

ОБЗОР МОДИФИКАЦИЙ ТЕХНОЛОГИИ ВИЗУАЛЬНОГО ИЗМЕРЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Назаров А.М., Жумакулов Ф.К.

Ташкентский государственный технический университет
г.Ташкент, Узбекистан, ул. университетская 2, nazarov_58@rambler.ru;
foziljonkomiljonovich@gmail.com

Аннотация: В статье представлен комплексный обзор современных модификаций технологий визуального измерения и идентификации объектов с применением радиотехнических методов. Рассмотрены принципы работы радиолокационных систем визуализации, технологии пассивной и активной радиовизуализации, а также гибридные подходы, объединяющие оптические и радиочастотные методы. Проанализированы преимущества и ограничения каждой модификации технологии. Особое внимание уделено применению миллиметровых волн, терагерцового излучения и SAR-технологий для задач идентификации и измерения объектов в различных условиях видимости.

Ключевые слова: радиовизуализация, радиолокационное измерение, SAR-технология, терагерцовое излучение, миллиметровые волны

Введение

Традиционные методы визуального измерения и идентификации объектов основаны на оптических системах, работа которых существенно зависит от условий освещенности и прозрачности среды. Радиотехнические методы предоставляют альтернативу, позволяя осуществлять визуализацию и измерение параметров объектов в условиях ограниченной видимости, через непрозрачные для оптического излучения среды [1]. Развитие микроволновой и терагерцовой техники открыло новые возможности для создания систем радиовизуализации с высоким пространственным разрешением, что расширяет области применения данных технологий в промышленности, безопасности и научных исследованиях.

Основная часть

1. Технологии активной радиолокационной визуализации

Активная радиолокационная визуализация основана на излучении радиосигнала и анализе отраженного излучения от объекта. Классическим

примером является технология SAR (Synthetic Aperture Radar) – радиолокация с синтезированной апертурой, которая обеспечивает высокое разрешение за счет когерентной обработки сигналов, принятых при перемещении антенны [2]. Современные SAR-системы достигают разрешения менее одного метра и применяются в дистанционном зондировании Земли, мониторинге инфраструктуры и военных приложениях.

Миллиметровые радары (диапазон 30-300 ГГц) обеспечивают компромисс между разрешением и способностью проникать через различные материалы. Эти системы широко применяются в авиационной безопасности для досмотра пассажиров, поскольку позволяют обнаруживать скрытые объекты без физического контакта [3]. Пространственное разрешение миллиметровых систем составляет несколько миллиметров, что достаточно для идентификации опасных предметов.

Спектр электромагнитных волн для визуализации показан на рис. 1.



Рис. 1 – Классификация технологий радиовизуализации по диапазонам частот

2. Терагерцовая визуализация

Терагерцовый диапазон (0.1-10 ТГц) занимает промежуточное положение между микроволновым и инфракрасным излучением, объединяя преимущества обеих спектральных областей. Терагерцовые волны способны проникать через многие неметаллические материалы (одежду, пластик, керамику, дерево), что делает их перспективными для неразрушающего

контроля и систем безопасности [4]. При этом терагерцовое излучение является неионизирующим, что обеспечивает безопасность для человека.

Современные терагерцовые системы визуализации реализуются в двух основных вариантах: импульсные и непрерывные. Импульсные системы обеспечивают спектроскопическую информацию и позволяют определять состав материалов, что критично для выявления взрывчатых веществ и наркотиков. Непрерывные системы обеспечивают высокую скорость сканирования и используются в системах досмотра в реальном времени. Ограничением терагерцовой визуализации является сильное затухание в атмосфере, особенно при наличии водяных паров, что ограничивает дальность действия несколькими метрами.

3. Пассивные радиотехнические методы визуализации

Пассивная радиовизуализация основана на регистрации собственного теплового радиоизлучения объектов без использования внешних источников. Все тела с температурой выше абсолютного нуля излучают электромагнитные волны в радиодиапазоне. Радиометрические системы регистрируют это излучение и формируют изображение объекта на основе контраста яркостных температур [5].

Преимуществом пассивных систем является скрытность работы и отсутствие необходимости в мощных передатчиках, что снижает энергопотребление и массогабаритные характеристики. Однако пассивные системы требуют больших апертур антенн для достижения приемлемого разрешения и чувствительны к фоновому излучению окружающей среды. Типичные области применения включают медицинскую диагностику, где радиотермометрия позволяет выявлять локальные изменения температуры тканей, связанные с патологическими процессами.

Принципы работы активной и пассивной радиовизуализации показаны на рис. 2.

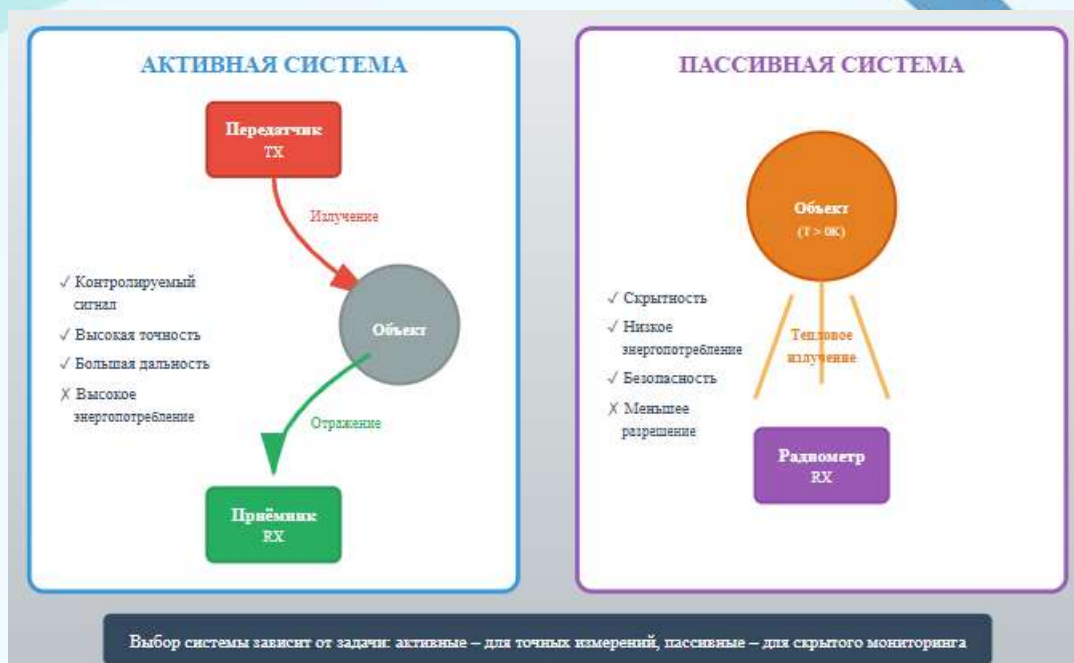


Рис. 2 – Сравнение принципов активной и пассивной радиовизуализации

4. Гибридные системы и перспективы развития

Современные тенденции развития технологий радиовизуализации направлены на создание мультимодальных систем, объединяющих различные диапазоны электромагнитного спектра. Комбинирование радиотехнических методов с оптическими системами позволяет получать дополнительную информацию об объекте и повышать надежность идентификации. Например, системы автономного вождения используют комбинацию лидаров, видеокамер и миллиметровых радаров для обеспечения надежного восприятия окружающей среды в любых погодных условиях.

Развитие технологий цифровой обработки сигналов и машинного обучения открывает новые возможности для повышения качества радиоизображений. Применение алгоритмов глубокого обучения позволяет автоматически классифицировать объекты на радиоизображениях, повышать контрастность и устранять артефакты. Интеграция радиовизуализации с технологиями интернета вещей обеспечивает создание распределенных систем мониторинга и контроля в реальном времени.

Заключение

Современные модификации технологий визуального измерения и идентификации радиотехническими методами представляют собой разнообразный инструментарий для решения широкого спектра задач. SAR-

технологии обеспечивают глобальный мониторинг земной поверхности, миллиметровые радары применяются в системах безопасности и автономного вождения, терагерцовая визуализация находит применение в неразрушающем контроле и медицине.

Выбор конкретной модификации технологии определяется требованиями к разрешению, дальности действия, проникающей способности и условиями эксплуатации. Перспективным направлением развития является создание гибридных систем, объединяющих преимущества различных спектральных диапазонов и методов обработки информации. Развитие элементной базы и алгоритмов обработки сигналов продолжает расширять возможности радиотехнических методов визуализации и их области применения.

Список литературы

1. Siegel P.H. Terahertz technology in biology and medicine // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2004. Vol. 52, No. 10. P. 2438-2447.
2. Moreira A., Prats-Iraola P., Younis M., Krieger G. A tutorial on synthetic aperture radar // IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine. 2013. Vol. 1, No. 1. P. 6-43.
3. Sheen D.M., McMakin D.L., Hall T.E. Three-dimensional millimeter-wave imaging for concealed weapon detection // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2001. Vol. 49, No. 9. P. 1581-1592.
4. Federici J.F., Schulkin B., Huang F., Gary D. THz imaging and sensing for security applications // Semiconductor Science and Technology. 2005. Vol. 20, No. 7. P. S266-S280.
5. Popovic Z., Grossman E.N. THz metrology and instrumentation // IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. 2011. Vol. 1, No. 1. P. 133-144.