

## اندازه‌گیری بهره تنوع قطبی‌شدگی برای کانال روی بدن به خارج بدن در باند ISM

مجید کیایی<sup>۱</sup>، سمیه چمانی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۲- استادیار، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۶/۲۳، تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۶/۰۳)

**چکیده:** این مقاله به بررسی اثر تنوع قطبی‌شدگی در کاهش محوشدگی کانال روی بدن به خارج بدن می‌پردازد. به این منظور ابتدا آنتنی با دو قطبی‌شدگی خطی برای نصب روی بدن در باند ISM (۲/۴-۲/۴۸۳۵ GHz) که مربوط به کاربردهای صنعتی، علمی و پزشکی بوده و نیاز به مجوز ندارد، طراحی و ساخته می‌شود. سپس با به کار بردن این آنتن به‌عنوان گیرنده در سه نقطه مختلف بدن شامل مچ دست، قلب و کمر، تغییرات زمانی سیگنال دریافتی در دو درگاهی گیرنده، به ازای فرستنده ثابت توسط دو دستگاه تحلیلگر طیف اندازه‌گیری می‌شود. در مرحله بعد برای ترکیب سیگنال‌های دو درگاهی و محاسبه بهره تنوع از سه روش ترکیب مختلف (ترکیب انتخاب، ترکیب گین برابر و ترکیب نسبت بیشینه) استفاده می‌شود. حداقل بهره‌ی تنوع ۴/۷dB و حداکثر آن ۶/۳۵ dB محاسبه شده است.

### کلمات کلیدی: بهره‌ی تنوع، تنوع قطبی‌شدگی، محوشدگی.

#### ۱- مقدمه

علاوه بر موانع متداول داخل اتاق، وجود بدن نیز می‌تواند به‌عنوان محیط انتشار یا پراکنده‌کننده در نظر گرفته شود. عدم تطبیق قطبی‌شدگی بین فرستنده و گیرنده می‌تواند تلفات بیشتر را به سامانه تحمیل کرده [۱۰] و اصطلاحاً موجب محوشدگی سیگنال شود. اندازه‌گیری‌های اخیر نشان می‌دهد محوشدگی اثر عمیقی بر روی مخابرات حوزه بدن (روی بدن به خارج بدن) می‌گذارد که اغلب به دلیل تغییرات ناگهانی بدن و یا موانع اطراف بدن و در نتیجه تغییر قطبی‌شدگی می‌باشد. همچنین نشان داده شده است برای نرخ داده بالا و لینک رادیویی پایدار ایجاد تنوع<sup>۳</sup> می‌تواند اثرات محوشدگی کانال را جبران کند [۱۰-۱۲].

مبنای تنوع در حالت کلی وجود بیش از یک راه مستقل برای ارتباط بین فرستنده و گیرنده است. بنابراین اثر محوشدگی به طور مستقل بر این راه‌ها تأثیر می‌گذارد. تنوع روش‌های متفاوتی از جمله تنوع فرکانس، تنوع فضای، تنوع زمان و تنوع آنتن دارد. تنوع آنتن شامل استفاده از یک یا چند آنتن با الگوهای تشعشعی متفاوت و یا قطبی‌شدگی‌های متفاوت است [۱۳]. ارتقای عملکردی که با تنوع در سامانه ایجاد می‌شود به‌وسیله بهره تنوع<sup>۴</sup> سنجیده می‌شود. بهره تنوع میزان بهبود در قدرت سیگنال یا نسبت سیگنال به نویز یا نرخ خطای بیت نسبت به آنتن تنها بدون تنوع در یک سطح احتمال

مخابرات بی‌سیم گزینه‌ای قابل توجه برای ارتباط دستگاه‌های مختلف الکترونیکی است که روی بدن قرار می‌گیرند. این دستگاه‌ها می‌توانند کاربردهای متفاوتی از جمله مراقبت‌های بهداشتی-پزشکی، خانه‌های هوشمند، سرگرمی و نظامی داشته باشند.

تحقیقات زیادی برای بهبود کارایی سامانه‌های روی بدن انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به طراحی آنتن‌ها با ویژگی‌های مخصوص یا بهبود کانال روی بدن، بررسی بهره مسیر<sup>۱</sup> و محوشدگی کوتاه و بلندمدت<sup>۲</sup> [۵-۱] اشاره کرد. یکی از پارامترهای مهم در سامانه‌های مخابراتی مختلف بی‌سیم، از قبیل ماهواره‌ای، در فضای باز (تلفن همراه) و ارتباطات بی‌سیم داخلی، قطبی‌شدگی موج در هنگام انتشار است که می‌تواند در دریافت سیگنال تأثیر بگذارد [۶-۸]. معمولاً قطبی‌شدگی با مشخصات آنتن فرستنده معین می‌شود. با این حال، قطبی‌شدگی موج ممکن است در طول انتشار نیز توسط کانال یا اثر متقابل با محیط‌های مختلف و یا با برخورد با موانع موجود در کانال [۹]، تغییر کند. مثلاً در انتشار داخل اتاق، پراکندگی از دیوارها، کف، سقف و مبلمان و وسایل داخل اتاق می‌تواند قطبی‌شدگی را تغییر دهد. در کانال روی بدن به خارج بدن

3- Diversity  
4- Diversity Gain

\* ایمیل نویسنده پاسخگو: Chamaani@eed.kntu.ac.ir

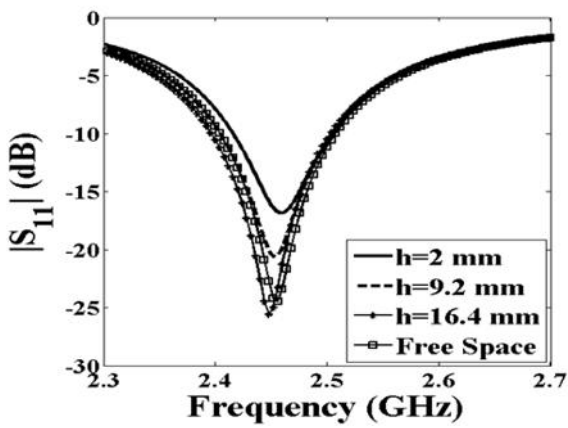
1- Path Gain  
2- Short And Long Term Fading

مقادیر قابل قبول هستند. چنانچه مشاهده می‌شود، به دلیل تقارن، پارامتر  $S_{22}$  کاملاً مشابه  $S_{11}$  است. همچنین با معیار میانگین‌گیری  $10\text{gr}$  و  $1\text{gr}$ ، حداکثر مقدار SAR در نرم‌افزار CST به ترتیب برابر با  $0.39\text{w/kg}$  و  $0.66\text{w/kg}$  به دست آمده است که مطابق استاندارد می‌باشد.

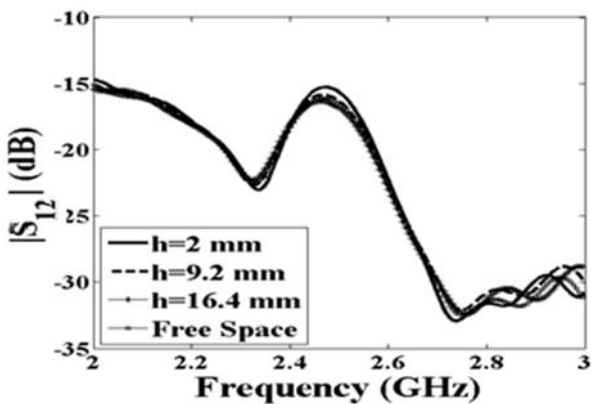
شکل (۳) اثر فاصله از سطح بدن ( $h$ ) بر روی پارامترهای اسکاترینگ را نشان می‌دهد.

جدول ۲: مشخصات الکتریکی بافت‌های بدن در فرکانس  $2.45\text{ GHz}$

tan	$\epsilon$	$\sigma$	
۰.۲۴۲	۱.۷۳	۵۲.۷۳	ماهیچه
۰.۳۳۶	۱.۸	۳۹.۲	پوست
۰.۱۴۵	۰.۱۰۵	۵.۲۸	چربی

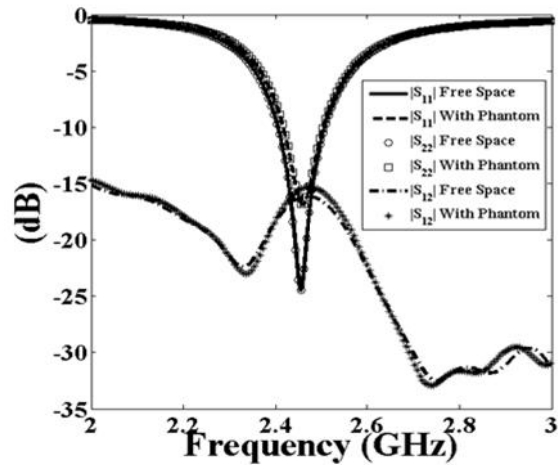


(الف)



(ب)

شکل ۳: بررسی تأثیر فاصله آنتن از بدن بر روی پارامترهای اسکاترینگ (الف) پارامتر  $S_{11}$ ، (ب) پارامتر  $S_{12}$



شکل ۲: نتیجه شبیه‌سازی پارامترهای اسکاترینگ در فضای آزاد و روی فانتوم بدن.

نتیجه پارامترهای  $S$  در فضای آزاد در شکل (۲) آمده است. از شکل مشاهده می‌شود که در فرکانس  $f=2.45\text{ GHz}$  افت بازگشتی زیر  $10\text{ dB}$ ، ایزولاسیون بین دو درگاهی ( $|S_{21}|$ ) کمتر از  $15\text{ dB}$  و حداکثر بهره نیز  $4/6\text{ dB}$  هستند.

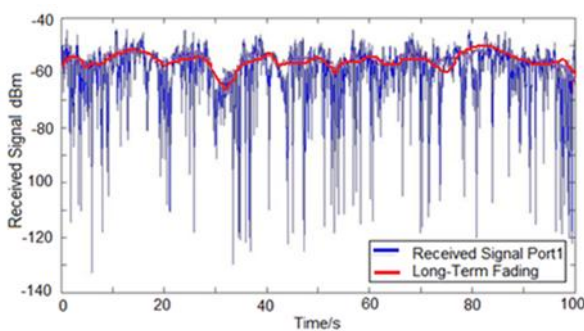
### ۲-۲- شبیه‌سازی روی بدن

قرار گرفتن آنتن روی بدن ملاحظات جدیدی را در طراحی آنتن وارد می‌کند. به عنوان مثال افت بازگشتی و ایزولاسیون بین دو قطب در حضور بافت‌های بدن باید همچنان در محدوده مطلوب باقی بماند. همچنین آنتنی که روی بدن قرار می‌گیرد نباید به بافت بدن آسیب برساند. برای اطمینان از خطرناک نبودن آنتن، پارامتر SAR توسط نرم‌افزار CST شبیه‌سازی می‌شود که باید مطابق استاندارد باشد [۱۵].

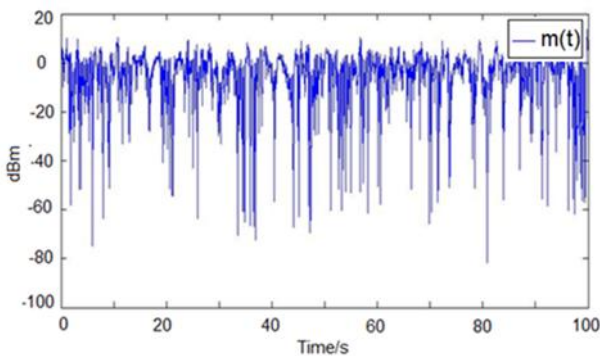
مشخصات الکترومغناطیسی بافت‌های بدن که توسط گابریل به دست آمده، در جدول ۲ نشان داده شده است [۱۷]. این اعداد در فرکانس  $f=2.45\text{ GHz}$  اندازه‌گیری شده‌اند. آنتن در شبیه‌سازی روی بافت‌های پوست، چربی و ماهیچه قرار می‌گیرد و عملکرد آن بررسی می‌شود. ضخامت لایه‌ها به ترتیب  $1\text{ mm}$  برای پوست  $3\text{ mm}$  برای چربی و  $18\text{ mm}$  برای ماهیچه است. همچنین  $2\text{ mm}$  برای فاصله آنتن از پوست در نظر گرفته شده است. ابعاد مدل بدن  $160 \times 160\text{ mm}$  در نظر گرفته شده است.

نتایج پارامترهای  $S$  در این حالت در شکل (۲) آمده است. با مقایسه نتایج با نتایج آنتن در هوا مشاهده می‌شود، پارامترهای اسکاترینگ به مقدار بسیار کمی شیف‌ت پیدا کرده‌اند اما همچنان

کوچک یا خیلی بزرگ باعث عدم دقت در تطبیق (fit) توزیع به محوشدگی کوتاه‌مدت می‌شود که برای این کانال از نوع رایسین است. برای به‌دست‌آوردن بهترین مقدار  $w$ ، به کمک نرم‌افزار EasyFit مقادیر مختلف مورد آزمایش قرار گرفت و مقدار  $w=5$  بهترین عدد شایستگی تطبیق (goodness of fit) را برای محوشدگی کوتاه‌مدت به رایسین داد. در ادامه برای نمونه محوشدگی استخراج شده برای سیگنال درگاهی ۱ در شکل (۹) رسم شده است. برای محاسبه بهره تنوع، این محاسبه برای همه شاخه‌ها باید صورت گیرد.



شکل ۹: سیگنال دریافتی و محوشدگی بلند



شکل ۱۰: محوشدگی کوتاه‌مدت

#### ۴-۲- ترکیب سیگنال شاخه‌ها و محاسبه بهره تنوع

معیار قضاوت برای ارتقای تنوع، بهره تنوع می‌باشد که در حقیقت افزایش قدرت سیگنال دریافتی یا نسبت سیگنال به نویز در خروجی است. بهره تنوع با رسم تابع توزیع تجمعی شاخه‌ها (احتمال قطع کانال) و سیگنال‌های ترکیب شده و محاسبه تفاوت بین سیگنال ترکیب شده و میانگین قوی‌ترین سیگنال در سطح احتمال قطع کانال مشخص که معمولاً ۱٪ انتخاب شده است، محاسبه

برای هر کانال به‌صورت تصادفی در آزمایشگاه به مدت ۱۰۰ s حرکاتی شامل راه رفتن و نشستن، چای نوشیدن و ... را انجام می‌دهد. تحلیلگر طیف در مد سویپ زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فاصله بین نمونه‌ها ۰٫۱ s است.

#### ۴- محاسبه بهره تنوع

به‌طور کلی محوشدگی را می‌توان به دو بخش کوتاه مدت و طولانی مدت تقسیم کرد. محوشدگی طولانی مدت ناشی از سایه ایجاد شده توسط موانع (shadowing) است و محوشدگی کوتاه‌مدت ناشی از پدیده چند مسیری (multi-path) است. تنوع‌های معمول عمده‌تاً نمی‌توانند روی محوشدگی طولانی مدت تا همبستگی محسوس را فراهم کنند. در عوض روی محوشدگی کوتاه‌مدت ناهمبستگی مطلوب را فراهم می‌کند. بنابراین بهره تنوع معمولاً روی محوشدگی کوتاه‌مدت محاسبه می‌شود. برای این کار ابتدا باید محوشدگی کوتاه‌مدت از سیگنال اندازه‌گیری شده استخراج شود. در زیربخش بعد چگونگی استخراج محوشدگی کوتاه‌مدت بیان می‌شود.

#### ۴-۱- استخراج محوشدگی کوتاه‌مدت

سیگنال دریافتی را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

که در آن  $r(t)$  پوش سیگنال دریافتی،  $m(t)$  پوش محوشدگی کوتاه‌مدت و  $M(t)$  محوشدگی طولانی مدت است:

$$r(t) = m(t) \times M(t) \quad (1)$$

چنانچه در معادله (۲) مشاهده می‌شود، محوشدگی طولانی مدت  $M(t)$  متناسب با متوسط محلی سیگنال است. محوشدگی طولانی

$$M(t) = \sqrt{\frac{1}{2w} \int_{x-w}^{x+w} r^2(t) dt} \quad (2)$$

مدت در واقع تغییرات کند سیگنال را نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان با متوسط‌گیری محلی از سیگنال زمانی، بخش تغییرات سریع (کوتاه‌مدت) را از آن حذف کرده و محوشدگی طولانی مدت را به‌دست آورد.

نهایتاً برای محوشدگی کوتاه‌مدت خواهیم داشت:

$$M(t) = \frac{r(t)}{M(t)} \quad (3)$$

که  $w$  اندازه پنجره زمانی برای متوسط‌گیری است. مقادیر خیلی

- [3] A. Alomainy, Y. Hao, X. Hu, C. G. Parini, and P. S. Hall, "UWB on-body radio propagation and system modelling for wireless body-centric networks," IEE Proceedings: Communications, vol. 153, no. 1, pp. 107-114, 2006.
- [4] A. Alomainy, Y. Hao, A. Owadally, C.G. Parini, and Y. Nechayev, "Statistical analysis and performance evaluation for on-body radio propagation with microstrip patch antennas," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 55, no. 1, pp. 245-248, 2007.
- [5] S. L. Cotton and W. G. Scanlon, "Characterization of the on-body channel in an outdoor environment at 2.45 ghz," in 3rd European Conference on Antennas and Propagation (eucap), Berlin, Germany, pp. 722-725, 2009.
- [6] W. C.-Y. Lee, "Polarization diversity system for mobile radio," IEEE Trans. Commun., vol. 20, no. 5, pp. 912-923, 1972.
- [7] K. T. Wong, S. L. A. Chan, and R. P. Torres, "Fast-Polarization-Hopping Transmission Diversity to Mitigate Prolonged Deep Fades in Indoor Wireless Communications," IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 48, no. 3, pp. 20 - 27, 2006.
- [8] T. Pratt, J. M. Gaines, C. W. Bostian, and W. L. Stutzman, "System Performance of Dual Polarization Satellite Communication Links Affected by Attenuation and Depolarization," in IEEE Military Communications Conference (MILCOM), pp. 135-139, 1983.
- [9] P. Kyritsi and D. C. Cox, "Propagation characteristics of horizontally and vertical polarized electric fields in an indoor environment: simple model and results," in IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 1422-1426, 2001.
- [10] K. Yazdandoost and K. Hamaguchi, "Antenna Polarization Mismatch in Body Area Network Communications," in Fourth European Conference on Antennas and Propagation (eucap), Barcelona, Spain, pp. 1-4, 2010.
- [11] P. S. Hall, Y. Hao, Y. I. Nechayev, A. Alomainy, C. C. Constantinou, C. Parini, M. R. Kamarudin, T. Z. Salim, D. T. M. Hee, R. Dubrovka, A. S. Owadally, W. Song, A. Serra, P. Nepa, M. Gallo, and M. Bozzetti, "Antennas and Propagation for On-Body Communication Systems," IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 49, no. 3, pp. 41 - 58, 2007.
- [12] M. R. Kamarudin, Y. I. Nechayev, and P. S. Hall, "Antennas for on-body communication systems," IEEE International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas and Novel Metamaterials, pp. 17 - 20, 2007.
- [13] A. A. Serra, P. Nepa, G. Manara, and P. S. Hall, "Diversity Measurements for On-Body Communication

در تئوری، حداکثر بهره تنوع برای ترکیب انتخاب و ترکیب حداکثر نسبت به ترتیب ۱۰ dB و ۱۱/۵ dB هستند [۱۸]. بسته به محیط انتشار و میزان عدم توازن سیگنال‌ها بهره حاصل کاهش خواهد یافت. همان‌طور که در شکل‌های (۱۱-۱۳) مشاهده می‌شود، عدم توازن (اختلاف بین سطح سیگنال شاخه ۱ و ۲) قابل توجه بوده و در نتیجه چنین کاهش بهره‌ای نسبت به بیشینه بهره قابل حصول طبیعی است. همچنین مشاهده می‌شود که ساده‌ترین روش ترکیب که روش انتخاب است، کمترین بهره تنوع را در اختیار می‌گذارد. در مقابل بیشترین بهره مربوط به روش MRC است که البته به مدارات هم‌فاز کننده و سخت‌افزار پیچیده‌تری نیاز دارد [۱۸].

البته بهره تنوع حاصل از اندازه‌گیری، با توجه به اینکه یک سامانه SIMO (یک فرستنده و دو گیرنده) داریم، در مقایسه با اعداد گزارش شده در کارهای مشابه کم نبوده و معقول است. مثلاً در [۱۸] بهره تنوع SIMO در بعضی سناریوها به کمتر از ۲ dB هم رسیده است. برای افزایش بهره تنوع می‌توان از افزایش فرستنده‌ها (MIMO) و نیز تنوع توأم قطبی‌شدگی و الگو و مکان که از دو یا چند آنتن با قطبی‌شدگی و الگو دوگانه در دو یا چند نقطه مختلف بدن استفاده می‌کنند و یا ترکیب آن‌ها با MIMO استفاده کرد.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله برای جبران اثر محوشدگی در حوزه مخابرات روی بدن به خارج بدن که سطح سیگنال به نوبت را کاهش می‌دهد آنتنی با دو قطبی‌شدگی در باند ISM طراحی و ساخته شد. نشان داده شد با ایجاد تنوع قطبی‌شدگی حداکثر ۶/۳۵ dB برای کانال قلب با روش ترکیب MRC و حداقل ۴/۷۶ dB برای کانال دست و روش ترکیب انتخابی CS به دست آمده است که این گین کم به دلیل تغییرات شدیدتر جهت‌گیری دست هنگام راه رفتن و سایر حرکات و در نتیجه محوشدگی شدیدتر برای آنتن روی دست می‌باشد. در هر سناریو بیشترین بهره مربوط به روش ترکیب MRC است که البته به سخت‌افزار پیچیده‌تری هم نیاز دارد.

## ۶- مراجع

- [1] M. R. Kamarudin, Y. I. Nechayev, and P. S. Hall, "Performance of antennas in the on-body environment," in IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Washington, DC, United States, pp. 475-478, 2005.
- [2] S. L. Cotton and W. G. Scanlon, "Characterization and modeling of on-body spatial diversity within indoor environments at 868 mhz," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 8, pp. 176-185, 2009.

**Measurement of polarization diversity gain for on-body to off-body channel in ISM band**

**M. Kyaei, S. Chamaani\***

\* K. N. T. University of Technology

(Receive: 2015/04/24, Accept: 2015/08/03)

**Abstract**

*This paper investigates polarization diversity for on-body to off-body fading mitigation. To implement this diversity, first, a dual linearly polarized on-body antenna is designed and fabricated in licence free industrial, scientific and medical (ISM) band (2.4- 2.4835GHz). Using this antenna as a receiver at three different points of body: wrist, heart and belt and a fixed off-body transmitter antenna in indoor environment, time variations of received signals of two diversity ports is recorded using two different spectrum analyzer. In the second step, three methods of signal combination (selection, equal gain and maximum ratio) is applied to calculate the diversity gain. The results show that maximum and minimum of diversity gain is 6.35 and 4.7dB, respectively.*

**Key word:** Diversity gain, polarization diversity, fading