

طراحی آرایه آنتن با شکل Meander با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی IWO برای کاربرد در سیستم چندورودی چند خروجی در فرکانس ۵.۸ گیگاهرتز

بتول بحرینی^۱، علیرضا ملاح زاده^۲ و محمد سلیمانی^۳
۱دانشگاه علم و صنعت ایران، bbahreini@ee.iust.ac.ir
۲دانشگاه شاهد، mallahzadeh@shahed.ac.ir
۳دانشگاه علم و صنعت ایران، soleimani@iust.ac.ir

چکیده - در این پژوهش یک آرایه جدید چهار عنصری از آنتن برای کاربرد در سیستم چند ورودی چند خروجی پیشنهاد شد. آنتن قرار گرفته در آرایه دارای شکل Meander بوده و در فرکانس ۵.۸ گیگاهرتز کار می‌کند. ابعاد آنتن تکی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی علف‌های هرز مهاجم بدست آمدند. سپس الگوریتم مربوطه به آرایه دو تایی به نحوی اعمال شد که بهترین ایزولاسیون بین پورتهای مختلف را داشته باشیم. برای تعیین کارایی آرایه آنتن در سیستم چند ورودی چند خروجی پارامترهای شبکه چندپورتی به جای پارامترهای پراکندگی مورد بررسی قرار گرفتند. آنتن طراحی شده دارای ابعاد کم، ساخت آسان، قیمت مناسب و ایزولاسیون مناسب بین پورت‌های مختلف بود. نتایج حاصل از اندازه‌گیری و ساخت، ضریب تلفات بازگشتی، تزویج متقابل و پترن تشعشی ارائه شده است.

کلید واژه- آنتن، الگوریتم کلونی‌علف‌های هرز، کانال چندورودی چند خروجی.

و TARC^۲. هر چه آنتن‌ها به هم نزدیک‌تر باشند تزویج متقابل بین آنها بیشتر شده و بازدهی آنتن کاهش می‌یابد(۲). پارامتر موثر دیگر ضریب همبستگی بین سیگنال آنتن‌های مختلف می‌باشد. در مورد اثر این پارامتر تا کنون مطالعات زیادی انجام شده و همگی به این نتیجه اشاره کرده‌اند که هر چه ضریب همبستگی کمتر باشد میزان کاهش ظرفیت کانال نیز کمتر است(۳).

در حالتی که سیستم دارای چندین آنتن باشد در(۴) نشان داده شده پارامتر ضریب تلفات بازگشتی برای بیان کارایی سیستم کافی نیست و مشخصه تشعشی آنتن را به خوبی نشان نمی‌دهد. در این حالت پارامتر جدیدی به نام TARC معرفی می‌شود که هم می‌تواند بیانگر میزان پهنای باند امپدانس آنتن باشد و هم کارایی پترن تشعشی آنتن را نشان می‌دهد(۴و۵).

۱- مقدمه

با پیشرفت تکنولوژی و به وجود آمدن تکنیک‌های جدید انتقال اطلاعات در سیستم‌های بی‌سیم، سرعت دسترسی به اطلاعات و امنیت سیستم‌های مخابراتی افزایش یافته است. در این میان سیستم‌های MIMO^۱ به طور قابل ملاحظه‌ای مورد توجه قرار گرفته‌اند. این سیستم‌ها در مقایسه با سیستم‌های تک آنتنه نسبت سیگنال به نویز بیشتری دارند و بنابراین ظرفیت کانال را افزایش می‌دهند (۱). برای مطالعه و بررسی کارایی سیستم‌های MIMO چندین پارامتر را باید مورد بررسی قرار داد. از مهمترین این پارامترها که معمولاً مورد بحث قرار می‌گیرد عبارتند از: تزویج متقابل، ضریب همبستگی بین دو آنتن

^۲ Total Active Reflection Coefficient

^۱ Multi Input Multi Output

در این مقاله آرایه‌ای با چهار آنتن برای کاربرد در سیستم MIMO در فرکانس 5.8GHz طراحی شد. عناصر آرایه آنتن‌هایی به شکل meander-line بوده که ابعادشان با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی علف‌های هرز^۳ بهینه شده است. در ابتدا مروری بر الگوریتم بهینه‌سازی استفاده شده داریم. در مرحله بعد الگوریتم مربوطه را به کار می‌بریم تا ابعاد آنتن تکی به شکل meander را بهینه کنیم. بعد از آن چهار حالت مختلف که دو آنتن پچ می‌توانند در کنار هم قرار بگیرند را بررسی کرده و بهترین چیدمان را برای آرایه چهارتایی انتخاب می‌کنیم در انتها آنتن چهارتایی با ابعاد بهینه شده ساخته و نتایج ساخت را با تئوری مقایسه کرده‌ایم و می‌بینیم هماهنگی خوبی بین نتایج ساخت و شبیه‌سازی وجود دارد.

۲- الگوریتم بهینه‌سازی علف‌های هرز مهاجم

روش بهینه‌سازی علف‌های هرز با الهام گرفتن از طبیعت معرفی و مورد استفاده قرار گرفته است (۶). طبق تعریف علف هرز گیاهی است که در مکان‌های ناخواسته، وابسته به شرایط تولید و رشد می‌کند، و برای گیاهان زراعی مفید، آفت جدی می‌باشد و جلوی رشد آنها را می‌گیرد. این الگوریتم در عین سادگی، در یافتن نقاط بهینه بسیار موثر و سریع می‌باشد و بر اساس ویژگی‌های اولیه و طبیعی علف‌های هرز مانند تولید بذرها، رشد و تنازع برای بقا در یک کلونی عمل می‌کند. مراحل انجام این الگوریتم را می‌توان به طور خلاصه به صورت زیر بیان کرد:

۱-۲ تعیین مقدار اولیه برای جمعیت

یک جمعیت محدود اولیه در فضای حل مساله به صورت تصادفی پراکنده می‌شود.

۲-۲ تولید مثل

هر عضو از جمعیت بر طبق توانایی‌اش می‌تواند بین دو مقدار تعیین شده ماکزیمم و مینیمم تولید دانه کند. تعداد دانه‌هایی که هر گیاه می‌تواند تولید کند به طور خطی از کمترین تعداد دانه ممکن تا بیشترین تعداد تغییر می‌کند.

۲-۳ پراکندگی فضایی

در این مرحله دانه‌های تولید شده به طور تصادفی در فضای چند بعدی مساله پراکنده می‌شوند. تابع توزیع تصادفی، تابعی نرمال بوده بدین معنی که مقدار متوسط آن برابر صفر و انحراف معیار آن در مراحل مختلف متغیر می‌باشد. مقدار انحراف معیار (σ) تابع توزیع نرمال در هر مرحله از مقدار اولیه تعریف شده $\sigma_{initial}$ تا مقداری نهایی σ_{final} کاهش می‌یابد. رابطه بین پارامترهای بالا و انحراف معیار را می‌توان به صورت رابطه (۱) بیان کرد.

$$\sigma_{iter} = \frac{(iter_{max} - iter)^n}{iter_{max}^n} (\sigma_{initial} - \sigma_{final}) + \sigma_{final} \quad (1)$$

در معادله (۱)، $iter_{max}$ بیشترین تعداد دفعات تکرار می‌باشد. σ_{iter} مقدار انحراف معیار در مرحله انجام عملیات می‌باشد و n میزان غیرخطی بودن مدولاسیون را نشان می‌دهد.

۲-۴ حذف رقابتی

بعد از چند مرحله از تکرار تعداد دانه‌ها در کلونی در اثر تولید مثل به بیشترین حد خود می‌رسند. با رسیدن به تعداد ماکزیمم دانه‌های مجاز (P_{max}) باید مکانیزمی برای حذف دانه‌های ضعیف به کار گرفته شود. مکانیزم حذف دانه‌های ضعیف به صورت ذیل می‌باشد:

هنگامی که بیشترین دانه‌های مجاز تولید شدند هر دانه می‌تواند با توجه به روش گفته شده در قسمت ۲ دانه‌های جدیدی تولید کند. دانه‌های تولید شده می‌توانند در محیط مورد بحث طبق روش قسمت ۳ پراکنده شوند. هنگامی که کل دانه‌ها در محل توزیع شدند به هر دانه امتیازی داده می‌شود. در مرحله آخر دانه‌ها با امتیاز کمتر حذف می‌شوند به نحوی که جمعیت دانه‌ها همان حد ماکزیمم (P_{max}) بماند. این مراحل تکرار می‌شوند تا کم‌کم دانه‌ها به دانه بهینه همگرا شوند.

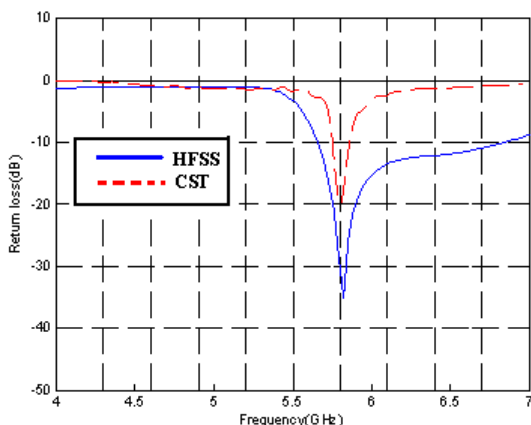
۳- بهینه‌سازی ابعاد آنتن تکی با الگوریتم IWO

ساختار آنتن مربوطه در شکل ۱ نشان داده شده است. آنتن بر روی صفحه زمین با ابعاد 25*25mm قرار دارد و به وسیله کابل کوکسیال ۵۰ اهم تغذیه می‌شود. دی‌الکتریک به کار گرفته شده RT/duroid5880 بوده و ضخامت آن ۳.۲mm می‌باشد. الگوریتم IWO به کار گرفته شد تا بهترین تطبیق امپدانس را در فرکانس ۵.۸ گیگاهرتز داشته باشیم.

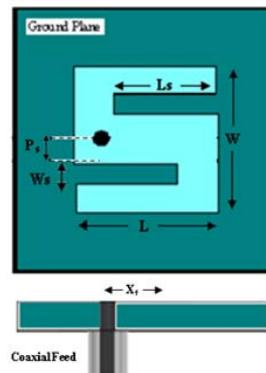
³ IWO: Invasive Weed Optimization

جدول ۲: مقادیر بهینه شده آنتن پیچ

پارامتر	L	W	Ls	Ws	ps	xf
مقدار	۱۳.۴۵	۱۴.۲۱	۹.۵۵	۱.۸۱	۲.۳۵	۳.۲۳



شکل ۲: تلفات بازگشتی آنتن با ابعاد بهینه شده



شکل ۱: ساختار آنتن پیچ با شکل meander-line

در ابتدا پارامترهایی که با تغییر آن‌ها به جواب مطلوب می‌رسیم را انتخاب کرده و یک بازه قابل قبول برای تغییر در فرایند بهینه‌سازی به آنها اختصاص می‌دهیم. تابع بهینه‌سازی ضریب- بازگشت تلفات در فرکانس ۵.۸ گیگاهرتز انتخاب شده است. پارامترهای الگوریتم IWO را در جدول (۱) می‌توانیم ببینیم. نتایج حاصل از بهینه‌سازی در جدول (۲) و ضریب بازگشت تلفات برای آنتن بهینه شده در شکل (۳) نشان داده شده‌اند.

جدول ۱: پارامترهای IWO برای آنتن تکی meander-line

مقدار پارامتر	تعریف پارامتر	نماد
۱۰	تعداد نمونه های جمعیت اولیه	No
۳۰۰	تعداد دفعات تکرار الگوریتم	it_{max}
۶	ابعاد مساله	dim
۱۵	ماکزیمم تعداد دانه هایی که می توانند در محیط باشند	P_{max}
۵	ماکزیمم تعداد دانه هایی که هر دانه می تواند تولید کند	S_{max}
۱	کمترین تعداد دانه ای که هر دانه می تواند تولید کند	S_{min}
۳	درجه غیر خطی بودن مدولاسیون	n
۳	مقدار اولیه انحراف معیار	$\sigma_{initial}$
۰.۰۱	مقدار نهایی انحراف معیار	σ_{final}

۴- آنتن MIMO با دو عنصر

شکل ۳ چهار ترکیب مختلف از ساختار آرایه دو تایی را نشان می‌دهد که فاصله بین عناصر در آنها برابر با ۷ میلی‌متر می‌باشد. همانطور که گفته شد در طراحی آنتن برای سیستم MIMO هدف کاهش میزان کوپلینگ بین پورت‌های مختلف می‌باشد. در این حالت تابع بهینه‌سازی باید هم شامل تلفات بازگشتی و هم ضریب کوپلینگ متقابل بین عناصر باشد. برای سیستم‌های چند پورته پارامتر جدیدی معرفی می‌شود که هم می‌تواند بیانگر میزان پهنای باند امپدانس آنتن باشد و هم کارایی پترن تشعشعی آنتن را نشان می‌دهد (۵).

برای یک شبکه N پورته بدون تلف پارامتر TARC از رابطه زیر بیان می‌شود:

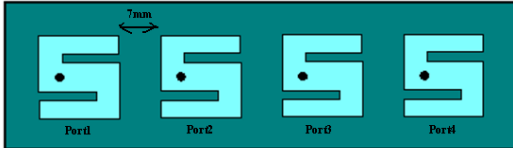
$$\Gamma_a^t = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N |b_i|^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N |a_i|^2}} \quad (2)$$

که در آن بردار a سیگنال‌های تابشی به پورت‌های مختلف با فازهای تصادفی و b بردار سیگنال‌های انعکاسی می‌باشند.

۵- آنتن MIMO با چهار عنصر

در این قسمت یک آرایه آنتن چهارتایی که در آن از ترکیب نوع ۱، آرایه دوتایی استفاده شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل (۵) نمای آنتن را نشان می‌دهد.

به دلیل قرار گرفتن آنتن‌ها در کنار یکدیگر فرکانس تشدید کمی جابجا می‌شود. با استفاده از الگوریتم IWO ابعاد آنتن در آرایه را بهینه می‌کنیم. ابعاد بدست آمده را در جدول (۳) می‌توانیم ببینیم.

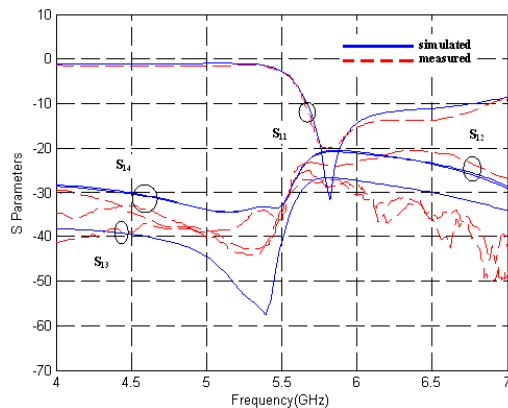


شکل ۵: آنتن چهارتایی برای کاربرد MIMO

جدول ۳: مقادیر بهینه شده برای عناصر آرایه چهارتایی

پارامتر	L	W	Ls	Ws	ps	xf
مقدار	۱۳.۷۸	۱۳.۹۸	۹.۸۱	۱.۶۴	۲.۴۱	۳.۳۹

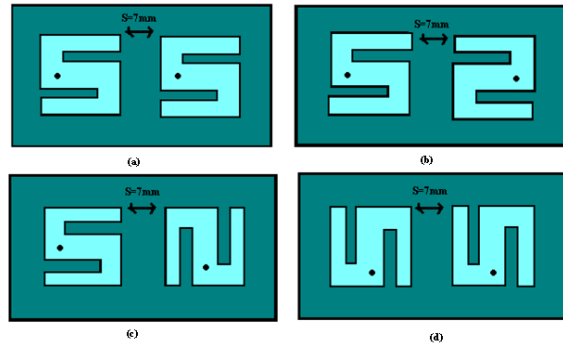
آرایه مربوطه ساخته و مورد تست قرار گرفت. در شکل ۶ نتایج پارامترهای S برای آنتن ساخته و شبیه سازی شده نشان داده شده است. همانطور که می‌بینیم کوپلینگ بین هر دو عنصر زیر 20dB می‌باشد. در هنگام تست، دامنه سیگنال پورت‌های مختلف برابر ولی فازهای متفاوت داشتند.



شکل ۶: پارامترهای S برای آرایه چهارتایی آنتن ساخته و شبیه سازی شده .

در شکل (۷) مقدار پارامتر TARC برای آرایه دو و چهارتایی را می‌توانیم ببینیم. مقدار این پارامتر برای هر دو آرایه زیر 30dB می‌باشد.

مقدار ضریب همبستگی معمولاً از طریق پترن تشعشی



شکل ۳: چهار ترکیب مختلف آرایه دوتایی: (a), 1, 2, (c), 3, (d), 4

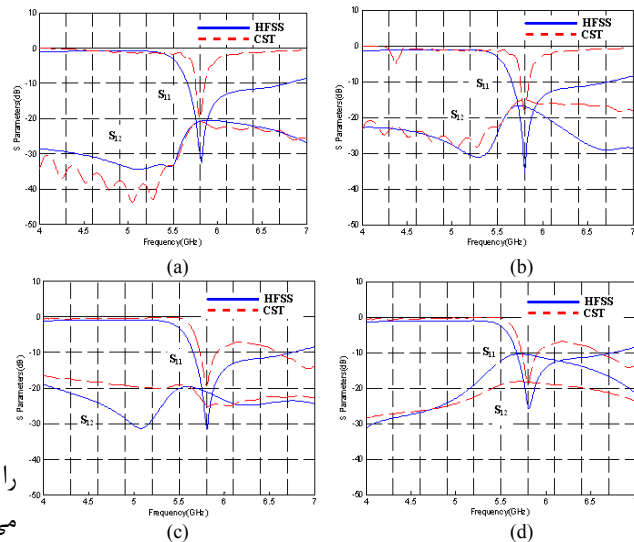
وقتی که آرایه دو عنصری باشد می‌توان برای TARC یک رابطه ساده بیان کرد. در این حالت ماتریس پراکندگی به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

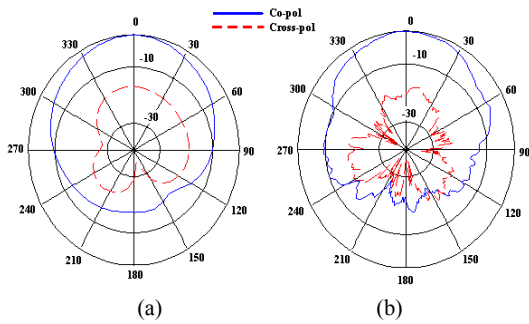
در رابطه بالا ضرایب a_i دارای اندازه‌های برابر ولی فازهای تفاوت می‌باشند بنابراین برای TARC طبق روابط (۲) و (۳) خواهیم داشت:

$$\Gamma_a^t = \sqrt{\frac{\left| (S_{11} + S_{12}e^{j\theta}) \right|^2 + \left| (S_{21} + S_{22}e^{j\theta}) \right|^2}{2}} \quad (4)$$

برای آرایه دوتایی از آنتن‌ها تابع بهینه‌سازی رابطه ۴ انتخاب شد در زیر نتایج پارامترهای S برای چهار ترکیب مختلف را مشاهده می‌کنیم. همانطور که می‌بینیم بهترین ایزولاسیون مربوط به آنتن نوع یک می‌باشد.



شکل ۴- پارامترهای S برای چهار ترکیب مختلف: (a), 1, 2, (b), 3, (c), 4, (d), 4



شکل ۹- (a) نتایج شبیه‌سازی (b) نتایج اندازه‌گیری پترن تشعشی برای آرایه آنتن بهینه شده وقتی که پورت یک را تحریک کنیم.



شکل ۱۰- نمای آنتن ساخته شده

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله آنتی با ابعاد کم و ایزولاسیون مناسب بین پورت‌های مختلف برای کاربرد در سیستم MIMO طراحی و ساخته شد. ابعاد آنتن مربوطه به وسیله الگوریتم بهینه‌سازی IWO بهینه شد. آنتن‌ها به شکل meander بودند که استفاده از این ساختار باعث کاهش ابعاد شد. الگوریتم بهینه‌سازی برای بهینه کردن ابعاد آنتن تک‌ای، آرایه آنتن دو تایی و آرایه آنتن چهارتایی به کار گرفته شد و نتایج مطلوبی مشاهده گردید. فاصله بین عناصر آرایه 0.13λ بود و ایزولاسیون بین پورت‌های مختلف کمتر از 20dB بدست آمد.

سپاسگزاری

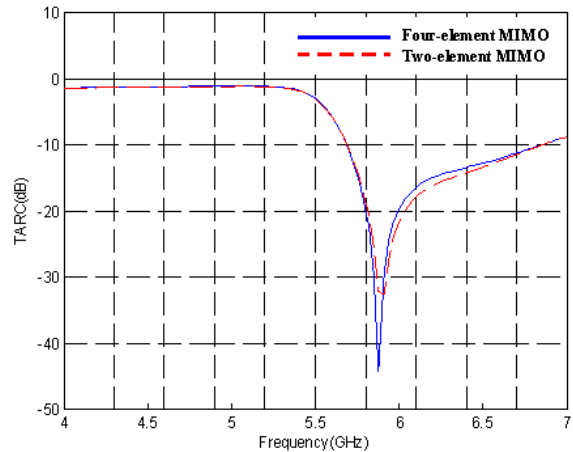
در اینجا لازم است مراتب تشکر و قدردانی خود را از مرکز تحقیقات مخابرات ایران به دلیل حمایت‌های مالی در حین انجام این تحقیق، ابراز داریم.

مراجع

- [1] G. J. Foschini and M. J. Gans, "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas," *Wireless Pers. Commun.*, no. 6, pp. 311-335, 1998.
- [2] D. S. Shiu, G. J. Foschini, and M. J. Kahn, "Fading correlation and its effect on the capacity of multielement antenna systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 48, pp. 502-513, Mar. 2000.
- [3] H. Shin and J.H. Lee, "Capacity of multiple-antenna fading channels: Spatial fading correlation, double scattering, and

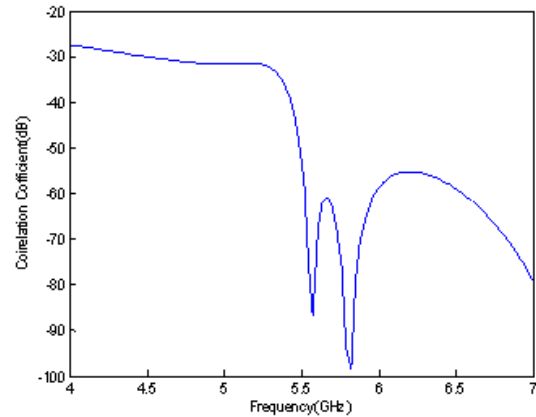
(۷) محاسبه می‌شود که دارای روابط پیچیده‌ای می‌باشد. اما در حالتی که میدان تابشی یکنواخت باشد و فرض شود که آنتن‌ها دارای تطبیق باشند ضریب همبستگی را می‌توان از طریق پارامترهای S محاسبه کرد که در این حالت محاسبات ساده تر و راحت تر می‌باشند (۸).

$$\rho = \frac{|S_{11}^* S_{12} + S_{21}^* S_{22} + S_{21}^* S_{22}|^2}{(1 - |S_{11}|^2 - |S_{12}|^2)(1 - |S_{22}|^2 - |S_{21}|^2)} \quad (8)$$



شکل ۷- پارامترهای TARC برای آرایه آنتن چهارتایی و دو تایی

مقدار ضریب همبستگی برای دو آنتن از آرایه چهارتایی در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل ۸- ضریب همبستگی برای دو عنصر از آرایه آنتن با چهار عنصر

پترن تشعشی آنتن ساخته و شبیه‌سازی شده را در شکل (۹) می‌توانیم ببینیم. نمای آنتن ساخته شده در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

- keyhole*," IEEE Trans. On information theory ,vol 49, no. 10, October 2003.
- [4] M. Manteghi and Y. Rahmat-Samii, "Multiport characteristics of a wide-band cavity backed annular patch antenna for multipolarization operations," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 53, pp. 466–474, Jan.2005.
- [5] S. H. Chae, S.-K. Oh, and S.-O. Park, "*Analysis of mutual coupling, correlations, and TARC in WiBro MIMO array antenna*," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol.6pp, 122-125, 2007.
- [6] A.R. Mehrabiana and C. Lucase, "A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization," Ecological Informatics, vol 1, pp 355–366, 2006.
- [7] M. B. Knudsen and G. F. Pedersen, "Spherical outdoor to indoor power spectrum model at the mobile terminal," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 20, no. 6, pp. 1156–1168, Aug. 2002.
- [8] S. Blanch, J. Romeu and I. Corbella, "Exact representation of antenna system diversity performance from input parameter description," Electronic Letters, vol. 39, no. 9, pp. 705–707, May 2003.