REVIEW OF THE LATEST PROGRESS IN THE DEVELOPMENT OF ANTENNA SYSTEMS FOR MOBILE GROUND ROBOTS

مراجعة لأحدث التطورات في تطوير أنظمة الهوائيات للروبوتات الأرضية المتحركة

Cai Maodong
PhD. student, Sukhoi State Technical University of Gomel

Viktar Panteleevich Kudzin *Doctor of Engineering, Professor, Department of Industrial Electronics, Sukhoi State Technical University*

Scientific Supervisor المشرف العلمي

Abstract: *The advancement of mobile ground robots has been significantly influenced by the development of sophisticated antenna systems. This review highlights the latest progress in antenna technologies tailored for mobile ground robots, emphasizing their design, performance, and integration in various applications. We discuss recent innovations, challenges, and future directions in antenna systems that enhance communication, navigation, and overall operational efficiency of mobile robots.*

Keywords: *Antenna Systems, Mobile Ground Robots, Phased Array, Electromagnetic Interference, radiation pattern, gain, latest developments*.

تساى ماودونج
طالب دكتوراه بجامعة سخوي الحكومية التقنية

الخلاصة : لقد تأثر تقدم الروبوتات الأرضية المتحركة بشكل كبير بتطوير أنظمة الهوائيات المتطورة. تسلط هذه المراجعة الضوء على أحدث التطورات في تقنيات الهوائيات المصممة خصيصًا للروبوتات الأرضية المتحركة، مع التركيز على تصميمها وأدائها وتكاملها في تطبيقات مختلفة. نناقش الابتكارات والتحديات والاتجاهات المستقبلية الحديثة في أنظمة الهوائي التي تعزز الاتصالات والملاحة والكفاءة التشغيلية الشاملة للروبوتات المتحركة.

الكلمات المفتاحية : أنظمة الهوائيات، الروبوتات الأرضية المتحركة، المصفوفات الطورية، التداخل الكهرومغناطيسي، نمط الإشعاع، المكسب، أحدث التطورات

البروفيسور. فيكتور بانتيليفيتش كودين
أستاذ مشارك في قسم الإلكترونيات الصناعية بجامعة سخوي الحكومية التقنية

Introduction

Mobile ground robots are increasingly employed in various fields, including agriculture, search and rescue, military operations, and industrial automation. The performance of these robots heavily relies on robust communication systems, with antennas playing a crucial role. This review recent advancements in antenna systems designed specifically for mobile ground robots, focusing on their characteristics, types, and integration challenges [1-3].

Results and discussion

Recent innovations in antenna design, such as patch antennas, phased array systems, and MIMO technologies, have shown remarkable improvements in performance metrics. Patch antennas are now being developed with multifunctional capabilities, enabling them to operate across various frequency bands while maintaining a low profile. This is particularly beneficial for compact mobile robots that require lightweight solutions without compromising communication quality.

Phased array antennas have transitioned from large, bulky systems to miniaturized versions suitable for ground robots. Their ability to electronically steer beams enhances communication links in dynamic environments, allowing robots to maintain connectivity even in challenging terrains. This adaptability is crucial for applications such as search and rescue missions where environmental conditions can change rapidly.

Despite these advancements, several challenges remain. The size and weight constraints of antennas are ongoing concerns, particularly as robots become more compact. The need for lightweight materials that do not sacrifice performance is essential. Research into advanced materials, including flexible and durable options, is critical to overcoming these limitations.

Environmental factors also play a significant role in antenna performance. Mobile ground robots often operate in harsh conditions, where temperature fluctuations and physical obstructions can hinder communication. Recent developments in protective coatings and materials have aimed to mitigate these issues, but further exploration is necessary to ensure reliability across diverse environments.

Electromagnetic interference from other onboard systems continues to affect antenna performance. Innovative design strategies, such as strategic antenna placement and advanced filtering techniques, have been employed to reduce EMI effects. However, ongoing research is required to optimize these solutions further, especially in densely populated robotic systems.

The incorporation of 3D printing technology has revolutionized antenna design and prototyping, allowing for rapid development and customization of antenna structures. This flexibility enables researchers to experiment with complex geometries that traditional manufacturing methods cannot easily achieve. Such capabilities facilitate the creation of tailored antennas that meet specific operational requirements.

Smart antennas, which adapt their parameters in real-time based on environmental conditions, represent a significant leap forward. These antennas can optimize their performance dynamically, enhancing reliability and communication quality in various scenarios. The integration of artificial intelligence for adaptive antenna systems is a promising avenue for future research, potentially leading to more autonomous and efficient robotic operations.

Looking ahead, several key areas warrant further investigation. Continued miniaturization of antennas is essential for the next generation of mobile ground robots. Innovations in hybrid antenna systems—combining different types of antennas for comprehensive coverage-could significantly improve performance across multiple communication protocols.

Moreover, enhancing interoperability among antennas to support various communication standards will ensure seamless integration of robotic platforms in diverse environments. As mobile ground robots become more prevalent across industries, addressing these challenges will be vital to their success.

Conclusion

The latest progress in antenna systems for mobile ground robots reflects a dynamic and rapidly evolving field. While significant advancements have been made, ongoing research and development are crucial to overcoming existing challenges. The future of mobile ground robots will heavily depend on the continued innovation of antenna technologies, ensuring robust communication and operational efficiency in various applications.

المقدمة

تُستخدم الروبوتات الأرضية المتنقلة بشكل متزايد في مجالات مختلفة، بما في ذلك الزراعة، والبحث والإنقاذ، والعمليات العسكرية، والأتمتة الصناعية. يعتمد أداء هذه الروبوتات بشكل كبير على أنظمة الاتصالات القوية، حيث تلعب الهوائيات دورًا حاسمًا. تستعرض هذه المراجعة التطورات الأخيرة في أنظمة الهوائيات المصممة خصيصًا للروبوتات الأرضية المتنقلة، مع التركيز على خصائصها وأنواعها وتحديات التكامل[1-3].

النتائج والمناقشة

لقد أظهرت الابتكارات الحديثة في تصميم الهوائيات، مثل هوائيات التصحيح، وأنظمة المصفوفات الطورية، وتقنيات MIMO، تحسينات ملحوظة في مقاييس الأداء. يتم الآن تطوير هوائيات التصحيح بقدرات متعددة الوظائف، مما يمكنها من العمل عبر نطاقات تردد مختلفة مع الحفاظ على مستوى منخفض. هذا مفيد بشكل خاص للروبوتات المحمولة المدمجة التي تتطلب حلولاً خفيفة الوزن دون المساس بجودة الاتصال.

لقد انتقلت هوائيات المصفوفات الطورية من أنظمة كبيرة وثقيلة إلى إصدارات مصغرة مناسبة للروبوتات الأرضية. تعمل قدرتها على توجيه الحزم إلكترونيًا على تعزيز روابط الاتصال في البيئات الديناميكية، مما يسمح للروبوتات بالحفاظ على الاتصال حتى في التضاريس الصعبة. هذه القدرة على التكيف أمر بالغ الأهمية لتطبيقات مثل مهام البحث والإنقاذ حيث يمكن أن تتغير الظروف البيئية بسرعة.

وعلى الرغم من هذه التطورات، لا تزال هناك العديد من التحديات. تعد قيود الحجم والوزن للهوائيات من المخاوف المستمرة، خاصة مع تزايد حجم الروبوتات. إن الحاجة إلى مواد خفيفة الوزن لا تضحي بالأداء أمر ضروري. يعد البحث في المواد المتقدمة، بما في ذلك الخيارات المرنة والمتينة، أمرًا بالغ الأهمية للتغلب على هذه القيود.

تلعب العوامل البيئية أيضًا دورًا مهمًا في أداء الهوائي. غالبًا ما تعمل الروبوتات الأرضية المتنقلة في ظروف قاسية، حيث يمكن لتقلبات درجات الحرارة والعوائق المادية أن تعيق الاتصال. تهدف التطورات الأخيرة في الطلاءات والمواد الواقية إلى التخفيف من هذه المشكلات، ولكن هناك حاجة إلى مزيد من الاستكشاف لضمان الموثوقية عبر بيئات متنوعة.

يستمر التداخل الكهرومغناطيسي من الأنظمة الأخرى الموجودة على متن الطائرة في التأثير على أداء الهوائي. تم استخدام استراتيجيات التصميم المبتكرة، مثل وضع الهوائي الاستراتيجي وتقنيات الترشيح المتقدمة، للحد من تأثيرات التداخل الكهرومغناطيسي. ومع ذلك، هناك حاجة إلى إجراء أبحاث مستمرة لتحسين هذه الحلول بشكل أكبر، وخاصة في الأنظمة الروبوتية المكتظة بالسكان.

لقد أحدث دمج تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد ثورة في تصميم الهوائي والنماذج الأولية، مما يسمح بالتطوير السريع وتخصيص هياكل الهوائي. تمكن هذه المرونة الباحثين من تجربة الأشكال الهندسية المعقدة التي لا تستطيع طرق التصنيع التقليدية تحقيقها بسهولة. تسهل هذه القدرات إنشاء هوائيات مخصصة تلبي متطلبات تشغيلية محددة.

تمثل الهوائيات الذكية، التي تتكيف مع معلماتها في الوقت الفعلي بناءً على الظروف البيئية، قفزة كبيرة إلى الأمام. يمكن لهذه الهوائيات تحسين أدائها ديناميكيًا، وتعزيز الموثوقية وجودة الاتصال في سيناريوهات مختلفة. إن دمج الذكاء الاصطناعي في أنظمة الهوائيات التكيفية هو طريق واعد للبحوث المستقبلية، مما قد يؤدي إلى عمليات روبوتية أكثر استقلالية وكفاءة.

وبالنظر إلى المستقبل، فإن العديد من المجالات الرئيسية تستحق المزيد من التحقيق. إن الاستمرار في تصغير الهوائيات أمر ضروري للجيل القادم من الروبوتات الأرضية المتنقلة. إن الابتكارات في أنظمة الهوائي الهجينة - التي تجمع بين أنواع مختلفة من الهوائيات لتغطية شاملة - يمكن أن تحسن الأداء بشكل كبير عبر بروتوكولات اتصال متعددة.

وعلاوة على ذلك، فإن تعزيز التشغيل البيني بين الهوائيات لدعم معايير الاتصال المختلفة سيضمن التكامل السلس للمنصات الروبوتية في بيئات متنوعة. ومع انتشار الروبوتات الأرضية المتنقلة بشكل متزايد عبر الصناعات، فإن معالجة هذه التحديات ستكون حيوية لنجاحها.

الخاتمة

يعكس أحدث التقدم في أنظمة الهوائيات للروبوتات الأرضية المتنقلة مجالًا ديناميكيًا وسريع التطور. وفي حين تم تحقيق تقدم كبير، فإن البحث والتطوير المستمر أمران حاسمان للتغلب على التحديات القائمة. سيعتمد مستقبل الروبوتات الأرضية المتنقلة بشكل كبير على الابتكار المستمر لتقنيات الهوائي، مما يضمن الاتصالات القوية والكفاءة التشغيلية في تطبيقات مختلفة.

Literature المراجع والمصادر

1. B. H, S. L, T. A. Uniform and concentric circular antenna arrays synthesis for smart antenna systems using artificial neural network algorithm[J]. Progress in Electromagnetics Research B,2016,67(1):91-105.
2. Morab F, Hegde R,Hegde V.Swift Convergent Weighted Quadrigeminal Beamformer Using Smart Antenna System[J].Traitement du Signal,2024,41(3):.
3. O. Shouffi, I. Shaglil, K. Stayanova and R. Benotsmane, "Design and Implementation of DOA Algorithms for Smart Antenna Systems," 2024 25th International Carpathian Control Conference (ICCC), Krynica Zdrój, Poland, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCC62069.2024.10569403.