جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات

تحسين وتقييم أداء هوائي ذكي باستخدام مصفوفة بتلر 8×16 وصفيفة هوائيات عريضة المجال

Improving and Performance Evaluation of Smart Antenna Using 8×16 Butler Matrix and Wideband Antenna Array

م. غيث الراعي

د. محمد ميهوب

الملخص

تقدّم هذه الرسالة تصميمًا وتنفيذًا لمصفوفة بتلر Butlerبحجم 8×16 لأنظمة الهوائيات الذكية، مع التركيز على تحقيق توجيه إشعاعي دقيق، عرض مجال ترددي كبير، وتقليل مستوى الحزم الجانبية لتطبيقات الاتصالات اللاسلكية (الجيل الخامس). تبدأ الدراسة بمراجعة نظرية ومراجعة شاملة حول مبادئ الهوائيات وتشكيل الحزمة وأنماط المصفوفات، ثم تستعرض البنى الميكروية المستخدمة مثل الروابط الاتجاهية الهجينة، مقسمات الاستطاعة غير المتساوية، والمزيحات الطورية بما في ذلك مزيح شيفمان .Schiffman

من الجانب التطبيقي، تم تحقيق مصفوفة بتلر 8×16 عن طريق الربط بين مصفوفتين 4×8، ما مكّن من توسيع عرض المجال والحصول على توزيع استطاعة قريب من توزيع تشيبتشيف Chebyshevلتقليل مستوى الحزم الجانبية. استُخدمت مقسمات استطاعة غير متساوية مع مزيح شيفمان Schiffmanالطوري لضمان توزيع الاستطاعة بشكل متوازن بين الهوائيات وخفض التداخل بين الحزم المشكلة. تضمن التصميم قلب نصف العناصر مكانياً لتأمين فرق الطور المطلوب.

أظهرت النتائج قدرة واضحة على توليد حزم موجهة بدقة مع انخفاض ملحوظ في الحزم الجانبية وتوزيع طاقة متوازن؛ وقد حقق النموذج المُنفّذ على ركيزة منخفضة التكلفة عرض مجال نسبي قدره 41%، مما يجعله مناسبًا لتطبيقات شبكات الجيل الخامس من حيث الأداء والتكلفة.

القسم العملي

في البداية تم تصميم روابط هجينة بنسبة قسمة استطاعة متساوية ومزيحات طورية تحقق فرق صفحة 45 درجة ،بعد ذلك قمنا باستخدام أربعة روابط هجينة ومزيحين طورين ودمج هذه المكونات للحصول على مصفوفة بتلر 4×4 , ثم تم تصميم مقسمات استطاعة بنسب تقسيم غير متساوية كمقسم استطاعة ويلكنسون والرابط الاتجاهي وأيضا تم تصميم المزيح الطوري شيفمان .

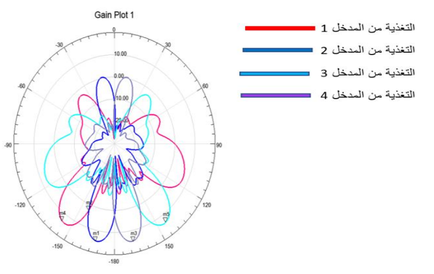
تم وضع مقسمات الاستطاعة على مخارج مصفوفة بتلر 4×4 للحصول على مصفوفة بتلر 8×4 بحيث نحصل على توزيع استطاعة قريب من توزيع تشيبتشف من أجل تخفيض مستوى الحزم الجانبية .

تم تصميم صفيفة هوائيات مكونة من ثمان عناصر هوائية من نوع ياغي اودا وتغذيتها من مخارج مصفوفة بتلر 8×4 وتقييم النتائج التي تم الحصول عليها.

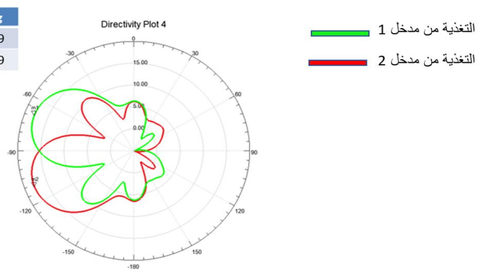
القسم العملي

تم دمج مصفوفتي بتلر 8×4 مع بعض للحصول على مصفوفة بتلر 8×16 ، بعد ذلك قمنا بتصميم صفيفة هوائيات من 16 عنصر من نوع هوائي ياغي أودا وتغذيتها من مخارج مصفوفة بتلر حيث تم الحصول على ثمانية حزم اشعاعية كل منها في زاوية معينة (أربعة حزم في مستوى السمت وحزمتين في مستوى الارتفاع) والحصول على اتجاهية مناسبة ومقبولة .

Name	DeltaPhi(deg)	Ang	Mag
M1	-168	-168	14.7
M2	-157	-157	2.5
M3	168	168	14.7
M4	-143	-143	13.8
M5	144	144	13.5



Name	Phi(deg)	Ang	Mag
M1	-69	-69	17.9
M2	-111	-111	17.9



القسم النظري

تم دراسة معاملات الهوائيات وأنواعها المختلفة، والتي تلعب دوراً بارزاً في تصميم الهوائيات وتحديد خصائصها الإشعاعية، بالإضافة الى طرائق تشكيل الحزمة الإشعاعية، والتي تعد من العوامل الرئيسية في تحسين أداء الهوائيات الذكية ثم دراسة مكونات مصفوفة بتلر كالرابط الاتجاهي والمزيح الطوري وشرح موجز عن هوائي ياغي اودا.

النتائج والمناقشة

أظهرت صفيفة الهوائيات المدمجة قدرة عالية على تشكيل الحزم الاتجاهية، مع تحكم دقيق في مستوى الحزم الجانبية وتقليل التداخل.

دمج مصفوفة بتلر مع صفيفة من 16 عنصرًا مكّن من مسح مستويي السمت والارتفاع.

الحصول على اتجاهية تصل إلى 18.5dBi، مع معامل انعكاس وتداخل منخفضين على كامل المجال الترددي.

المراجع

[1] He, W., Li, J., Wu, S., Yan, S., & Xu, K. (2024). 3D printed millimeter-wave multi-beam magnetoelectric dipole antenna array fed by filtering Butler matrix. SSRN. https://doi.org/10.2139/ssrn.4963828

[2] Chung, M.-A., Lin, C.-W., & Yang, C.-W. (2024). A low-cost four-directional beamforming switched Butler matrix network antenna for 5G NR applications. IEEE Access, 12, 42949–42960. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3379235

[3] Lin, C.-K., & Lin, D.-B. (2025). A low-cost 4×4 Butler matrix-fed patch antenna array for millimeter wave applications. Microwave and Optical Technology Letters. https://doi.org/10.1002/mop.70078