنده شوند. وقتی این فاکتورها به فرمول اضافه شوند، فرمول به شکل زیر در می آید:

$$P_{EIRP} = \frac{16\pi^2}{c^2} \cdot \frac{P_M \cdot R^2 \cdot f^2}{g_M} \cdot a_{REF} \cdot a_H$$

که در آن:

a_{REF} : reflections: interference of direct and reflected wave

a_H : influence of incorrect flying height.

EIRP به دست آمده با استفاده از فرمول بیان شده در بخش ۳ به ERP تبدیل می شود. از آن جا که آن فرمول فقط شامل یک ثابت تئوری است، مشارکت آن در عدم قطعیت اندازه گیری ترکیبی صفر است. عدم قطعیت اندازه گیری ERP، نتیجه ای از عدم قطعیت پارامترهای ورودی است. بعضی از این پارامترها هم دارای خطاهای منبع هستند که منجر به عدم قطعیت آنها می شود. این خطاهای منبع در ادامه مورد بحث قرار گرفته اند:

ثابت ها: فرمول شامل ثابت های 16، π و سرعت نور (c) می باشد. از آن جا که این ثابت ها کاملاً غیر قابل تغییر و مشخص هستند، مشارکت آنها در عدم قطعیت کلی سیستم برابر صفر است.

فرکانس: فرکانس f مورد استفاده در فرمول، فرکانس حامل است که در

این مثال 100.1 MHz تعیین شده است. در عمل تمام مؤلفه های توان اندازه گیری شده، روی فرکانس حامل نیستند زیرا در فرستنده مدولاسیون انجام می شود. با فرض آن که بیشتر توان در فاصله 100 kHz از حامل متمرکز باشد، عدم قطعیت نسبی Δf در حدود 0.1 % است. توزیع خطا یکنواخت فرض می شود.

فاصله: عدم قطعیت فاصله ناشی از عدم قطعیت اندازه گیری موقعیت 3D آنتن فرستنده و آنتن اندازه گیری می باشد. در این مثال دایره پرواز شده تقریباً در ارتفاع آنتن فرستنده و با تیلت پایین 5° است. بنابراین خطاهای افقی تأثیر بسیار بیشتری بر دقت نتایج دارند تا خطاهای عمودی، بنابراین ضرایب حساسیت باید محاسبه و مورد استفاده قرار گیرند. به علاوه، موقعیت مرکز فاز الکتریکی آنتن فرستنده، تفاوت در موقعیت افقی و عمودی آنتن اندازه گیری و دستگاه موقعیت سنج روی وسیله هوایی از دیگر منابع عدم قطعیت هستند. عدم قطعیت فاصله R به طور جداگانه محاسبه می شود تا به عنوان ورودی برای محاسبات بیشتر استفاده شود (محاسبه عدم قطعیت R معمولاً بخشی از گزارش است اما در این مثال حذف شده است). عدم قطعیت حاصله برابر 6 m، با توزیع نرمال و احتمال 95% است. در این مثال که یک دایره در فاصله 1100 m پرواز شده است، این عدم قطعیت برابر 0.56% است.

گین آنتن: عدم قطعیت گین آنتن به دلیل عدم قطعیت کالیبراسیون آنتن، کابل های RF، عدم تطبیق پلاریزاسیون باقیمانده و عدم انطباق افقی و عمودی

آنتن ایجاد می شود. که به صورت فرمول زیر است (gM به صورت مقدار خطی، GM بر حسب dB):

$$g_M = g_{CAL} \cdot a_{CBL} \cdot a_{HOR} \cdot a_{VERT} \cdot a_{POL}$$

توان RX: عدم قطعیت توان دریافتی به دلیل عدم قطعیت کالیبراسیون گیرنده، عدم تطبیق بین آنتن و گیرنده، افت فیلتر IF به دلیل افزایش پهنای باند فرستنده و نشت فرستنده های کانال مجاور ایجاد می شود. که به صورت فرمول زیر است (Pm به صورت مقدار خطی، PM بر حسب dBW):

$$P_M = P_{M-CAL} \cdot a_{MIS} \cdot a_{FILT} \cdot a_{NABU}$$

بازتاب ها: یکی از تأثیرگذارترین عوامل در عدم قطعیت کلی اندازه گیری، بازتاب زمینی است. دامنه نسبی بازتاب ها به میزان منعکس کنندگی زمین و اجسام ساخته شده روی آن بستگی دارد. بازتاب با اختلاف طول مسیر نسبی بین موج مستقیم و موج منعکسه، و همچنین پترن عمودی آنتن فرستنده و آنتن گیرنده تضعیف می شود. مقدار بازتاب زمین در این مثال از تحلیل اندازه گیری های واقعی به دست آمده که در این حالت برابر 1.7 dB است.

خطای ارتفاع: پرواز در ارتفاعی متفاوت از ارتفاعی که نمودار باید اندازه گیری شود، منجر به تفاوت ERP ارائه شده با ERP آنتن فرستنده می شود. خطای ارتفاع به دلیل عدم قطعیت اندازه گیری ارتفاع آنتن در زمان بررسی سایت، عدم قطعیت اندازه گیری دستگاه موقعیت سنج در طول کار و خطای پرواز در زمان اندازه گیری ایجاد می شود. خطای ERP حاصله به فاصله از آنتن

فرستنده و میزان جهتی‌بودن (directivity) عمودی آنتن فرستنده بستگی دارد. در این مثال، خطای ارتفاع ترکیبی 23 m با یک توزیع نرمال و اطمینان 95% بود. در فاصله 1100 m، این مقدار خطای ارتفاع، متناظر با زاویه عمودی برابر 1.2° است. محاسبه عدم قطعیت کلی در این مثال در جدول ۱ نشان داده شده است. بنابراین عدم قطعیت اندازه‌گیری واقعی برای این مثال برابر با $10 \log_{10}(1+U)=2.4 \text{ dB}$ است.

Symbol	Source	Uncertainty		Distribution	Divider	Sensitivity coefficient c_i	Standard deviation of source $u(a_i)$ (%)	Degrees of freedom ν_i or ν_{eff}
		($\pm$ dB)	(%)					
Speed of light								
c	Speed of light	Nil						
Frequency								
f	RF frequency		0.1	Uniform	1.7321	2	0.1	∞
Distance								
R	Distance between transmit and receive antenna		0.6	Normal	2	2	0.6	∞
Antenna gain								
g_{M-CAL}	Antenna gain calibration	1.0	26	Normal	2	1	12.9	∞
a_{HOR}	Horizontal misalignment	0.2	4.7	Uniform	1.7321	1	2.7	∞
a_{VERT}	Vertical misalignment	0.3	7.2	Uniform	1.7321	1	4.1	∞
a_{POL}	Polarisation loss	0.3	7.2	Uniform	1.7321	1	4.1	∞
Power measurement								
P_{RX-CAL}	Receiver calibration	1.5	41	Normal	2	1	20.6	∞
a_{MS}	Mismatch	0.09	2.1	U-shape	1.4142	1	1.5	∞
a_{FLT}	Energy falling outside filter bandwidth	0.15	3.5	Uniform	1.7321	1	2.0	∞
a_{ADI}	Adjacent channel interference	Negligible						
Reflections								
a_{REF}	Influence of reflections	1.7	47.9	Uniform	1.7321	1	27.7	∞
Height error								
a_H	Influence of height error	0.1	2.3	Normal	2	1	1.2	∞
U_{ERP}	Combined standard uncertainty			Normal			38	∞
U	Expanded standard uncertainty (95% conf.)			Normal ($k=2$)			75	∞

جدول ۱- محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری کلی

۹- گزارش دهی

پترن تشعشعی آنتن باید در گزارشی شامل نمودار اندازه گیری شده، با خلاصه و نتایج ارائه شود. بهتر است گزارش در یک قالب استاندارد باشد تا امکان مقایسه اندازه گیری های مختلف وجود داشته باشد. این قالب باید حتی الامکان فشرده ولی بدون حذف پارامترهای مهم باشد. متن گزارش به خروجی های رویدادهای خاص هر اندازه گیری بستگی دارد اما ساختار کلی آن باید به ترتیب شامل موارد زیر باشد:

- خلاصه: خلاصه اولیه شامل زمان و مکان و هدف اندازه گیری می شود.
- نتیجه گیری: نتیجه کلی اندازه گیری پترن از نظر تطبیق آن با مجوز سایت از نظر ERP، فرکانس و زوایا و.. می باشد.
- مقدمه: مقدمه گزارش می تواند بیانگر دلایل لزوم انجام اندازه گیری و توضیحات اولیه انتخاب روش ها و تجهیزات باشد.
- نتایج اندازه گیری: در این قسمت به جزئیات کار اندازه گیری و تحلیل و بررسی داده ها و اعداد حاصله و نتایج فنی به دست آمده از بررسی آن ها پرداخته می شود. نمودارهای پترن اندازه گیری شده افقی و عمودی را می توان در این بخش ارائه کرد.
- دقت اندازه گیری: لازم است که دقت نتایج به دست آمده بر اساس محاسبات اعلام شود.

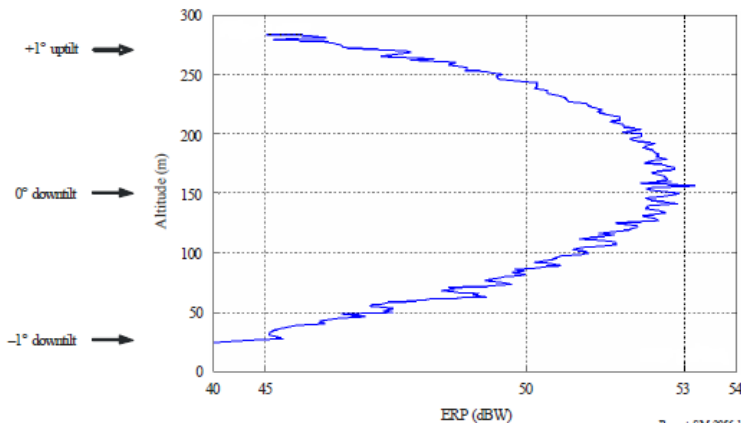
- مقایسه نتایج با مجوز ایستگاه: تطبیق یا عدم تطبیق نتایج با اطلاعات فنی تئوری و عملی دانسته شده و همچنین تطبیق با مشخصات فنی مجاز سایت باید بررسی شود (مانند جدول ۲).

Azimuth direction	Licence	Measured	Difference	Azimuth direction	Licence	Measured	Difference
	(dBW)				(dBW)		
0°	50	43	-7 dB	180°	25	17	-6 dB
10°	48	41	-7 dB	190°	25	18	-7 dB
20°	43	37	-6 dB	200°	25	20	-5 dB
30°	38	32	-6 dB	210°	25	25	-0 dB
40°	34	29	-6 dB	220°	25	31	+5 dB
50°	31	20	-11 dB	230°	26	37	+10 dB
60°	27	18	-9 dB	240°	25	41	+15 dB
70°	25	18	-7 dB	250°	35	44	+8 dB
80°	25	17	-8 dB	260°	45	45	-1 dB
90°	25	16	-9 dB	270°	48	47	-1 dB
100°	25	18	-7 dB	280°	50	48	-2 dB
110°	25	17	-8 dB	290°	50	49	-1 dB
120°	25	19	-7 dB	300°	50	48	-2 dB
130°	25	18	-7 dB	310°	50	49	-1 dB
140°	25	17	-9 dB	320°	50	48	-2 dB
150°	25	17	-8 dB	330°	50	48	-3 dB
160°	25	19	-6 dB	340°	50	47	-4 dB
170°	25	18	-8 dB	350°	50	45	-6 dB

جدول ۲- مقایسه داده ERP و داده مجوز به شکل جدولی

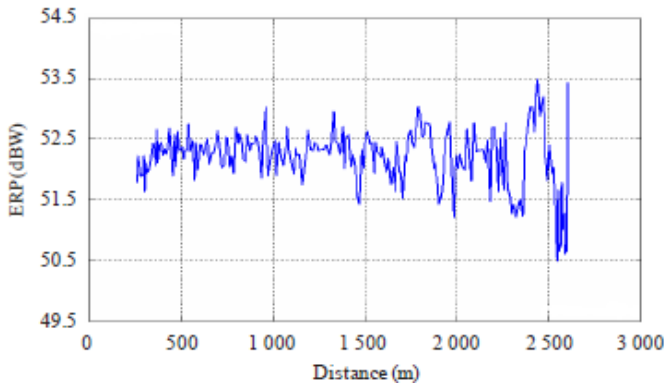
تغییر مقیاس پترن آنتن، تغییر زیادی در نمودار گرافیکی آن ایجاد می کند، بنابراین توصیه می شود که یک سری فرمت های ترجیحی رعایت شود تا مقایسه نتایج گروه ها مختلف اندازه گیری و حتی بین برودکسترهای مختلف قابل مقایسه باشد. به طور مثال برای پترن افقی مقیاس شعاعی باید لگاریتمی خطی با محدوده 50 dB باشد. محدوده بیش از 50 dB کاربردی نیست زیرا حتی آرایه های بزرگ نسبت front-to-back بیش از 50 dB ندارند. همچنین دندانه های بیش از 50 dB در نمودار نامحتمل است. در بعضی موارد، پترن عمودی دارای اهمیت بالایی است و باید حتماً گزارش شود. در این صورت

نشان دادن محدوده 10 dB در نمودار کافی است. با این مقیاس تعیین زاویه تیلت لوب اصلی و پهنای پرتو عمودی آنتن آسانتر است. شکل ۱۵ یک نمودار عمودی با حدود 3 dB آزادی (به دلیل بازتاب های زمینی) را نشان می دهد. در بعضی موارد لازم است که پترن عمودی مانند نمودار پترن افقی در محدوده 50 dB نشان داده شود.



شکل ۱۵ - نمودار عمودی با محدوده 10 dB

نمودارهای پروازهای افقی انجام گرفته برای تعیین نقطه حداقل بازتاب زمینی باید محور عمودی با محدوده 5 dB داشته باشند (شکل ۱۶). این محدوده برای دانستن میزان انحراف توان در نقطه حداقل بازتاب مناسب است، زیرا ERP باید در طول کل مسیر پرواز ثابت باشد.



شکل ۱۶- نمودار پرواز انتشاری با محدوده 5 dB

دیگر نمودارها با اهداف خاص را می توان مطابق نیاز تطبیق داد، اما حتی الامکان باید از نمودارهای مهندسی ترجیحی استفاده شود.

۱۰- سیستم های مختلف برودکست

توضیحات ارائه شده در بخش های قبلی مستقل از وسیله هوایی انتخاب شده و همچنین مستقل از سیستم برودکست بودند. در این جا توضیحات بیشتری در مورد هر سیستم های برودکست خاص ارائه می دهیم، مثلاً این که چه کدام پروازهای اندازه گیری باید انجام گیرد، از چه آنتن اندازه گیری باید استفاده شود و چه تنظیماتی برای گیرنده باید انتخاب شود. در عمل، انواع پروازهای اندازه گیری پیشنهادی به میزان زیادی به هواگرد انتخابی بستگی دارد اما توصیه ها در مورد وسیله هوایی به بخش بعدی موكول شده است.

۱-۱۰ برودکست VHF FM

در برودکست VHF FM پترن تشعشعی آنتن افقی در نقطه حداکثر پترن عمودی اندازه گیری می شود. پترن آنتن اندازه گیری شده به صورت ERP و با یک آنتن مرجع دایپل نیم موج ارائه می شود.

حداکثر پترن تشعشعی عمودی با انجام یک پرواز عمودی در یک یا چند زاویه افقی تعیین می شود. این حداکثر تعیین کننده ارتفاعی است که باید پرواز دایروی انجام گیرد. از آن جا که اندازه گیری پترن آنتن VHF به ویژه نسبت به بازتاب های زمینی حساس است، لذا فاصله اندازه گیری باید طوری انتخاب شود که بازتاب ها قابل قبول باشند. این فاصله را می توان با انجام یک پرواز انتشاری تعیین کرد. با دانستن ارتفاع و فاصله بهینه، یک پرواز دایروی انجام می شود که در نتیجه پترن تشعشعی آنتن مورد نظر به دست می آید. برای بررسی قابلیت تکرارپذیری، باید حداقل دو پرواز دایروی در ارتفاع و فاصله تعیین شده باید انجام گیرد. ترتیب اندازه گیری عبارت است از: پرواز(های) انتشاری، پرواز(های) عمودی و پرواز(های) دایروی.

اندازه گیری با تطبیق پلاریزاسیون انجام می گیرد. اگر پلاریزاسیون ارسال بیضوی باشد یا با زاویه افقی تغییر کند، باید اندازه گیری برای هر دو پلاریزاسیون افقی و عمودی به طور هم زمان و یا با روشی مستقل از پلاریزاسیون (که قبلاً توضیح داده شد) انجام گیرد. یک آنتن اندازه گیری خوب برای این حالت، آنتی با زاویه باز بودن عمودی کوچک برای حذف بازتاب های زمینی است که

حول جهت اصلی گین ثابت مناسبی هم در صفحات افقی و عمودی داشته باشد تا هم سو سازی به سادگی انجام گیرد. آنتن اندازه گیری نیاز به گین بالایی ندارد، حتی گین در حد -15 dBd هم کفایت می کند. با توجه به بار باد و دیگر مسائل مکانیک، آنتن های ساینز کامل در این باند فرکانسی چندان عملی نیستند. تنظیمات فیلتر گیرنده مصالحه ای است بین تداخل کانال مجاور و AM ناخواسته تولید شده توسط فیلتر است. پهنای باند سیگنال های برودکست FM توسط رگولاتوری ها محدود شده است اما باید قبل از اندازه گیری با استفاده از روش ماسک توصیه نامه ITU-R SM.1268 چک شود. اگر سیگنال با توجه به فیلتر مورد استفاده خیلی پهن باشد، AM ناخواسته در سیگنال اندازه گیری شده تولید می شود. این باعث افزایش عدم قطعیت اندازه گیری می شود. اگر اشغال کانال مجاور اجازه مانور بدهد، باید یک فیلتر پهن با ضریب شکل بالا (گوسی) انتخاب شود. اگر اندازه گیری مستقل از پلاریزاسیون باشد می توان از یک آشکارساز RMS و در غیر این صورت از یک آشکارساز متوسط استفاده کرد. اگر تعداد نقاط اندازه گیری کافی برای متوسط گیری داشته باشیم، می توان از یک آشکارساز پیک یا نمونه استفاده کرد. متوسط گیری می تواند به محدود سازی اثرات خطاهای اندازه گیری کوچک ایجاد شده با تداخل از کانال های مجاور یا پهنای باند فیلتر گیرنده نسبت به سیگنال اندازه گیری شده کمک کند.

۱۰-۲ برودکست AM

سیستم های آنتن مورد استفاده در برودکست MW بزرگ هستند. از نظر مکانیکی شرایط میدان دور در آرایه های بزرگ گاهی دورتر از 1λ شروع می شود. معمولاً توان بالاست و بنابراین می توان از آنتن های کوچک با کارایی کمتر برای اندازه گیری استفاده کرد. در بیشتر موارد پلاریزاسیون عمودی است. ایستگاه های برودکست MW اغلب برای مناطق پوشش نسبتاً بزرگ طراحی شده اند و از پرتوهای مدادی (pencil beam) یا چند جهت (fan beam) استفاده نمی کنند. نوع مدولاسیون A3E است بنابراین آشکارسازی ترجیحی آشکارساز AVERAGE است. در طول اندازه گیری، روش های صرفه جویی توان مثل مدولاسیون دامنه دینامیک (dynamic amplitude modulation- DAM) باید خاموش باشد. آنتن های MW معمولاً روی زمین نصب هستند و زاویه تشعشع عمودی خیلی پایینی دارند. معمولاً تمام جهته یا فقط مقدار کمی جهتی هستند و میزان جهتی بودن (directivity) بیشتر از 8 dB بسیار استثنایی است. برای داشتن یک تصویر مناسب از پترن تشعشعی سه بعدی، می توان چندین پرواز دایروی حول آنتن در ارتفاع های مختلف انجام داد. با دانستن این که پترن آنتن واقعی نمی تواند روی زوایه های کوچک تغییر زیادی داشته باشد، می توان با استفاده از این نقاط اندازه گیری پترن تشعشعی 3D واقعی را ساخت.

۱۰-۳ برودکست HF (AM)

سیستم های آنتن مورد استفاده در برودکست HF بزرگ هستند. از نظر مکانیکی، شرایط میدان دور در آرایه های بزرگ در فاصله چندین طول موج از آنتن شروع می شود. معمولاً توان بالاست و بنابراین می توان از آنتن های کوچک با کارایی کم استفاده کرد. پلاریزاسیون در بیشتر موارد افقی است. پهنای باند کمایش ثابت است و می توان از یک فیلتر کانال با ضریب شکل کم (فیلتر کانال) استفاده کرد. نوع مدولاسیون A3E است و بنابراین آشکارساز ترجیحی آشکارساز AVERAGE است. در طول اندازه گیری روش های صرفه جویی توان مثل مدولاسیون دامنه دینامیک (DAM) باید خاموش باشد. آنتن های برودکست HF در تمام شکل های ممکن وجود دارند: از تشعشع کننده های تمام جهت با زاویه بزرگ تا پرتوهای مدادی برای سرویس رسانی به مناطق خاصی در فواصل دوردست جهان. راهبرد اندازه گیری باید بسته به نمودار آنتن مورد انتظار تعیین شود. در مورد آرایه curtain با زاویه پایین، ترکیبی از پروازهای عمودی و افقی حول پرتو اصلی باید انجام شود. این نقاط اندازه گیری را می توان برای ترسیم پترن تشعشعی در بخش اطراف لوب اصلی و اولین لوب های ثانویه به کار گرفت. چندین پرواز اندازه گیری در ارتفاع های مختلف می تواند دید کلی تری از تشعشع خارج از پرتو اصلی فراهم کند.

۴-۱۰ برودکست T-DAB

برودکست T-DAB معمولاً در شبکه های تک فرکانسی به کار گرفته می شود. برای حصول نتایج دقیق و اندازه گیری فقط سیگنال فرستنده موردنظر لازم است تا از آنتن های اندازه گیری جهتی با نسبت front-to-back زیاد استفاده شود. پهنای باند برابر 1.5 MHz و ثابت است و لذا می توان از یک فیلتر کانال استفاده کرد. اغلب از آنتن فرستنده با زاویه بازبودن عمودی کوچک و تیلت پایین استفاده می شود و نمودار افقی معمولاً تمام جهت است. انواع پروازهای اشاره شده برای برودکست FM و همچنین ملزومات آنتن مشابه آن، این جا هم به کار می آیند. T-DAB یک سیگنال دیجیتال با به کارگیری OFDM است، لذا انتخاب یک آشکارساز RMS انتخاب درستی است.

۵-۱۰ برودکست DVB-T

شبکه تلویزیون دیجیتال نیز می تواند به صورت تک فرکانسی یا چند فرکانسی طراحی شود. در این جا نیز برای حصول نتایج دقیق لازم است تا از آنتن اندازه گیری جهتی با نسبت front-to-back زیاد استفاده شود. پهنای باند 7 یا 8 MHz و ثابت است و لذا می توان از فیلتر کانال استفاده کرد. اغلب از آنتن های فرستنده با زاویه بازبودن عمودی کوچک و تیلت پایین استفاده می شود و نمودار افقی معمولاً تمام جهت است. انواع پروازهای مورد اشاره در برودکست FM این جا هم به کار می آیند. آنتن های اندازه گیری برای این باند فرکانسی معمولاً جهت داری (directivity) عمودی کافی برای حذف بازتاب ها

دارند. باید از پهنای پرتو خیلی باریک اجتناب شود زیرا ممکن است است هم سو سازی آنتن دشوار شود.

۱۱- نکات مربوط به وسیله هوایی

انتخاب هر وسیله هوایی خاص به فاکتورهای زیادی بستگی دارد و همچنین امکانات و محدودیت های خاصی برای سیستم اندازه گیری و پروازهای اندازه گیری ممکن، ایجاد می کند. در مورد هواگرد باید نکات زیر را در نظر گرفت:

- ارتعاش می تواند مؤلفه های سیستم اندازه گیری را خراب کند. بنابراین باید در تنظیمات اندازه گیری، مشخصه رزونانس مکانیکی کل سیستم اندازه گیری باید خارج از فرکانس های ارتعاش وسیله هوایی در طول پرواز باشد.
- در وسیله هوایی امواج RF در دستگاه هایی مثل مبدل ها و قطب نماهای ژيروسکوپ تولید می شوند. لذا باید آنتن ها (از جمله آنتن های جهت یابی) در موقعیتی نصب شوند که کمترین RF را بگیرند. در اطراف کابل های تشعشع کننده RF نیز باید چوک و گیره های فریت نصب شود.
- منبع تغذیه هواگرد معمولاً ناپایدار است لذا همیشه باید از یک اینورتر یا تثبیت کننده جداگانه استفاده کرد.
- یک rack ثابت باید برای ثابت نگه داشتن تجهیزات روی

وسیله هوایی استفاده شود. آسان ترین روش برای این کار استفاده از نقاط نصب خود وسیله هوایی است که از قبل بار مجاز آن ها تعیین شده است.

- حداکثر زمان مجاز پرواز را باید مد نظر داشت زیرا فرود آوردن هواگرد و شارژ آن در هر جایی امکان پذیر نیست.
- وسیله هوایی باید قادر به حمل بار تجهیزات اندازه گیری باشد.

در بسیاری از موارد وسیله هوایی انتخابی بالغرد است. علت این امر قدرت مانور آن و امکان اجرای پرواز عمودی یا حرکت بسیار آهسته به یک موقعیت خاص است. اما بالغرد معایبی نیز دارد: ارتعاش بسیار شدیدی دارد و زمان پرواز آن نیز نسبتاً گران است. بالغرد می تواند به آسانی موقعیت خود را در سه جهت تصحیح کند که برای پرواز انتشاری، دایروی و عمودی مناسب است. بالغرد همچنین سرعت هوای نسبتاً کمی دارد که آن را نسبت به باد حساس می کند. بنابراین جهت آن نسبت به دکل آنتن با جهت و شدت باد تغییر می کند که حفظ هم سویی آنتن اندازه گیری را مشکل می کند. بنابراین هم سویی آنتن اندازه گیری باید به طور هم زمان در طول پرواز تنظیم شود.

تمام وسایل هوایی در هنگام پرواز دایروی، سرعت زمینی متغیر با زاویه افقی دارند. در هنگام استفاده از بالغرد سمت رو به دکل در طی مسیر دایروی تغییر می کند که منجر به تعداد متفاوت اندازه گیری ها در هر زاویه افقی در یک دایره کامل می شود. بالغرد ارتعاش مکانیکی زیادی تولید می کند که برای

تجهیزات اندازه گیری مخرب است. این فرکانس حدود 10 Hz است. اگر فرکانس رزونانس اجزای سیستم اندازه گیری با فرکانس ارتعاش متناظر باشد، ارتعاش تقویت می شود. فرض بر آن است که آنتن اندازه گیری در فضای آزاد عمل می کند، بنابراین در هنگام نصب آنتن باید از بازتاب های بدنه وسیله هوایی اجتناب کرد.

۱۲- اندازه گیری پترن آنتن UHF با UAV

در این قسمت نمونه تجربه تعیین پترن آنتن فرستنده های عملیاتی زمینی باند UHF با به کارگیری مجموعه تنظیمات مناسب برای یک سیستم UAV با پرواز کنترل شده را آورده ایم. از UAV به عنوان یک دستگاه تست در میدان دور آنتن (که تعیین کننده دامنه پرواز است) استفاده شده است. شدت باد، فشار هوا و دیگر فاکتورهای آب و هوایی می تواند دشواری هایی ایجاد کند و مسیر پهپاد را تحت تأثیر قرار دهد و در نتیجه باعث عدم قطعیت GPS و نسبت آن با میدان دور آنتن شود. این آزمایش نتایج مقایسه ای شیه سازی و اندازه گیری را نشان می دهد که ثابت می کند عدم قطعیت GPS در مقایسه با آزمایش های انجام شده در اتاق جاذب بیشتر است. در مجموع نتایج نشان می دهد که تعیین پترن تشعشعی با پهپاد، پشتیبانی کافی برای تضمین پوشش برودکست TV براساس کیفیت سرویس مبتنی بر DVB-T2 ارائه می دهد.

اندازه گیری پترن تشعشعی با استفاده از پهپاد یک راهکار واقعی برای تأیید یک آرایه آنتن نصب شده برای برودکست تلویزیونی است. به ویژه آن که

یک آرایه آنتن می‌تواند بیش از ۸ متر بلندی داشته باشد که احتمال استفاده از اتاق جاذب برای بررسی مشخصات آرایه کامل منتفی می‌سازد. از سوی دیگر، این واقعیت که می‌توان آرایه را از دکل جدا و دوباره نصب کرد، آنتن نصب شده را متفاوت از آنتن تست شده (در اتاق جاذب) می‌سازد. برخی آزمایشات امکان استفاده از UAV برای اندازه‌گیری پترن تشعشی آرایه آنتن را نشان داده‌اند، اما باید به مسئله عدم قطعیت توجه ویژه داشت. برای آن که بتوان از نتایج کار به عنوان یک آورده در تأیید صحت نصب سایت استفاده کرد، باید بر برخی عوامل محیطی و چالش‌های فنی غلبه کرد. در بعضی آزمایشات شدت باد یا تداخل بالا منجر به تصادفات و گاهی از دست دادن تجهیزات اندازه‌گیری در جنگل و یا کوهستان شده است. در این جا برای شفاف‌سازی سناریوی اندازه‌گیری و تضمین کیفیت نتایج به پدیده‌های مختلف محیطی پرداخته‌ایم.

روش اندازه‌گیری پترن تشعشی

در روش اندازه‌گیری باید علاوه بر مجموعه تجهیزات، چندین عامل خارجی نیز در نظر گرفته شوند. برای تکمیل مجموعه تجهیزات UAV و شروع روند اندازه‌گیری، بعضی مشخصات مهم مورد نیاز است.

تجهیزات اندازه‌گیری

تجهیزات لازم برای تأیید پترن تشعشی بسیار ساده است:

- آنالیزور طیف
- کابل کم-افت
- آنتن جهتی

همچنین مهم است که این مجموعه اندازه گیری با یک GPS با آنتن پهن باند (به دلیل سناریوهای زیاد تداخلی در محل پرواز UAV) تکمیل شود. شرایط دشوار محیطی ایجاب می کند که مشخصات UAV دارای مقاومت بیشتری باشد. حداقل این مشخصات برای تضمین قابلیت اطمینان عبارتند از:

- مقاومت در برابر باد بیش از 10 m/s
- مدت زمان پرواز بیش از ۱۵ دقیقه
- توان حمل تجهیزات اندازه گیری (۱ تا ۳ کیلوگرم)
- سیگنال های کنترل در باند متفاوت از 88 تا 1000 MHz (سناریوهای اندازه گیری معمولاً برای برودکست FM، VHF، UHF و رادیو UHF trunked یکسان هستند)



شکل ۱۷ - سناریو اندازه گیری

عوامل محیطی

- مهمترین عوامل، عوامل محیطی هستند که برخی از آنها عبارتند از:
 • مه غلیظ: بدون وجود دید کافی از مرکز تشعشع آنتن برای فرود نباید پرواز انجام گیرد (آرایه آنتن باید قابل رویت باشد)
 • سرعت زیاد باد: اگر اندازه گیری سرعت باد در پای دکل ممکن باشد، انجام پرواز در سرعت باد بیش از 9 m/s توصیه نمی شود (بسته به ارتفاع مرکز تشعشع).
 • باران مداوم: با توجه به حساسیت سیگنال به آب و هوا و به دلیل ریسک پایداری پهپاد، توصیه می شود پرواز در شرایط بارانی انجام نشود.
 • ستون های دمای: پیش بینی این پدیده (در مسیر UAV) آسان نیست، لذا توصیه می شود که پرواز در یک فاصله دیگر تکرار شود.

مسیرهای اندازه گیری

طراحی مسیر اندازه گیری نیاز به دانش کافی درباره طراحی آرایه آنتن دارد، یعنی باید پترن تشعشعی تئوری (با شبیه سازی)، ERP و ابعاد آرایه را بدانیم.

- ۱) پترن تشعشعی افقی: اندازه گیری های پترن تشعشعی افقی با انجام پرواز در دایره هایی حول آرایه آنتن انجام می شود و دو مقدار مهم را باید مد نظر قرار داد: شعاع و ارتفاع. شعاع باید از حد

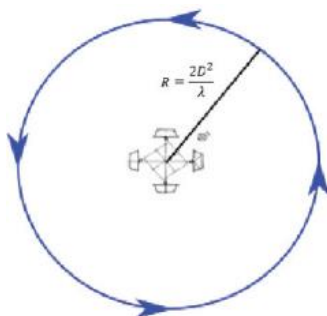
میدان دور آرایه آنتن بیشتر باشد و فاصله کافی برای جلوگیری از آسیب دیدن تجهیزات اندازه گیری در اثر ERP، منظور شود که توصیه می شود یک محاسبه ساده افت مسیر انجام گیرد. ارتفاع اندازه گیری به طراحی و به ویژه به تیلت آرایه بستگی دارد. تیلتی که آرایه برای هدف گرفتن آن طراحی شده است باید مکمل اندازه گیری پترن تشعشعی افقی باشد. برای تعیین ارتفاع، محاسبه یک سینوس ساده با زاویه تیلت و شعاع محاسبه شده کافی است.

(۲) پترن تشعشعی عمودی: اندازه گیری پترن تشعشعی عمودی با پرواز عمودی در یک موقعیت ثابت از سطح زمین (یا 15° پایین تر از مرکز تشعشع) تا 5° بالاتر از مرکز تشعشع انجام می شود. فاصله از آنتن باید همان فاصله پترن تشعشعی افقی باشد.

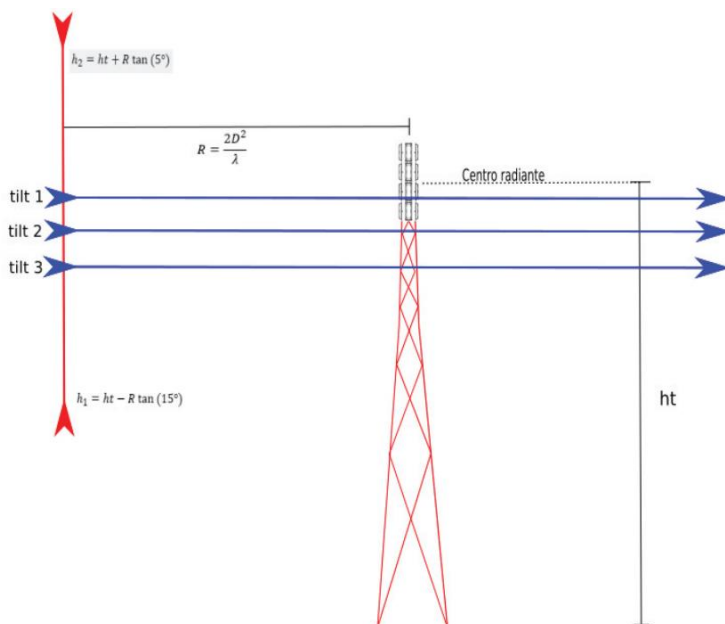
Antenna size [m]	Frequency [MHz]	Limit of far-field region [m]
2	470	12.53
2	700	18.67
6	470	112.80
6	700	168.00
8	470	200.53
8	700	298.67

جدول ۳- محاسبات حد میدان دور برای سناریوهای مختلف

بعد از تکمیل روند اندازه گیری نتایج با شبیه سازی مقایسه می شوند و سپس می توان درباره قابلیت اطمینان اندازه گیری نتیجه گیری کرد.



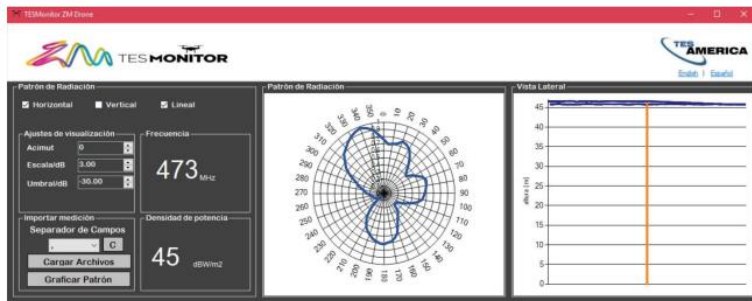
شکل ۱۸- مسیر اندازه گیری افقی (R شعاع، D اندازه آرایه در جهت بزرگتر و λ طول موج)



شکل ۱۹- مسیر اندازه گیری عمودی (R شعاع، ht ارتفاع مرکز تشعشع). در این مثال یک آرایه آنتن با سه تیلت داریم که برای هر تیلت یک اندازه گیری لازم است که با خط های آبی نشان داده شده اند.

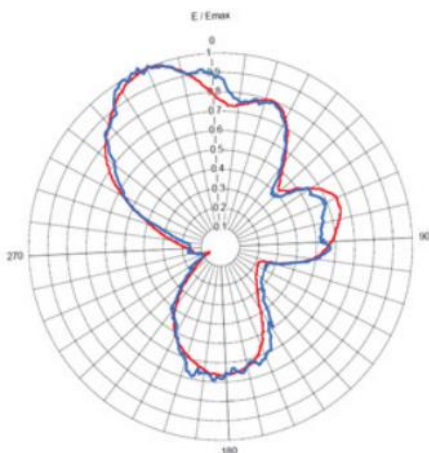
اندازه‌گیری پترن افقی

مقداری تفاوت بین شبیه‌سازی تئوری و اندازه‌گیری دور از انتظار نیست، اما برای تأیید پترن باید مهم‌ترین مشخصات آنتن مورد بررسی قرار گیرند.



شکل ۲۰- نتایج اندازه‌گیری افقی (پترن و مسیر پرواز مربوطه)

هر پترن تشعشعی مربوط به یک آرایه از لوب‌های مختلفی تشکیل شده است. گاهی یک لوب اصلی وجود دارد و گاهی تمام لوب‌ها یکسان هستند. چک کردن زاویه افقی لوب‌ها و تضعیف آن‌ها حائز اهمیت است. نول‌های پترن نیز به اندازه لوب‌ها دارای اهمیتند زیرا یک نول ناخواسته می‌تواند پوشش ایستگاه برودکست را کاهش دهد. بنابراین زاویه افقی و تضعیف آن‌ها نیز باید چک شود.

**LOBES**

Lobe Azimuth	Att (E/E _{max})
20°	0.8
70°	0.6
180°	0.7
340°	1

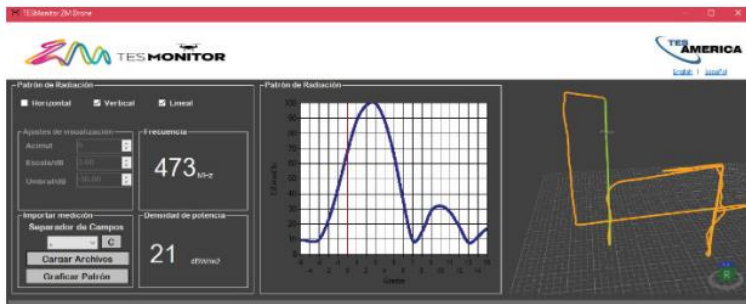
NULLS

Null Azimuth	Att (E/E _{max})
8°	0.73
50°	0.41
120°	0.22
245°	0.05

شکل ۲۱- پترن تشعشعی افقی، مقایسه پترن شبیه سازی شده (قرمز) و اندازه گیری شده (آبی). تضعیف و جهت لوب ها و نول ها مورد بررسی قرار می گیرند.

اندازه گیری پترن عمودی

اندازه گیری عمودی برای تأیید تیلت آرایه و حذف نول عمودی برای تضمین پوشش در نزدیکی ایستگاه ضروری است. در پترن عمودی لوب ثانویه باید به خوبی طراحی شود تا مانع از دست دادن پوشش باشد. همچنین، زاویه تیلت (لوب اصلی) باید در هر جهت از آرایه بررسی شود. بین لوب اصلی و لوب ثانویه اولین نول عمودی وجود دارد. این نول باید یک حداقل میزان (معیار طراحی) داشته باشد و همیشه 0% نباشد.



شکل ۲۲- نتایج اندازه‌گیری افقی (پترن و مسیر پرواز مربوطه)

در این جا اندازه‌گیری‌های قابل اطمینانی از آرایه آنتن نصب شده برای برودکست TV دیجیتال انجام گرفته و متغیرهای مختلف تأثیرگذار بر اندازه‌گیری و پایداری UAV مد نظر قرار گرفته اند. هیچ سنکرون‌سازی بین گیرنده UAV و فرستنده TV نیاز نیست اما اندازه‌گیری همواره باید در میدان دور انجام گیرد که این امر به کاهش خطای زاویه‌ای پترن کمک می‌کند. یک نرم‌افزار خاص برای سنکرون‌سازی GPS و گیرنده لازم است. اندازه‌گیری‌ها با یک سیگنال با توان کم و شکل موج پیوسته انجام شده اند تا اندازه‌گیری سطح توان ساده‌تر باشد. تحلیل کمی مقایسه پترن تشعشعی انجام نگرفته زیرا پترن تشعشعی واقعی به عنوان یک ورودی برای طراحی تداخل و پوشش مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از UAV در طول فرآیند نصب آنتن می‌توان به تشخیص اشتباهات اتصال و خطاهای نصب کمک کند.

۱۳- اندازه گیری پترن آنتن های برودکست در ایران

پروژه اندازه گیری پترن تشعشی سیستم آنتن اف ام چند ایستگاه پر قدرت توسط پهپاد (drone) جهت احصاء چالش ها و مشکلات این نوع اندازه گیری در معاونت توسعه و فناوری رسانه انجام شده است. اگر چه این پروژه به حصول کامل پترن تشعشی ایستگاه ختم نشده است، لیکن تا حد بسیار زیادی چالش ها و توصیه نامه های اندازه گیری پترن را مشخص نموده است.

تجهیزات فنی

- یک فروند پهپاد با قابلیت حمل دستگاه اندازه گیری، آنتن و GPS نصب شده و یک عدد دوربین با قابلیت تصویربرداری
- رایانه جهت پردازش اطلاعات ثبت شده به همراه نرم افزار مربوطه
- تضعیف کننده ی Promax: 7 dB + 10 dB (17 dB) (ایستگاه پر قدرت تلویزیونی و توان تشعشع بالا و RF Sensitivity پایین دستگاه اندازه گیری)
- دستگاه اندازه گیری FSM-2017 به همراه آنتن تمام جهت ساخت شرکت فنون داده پروری بسامد با مشخصات فنی زیر:

Input frequency	AM : 510 ~ 1710 KHz
	FM : 88 ~ 108 MHz
RF sensitivity	AM : 30 dBuV
	FM : 10 dBuV
Harmonic distortion	THD+N < 0.2 %
Internal antenna	AM Air Loop Antenna
External antenna	BNC, AM/FM
Audio output	Electronic balanced, male XLR connector
Weight	3 Kg (without brief case and accessories)
Measuring parameters	Field strength ,RSSI, SNR, Frequency Offset, Modulation Index, Frequency Deviation, Adjacent Channel RSSI, GPS Position, FM Multipath, and UTC Time
Accessories	Brief case, FM antenna, GPS antenna, battery charger, MicroSD memory card, Card reader, and User manual



شکل ۲۳: مشخصات فنی و دستگاه اندازه گیر

روش اندازه گیری

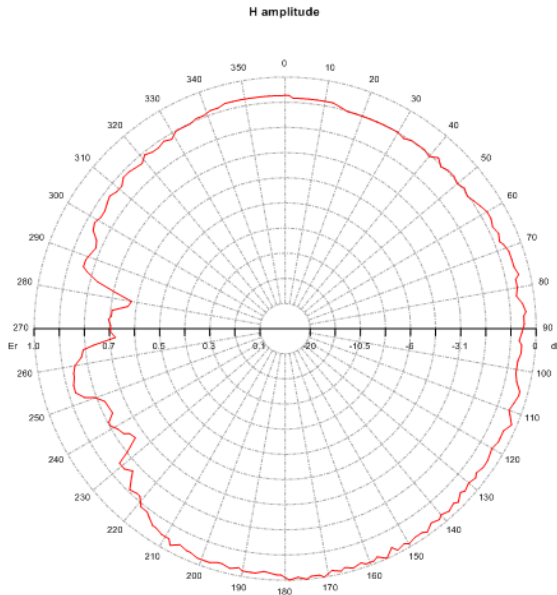
- (۱) بدلیل Remote نبودن دستگاه اندازه گیری ، بایستی اندازه گیری در چند مرحله پروازی جدا انجام می گردید.
- (۲) بدلیل مشکلات و محدودیت پروازی، از پرواز انتشاری صرف نظر گردیده و یک نقطه در فاصله ۴۰۰ – ۵۰۰ متری دکل و در جهت تقریبی بیم اصلی سیستم آنتن بعنوان نقطه پرواز عمودی در نظر گرفته شد.
- (۳) پرواز عمودی در فاصله $\pm 5^\circ$ از مرکز تقریبی سیستم آنتن انجام شد که بدلیل مشکلات پرنده سرعت پرواز عمودی قابل کنترل نبوده و نتیجه بدست آوردن ارتفاع تیل آنتن از دقت لازم برخوردار نبود.
- (۴) در نقطه ارتفاعی مشخص شده ، یک پرواز افقی دایروی با سرعت ثابت 4 m/s جهت اندازه گیری پترن افقی انجام گردید.

تحلیل نتایج

با استفاده از نرم افزار Google earth مرکز دکل به عنوان مرکز دایره ای که حول آن اندازه گیری صورت می پذیرد مشخص شد و در مرحله بعد با توجه به اینکه پهپاد در مداری به مرکزیت خود حرکت می کند، با استفاده از رابطه معکوسی که بین شدت میدان و فاصله وجود دارد، مقادیر اندازه گیری شده به مرکز دکل نرمال شد:

$$E \propto 1/r^2$$

لذا با استفاده از نرمال سازی مرکز دکل به ماکزیمم مقدار شدت میدان اندازه گیری در نرم افزار Emlab پترن افقی (H) سیستم آنتن ها رسم گردید (شکل ۲۵).



شکل ۲۵ - پترن افقی اندازه گیری شده

مشکلات و چالش ها

این روش اندازه گیری بدلیل صرف هزینه و زمان کم، جهت ارزیابی عملکرد صحیح مجموعه ورودی، فرستنده، کمباینرها و فیدرها و در نهایت سیستم آنتن، روشی نوین و پیشرفته بوده و در صورت استفاده از تجهیزات حرفه ای، قابلیت اطمینان بالایی ایجاد خواهد کرد. اجزای اصلی این

سیستم اندازه گیری که پهپاد، دستگاه اندازه گیری و آنتن دریافت و حتی کابل ها و رابط های مربوطه می باشند، از اهمیت بسیار بالایی برخوردارند. در مورد پهپاد نکات زیر حائز اهمیت هستند:

- امکان پرواز در فواصل دور و کنترل در شرایط جوی ایستگاه های مرتفع تلویزیونی به همراه ثبت موقعیت جغرافیایی همزمان، تنظیم دقیق سرعت افقی و عمودی، امکان تصویربرداری، امکان حمل بار (تجهیزات اندازه گیری و آنتن و ...)، مدت زمان پرواز تا حد ممکن بالا پس از یکبار شارژ کامل باتری ها و....
- آموزش اپراتور پهپاد و آشنایی وی با ماهیت اندازه گیری و عملکرد پهپاد جهت اندازه گیری پترن و بهره برداری صحیح از آن و آشنایی با تاثیر عواملی مثل سرعت حرکت، ارتفاع، فاصله با ایستگاه و .. در کنار عوامل امنیتی محدود کننده اپراتور در مورد دستگاه اندازه گیری نکات زیر حائز اهمیت هستند:
- دقت اندازه گیری و Dynamic Range بالا به دلیل شدت میدان بالا در فواصل نزدیک به دکل، وزن و ابعاد کم، سرعت اندازه گیری مناسب با پرواز
- آنتن دریافت استاندارد با مشخصات تشعشی و پاسخ فرکانسی معین در فرکانس های مختلف و قابلیت نصب آسان در حالت افقی و عمودی (آنتن جهتی ارجح است) و اجتناب از انعکاس

زمین

- قابلیت ارسال Remote داده (موقعیت مکانی، ارتفاع، شدت میدان) به رایانه و نرم افزار تحلیل داده ها
- اجتناب از تشعشعات محیطی مزاحم در ایستگاه تا حد ممکن (خاموش کردن سایر سیستم های تشعشعی)

۱۴- نتیجه گیری

در این سند به مراحل اندازه گیری پترن ایستگاه های برودکست پرداخته شده است. توجه به ملزومات دستگاه های اندازه گیری، پرنده مورد نیاز، نرم افزارهای تحلیلی داده و شیوه نامه اندازه گیری پترن تشریح شده در سند پیش نیاز ورود به بحث اندازه گیری پترن ایستگاه های برودکست می باشد. در نظر گرفتن چالش ها و مشکلات عملیاتی ذکر شده در بخش آخر نقش بسیار موثری در شناخت امکانات مورد نیاز و تصحیح فرایند اندازه گیری پترن خواهد داشت.

منابع

- [1]. ITU Report ITU-R SM.2056-1 (06/2014), "Airborne verification of antenna patterns of broadcasting stations"
- [2]. EMC Paper," Airborne evaluation/verification of antenna patterns of broadcasting stations", Ben Witvliet, Radiocommunications Agency Netherlands, 2014.
- [3]. IEEE paper,"Antenna pattern verification for Digital TV Broadcast systems in Andean countries based on UAV's", Andrés Navarro Cadavid & et al. IEEE Access 2020
- [4]. Radiocommunications Sector of ITU, "Recommendation ITU-R BS.1195-1 Transmitting antenna characteristics at VHF and UHF," 2013
- [5]. J. Schreiber, «Antenna pattern reconstitution using unmanned aerial vehicles (UAVs),» de IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA), Syracuse, NY, USA, 2016
- [6]. IDEAM -Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, «Atlas de Viento de Colombia,» [En línea]



معاونت توسعه و فناوری رسانه
اداره کل نظارت و ارزیابی فنی