

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ГЕТЕРОДИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ СЕНСОРНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МИКРОВОЛНОВОГО ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ТОМОГРАФА

*Жантлесов Е.Ж., Грузин В.В.,
Жантлесов Ж.Х.*

Аннотация

В статье приводятся сведения о применении метода гетеродинамирования для измерения мощности микроволнового излучения и реализации его с использованием стандартных доплеровских радаров.

Применение доплеровских радаров в качестве измерителей мощности позволяет изменить подход к оптимизации сенсорной системы микроволнового голографического томографа. При проведении эксперимента были смоделированы несколько основных конфигураций сенсорной системы в двумерном пространстве и исследованы зависимости качества визуализации точечного отражателя от режимов работы радаров.

На основании полученных результатов и с учетом имитационного моделирования работы сенсорной системы микроволнового томографа были сформулированы требования для выполнения полноразмерного эксперимента.

Ключевые слова: голография, радар, гетеродинамирование, моделирование обнаружение.

Введение

В настоящее время на особо важных государственных объектах и во всех городских аэропортах не только в Казахстане, но во всем мире внедрены сканеры [1], которые позволяют определять различные плохо визуализированные объекты в местах массового скопления людей. Это, прежде всего, обусловлено наличием террористических угроз и этнорелигиозной напряженностью, которые дестабилизируют международную обстановку во всем мире.

Однако, достаточно высокая стоимость сканирующего оборудования и его недостаточно рациональная компоновка подсистемы «излучения-приема» ограничивают применение подобных систем.

В связи с изложенным разработка недорогой усовершенствованной конструкции системы обнаружения скрытых объектов отечественного производства позволила бы повсеместно повысить уровень безопасности за счет ее применения в таких местах скопления людей, как: торговые

комплексы, учебные заведения, различные административные здания, парки отдыха, многочисленные развлекательные комплексы, стадионы и т.д.

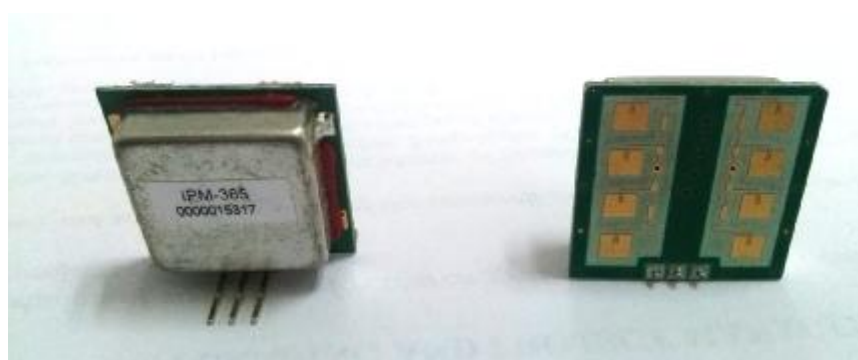
Перспективным направлением в создании подобных технических систем является применение принципа голографии, который заключается в измерении волнового фронта отраженного от объекта исследования [2]. Для этого объект исследования и опорный отражатель последовательно облучают монохроматической волной [3]. При этом отраженная волна от объекта интерферирует с волной от опорного отражателя.

1 Особенности применения метода гетеродинирования при совершенствовании подсистемы «излучение – прием»

Существенным отличием создания системы обнаружения объектов на основе микроволновой голографии от уже известных устройств является применение метода биений для измерения мощности микроволн [6]. Данный принцип основывается на том, что при изготовлении партиями доплеровских радаров существует погрешность в их частотном излучении, т.е. в одной выпущенной партии любые два доплеровских радара не обладают одинаковыми частотами излучения. Радары имеют разную частоту излучения, которая незначительно отличается друг от друга (см.

Далее с помощью специальных приемников - сенсоров формируется распределение интенсивности интерференционной картины за счет волнового фронта, что позволяет осуществить измерение голограммы и сформировать 2-х или 3-х мерный контур сканируемого объекта [4].

Основной проблемой реализации существующих микроволновых голографических систем сканирования является их высокая себестоимость, так как требуется большое количество дорогостоящих сенсоров – измерителей мощности микроволнового излучения [5].



а)

б)

Рисунок 1 Общий вид доплеровского радара 24 ГГц:
а – вид сзади, б – вид спереди

рисунок 1).

Рассмотрим два радара с близкими к друг другу частотами микроволн f_1 и f_2 , при этом их разность равна Δf . При встречном излучении микроволн происходит смешивание их частот.

В этом случае на основе тригонометрической формулы суммы синусов имеем следующее равенство [7]:

$$\begin{aligned} \sin f_1 + \sin f_2 &= \sin f_1 + \sin(f_1 - Df) = 2 \times \sin \frac{(f_1 + f_1 - Df)}{2} \times \cos \frac{(f_1 - (f_1 - Df))}{2} = \\ &= 2 \times \sin \frac{2f_1 - Df}{2} \times \cos \frac{Df}{2}; \end{aligned} \quad (1)$$

Анализируя выражение (1) мы получаем микроволновой сигнал частотой $\frac{2f_1 - Df}{2}$, который модулирован частотой $\frac{Df}{2}$.

На основании выше изложенного, для обоснования возможности создания новой конструкции системы обнаружения визуально скрытых объектов с помощью микроволнового излучения, предварительно был проведен следующий эксперимент (см. рисунок 2):

1) два доплеровских радара, между которыми было установлено расстояние 2 м, были направлены друг на друга;

5).

В процессе эксперимента применялись радары со следующими характеристиками:

- частота первого радара $f_1 = 24,158 \text{ GHz}$;
- частота второго радара $f_2 = 24,154 \text{ GHz}$;
- частота биений $Df = 2 \text{ MHz}$.

В соответствии с уравнением (1) и на основании принципа гетеродинирования для данной пары радаров после прохождения диода Шоттки был получен усредненный сигнал в $24,156 \text{ GHz}$ и с частотой модулирования 2 MHz [6, 8].

Применение принципа гетеродинирования имеет следующие два ограничения:

1) по измерительному принципу: большая частота разброса частот разных радаров обуславливает дополнительные требования из-за сложности

2) с частотой 24 GHz ими были сформированы микроволновые излучения, которые продемонстрировали эффект «биений»;

3) амплитуда биений соответствовала диаграмме направленности радаров;

4) при помощи сканера были измерены диаграммы направленности радаров, которые с небольшой ошибкой совпадали с паспортными данными самих радаров

измерения даже пониженной частоты.

2) по голографическому принципу: искажение фазы за время пути прохождения волнового фронта должна быть не более чем четверть длины самой волны [9].

На основании выше изложенных принципов для использования данного метода необходимо исключить радары, имеющие большую частоту разброса. Для голографического томографа размерами 2 метра

предельное отклонение длины волны составляет 15 мкм.

Для этого были исследованы пять доплеровских радаров из одной партии (см. таблицу).

Таблица Сравнительный анализ параметров доплеровских радаров

Номер радара	Длина волны, мм	Частота излучения, ГГц	Результаты анализа
1	12,435	24,126	допущен
2	12,437	24,121	допущен
3	12,432	24,130	допущен
4	12,427	24,140	не допущен
5	12,436	24,123	допущен

На основании сравнительного анализа параметров доплеровских радаров в качестве измерителя был выбран радар с частотой 24,126 ГГц. При этом остальные радары в подсистеме «излучения-приема» будут работать в качестве излучателей.

2 Особенности имитационного моделирования работы сенсорной системы микроволнового голографического томографа для обнаружения скрытых объектов

Выполненные экспериментальные исследования и сравнительный анализ параметров доплеровских радаров в качестве измерителей

Распространение волн в двумерном пространстве описывается системой волновых уравнений [11]:

$$\begin{cases}
 \ddot{\frac{\partial^2 E_x}{\partial x^2}} = \frac{1}{u^2} \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2}; \\
 \ddot{\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2}} = \frac{1}{u^2} \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2}; \\
 \ddot{\frac{\partial^2 H_x}{\partial x^2}} = \frac{1}{u^2} \frac{\partial^2 H_x}{\partial t^2}; \\
 \ddot{\frac{\partial^2 H_y}{\partial x^2}} = \frac{1}{u^2} \frac{\partial^2 H_y}{\partial t^2},
 \end{cases}
 \tag{2}$$

где E_x, E_y - компоненты напряженности электрического поля;

мощности, позволяют выполнить оптимизацию сенсорной системы микроволнового голографического томографа.

Для оптимизации сенсорной системы микроволнового голографического томографа применим метод численного моделирования, который позволит получить картины распространения электромагнитных волн в средах и, тем самым, улучшить интерпретацию результатов. В процессе имитационного моделирования распространения волн применим метод конечных разностей во временной области [10].

H_x, H_y - компоненты напряженности магнитного поля;

u - скорость электромагнитной волны;

t - время.

На основании предложенной детерминированной модели была разработана имитационная модель распространения электромагнитных волн, которая представляла собой сенсоры и излучатели, поочередно расположенные по окружности, на расстоянии 1 метра от отражателя, имитирующего опорный источник, и разработано программное обеспечение для двумерных случаев моделирования с ускорением вычислений при помощи библиотеки Accelerator компании Microsoft и графической карты GTX 770 [12].

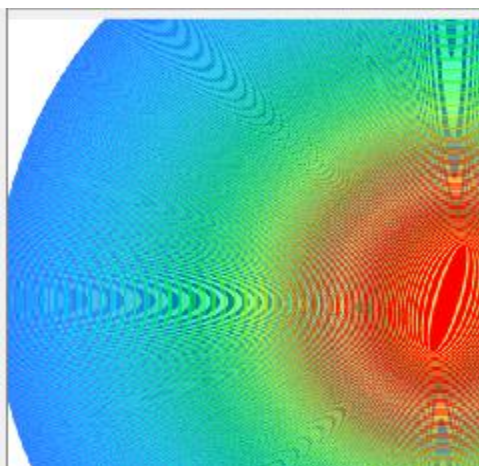
В результате выполненного имитационного моделирования работы сенсорной системы микроволнового голографического томографа для обнаружения объектов с помощью метода конечных разностей во
- объектов.

временной области были получены для различных вариантов использования доплеровских радаров изображения, рассчитанные на основе полученных сигналов (см. рисунок 2).

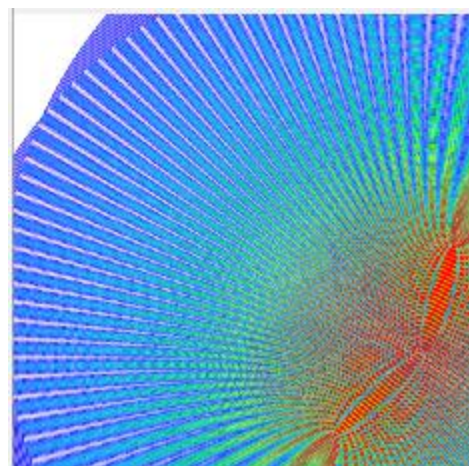
Анализ, полученных изображений имитационного моделирования сканирования объекта показывает, что:

- увеличение в подсистеме «излучения – приема» числа радаров на излучение и прием позволяет существенно уменьшить «внешние шумы» при сканировании объекта;

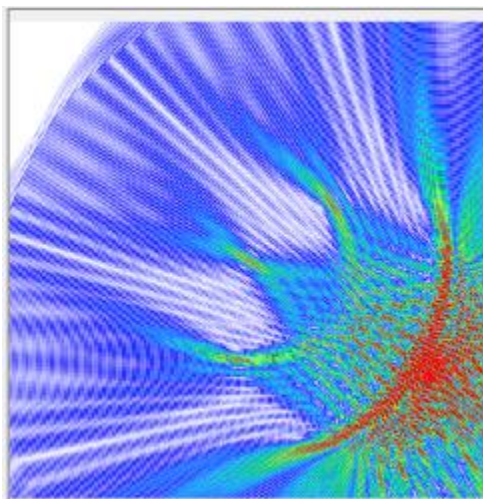
- с увеличением в подсистеме «излучения – приема» числа радаров на излучение и прием, может быть оптимизировано в зависимости от требований точности сканирования различных типов



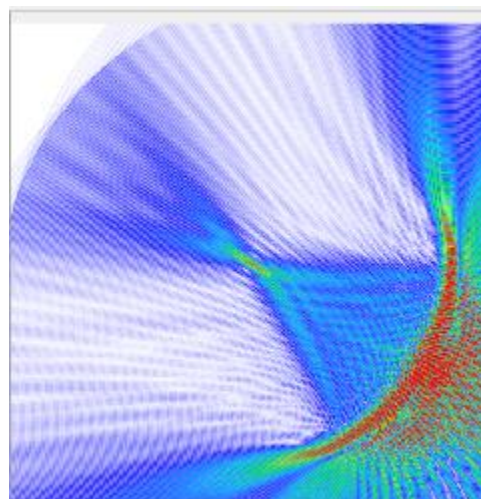
а)



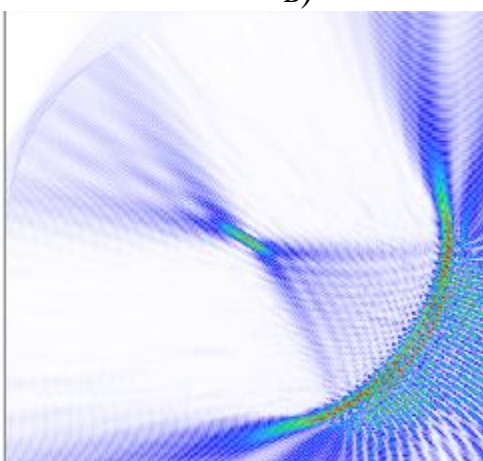
б)



в)



г)



д)

а – 12-й радар излучает и 1 принимает; б -12-й радар излучает и принимают 1 и 24 радары; в – 12-й радар излучает и принимают каждый 4 из 24 радаров; г – 12-й радар излучает и 24 радары принимают; д - 24 радары излучают и 24 радары принимают

Рисунок 2 Изображения имитационного моделирования сканирования точечного объекта

Выводы

На основании результатов данной работы следует:

1. Высокая стоимость существующих систем сканирования визуально скрытых объектов не позволяет обеспечить их применение в местах массового скопления людей, что обуславливает необходимость совершенствования подсистемы «излучения - приема» в сенсорной

системе микроволнового голографического томографа.

2. На основании метода гетеродинамирования была апробирована методика измерения мощности микроволнового излучения доплеровским радаром.

3. С применением детерминированной модели распространения волн и метода конечных разностей во временной области была разработана

имитационная модель распространения волн и разработано программное обеспечение для двумерных случаев моделирования с ускорением вычислений при помощи библиотеки Accelerator компании Microsoft и графической карты GTX 770.

4. В результате анализа изображений имитационного моделирования сканирования точечного объекта установлено что:

- увеличение в подсистеме «излучения – приема» числа радаров на излучение и прием

позволяет существенно уменьшить «внешние шумы» при сканировании объекта;

- с увеличением в подсистеме «излучения – приема» числа радаров на излучение и прием, может быть оптимизировано в зависимости от требований точности сканирования различных типов объектов.

5. Для оценки качества получаемых радиоизображений на следующем этапе исследования, планируется решение трехмерной задачи.

Список литературы

1. www.smithsdetection.com/index.php/products-solutions/people-screening-systems.html 16.08.2015
2. "Holographic subsurface radar RASCAN-5," Zhuravlev, A.V., Ivashov, S.I., Razevig, V.V., Vasiliev, I.A., Bugaev, A.S. 7th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR), 2-5 July 2013.
3. Microwave holography in detection of hidden objects under the surface and beneath clothes. A. Zhuravlev, A. Bugaev, S. Ivashov, V. Razevig, I. Vasiliev. General Assembly and Scientific Symposium, 2011 XXXth URSI. 13-20 Aug. 2011.
4. Физические основы голографии. С. М. Рытов. Электромагнитные волны и электронные системы. - 2008. - Т. 13, N 9. - С. 20-37
5. Высокоточный измеритель мощности миллиметрового и инфракрасного диапазона. Р.А. СИМОНЯН, А.Г. ГУЛЯН, А.А. САНОЯН, Р.М. КИРАКОСЯН. ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2011. Т. LXIV, ¹ 2. УДК 621.555.6.
6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Гетеродинамирование>. 16.08.2015
7. Справочник по высшей математике. Выгодский М.Я. М.: АСТ: Астрель, 2006. — 991с.
8. https://en.wikipedia.org/wiki/Schottky_diode. 16.08.2015
9. Р. Кольер, К. Беркхард, Л. Лин «Оптическая голография» Изд. «Мир», Москва, 1973, 450 с.
10. T. G. Jurgens, A. Taflove, K. Umashankar, and T. G. Moore (1992). «Finite-difference time-domain modeling of curved surfaces». IEEE Trans. Antennas Propag. 40: 357.

11. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики: Учебное пособие.. — 6-е изд., испр. и доп.. — М.: Изд-во МГУ, 1999. — 798 с.
12. Accelerator: Using Data Parallelism to Program GPUs for General-Purpose Uses. D. Tarditi, S. Puri, J Oglesby. Microsoft Research

Түйін

Мақалада қысқатолқынды сәуле шашудың қуаттылығын өлшеуге гетеродинирлеу әдістемесі қолдану және стандартты доплер радарын қолдану арқылы жүзеге асыру бағыты келтіріледі.

Қуаттылығын өлшеу мақсатында доплер радарын қолдану негізінде қысқатолқынды голографиялық томограф жүйесінің сенсорын оңтайландыруға басқаша мүмкіндік береді. Тәжірибе жүргізу кезінде екі кеңістік бойынша бірнеше сенсорлық жүйенің негізгі кескіндемесі моделденді және радардың жұмыс жасау кезеңіне байланысты нүктелік шағылу сапасының қатынастылығы зерттелді.

Алынған зерттеулер негізінде және қысқатолқынды томографтағы сенсор жүйесіндегі имитациялық моделдеу жұмыс барысында толыққанды ғылыми тәжірибе жасауға негізгі талаптар тұжырымдалды.

Summary

Data on application of heterodyning method for measurement of microwave radiation power and its realization with the use of standard Doppler radars are provided in the article.

Application of Doppler radars as power meters, allows changing an approach to optimization of scanning system of the holographic tomograph. When carrying out experiment some main configurations of scanning system in two-dimensional spaces were simulated and dependences of dot reflector visualization quality from operating mode of radars were investigated.

On the basis of the received results and taking into account imitating modeling work of microwave tomography touch system, requirements for full-sized experiment performance were formulated.

Работа выполняется в рамках грантового финансирования научных исследований при поддержке Министерство образования и науки Республики Казахстан. Тема: «Разработка системы обнаружения скрытых металлических предметов на основе микроволновой голографии» (грант № 4345/ГФ4).