آنتن‌های آرایه‌ای فازی

نویسنده: سیده مهسا سرائی-msaraee72@yahoo.com

چکیده: آرایه فازی، بر اساس جمع آثار امواج ارسال شده توسط مجموعه‌ای از آنتن‌ها می‌باشد. رفتار الگوی تابش آنتن، وابسته به چیدمان آنتن‌ها و میزان شیفت فاز در فیدر هر آنتن است. از ویژگی‌های آنتن‌های آرایه فازی امکان دستیابی به پترن‌های دایرکتیو (لوب اصلی باریک) و تغییر جهت لوب اصلی آنتن است. این امکان در رادارهایی که آنتن قادر به حرکت‌های مکانیکی نمی‌باشد، امکان اسکن کردن محیط وسیعی را فراهم می‌آورد. در فرکانس‌های بالا، برای اکثر انواع آنتن‌ها، الگوی تابش آنتن‌ها به شکل ایزوتروپیک نزدیک می‌گردد. برای حصول الگوهای تابش دایرکتیو، آرایه فازی نمودن، برای طیف وسیعی از انواع آنتن‌ها مفید است.

کلیدواژه: آرایه، آنتن آرایه‌ای فازی، رادار

۱- مقدمه

اغلب نیاز است جهت پرتوی اصلی یک آنتن با زمان تغییر کند، که از آن به‌عنوان اسکن کردن یاد می‌شود. فرایند اسکن می‌تواند به‌صورت مکانیکی یا الکترونیکی انجام پذیرد. اسکن مکانیکی با چرخاندن کل آنتن به دست می‌آید، که برای هر نوع آنتنی انجام-پذیر است ولی اغلب بیشتر برای آنتن‌های بازتابنده و آرایه‌ای فاز-ثابت استفاده می‌شود. بااین‌حال، اسکن مکانیکی به یک سیستم مکانی نیازمند است که می‌تواند بزرگ و پرهزینه باشد، و این نوع اسکن اغلب بسیار آهسته است. جایگزین آن آنتن‌های آرایه‌ای فازی است، و آرایه‌ای است که فاز (یا تأخیر زمانی) آن در هر المان کنترل می‌شود تا پترن را در فضای زاویه‌ای هدایت کند. مزایای آرایه‌ای فازی شامل سرعت الکترونیکی، قابلیت اسکن با اینرسی کم و توانایی رهگیری هم‌زمان چند هدف است. به‌طور کل دامنه و فاز المان‌ها می‌تواند برای دستیابی به گلبرگ‌های کناری کم و شکل‌دهی پرتو اصلی استفاده شود [۱].

زمانی که آنتن‌های آرایه‌ای فازی نسبت ساده بودند، زیرمجمع‌های[۱] آنتن به آسانی مشخص می‌شدند با عنوان شبکه های تغذیه، فازورها و پنجره تشعشعی. آنتن‌های آرایه‌ای فازی پیشرفته، در مقابل، بسیار پیچیده هستند و بسته به کاربرد طراحی و پیاده‌سازی فیزیکی متنوعی دارند. در مدل ساده این آنتن‌ها، شبکه تغذیه یک شبکه پسیوی از خطوط انتقال چند شاخه است تا توان را از یک فرستنده به هر المان تشعشعی ارائه توسط فازورها توزیع کند، و برعکس در گیرنده، توان دریافتی از هر المان تشعشعی در ورودی یک گیرنده ترکیب می‌کند. مدل پیشرفته این آنتن ها ممکن است دارای چندین فرستنده توزیع، چندین پیش تقویت‌کننده[۲] توزیع، چندین سوییچ داپلکس، و چندین پورت پرتو هم‌زمان باشد که هر یک گیرنده نهایی خود را دارد. علاوه بر این، آرایه‌های سازگار ممکن است لوپ کنترل توزیع سازگاری طی شبکه تغذیه با انجام میزان پردازش سیگنال قابل‌توجهی توسط آنتن داشته باشند[۲].

۱-۱- مشخصات و فرایند طراحی آنتن‌های آرایه‌ای فازی

مشخصات طراحی یک آنتن آرایه‌ای فازی معمولاً توسط کلیه نیازمندی‌های سیستم رادار تعیین می‌شود. این نیازها بر اساس نیازهای اجرایی رادار، نیازهای فیزیکی، نیازهای محیط عملیاتی، قابلیت تولید، قابلیت نگهداری و قابلیت اعتماد داده می‌شود. جزییات این نیازمندی‌ها در جدول شماره ۱ داده‌شده است.
مهندسین آنتن، روی سیستم آنتن کار می‌کنند و مهندسین مکانیک جهت برقراری مصالحه بین نیازها به مطالعه می‌پردازند تا مجموعه‌ای از مشخصات آنتن را ایجاد کنند که با حداقل هزینه تمامی نیازها را مرتفع سازد.

www.kahrobaonline.ir

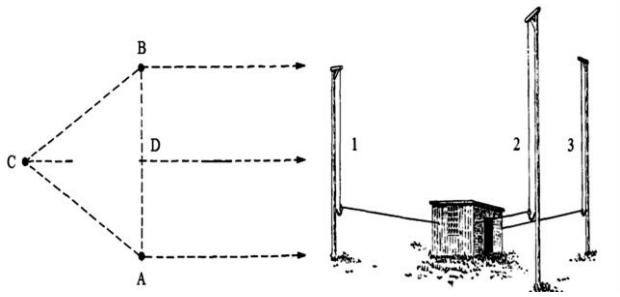
جدول ۱: نیازهای طراحی آنتن‌های آرایه‌ای فازی [۲]

۱- نیازهای اجرایی
پوشش اسکن فضایی
پهنای باند آنی و تنظیم‌پذیر
پهنای پرتو
بیشینه و میانگین سطح گلبرگ کناری
بهره آنتن
قطبش
بیشینه و میانگین توان
سرعت سوییچ پرتو
توان اصلی
تعداد پرتوهای هم‌زمان
شکل پرتو
۲- نیازهای فیزیکی
سایز
وزن
قابلیت حمل‌ونقل
قابلیت حرکت (پویایی) – زمان نصب و حرکت
۳- نیازهای محیطی
میزان دمای عملیاتی
بارهای شوک و لرزش
رطوبت، نمک، مه و قارچ
۴- قابلیت تولید، ماندگاری و اعتماد
هزینه (توان مالی)

بعدازاینکه نیازها مرتفع شد، گام بعدی فرمول‌بندی و کشیدن دیاگرام شماتیکی آنتن است که نشان‌دهنده زیرمجمع‌های عملی سیستم آنتن است. گام بعدی انتخاب المان‌های ارائه برای زیرمجمع‌های عملی متعدد است که نیازهای سیستم را با در نظر گرفتن اجرا و هزینه به بهترین نحو مرتفع می‌سازد. مرحله بعد، تحلیل خطا جهت تعیین تلورانس مجاز المان‌های موردنیاز آنتن است. این تلورانس‌ها به‌عنوان مشخصه‌های فیزیکی و اجرایی برای طراحی، توسعه، ساخت و آزمایش تأیید این المان‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد [۲].

۲- تاریخچه

اولین آنتن آرایه‌ای بیش از ۱۰۰ سال پیش‌ساخته شد. جهت افزایش سمت گرایی یک تک‌قطبی، براون[۳] از دو آنتن عمودی جداشده توسط نصف طول‌موج استفاده کرد و آن‌ها را خارج از فاز تغذیه کرد. هم‌چنین دی فورست[۴] با استفاده از آرایه‌ای از دو آنتن عمودی بهره را افزایش داد. برنده جایزه نوبل، فردیناند بران[۵] سه تک‌قطبی را به‌صورت مثلثی قرار داد (شکل ۱). سیگنال در آنتن C فاز ۱۰۰ درجه و دامنه‌ای دو برابر سیگنال‌ها در A و B با فاز صفر درجه دارا است.



شکل ۱: ارائه سه المانه بران [۳]

آرایه‌های اولیه ازنظر فیزیکی بزرگ و الکتریکی کوچک بودند. بنابراین، یک ارائه با چند المان به یک فضای وسیع نیازمند بود. مگنترون در سال ۱۹۲۰ تولید شد. در ابتدا تنها در فرکانس‌های پایین کار می‌کرد. در ۱۹۴۰، انگلستان از آن در توان‌های بالا و در فرکانس بالای ۱ GHz استفاده کرد. این توسعه منجر به آنتن‌هایی با رزولوشن بالا و رادارها در هواپیما و آنتن‌های آرایه‌ای با ابعاد بزرگ الکتریکی شد.

۲-۱- آرایه‌ها در جنگ جهانی دوم: ۱۹۳۷-۱۹۴۵

جنگ جهانی دوم کشورها را بر آن داشت تا به توسعه رادارها، که هواپیما و کشتی‌ها را در فاصله دور ردیابی می‌کرد، سرعت شگرفی بدهند. ازاین‌رو، انگلستان در اواخر دهه ۱۹۳۰، رادار دوپایه چین هوم[۶] را برای پدافند هوایی ساخت. ارائه فرستنده ۲۳/۱ MHz برج-هایی به ارتفاع ۱۰۷ m و فضایی به‌اندازه ۵۵ m بود. این برج‌ها هشت دوقطبی افقی برای ارائه اصلی و یک ارائه چهار - دوقطبی برای پوشش زوایای کم برای اهداف نزدیک داشت. در آوریل ۱۹۳۷، CH قادر بود هواپیماها را در ارتفاع ۱۶۰ m تشخیص دهد.

www.kahrobaonline.ir

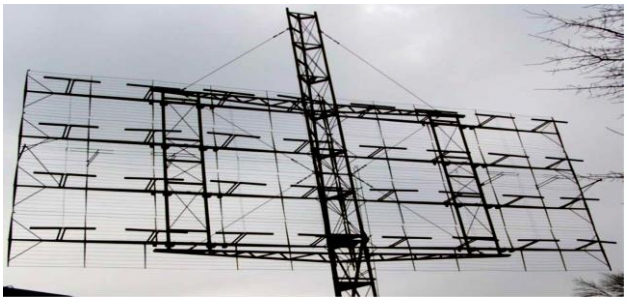


شکل ۲: ارائه CH [۳]

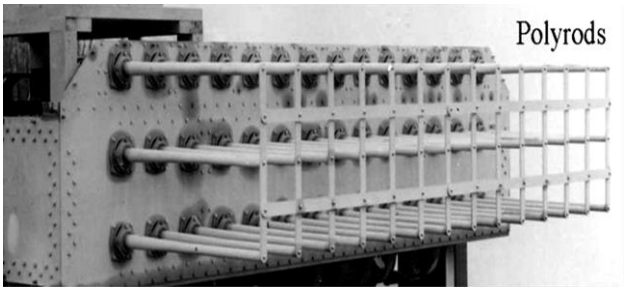
رادار آمریکایی SCR-270 (شکل ۳) واقع در هاوایی هواپیماهای تهاجمی ژاپنی را شناسایی می‌کرد. برخلاف CH، قادر به چرخش مکانیکی در صفحه آزیموث به‌اندازه ۳۶۰ درجه و در فرکانس‌های بالاتر بود. این رادار شامل چهار ردیف از هشت دوقطبی افقی بوده و در فرکانس ۱۱۰ MHz کار می‌کند.

در سال ۱۹۴۲، آزمایشگاه بل رادار کنترل آتش باند X با آنتن آرایه‌ای ۱۴ در ۳ ساخت (شکل ۴) که از شیفت فاز چرخنده سوییچ شده مکانیکی متصل به ستون‌ها برای اسکن در فضای آزیموث استفاده می‌کند.

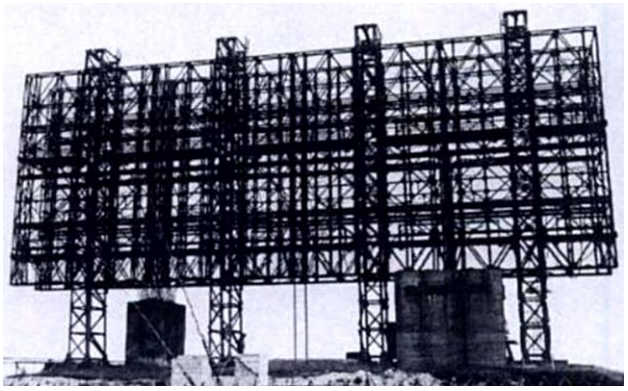
در سال ۱۹۴۴، آلمان‌ها رادار ماموت ۱ را برای ردیابی هواپیماها ساخت. ارائه هشت المانه ۲۵ m × ۱۰ m (شکل ۵) با استفاده از فاز شیفتر ستاره‌ای ۵۰± صفحه آزیموث را اسکن می‌کند. در همین سال دکتر هانس رینفلایش از آلمان اولین ارائه وولنوبر در دانمارک را ساخت. ۴۰ المان تشعشعی عمودی داشت، که بر یک دایره به قطر ۱۲۰m قرارگرفته و ۴۰ المان بازتابنده پشت المان‌های تشعشعی دور یک دایره به قطر ۱۱۲/۵m نصب‌شده است (شکل ۶).



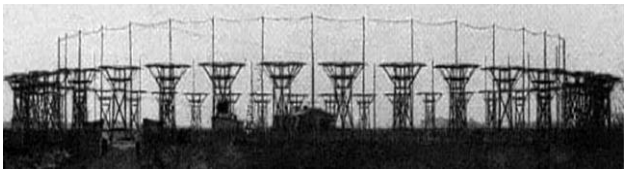
شکل ۳: آنتن آرایه‌ای SCR-270 [۳]



شکل ۴: رادار کنترل آتش باند X [۳]



شکل ۵: ارائه ماموت ۱ [۳]



شکل ۶: ارائه وولنوبر در سکیسبی، دانمارک [۳]

۲-۲- آرایه‌ها در عصر کامپیوتر:۱۹۴۶-۱۹۶۴

در اواسط ۱۹۵۰، کامپیوترهای دیجیتال به‌اندازه کافی برای کنترل رادار آرایه‌ای فازی و تحلیل آن قدرتمند شدند. در اواخر ۱۹۵۶، مرکز الکترونیک پیشرفته GE حذف‌کننده گلبرگ کناری را اختراع کرد. آن‌ها جهت حذف این گلبرگ‌ها، یک سیگنال مسدودکننده قوی در مسیر گلبرگ کناری آنتن بزرگ اصلی ارسال کردند. هاولز و اپلباوم، حلقه ربط[۷] را اختراع کرده و آن را به آنتن‌های آرایه‌ای اعمال کردند. این اولین آنتن سازگار با استفاده از حلقه سازگار بود. این نتایج تا دهه ۱۹۷۰ منتشر نشد. در اواخر دهه ۱۹۶۰، ویدروو با استفاده از الگوریتم حداقل میانگین مربعات (LMS) به نتایج مشابهی دست یافت. در دهه ۱۹۵۰، آنتن‌های لنزی برای

www.kahrobaonline.ir

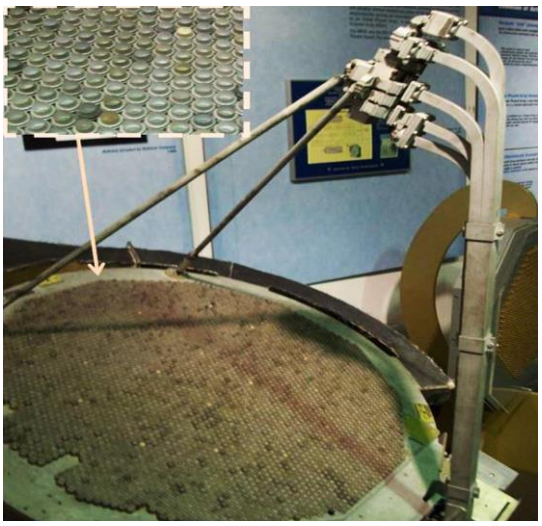
کاربردهایی که نیازمند پرتوهای متعدد بود موردتوجه قرار گرفت. آنتن متعلق به رادار Nike AJAX MPA-4 یک لنز موجبری ناحیه‌ای[۸] بود (شکل ۷).



شکل ۷: Nike AJAX MPA-4 [۳]

۲-۳- آرایه‌های حالت‌جامد: ۱۹۶۴ تا هم‌اکنون

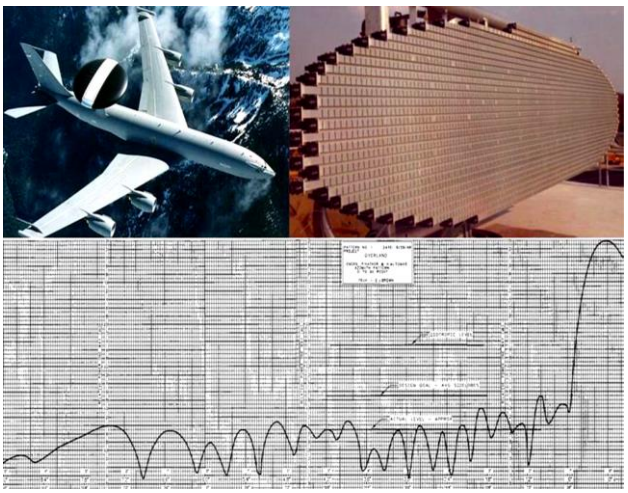
در ۱۹۶۹، رادار AN/APQ-140 از ارائه بازتابنده فرکانس رادیویی (RARF [۹]) توسط ریتئون ساخته شد. شکل ۸ سطح این ارائه را نشان می‌دهد که دارای ۳۵۰۰ ماژول سبقت فاز پسیو بوده که قادر است صفحه فراز و ازیموث را در بازه زاویه‌ای ۶۰± اسکن کند.



شکل ۸: RARF [۳]

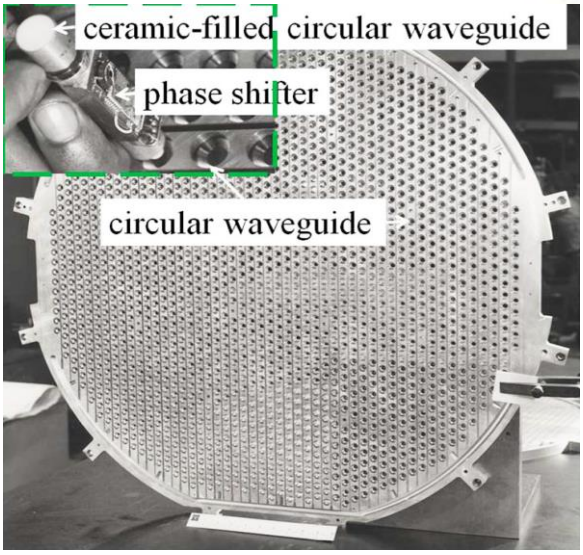
در دهه ۱۹۷۰، دو گروه المان آرایه‌ای مهم مسیرهای جدیدی را برای آرایه‌های فازی ایجاد کردند. پچ مایکرواستریپ یک المان باند باریکی بود که برای اولین بار توسط دشامپس در سال ۱۹۵۳ ارائه شد.

هشدار هواپیما و سیستم کنترل (AWACS [۱۰]) آرایه‌های صفحه-ای باند s در سال ۱۹۷۶ با ۴۰۰۰ شکاف بر روی صحنه حاضر شدند (شکل ۹). این ارائه در صفحه آزیموث می‌چرخد و با استفاده از ۲۸ فاز شیفتر فرریت به‌صورت الکترونیکی صفحه فراز را اسکن می‌کند. دستاورد شگفت‌آور طراحان در سطح گلبرگ کناری است: میانگین آن ۴۵dB- است.

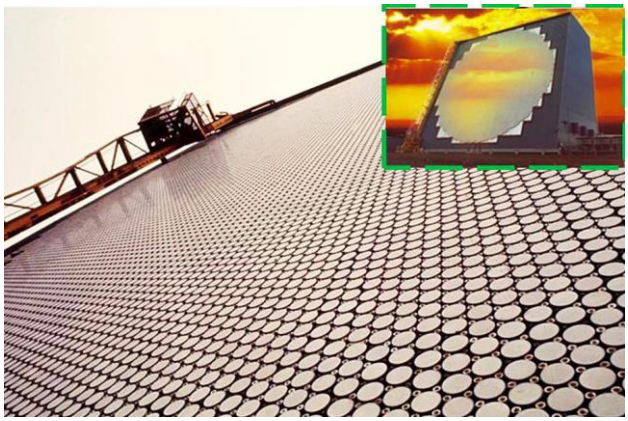


شکل ۹: ارائه AWACS [۳]

رادار الکترونیکی اجایل[۱۱] (EAR) در دهه ۱۹۷۰ برای سیستم‌های رادار هوابرد ایجاد شد. این رادار دارای ۱۸۱۸ المان موجبر دایروی متصل به فاز شیفترهایی است که پرتو را اسکن می‌کنند (شکل ۱۰). علاوه براین، در دهه ۱۹۷۰، ریفئون یک سری ارائه فازی بسیار بزرگ برای ردیابی موشک‌ها ساخت. اولین آن‌ها AN/FPS-108 COBRA DANE (شکل ۱۱) بود.

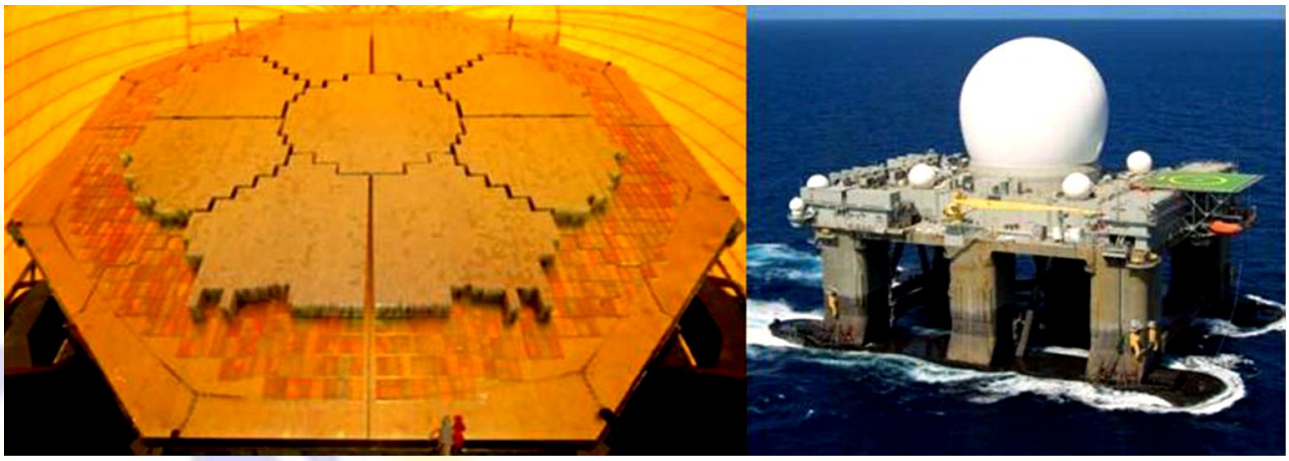


شکل ۱۰: EAR [۳]



شکل ۱۱: Cobra Dane [۳]

رادار پایگاه دریایی باند X (SBX) در سال ۲۰۰۶ کار خود را آغاز کرد و دارای ۲۲۰۰۰ ماژول T/R، توان تشعشعی ۱۲ MW است.



شکل۱۲: SBX [۳]

پنجره فعال m^2 ۲۸۴ ۳۶۰ درجه صفحه آزیموث و تقریباً ۹۰ درجه در صفحه فراز را پوشش می‌دهد (شکل ۱۲).

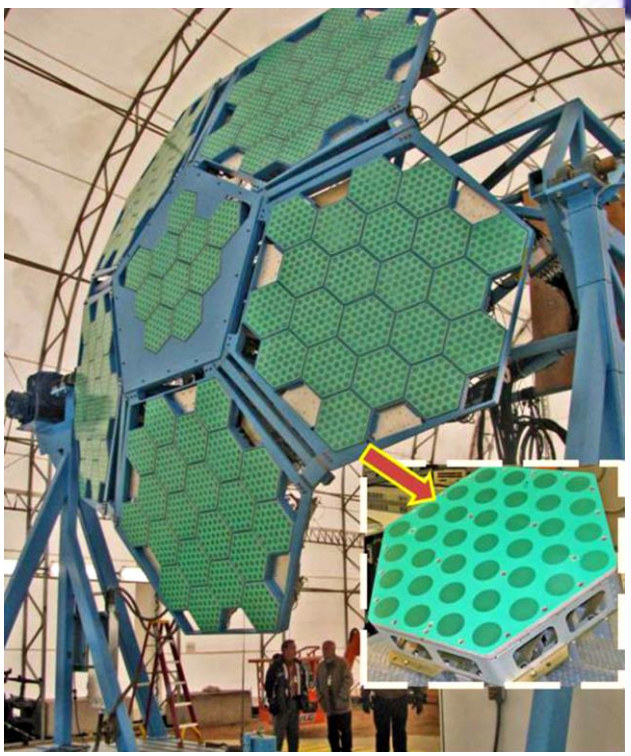
۲-۴- آرایه‌های نسل آینده

یکی از اهداف نهایی و مقدس آنتن‌های آرایه‌ای شکل‌دهی دیجیتال پرتو (DBF[۱۲]) است. DBF مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال را بر روی المان‌ها قرار می‌دهند. با توجه به اینکه سیگنال‌ها داده کامپیوتری بر المان‌ها هستند، تمامی شکل‌دهی پرتو به‌جای سخت‌افزار توسط نرم‌افزار انجام می‌شود.

ستاره‌شناسی رادیویی بر آن است تا آرایه‌ای فازی را بر روی ارائه Atacama (ALMA) پیاده کند. این ارائه شامل ۸۰ آنتن و در ارتفاع ۵۰۰۰ m بالاتر از سطح دریا است. این تلسکوپ رادیویی ۶۶ دیش سهموی ۱۲ و ۷ متری دارد که از ۳۱/۲۵ تا ۹۵۰ گیگاهرتز عمل می‌کند. تشخیص ارائه از ۲۵۰ m تا ۱۵ km امکان‌پذیر است.

یکی از راه‌های کاهش هزینه آرایه‌ای فازی قرار دادن کلیه آرایه‌ها بر روی یک برد دایروی چندلایه است. و تکنولوژی اخیر آرایه‌های صفحه‌ای در باند X هستند. سایز این قطعات با فرکانس به خاطر بسته‌بندی تغییر نمی‌کند، لذا باندهای مختلف مانند Ka ، K،Ku و Q را در یک سلول واحد نمی‌توان گنجاند.شکل ۱۳، یک بخش ۵ پنله از ارائه کروی با قطر ۱۰ m تخمین زده‌شده با پنل های صفحه‌ای را نشان می‌دهد. پنل پنج‌وجهی مرکزی دارای ۱۰ زیرآرایه شش‌وجهی است، درحالی‌که پنج پنل شش‌وجهی اطراف ۲۱ زیرآرایه شش‌وجهی دارد.

www.kahrobaonline.ir



شکل ۱۳: بخشی از ارائه کروی به قطر ۱۰ m تخمین زده‌شده با زیرآرایه‌های صفحه‌ای [۳]

تحقیقات اخیر بر روی آرایه‌ای فازی شامل موضوعاتی چون آرایه-های پهن باند، ماژول‌های T/R ارزان‌تر، آرایه‌های چند ورودی – چند خروجی، آرایه‌های تراهرتز، آرایه‌هایی با قابلیت پیکربندی مجدد، آرایه‌های توزیع و غیره است. آرایه‌های اسکن گسترده-پهنای باند وسیع بزرگ نیازمند واحدهای تأخیر زمان هستند، که بدین معنی است که آرایه‌های فازی به آرایه‌های زمانی تبدیل می-شوند [۳].

۳- انواع آنتن‌های آرایه‌ای فازی

۳-۱- ازنظر چیدمان

به‌طور کل، برای یک ارائه N المانه دلخواه، تمامی المان‌ها دارای تابع سمت یکسانی هستند. با توجه به اینکه المان‌های مختلف، مسیر انتشار r، و تأخیر فاز $e^{jk\hat{r}.r}$ متفاوتی دارند، بنابراین دامنه جریان تحریک و همین‌طور فاز تحریک $e^{j\alpha_n}$ متفاوتی نیز دارند. ازاین‌رو میدان الکترومغناطیسی یک آنتن آرایه‌ای به‌صورت زیر است:

$$E(R) = E_0 f(\theta,\varphi)\sum_{n=1}^{N} I_n e^{j\alpha_n + jk\hat{r}.r} \qquad (۱)$$

تابع سمت $D(\theta,\varphi)$ به شکل زیر به دست می‌آید:

$$D(\theta,\varphi) = |f(\theta,\varphi)||F(\theta,\varphi)| \qquad (۲)$$

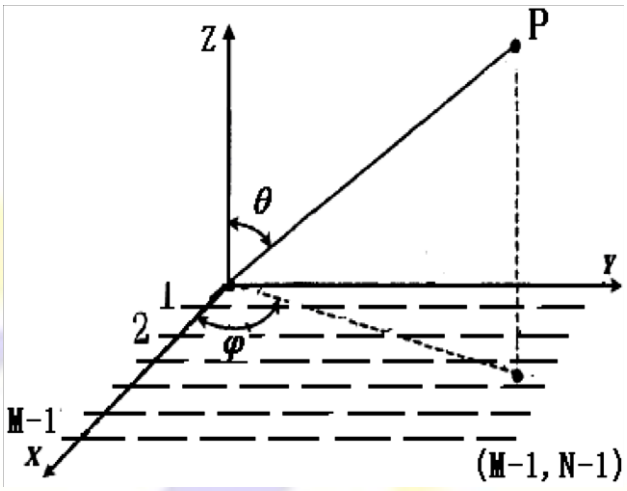
که $f(\theta,\varphi)$ معرف تابع سمت هر المان آنتن و $F(\theta,\varphi)$ فاکتور ارائه است.

$$F(\theta,\varphi) = \sum_{n=1}^{N} I_n e^{j\alpha_n + jk\hat{r}.r} \qquad (۳)$$

تابع سمت یک ارائه وابسته به موقعیت هر المان و دامنه و فاز جریان تحریک است. برای تسهیل در محاسبات، فرض می‌شود که پترن تشعشعی هر المان آنتن آرایه‌ای ایزوتروپیک است؛ لذا $f(\theta,\varphi) = 1$. بنابراین جهت یک ارائه تنها با فاکتور ارائه آن تعیین می‌شود.

آنتن‌های آرایه‌ای فازی را می‌توان به‌صورت یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی طراحی کرد. شکل ۱۴، یک ارائه دوبعدی را نشان می‌دهد. ارائه دوبعدی یک ماتریس N×M المان بوده که هر المان آن دارای دامنه جریان یکسان و فاز آن بر اساس هر دسته در محور x و y افزایش یا کاهش می‌یابد. فاز جریان تحریک در راستای محور x، $\alpha = kd_x \sin\theta_s \cos\varphi_s$ و در راستای محور y، $\beta = kd_y \sin\theta_s \sin\varphi_s$ است. تابع سمت این ارائه به‌صورت زیر است:

$$F(\theta,\varphi) = \sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1} e^{jn(kd_y \sin\theta \sin\varphi - \beta)} e^{jm(kd_x \sin\theta \cos\varphi - \alpha)} \qquad (۴)$$



www.kahrobaonline.ir

- شکل ۱۴: آنتن آرایه‌ای صفحه‌ای [۴]

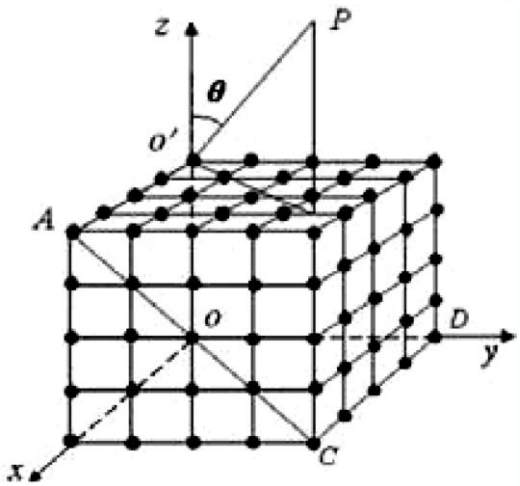
شکل ۱۵، آنتن آرایه‌ای سه‌بعدی را نشان می‌دهد. این نوع ارائه ازنظر عملکردی مشابه دوبعدی است و فاز متغیر و تابع سمت هر المان به‌صورت زیر است[۴]:

$$\alpha = kd_x \sin\theta_s \cos\varphi_s \qquad (۵)$$

$$\beta = kd_y \sin\theta_s \sin\varphi_s \qquad (۶)$$

$$\gamma = kd_z \cos\theta_s \qquad (۷)$$

$$F(\theta,\varphi) = \sum_{h=0}^{H-1}\sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1} e^{j(kd_{hz}\cos\theta-\gamma_h)} e^{j(kd_{ny}\sin\theta\sin\varphi-\beta_n)} e^{j(kd_{mx}\sin\theta\cos\varphi-\alpha_m)} \qquad (۸)$$



شکل ۱۵: آنتن آرایه‌ای سه‌بعدی [۴]

۳-۲- ازنظر شیفت فاز

- ارائه فازی ثابت

در ارائه فازی ثابت، مقدار شیفت فاز در فیدر هر المان، مقدار ثابتی داشته و در زمان طراحی و بسته به کاربرد و ویژگی‌های مطلوب کلی المان‌ها تعیین و طراحی می‌گردد. این دسته از آرایه‌های فازی در آنتن‌هایی با سمت گرایی بالا با امکان حرکت مکانیکی، مطلوب می‌باشد.

ارائه فازی پویا

در ارائه فازی پویا، میزان تأخیرها در فیدر هر المان، قابل انتخاب می‌باشد. این دسته از آرایه‌های فازی، امکان تغییر جهت گلبرگ اصلی و شکل انتشار امواج با تغییر در تأخیر فیدرها امکان‌پذیر می‌باشد. این دسته از آنتن‌ها در سیستم‌های راداری هواپیماها کاربرد گسترده‌ای دارد. هزینه طراحی این سیستم‌ها نسبت به تمام انواع دیگر، بیشتر می‌باشد.

۳-۳- ازنظر تقویت‌کننده

آرایه فازی پسیو

در ارائه فازی پسیو، از یک تقویت‌کننده بزرگ برای تأمین توان همه فیدرها استفاده می‌شود. در این حالت پس از دریافت امواج توسط المان‌ها باید برای هر المان شیفت اولیه حذف شود.

ارائه فازی اکتیو

در ارائه فازی اکتیو، به ازای هر المان آنتن، یک تقویت‌کننده کوچک وجود دارد که به‌صورت یکپارچه با المان طراحی می‌شود. در نتیجه امکان کنترل توان خروجی برای هر المان به‌صورت جداگانه فراهم می‌شود. در این حالت پس از دریافت امواج توسط المان‌ها نیازی به حذف کردن شیفت اولیه‌ای که در حالت ارسال ایجادشده نیست. زیرا خروجی هرکدام به‌صورت جداگانه قابل‌اندازه‌گیری است[۵].

۴- کاربردها

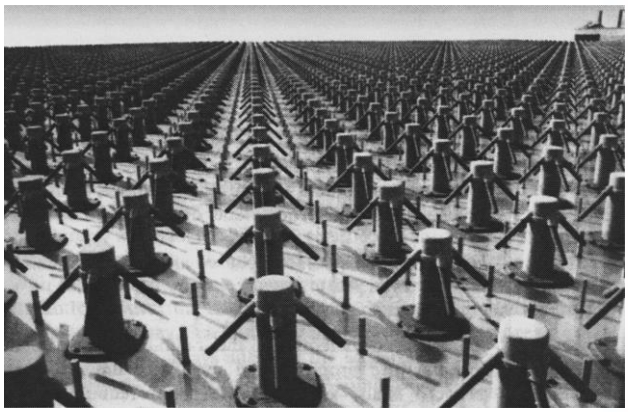
نظریه ارائه فازی کاربرد وسیع و چشم‌گیری در صنایع ارتباطی، نظامی، نوری و غیره دارد. در این بخش به‌طور مختصر به چند مورد از کاربردهای مهم آن اشاره می‌شود.

۴-۱-رادار

یک ابتکار بدیع و نو در دهه ۱۹۵۰ منجر به استفاده از المان‌های آنتن آرایه‌ای فازی الکترونیکی سریع شد تا پرتو رادار به‌صورت منعطف و با سرعت الکترونیکی گردش کند. آزمایشگاه لینکولن از اواخر دهه ۱۹۵۰ در جهت توسعه تکنولوژی رادارهای آرایه‌ای فازی آغاز به کارکرد [۶]. اگر المان‌های یک ارائه فازی در فاز به یکدیگر متصل شوند، پرتوی نهایی در امتداد محور پنجره است. هنگامی‌که

www.kahrobaonline.ir

این ارائه فازی در دو بعد اعمال شود، پرتو قادر به گردش خواهد بود. بیشتر جنگنده‌های آمریکایی مثل F-18 از چنین آرایه‌ای واقع در نوک هواپیما استفاده می‌کنند. رادار دماغه B-1B شامل ارائه فازی گردشی باند X بوده که برای جهت‌یابی، کاوش و نفوذ، تحویل اسلحه و سوخت‌گیری مورداستفاده قرار می‌گیرد. رادار AN/APY-1 باند S قسمتی از E-3A AWACS می‌باشد. E-3A برای هشدار هوایی و کنترل تسلیحات هوایی در جنگ طراحی‌شده است. و به‌طور بخصوص، این رادار قادر است هواپیماهایی که در ارتفاع کم پرواز می‌کنند و رادارهای زمینی قارد به تشخصی آن‌ها نیستند را ردیابی کند. سیستم آرایه‌ای فازی PAVE PAWS شامل دو ارائه فازی، هریک با پوشش ۱۲۰° در صفحه سمت است. این سیستم قادر به ارسال هشدارهای اولیه حملات، توسط موشک های بالستیک زیردریایی و کمک به ردیابی ماهواره های باند UHF است (شکل ۱۶) [۷].



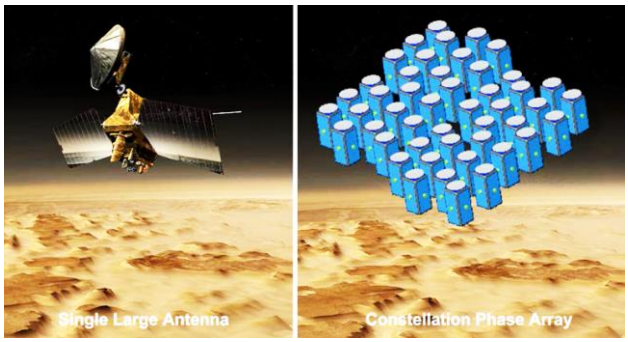
شکل ۱۶: المان‌های آنتن سیستم رادار PAVE PAWS [۷]

۴-۲-ارتباطات بی سیم موبایل

نیاز به سرویس‌های ارتباطاتی بی‌سیم موبایل با نرخ سرسام‌آوری رو به رشد است. کاربرد آنتن‌های آرایه‌ای برای این سیستم‌ها جهت مقابله با مشکل محدودیت پهنای‌باند کانال پیشنهاد شد. در بسیاری از تحقیقات مشاهده شده است که استفاده مناسب از ارائه در سیستم ارتباطی موبایل، منجر به ارتقای عملکرد سیستم با افزایش ظرفیت کانال و بازده طیفی، گسترش رنج پوشش، ایجاد شکل پرتو مناسب، گردش پرتوهای متعدد برای ردیابی موبایل‌های متعدد و جبران الکترونیکی اعوجاج پنجره شده است. همچنین باعث کاهش محو شدن چندگانه، تداخل کانال‌ها، پیچیدگی سیستم و هزینه، نرخ خطای بیت (BER)[۱۳] شده است [۸].

۴-۳- ارتباطات بین فضاپیماهای متعدد

افزایش نیاز برای ارتباطات درون-فضایی و رهگیری نیازمند به ارتقا و توسعه‌ی سیستم‌های جدید جهت کنترل ترافیک است. ارتباطات پایگاه فضایی که تقویت‌کننده ماهواره‌های واقع در مکان‌های بحرانی مانند مدار جغرافیایی و نقاط لاگرانژ است، می‌تواند توانایی-های ارتباطات عمیق فضایی اخیر را جهت دستیابی به عمق بیشتر در فضا همراه با افزایش نرخ داده، تقویت کند و بالا ببرد. لذا به‌جای استفاده از ماهواره ارتباطی بزرگ، از چندین ماهواره کوچک استفاده می‌شود که با استفاده از ارائه فازی همانند یک ماهواره بزرگ واحد عمل می‌کند (شکل ۱۷). مزیت این شبکه این است که حتی اگر یک یا تعدادی از ماهواره‌ها خراب شوند، شبکه کماکان (همراه با کاهش عملکرد) به فعالیت خود ادامه می‌دهد[۹].



شکل ۱۷: استفاده از چندین ماهواره کوچک با استفاده از ارائه فازی به‌جای یک ماهواره بزرگ [۹]

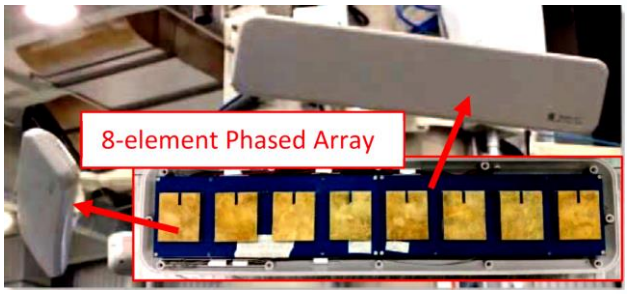
۴-۴- شناسایی فرکانس رادیویی (RFID)

تکنولوژی شناسایی فرکانس رادیویی به‌طور گسترده‌ای در تمام جهان گسترش‌یافته است و ردپای کاربردهای آن را در بسیاری از بخش‌های صنایع به خاطر کم‌هزینه و توانا بودن می‌توان یافت. با معرفی گیرنده‌های کم‌هزینه UHF RFID پسیو در باند فرکانسی UHF، رنج عملیاتی گیرنده‌های RFID تا مسافت بیش از ۱۰ متر وسعت یافت. در صورتی می‌توان از تمام ظرفیت این گیرنده‌ها استفاده کرد که روشی برای مکان‌یابی دقیق اشیا توسط RFID

www.kahrobaonline.ir

پیشنهاد شود. یکی از روش‌های پیاده شده بر روی سیستم مکان-یابی برپایه ارائه فازی همراه با مکانیسم گردش الکترونیکی پرتو است. اعمال این روش بر روی یک سیستم UHF RFID منجر به تعیین دقیق زاویه و مکان تگ‌های کوچک و پسیو RFID می‌شود [۱۰].

یک سیستم RFID مختص داخل مکان‌ها مبتنی بر زمان-حقیقی[۱۴] کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مدیریت بیمار در بیمارستان‌ها، مدیریت انبارهای بزرگ دارا است. این سیستم ردیابی شامل سه قسمت سرور پشتی، ریدر و کنترل فرمان و اجسام مجهز به تگ RFID است. هر ریدر این سیستم زمان-حقیقی مجهز به یک آنتن آرایه‌ای فازی دارای ۸ المان بوده که پهنای پرتو ۳-dB آن حدود ۱۰° است. ارائه فازی زاویه سیگنال‌های ورودی را تشخیص داده و اطلاعات زاویه را توسط یک شبکه Wi-Fi به سرور بازمی‌گرداند. با داشتن اطلاعات زاویه و اطلاعات مربوط به هماهنگ‌کننده ریدر، موقعیت دقیق اجسام دارای تگ قابل‌تشخیص و پیدا کردن است [۱۱].



شکل ۱۸: ریدر دارای ارائه فازی ۸ المانه [۱۱]

۵-۴- نور

فرستنده و گیرنده‌های ارائه فازی گردشی الکترونیکی در رنج موج میکرو و میلی به‌طور گسترده‌ای در سیستم‌های رادار مورداستفاده قرارگرفته است و منجر شده است کنترل الکترونیک سریع آن بتواند اجسام سریع متعدد را در حال حرکت ردیابی کند. اخیراً فرستنده و گیرنده‌های ارائه فازی کوچک فرکانس بالا موضوع موردعلاقه‌ای برای دامنه[۱۵]، تصویربرداری، و برقراری ارتباط مستقیم در فرکانس موجی میکرو، میلی و تراهرتز شده است. ارائه فازی نوری (OPA) بر اساس همین قاعده اما در طول‌موج بسیار کوچک‌تر چشم‌انداز امیدبخشی برای دامنه، ارتباطات، نمایش تصویر، شبکه جعبه سوییچ نوری و ارتباط نوری فضای آزاد دارد. با توجه به اینکه طول‌موج نوری بسیار کوچک‌تر از همتای RF خود است، تعداد المان بیشتری را می‌توان روی یک چیپ کوچک‌تر سوار کرد. پیشرفت‌های اخیر نشان داده است که ساخت و پیاده‌سازی OPAهای مجتمع در سایز میکرو و بر پایه سیلیکون امکان‌پذیر است. گردش پرتو را می‌توان با استفاده از شیفتر فاز ترمواپتیک به دست آورد به‌گونه‌ای که تأخیر هر مسیر از طریق تغییر شاخص حرارتی تغییر می‌کند[۱۲].

پلتفرم‌های فوتونیک سیلیکونی مجتمع باعث شده است تا بتوان سیستم‌های نوری پیچیده را بر روی یک چیپ سوار کرد. اخیراً، فرستنده هاید آرایه فازی نوری مجتمع قابل‌برنامه‌ریزی برای کاربردهایی چون سیستم‌های نورافکنی بدون لنز[۱۶] به تصویر کشیده شده‌اند. به‌طور مشابه، یک گیرنده ارائه فازی می‌تواند به‌گونه‌ای ساخته شود که بتواند نور دریافتی از یک زاویه به‌خصوص را ردیابی کند. در چنین گیرنده‌ای، سیگنال از هر المان گیرنده به‌طور سازنده‌ای به نوری که از زاویه مطلوب دریافت شده اضافه می‌گردد. سایر نورهای دریافتی از زوایای دیگر توسط ارائه حذف می‌شوند. یک ارائه فازی قابل‌برنامه‌ریزی امکان گردش این زاویه مشاهده و تولید یک تصویر با نگاه کردن در زوایای مختلف را می-دهد. مزیت این روش برای تصویربرداری عدم نیاز به لنز است؛ که منجر به یک دوربین با میدان دید وسیع (FOV) و پروفایل بسیار باریک می‌شود[۱۳].

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی بر آن شد تا شرح مختصر و مفیدی از آنتن‌های آرایه فازی ارائه شود. پس از تعریف مختصری از این آنتن‌ها به‌مرور تاریخچه ظهور این تکنولوژی پرداخته شد. سپس انواع آن ازنظر چیدمان، شیفت فاز و تقویت‌کننده موردبررسی قرار گرفت و در بخش آخر نمونه‌ای از کاربردهای این دست آرایه‌ها در زمینه‌های رادار، موبایل، ارتباطات بین فضاپیماها، RFID و نور معرفی شد.

1- Subassemblies
2- Preamplifier
3- Brown
4- De Forest
5- Fredinand Braun
6- Chain Home (CH)
7- Correlation loop

www.kahrobaonline.ir

8- Zoned Waveguide lens
9- Reflected Array Radio Frequency
10- Airborne warning and control system
11- Agile
12- Digital Beam forming
13- Bit Error Rate
14- Real-time
15- Ranging
16- Lens-Free Projection

مراجع

[1] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna theory and design*, John Wiley & Sons, 2013.

[2] C. A. Balanis, *Antenna handbook, theory, application, and design*, Springer Science + Business Media, LLC, 1988.

[3] R. L. Haupt and Y. Rahmat-Samii, "Antenna array development: a perspective on the past, present and future," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 57, no. 1, pp. 1-11, 2015.

[4] Z. Yan-Qiu and P. Zong, "Three-dimensional phased array antenna analysis and simulation," *IEEE*, pp. 538-542, 2009.

[5] www. wikipedia.com

[6] A. J. Fenn, D. H. Temme, W. P. Delaney and W. E. Courtney, "The development of a phased-array radar technology," *Lincoln Laboratory*, vol. 12, no. 2, pp. 321-340, 2000.

[7] "Systems and applications," in *Advanced array systems, applications and RF technologies*, pp. 1-110.

[8] L. C. Godara, "Applications of antenna array to mobile communications, part I: performance improvment, feasibility, and system considerations," *IEEE*, vol. 85, no. 7, pp. 1031-1060, July 1997.

[9] A. Ravindran, R. T. Nallapu, A. Warren, A. Babuscia, J. Vazco and J. Thangavelautham, "An experimental platform for multi-spacecraft phase-array communications".

[10] R. Kroberger, T. Knie, R. Leonardi, U. Dettmar, M. Cremer and S. Azzouzi, "UHF RFID localization system based on a phased array antenna," *IEEE*, pp. 525-528, 2011.

[11] D. Wei, W. Hung and K.-L. Wu, "A real time RFID locationing system using phased array antennas for warehouse management," *IEEE*, pp. 1153-1154, 2016.

[12] B. Abiri, F. Aflatouni, A. Rekhi and A. Hajimiri, "Electronic two-dimensional beam steering for integrated optical phased arrays," *Optical Society of America*, 2014.

[13] R. Fatemi, B. Abiri and A. Hajimiri, "A one-dimensional heterodyne lens-free OPA camera," 2016.