

شبیه سازی عملکرد آنتن های هوشمند .

پیام حبیبی

دانشجوی کارشناسی الکترونیک_ دانشگاه گیلان

Email: payamhabiby@yahoo.com

حسن کریمی

دانشجوی کارشناسی الکترونیک_ دانشگاه گیلان

Email: hassan_karimi@yahoo.com

چکیده - آنتن های تطبیقی به دسته ای از آنتن های هوشمند گفته می شود که می توانند به صورت پویا محیط RF را بازبینی کرده و الگوی تابش خود را مطابق آن تغییر دهند طوری که همواره بیشترین گین را در راستای سیگنال مطلوب و کمترین گین را در راستای سیگنال تداخل داشته باشند. این مقاله ابتدا به تحلیل شیوه ی عملکرد این آنتن ها پرداخته است. سپس روابط موجود، جهت شبیه سازی الگوی تابش آنتن برای دو سیگنال ارسالی که هر کدام دارای سه مولفه ی $multipath$ هستند به کار گرفته شده اند.

کلید واژه- آنتن تطبیقی ، الگوی تابش ، $multipath$ ، وزن دهی

می شوند. روند ترکیب سیگنال های المان های مختلف beamforming نامیده می شود. به راستایی که در آن آنتن دارای پاسخ ماکزیمم است راستای اشاره beam گفته می شود. وقتی سیگنال ها بدون هیچ گونه تغییر فاز یا گین ترکیب شوند راستای اشاره ی beam عمود بر خط واصل تمام المان های آرایه است. با تنظیم اختلاف فاز بین آنتن های مختلف می توان جهت اشاره ی beam را تعیین کرد. گین آرایه برابر است با مجموع گین تک تک آنتن ها .

1-3- الگوی توان

به نمودار پاسخ آرایه به عنوان تابعی از زاویه، الگوی آنتن یا الگوی آرایه گفته می شود. این نمودار نشان دهنده ی توان دریافتی ناشی از یک منبع توان واحد در یک راستای خاص در خروجی آرایه است . الگوی توان یک آرایه خطی متساوی الفاصله ی 10 المانی در شکل (1) نشان داده شده است . زاویه نسبت به راستای آرایه سنجیده شده است. راستای اشاره ی beam با راستای آرایه یک زاویه ی 90 درجه می سازد. این الگو طوری نرمالیزه شده است که ماکزیمم گین آرایه در راستای اشاره ی beam برابر واحد شود. الگوی توان در دو طرف راستای اشاره ی beam به یک مقدار کم افت

1- مفاهیم اولیه

1-1- گین آنتن

آنتن های همه جهته مقادیر یکسانی از توان را در تمام جهات تابش می کنند. این آنتن ها که به نام ایزوتروپیک نیز شناخته می شوند در تمام جهات گین یکسانی دارند. از سوی دیگر آنتن های جهت دار هستند که در بعضی راستا ها گین بیشتر و در بعضی راستا ها گین کمتری دارند. راستایی که در آن آنتن بیشترین گین را دارد تراز آنتن یا boresight نامیده می شود. در یک آنتن گیرنده ، اصطلاح گین به معنی مقدار انرژی است که آنتن در مقایسه با یک آنتن همه جهته به گیرنده تحویل می دهد.

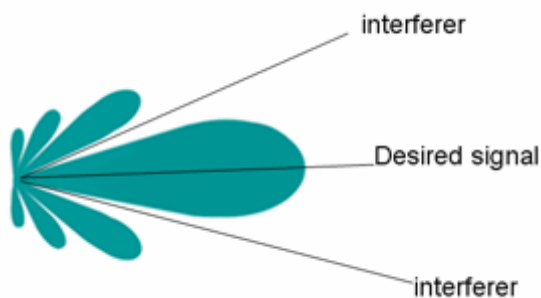
1-2- آنتن آرایه فازی

یک آنتن آرایه فازی از آرایه ای از آنتن ها استفاده می کند. هر آنتن تشکیل دهنده ی آرایه به عنوان یک المان آرایه شناخته می شود. سیگنال های القا شده بر المان های مختلف برای تشکیل یک خروجی واحد آرایه با هم ترکیب

2- آنتن تطبیقی

1-2- استراتژی عملکرد آنتن تطبیقی

اصطلاح آنتن تطبیقی به یک آرایه فازی گفته می شود که در آن وزن دهی المان ها به صورت پویا انجام گیرد. مقدار وزن دهی روی هر کانال در زمان طراحی تعیین نمی شود بلکه توسط سیستم در زمان پردازش سیگنال مشخص می شود. این آنتن ها با تطبیق یافتن با تغییرات محیط RF می توانند همواره الگوی سیگنال را طوری تغییر دهند که beam ها را به سمت سیگنال مطلوب و نال ها را به سمت سیگنال تداخل هدایت کنند [8]. این توانایی سبب می شود که کیفیت ارتباط همواره بالا باشد. این اثر به توانایی شنیدن انسان شباهت دارد. مغز انسان صدا را از هر دو گوش دریافت کرده و می تواند صدای مورد نظر را رهگیری کرده و روی آن متمرکز شود. شکل (2) الگوی تابش یک آنتن تطبیقی را نشان می دهد.



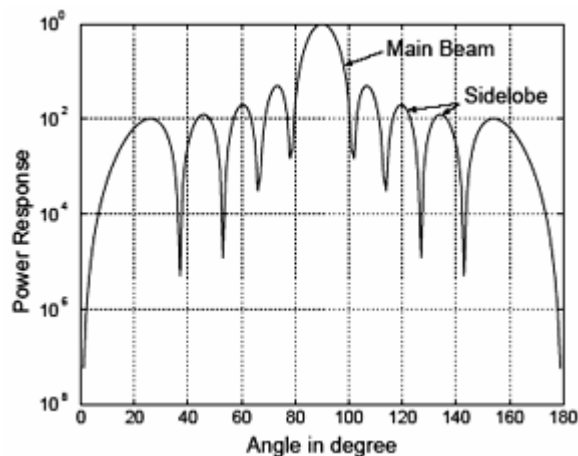
شکل 2: الگوی تابش آنتن تطبیقی. لوب اصلی در جهت سیگنال مطلوب و نال ها در جهت سیگنال های تداخل هدف گیری شده اند.

2-2- تحلیل روابط ابتدایی آنتن تطبیقی

برای پیاده سازی تحلیل آرایه های آنتنی فرض شده است که فاصله ی المان ها آن قدر کم باشد که دامنه ی سیگنال های دریافتی در المان های مختلف تغییر چندانی نکند. همچنین فرض شده است که هیچ گونه تزویج متقابلی بین المان های آنتن وجود ندارد و همیشه تعداد محدودی سیگنال به المان ها می رسد و سرانجام این که پهنای باند سیگنال رسیده در مقابل فرکانس حامل، کوچک است.

محیطی که شبیه سازی در آن انجام می گیرد محیطی با انتشار چند مسیره یا multipath است یعنی سیگنال نه تنها به صورت مستقیم (LOS) بلکه در اثر انعکاس ناشی از

پیدا می کند. به مکان این مقدار کم معمولاً یک نال گفته می شود. به بیان دقیق تر، نال نقطه ایست که پاسخ آرایه



شکل 1: الگوی توان یک آرایه خطی ده المانی با فواصل نیم موج [2]

صفر است. اما گاهی به اشتباه از این اصطلاح برای مقادیر کم الگو استفاده می شود. الگوی بین دو نال در هر دو طرف راستای اشاره ی beam، لوب اصلی نامیده می شود (همچنین beam اصلی یا به طور مختصر beam عرض beam اصلی بین دو نقطه ی نیم توان، عرض beam نیم توان نامیده می شود).

1-4- درجه آزادی

می توان گین و فاز اعمال شده به سیگنال به دست آمده از هر المان را به عنوان یک کمیت مختلط در نظر گرفت که وزن اعمالی به سیگنال نامیده می شود. اگر فقط یک المان وجود داشته باشد، هیچ مقدار وزن دهی نمی تواند الگوی آنتن را تغییر دهد. اما با دو المان، با تغییر وزن یک المان نسبت به دیگری، می توان الگو را مطابق مقدار مطلوب تنظیم کرد. یعنی می توان یک ماکزیمم و یک مینیمم را در هر جای الگو قرار داد. به همین ترتیب با سه المان، دو نقطه را می توان تعیین کرد و الی آخر. از این رو با یک آرایه ی M المانی می توان $M-1$ نقطه را تعیین کرد. که می تواند یک ماکزیمم در جهت سیگنال مطلوب و $M-2$ مینیمم (نال) در جهت تداخل های ناخواسته باشد تا اثر آن ها را خنثی کند. این قابلیت آرایه ی M المانی در تثبیت الگو در $M-1$ نقطه، به عنوان درجه آزادی آرایه شناخته می شود.

المان آنتنی m ام برابر است با :

$$r_m(t) = Au(t)e^{-j2\pi\left(\frac{m-1}{\lambda}\right)d \sin \theta} \quad (1)$$

در این رابطه A گینبی است که سیگنال تجربه می کند. و λ نماد طول موج است.

بنا بر این سیگنال خروجی آرایه برابر است با :

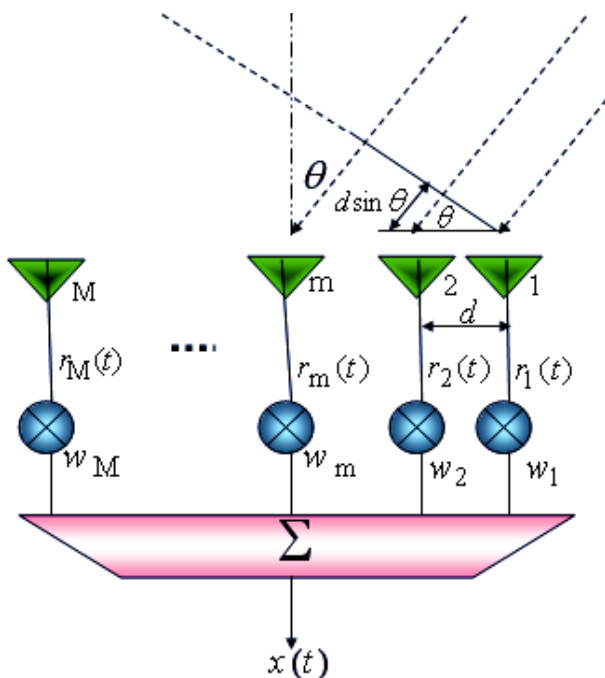
$$x(t) = \sum_{m=1}^M w_m r_m(t) \quad (2)$$

با جایگذاری رابطه ی (1) در رابطه ی (2) خواهیم داشت:

$$x(t) = Au(t) \sum_{m=1}^M w_m e^{-j2\pi\left(\frac{m-1}{\lambda}\right)d \sin \theta}$$

عبارت $(m-1)d \sin \theta$ بیانگر فاصله ی المان m ام با راستای DOA وارد بر مبدا است. اگر ضریب آرایه را به صورت زیر تعریف کنیم :

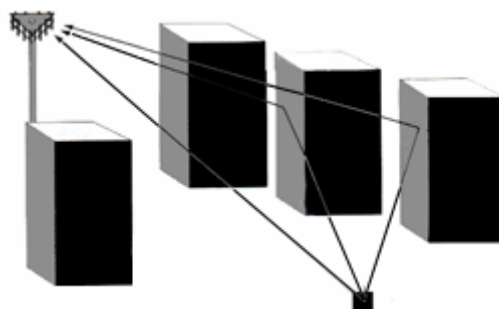
$$f(\theta) = \sum_{m=1}^M w_m e^{-j2\pi\left(\frac{m-1}{\lambda}\right)d \sin \theta} \quad (3)$$



شکل 4: آنتن آرایه ای M المانی و سیگنال های رسیده به آن.

در این صورت خواهیم داشت :

برخورد به موانع یا عللی دیگر به صورت غیر مستقیم نیز به آرایه می رسد. مولفه های multipath بر مبنای مسیری که طی می کنند با تاخیرهای زمانی خاص به آرایه می رسند که در شبیه سازی صورت گرفته ، این مقدار برابر دوره تناوب فرکانس حامل قرار داده شده است. شکل (3) مثالی از یک محیط انتشار سه مسیره را نشان می دهد.



شکل 3: یک سیگنال مستقیم با دو مولفه ی multipath [10].

آرایه آنتن ها می تواند به صورت خطی متساوی الفاصله یا همان LES باشد که در این مقاله، روابط بر اساس آن به دست آمده است یا می تواند آرایشی دو بعدی یا سه بعدی داشته باشد [11]. توانایی رفع تداخل، به تعداد تداخل کننده ها نسبت به تعدا المان های آنتن بستگی دارد.

فرض می کنیم که محور آرایه ی M المانی LES نشان داده شده در شکل (4) ، محور x بوده و محور عمود بر آرایه، محور Y و اولین المان روی مبدا باشد. برای سادگی فرض می کنیم که تمام مولفه های multipath ، در صفحه افقی به آرایه می رسند. راستای ورود که به اختصار DOA نامیده می شود به زاویه ای گفته می شود که سیگنال رسیده با محور Y ها می سازد. هر کدام از شاخه های آرایه یک عامل وزن دهی به مقدار مختلط w_m دارد .

فرض دیگر این است که تمام المان های آرایه ایزوتروپیک و بدون نویز بوده و گین یکنواختی در تمام راستا ها داشته باشند. فاصله ی d بین المان های آرایه ی LES نباید از $\frac{\lambda}{2}$ بیشتر شود (λ نماد طول موج است). تا از تقویت نویز و تداخل جلوگیری شود.

اگر $u(t)$ پوش مختلط باند پایه ی سیگنال فرودی باشد و فاز $u(t)$ در المان اول صفر باشد ، سیگنال دریافتی توسط

لوب انتخاب می شود. اگر قرار دهیم $\psi = 0$ آن گاه محل وقوع اولین نال به صورت زیر به دست می آید :

$$f(\theta) = 0 \Rightarrow C = 0 \Rightarrow \frac{m\pi d}{\lambda} \sin \theta = \pi$$

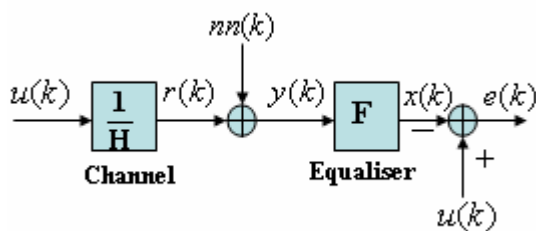
$$\Rightarrow \sin \theta = \frac{\lambda}{Md} \quad (10)$$

بنابر این مشاهده می شود که قابلیت کاهش تداخل آرایه با افزایش طول آرایه بهبود می یابد.

تا اینجا یک درک ابتدایی از آنتن تطبیقی به دست آمد. در ادامه الگوریتم به کار رفته در شبیه سازی جهت equalisation و حذف نویز و آثار کانال بررسی می شود.

3-2 Equalisation

وقتی چندین کاربر از یک فرکانس برای ارسال استفاده می کنند، سیگنال های ارسالی آن ها در گیرنده با هم جمع می شوند. اگر n کاربر مشغول ارسال روی یک فرکانس باشند، سیگنال دریافتی توسط هر المان دارای n مولفه خواهد بود. از آن جا که المان ها در موقعیت های فضایی متفاوتی قرار گرفته اند سیگنال دریافتی هر المان، ترکیبی متفاوت از این سیگنالها خواهد داشت که می تواند به صورت یک معادله n متغیره بیان شود [5]. به این دلیل که ضرایب متغیرهای معادله به علت تاثیرات کانال، مقداری نامشخص دارند، برای تعیین این ضرایب از یک الگوریتم خاص استفاده می شود. سیستم شکل (5) را در نظر می گیریم.



شکل 5: بلوک دیاگرام سیستم Equalisation

کانال مخابراتی را به صورت یک بلوک با تابع تبدیل $\frac{1}{H}$ مدل می کنیم. $u(k)$ سیگنال ارسال شده در لحظه k است. $y(k)$ سیگنال آمیخته به نویز رسیده به آرایه است و $e(k)$ سیگنال خطاست. Equaliser اثر نویز را در خروجی اش به حد اقل کاهش می دهد. حال اگر $F = H$ آن گاه

$$x(t) = Au(t)f(\theta) \quad (4)$$

ضریب آرایه، الگوی beam را با تعیین گین در جهت θ مشخص می کند.

تنظیم مجموعه وزن ها به این معنی است که انتخاب هر راستای دلخواهی به عنوان راستای گین بیشینه، امکان پذیر است. برای نشان دادن این موضوع فرض زیر را در نظر می گیریم:

$$w_m = e^{j2\pi\left(\frac{m-1}{\lambda}\right)d \sin \psi} \quad (5)$$

در این رابطه ψ زاویه ایست که لوب اصلی روی آن متمرکز می شود. با جاگذاری (5) در (3) داریم :

$$f(\theta) = \sum_{m=1}^M e^{-j2\pi\left(\frac{m-1}{\lambda}\right)d(\sin \theta - \sin \psi)}$$

می توانیم $f(\theta)$ را به صورت زیر بازنویسی کنیم [10] :

$$f(\theta) = \frac{C}{D} e^{-j2\pi\left(\frac{m-1}{\lambda}\right)d(\sin \theta - \sin \psi)} \quad (6)$$

که C و D به صورت زیر تعریف می شوند :

$$C = \sin \left[\left(\frac{2\pi m}{\lambda} \right) \left(\frac{d}{2} \right) (\sin \theta - \sin \psi) \right] \quad (7)$$

$$D = \sin \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \left(\frac{d}{2} \right) (\sin \theta - \sin \psi) \right] \quad (8)$$

از رابطه ی (6) این نتیجه حاصل می شود که :

$$|f(\theta)|^2 = \left(\frac{C}{D} \right)^2 \quad (9)$$

برای این که گین، ماکزیمم شود باید مقادیر C و D برابر شوند. پس گین در راستایی ماکزیمم است که رابطه ی زیر برقرار باشد:

$$\sin \theta = \sin \psi$$

توانایی آرایه ی LES برای کاهش تداخل، به الگوی beam بستگی دارد. یک راه ساده برای اندازه گیری این قابلیت، میزان باریکی لوب اصلی است که روی ψ متمرکز است. نال اول نسبت به مرکز لوب اصلی به عنوان معیار باریکی

اعمال یک سیگنال تداخل $nn(t)$ در المان های آنتن به این معناست که تمام نمونه ها ی هر مولفه ی multipath دریافتی ، تداخل یکسانی را تجربه می کنند. پس می توانیم بردار دیتای نویزی را به صورت زیر نشان دهیم:

$$\mathbf{y} = [y_1(t) \cdots y_M(t)]^T \quad (12)$$

که در آن

$$y_m(t) = r_m(t) + nn_m(t) \quad (13)$$

و حالا سیگنال دریافتی در m امین المان برابر است با :

$$r_m(t) = Au(t)e^{-j2\pi\left(\frac{m-1}{\lambda}\right)d\sin\theta} e^{-j2\pi f_c T} \quad (14)$$

که f_c فرکانس حامل سیگنال ارسالی و T زمان انتشار multipath خاص از فرستنده به گیرنده است.

اکنون خروجی آرایه می تواند به صورت زیر بیان شود :

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{w}^H \mathbf{y}(t) \quad (15)$$

هنگام استفاده از الگوریتم LMS ، مجموعه المان های وزن دهی ابتدا روی صفر ، ست می شوند. یعنی :

$$\mathbf{w}_0 = \mathbf{0} \quad (16)$$

با استفاده از رابطه ی (15) و مقایسه ی $x(t)$ با سیگنال از پیش شناخته شده ی $u(t)$ یک سیگنال خطا به دست می آید :

$$e(t) = x(t) - u(t) \quad (17)$$

سپس سیگنال خطا ی حاصل با استفاده از رابطه ی زیر بردار وزن را آپدیت می کند [5] :

$$\mathbf{w}(t+1) = \mathbf{w}(t) + \mu \mathbf{y}(t) e^*(t) \quad (18)$$

به μ پارامتر step-size گفته می شود.

3- شبیه سازی با MATLAB

در این شبیه سازی μ الگوریتم LMS روی 0.008 تنظیم شده. فرکانس حامل 400 MHz است. در شکل (6) راستای شعاع نمودار بیانگر وزن اعمالی به سیگنال و زوایای درج شده روی محیط دایره راستای DOA را نشان می

در خروجی Equaliser همان سیگنال ورودی را بازیابی خواهیم کرد. اما تابع تبدیل کانال ، ناشناخته است.

برای به دست آوردن ماتریس وزن صحیح ، نیاز به یک روند آموزش داریم. طی این روند هر کاربر یک سلسله سیگنال آموزش کوتاه منحصر به خود مثل $u(k)$ را ارسال می کند که برای آنتن ایستگاه ، شناخته شده است. از آن جا که سیستم می داند کاربر چه چیز ارسال کرده است ، الگوریتم تطبیقی می تواند با استفاده از روش تکرار از این اطلاعات جهت آپدیت کردن وزن ها استفاده کند تا جایی که خطای مربع میانگین بین سیگنال های ارسالی و گرفته شده مینیمم شود. بسته به الگوریتم مورد استفاده مکن است 50 تا 100 تکرار نیاز باشد. وقتی سیستم به پاسخ بهینه رسید وزن ها تثبیت شده و در ارسال داده های واقعی به کار گرفته می شوند. از آن جا که کانال دائماً در حال تغییر است ، سیستم باید متناوباً با ارسال سلسله آموزش ، وزن ها را در دوره های زمانی کوتاه آپدیت کند [5]. الگوریتم مورد استفاده در این جا الگوریتم LMS یا حداقل مربع میانگین است [3] .

4-2- روابط نهایی به کار رفته در شبیه سازی

حال با به کارگیری نماد گذاری برداری ، گین ، تداخل و فاکتورهای تاخیر را نیز به روابط ذکر شده در بخش 2-2 اعمال می کنیم. بردار های وزن به صورت زیر تعریف می شوند :

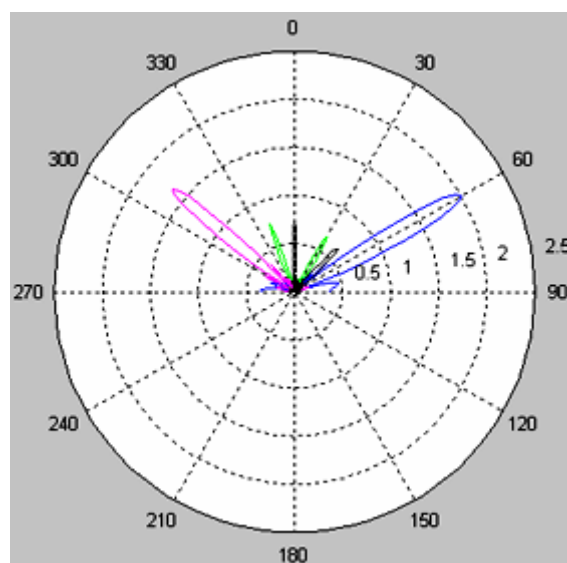
$$\mathbf{w} = [w_1 \cdots w_M]^H \quad (11)$$

که H نشان دهنده ی ترانپوزی هرمیتی است که ترکیبی است از ترانپوز به همراه مزدوج مختلط.

گین تجربه شده توسط هر مولفه ی multipath با دیگری تفاوت دارد چون هر کدام از آن ها بسته به مسیرشان ، جداگانه تضعیف شده و با تاخیرهای زمانی متفاوت به آرایه می رسند. عبارت های گینی که برای سیستم تعریف می کنیم دارای هر دو عامل تغییرات دامنه و فاز هستند. در این جا تاخیر فاز دیگری را نیز اعمال می کنیم که ناشی از زمان انتشار هر مولفه ی multipath از فرستنده ی سیار به ایستگاه است. زمان های انتشار به علت طول مسیر متفاوتی که هر multipath طی می کند متغیرند.

- [1] Hiroshi Harada, Ramjee Prasad. **simulation and software radio for mobile communications**
- [2] Lal Chand Godara. 2004. **Smart Antennas**, CRC Press LLC
- [3] Haykin. 1996. **Adaptive Filter Theory**, Prentice Hall Inc
- [4] Ryan Kelly. 1997. **A Space division Multiple Access System**. ENEL 698 Final Project Report.
- [5] [Chi Man Charles Ung. 2001. **A space Division Multiple Access Transceiver**, The University of Calgary
- [6] Mattias Wennstrom. 1999. **Smart Antenna Implementation Issues for Wireless Communications**, Uppsala University
- [7] Micheal Chryssomallis. **Smart Antennas**, Democritus University of Thrace
- [8] V. Zaharov, F. Casco, M. Gutierrez. **Smart Antenna Application For Satellite Communication Systems With Space Division Multiple Acces**, Journal of Radio Electronics
- [9] **Smart Antenna Systems Definition**, Web ProForum Tutorials, <http://www.lec.org>
- [10] Shannon Liew. 2002. **Adaptive Equalisers and Smart Antenna Systems**, Bachelor of Engineering (Hons) Thesis, The University of Queensland
- [11] Per H. Lehne and Magne Pettersen. 1999. **An Overview of Smart Antenna Technology for Mobile Communication Systems**

دهند. تاخیر انتشار سیگنال ارسالی اول $100 \mu s$ و سیگنال دوم $150 \mu s$ در نظر گرفته شده. سیگنال های ارسالی، سیگنال سفید گوسی با میانگین صفر و واریانس واحد هستند که هر کدام دارای سه مولفه multipath هستند. multipath دوم و سوم هر سیگنال طوری تنظیم شده اند که یک دوره پس از مولفه ی اول به طور همزمان اما از مسیر های متفاوت به آنتن برسند. سیگنال خطای این دو مولفه ی همزمان بر هم منطبق است بنا بر این دارای وزن یکسانی هستند که در شکل، این مولفه ها با وزنی کمتر در کنار مولفه ی اصلی دیده می شوند.



شکل 6: الگوی تابش شبیه سازی شده برای دوسیگنال که هر کدام سه DOA دارند.

4- نتیجه ی شبیه سازی

همان طور که در شکل (6) نیز مشاهده می شود، الگوریتم به کار رفته جهت شکلدهی الگوی تابش آنتن، دارای این قابلیت است که لوب اصلی را که دارای بیشترین گین است در جهت سیگنال مطلوب قرار داده و نال ها را به سمت سیگنال تداخل نشانه روی کند. نکته ی جالبی که از شبیه سازی بر می آید این است که در این سیستم، مولفه های multipath نه تنها سبب فیدینگ و تضعیف سیگنال دریافتی نمی شود بلکه با استفاده از عناصر تاخیر می توان از این مولفه های انعکاسی جهت تقویت سیگنال دریافتی استفاده کرد.

مراجع