

Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» - «Муром 2021»

Физическое моделирование ультразвуком радиолокационных систем с цифровыми методами обработки сигналов при их изучении в техническом ВУЗе

Афонин И.Л.¹, Байздренко А.А.², Шереметьев К.С.¹

¹Севастопольский государственный университет,
299053 г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: kirill52846@mail.ru

²Черноморское высшее военно-морское училище имени П.С.Нахимова,
299028 г. Севастополь, ул. Дыбенко Павла 1а, e-mail: baizdrenko@mail.ru

В работе обосновывается и практически показывается возможность физического моделирования радиолокационных систем ультразвуковым локатором. Это повышает наглядность и эффективность усвоения студентами принципов построения и функционирования современных радиолокационных систем. Особенностью предлагаемого подхода является возможность обучаемых работать в ходе проведения практических занятий с исходными кодами программ обработки сигналов и управления локатором. Изготовленный лабораторный стенд позволяет легко менять структуры исследуемых локационных систем и малогабаритного целевого пространства.

Ключевые слова: физическое моделирование, радиолокационная система, ультразвуковые волны, программно-аппаратные средства, целевое пространство.

Physical ultrasound simulation of radar systems with digital methods signal Processing during their study at a technical university

I. L. Afonin¹, A.A. Baizdrenko², K. S. Sheremetiev¹,

¹Sevastopol State University, Russia.

²Federal State Higher Military Educational Establishment "Nahimov Black Sea Higher Naval

The paper substantiates and practically shows the possibility of physical modeling of radar systems with an ultrasonic locator. This increases the visibility and efficiency of students' mastering the principles of construction and operation of modern radar systems. A special feature of the proposed approach is the ability of students to work with the source codes of signal processing and locator control programs during practical training. The manufactured laboratory stand allows you to easily change the structures of the studied location systems and small-sized target space.

Keywords: physical modeling, radar system, ultrasonic waves, software and hardware, target space.

Введение

Радиолокационные системы различного назначения имеют широкое распространение в различных областях человеческой деятельности. При их изучении и совершенствовании широко применяются методы их математического моделирования. В последнее время математическое моделирование крайне усложнилось, как теоретическими подходами реализуемыми в моделях, так и идеалает затруднительным понимание физики явлений происходящих в реальных радиолокационных системах. В этих условиях может быть эффективно использован в учебном процессе метод физического моделирования. Учебные планы обучения в технических ВУЗах студентов по ряду направлений подготовки предполагают изучение теории радиолокации и радиолокационных систем с цифровыми принципами управления и обработки сигнала в рамках соответствующих дисциплин. При практической реализации таких дисциплин необходимо наличие лабораторного оборудования, специализированных стендов, обеспечивающих проведение исследований по радиолокационным системам различного

назначения [1]. Необходимо изучение особенностей их функционирования и принципов обработки информации с использованием современных методов цифрового управления и обработки сигналов. Закупка, развертывание и использование всего разнообразия такого оборудования в ходе учебного процесса весьма затруднительно. Это связано с большими финансовыми затратами на него, экологическими проблемами (электромагнитные излучения при работе), необходимостью для развертывания аппаратуры значительных лабораторных площадей и, еще более значительных площадей для создания натуральных полигонов при практическом исследовании радиолокационной аппаратуры.

Постановка задачи

При рассмотрении концепции физического моделирования радиолокационных систем путем замены электромагнитных волн, применяемых в радиолокации, ультразвуковыми волнами было констатировано, что такая замена возможна и обуславливается физическими аналогиями волновых процессов [2,3,4]. К ним относятся:

- линейность распространения и постоянство скорости распространения волн обоих типов в однородной среде;
- подобие физических явлений отражения, дифракции, интерференции для обоих типов волн.

При этом необходимо учитывать, что электромагнитные волны являются поперечными, а звуковые волны продольными, что не позволяет моделировать поляризационные явления радиоволн на основе ультразвуковых волн. Это несколько ограничивает отдельные исследования при таком физическом моделировании.

Ультразвуковыми локационными сенсорами обладают дельфины, летучие мыши, некоторые виды насекомых. Давно созданы и широко применяются на практике гидроакустические локаторы, медицинские аппараты ультразвуковых исследований, системы ультразвуковой диагностики в промышленности. Их характеристики и получаемые локационные изображения говорят о приемлемом для учебного процесса подобии ультразвуковых локационных систем радиолокационным системам [5].

Основным требованием, положенным в основу разработки лабораторного ультразвукового локационного стенда, являлось обеспечение его применения в обычной учебной аудитории. Допустимые размеры стенда и его целевого пространства ограничены размером четырех на два метра. Средой распространения ультразвука – воздух. Стенд должен обладать высоким модернизационным потенциалом, то есть обеспечивать легкую интеграцию в свою структуру вновь создаваемых модулей. Кроме того, его архитектура должна позволять легко перестраивать геометрию локационной системы от однопозиционного варианта до двух и многопозиционных вариантов, в том числе просветного варианта локации, с возможностями исследования режимов синтеза апертуры антенны. Управление стендом должно быть организовано от одной управляющей ЭВМ, с терминала которой возможно менять режимы работы стенда, алгоритмы обработки сигналов, как в режиме реального времени, так и по сохраненным в ходе экспериментов файлам с данными.

В ходе исследований был разработан и изготовлен стенд ультразвукового локационного устройства, который отвечает выше изложенным требованиям. Стенд построен на доступной элементной базе с максимальным применением промышленно выпускаемых модулей. В качестве управляющей ЭВМ использована персональная ЭВМ (ноутбук) с IBMPC архитектурой.

Структурная схема стенда представлена на рисунке 1. Он построен по типовой схеме локационного устройства, где в качестве блока управления и обработки использована персональная ЭВМ. В качестве локальных систем обработки и управления в электронном блоке стенда находятся два микроконтроллерных вычислителя. Первый - 32-х разрядный микроконтроллер STM32F103C8T6 служит для формирования

зондирующих посылок, оцифровки отраженных сигналов, их первичной обработки и передачи сигнальных пакетов в центральную ЭВМ.

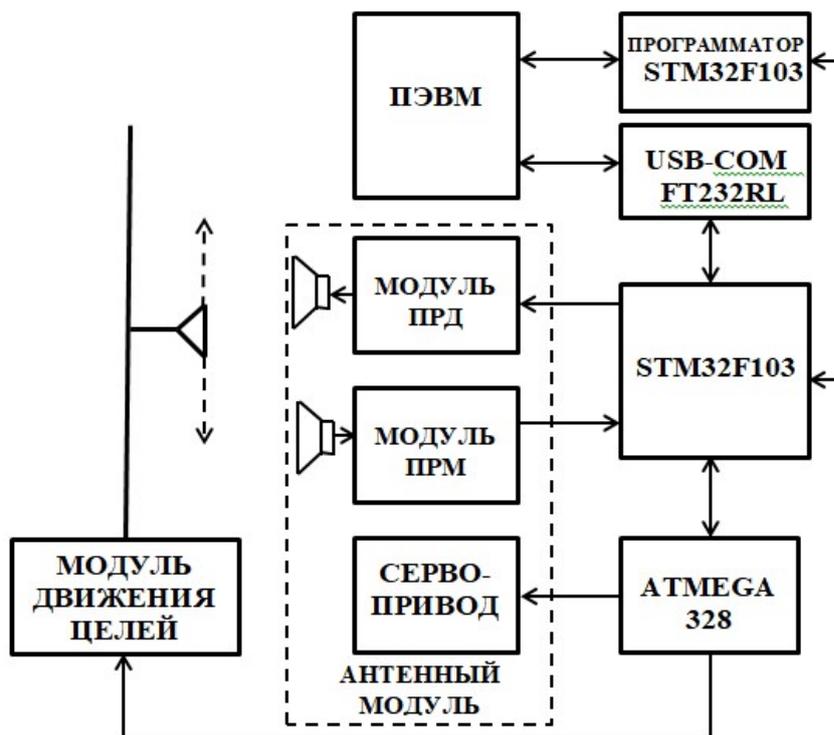


Рис.1 Структурная схема лабораторного стенда ультразвуковой локации

Микроконтроллер STM32 формирует импульсные зондирующие сигналы прямо на несущей частоте (40 КГц) и выдает их в модуль передатчика (ПРД), где происходит окончательное формирование излучаемого сигнала. После усиления он поступает на пьезоизлучатель антенной системы. Отразившись от целей на испытательном полигоне отраженные сигналы принимаются антенным приемным модулем, усиливаются в модуле приемника (ПРМ) и поступают на оцифровку в вычислитель на микроконтроллере STM32F103C8T6. Такая схема формирования зондирующего сигнала и его приема (с одного и того же микроконтроллера) позволяет просто реализовывать когерентную обработку сигнала. Массив оцифрованных отраженных сигналов передается в ЭВМ для дальнейшей обработки.

Второй микроконтроллер - ATmega328, установленный на платформе Arduino, предназначен для управления положением антенны в азимутальной плоскости и управления положением и динамикой перемещения подвижных имитационных целей. Управляющие сигналы для работы ATmega328, формирует микроконтроллер STM32, который в свою очередь получает команды управления от персональной ЭВМ.

Для функционирования стенда физического моделирования радиолокационных систем методами ультразвуковой локации был разработан комплекс программного обеспечения, структура которого представлена на рисунке 2. Его основу составляет операционная система Windows, которая обеспечивает общее управление программными средствами стенда. Она осуществляет через драйверы связь прикладных программ стенда со штатными и специально разработанными устройствами и модулями стенда. Для разработки прикладной программы управления стендом использовались среды для разработки программ на языках высокого уровня. В качестве таких сред использовались среды Delphi (разработка на языке Pascal) и Builder (разработка на языке C++). Другие компоненты программного обеспечения стенда позволяют разрабатывать и отлаживать

программы для микроконтроллерных вычислителей, осуществлять загрузку программного обеспечения во внутреннюю память микроконтроллеров.

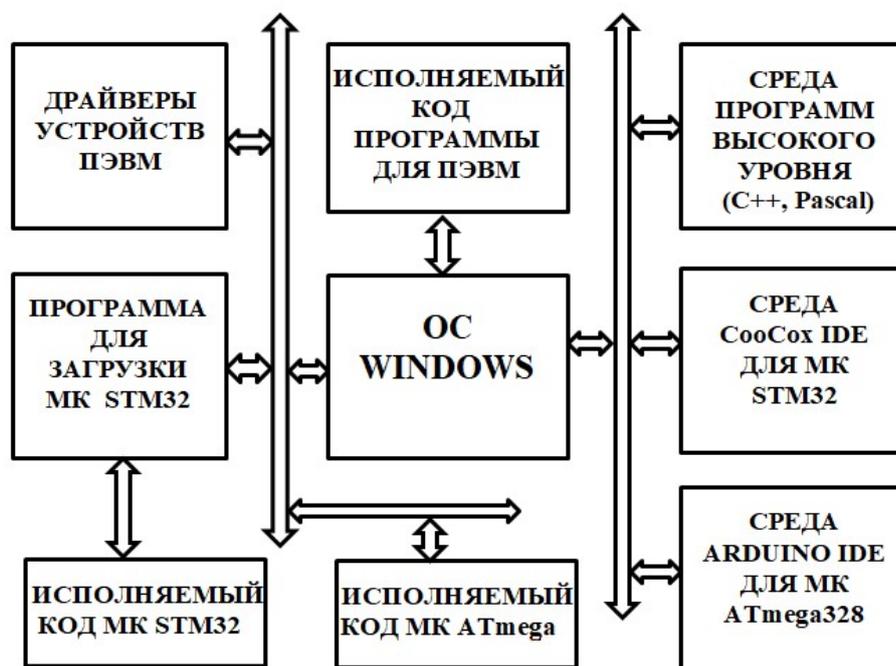


Рис 2. Структурная схема программного обеспечения стенда ультразвуковой локационной системы.

В настоящее время на стенде реализованы следующие алгоритмы обработки и отображения радиолокационной информации:

- режим однопозиционной РЛС с секторным режимом обзора и механическим управлением положения антенны. На рисунке 3 представлен такой вариант конфигурации стенда;
- режим с антенной системой в виде активной фазированной антенной решетки (ФАР), представлен на рисунке 4;
- режим сопровождения по угловым координатам и дальности ;подвижной одиночной локационной цели;
- режим инверсного синтезирования апертуры антенны по движущейся цели.

Планируется дополнение режимов вторичной обработки сигналов и определение параметров движения цели в режиме «сопровождение на проходе», режим прямого синтезирования с различными вариантами фокусировки изображения, режим двухпозиционной и просветной локации.

Ограниченность стенда связана с применяемыми типами излучателей и приемников ультразвуковых сигналов на пьезоэлементах. Они имеют ярко выраженную резонансную характеристику и не позволяют формировать сложные виды сигналов. Намечен путь преодоления этих ограничений и показатели локатора по разрешению по дальности повысятся, кроме того это даст возможность исследовать на практике эффективность различных видов сложных сигналов в ходе учебного процесса.

На рисунке 5 представлен вид экрана управляющего компьютера во время проведения исследований на стенде. В верхней части экрана размещены управляющие элементы программы. Они позволяют управлять аппаратными средствами стенда: включать и выключать приемо-передающий тракт локатора, запускать и останавливать сканирование, осуществлять изменение масштаба изображения, менять частоту

оцифровки сигнала, назначать сектор сканирования, накладывать метки дальности и пеленга на интересующие цели и т.д.



Рис 3.Общий вид стенда с целевым полигоном при варианте однопозиционной локационной системы.



Рис 4. Вариант антенной системы в виде ФАР.

На экране в виде осциллограммы выведено изображение текущей строки отраженного сигнала в координатах: по горизонтали - дальность (задержка отраженного сигнала); по вертикали - интенсивность отраженного сигнала. На нижнем двумерном яркостном изображении в прямоугольной системе координат отображена горизонтальная

плоскость целевой обстановки при сканировании антенны: по горизонтали изображения – дальность, по вертикали – угол поворота антенны (пеленг целей). Интенсивность отраженных сигналов отображается градациями яркости серого цвета. На изображении наблюдается рост уровня шумов с увеличением дальности. Это происходит из-за выравнивания программным способом яркости отображения одинаковых целей на разных дальностях (аналог автоматической временной регулировки усиления в радиолокации).

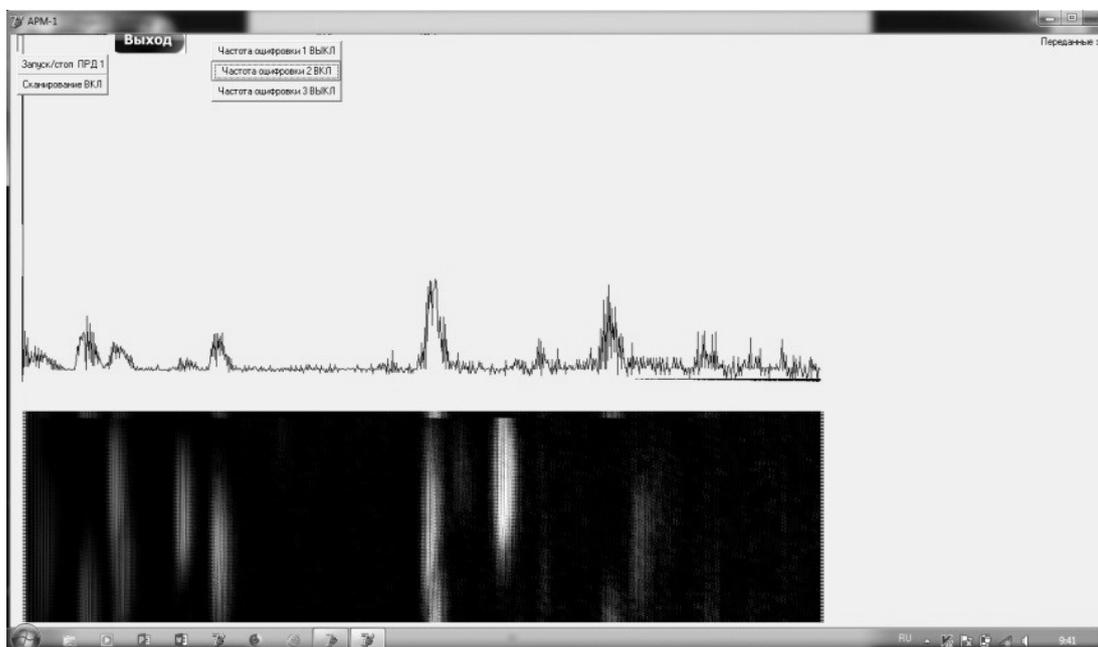


Рис 5. Дисплея ЭВМ при индикации информации от ультразвукового лоатора в ходе проведения исследований

Заключение

Разработанный, изготовленный и протестированный стенд ультразвукового лоатора показал свою полную функциональность и отвечает предъявленным у нему требованиям и эффективно используется в учебном процессе, как в ходе занятий, так и в ходе курсового проектирования. Стенд имеет большой модернизационный потенциал и позволяет моделировать работы практически всех известных радиолокационных систем путем реконфигурации узлов стенда и его программного обеспечения. Стенд позволяет обучаемым лучше понимать физику явлений в локационных системах, изучать и модернизировать программное обеспечение систем управления и ЦОС, создавая и исследуя новые алгоритмы обработки.

Литература

1. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993. -416с.
2. Хорбенко И.Г. Звук, ультразвук, инфразвук.-М.: Знание, 1986. 192с.
3. Голямина И.П. Звук. Физическая энциклопедия / Д.М. Алексеев, А.М. Балдин, А.М. Бонч-Бруевич, А.С. Боровик-Романов, Б.К. Вайнштейн, С.В. Вонсовский, А.В. Гапонов-Грехов, С.С. Герштейн, И.И. Гуревич, А.А. Гусев, М.А. Ельшевич, М. Е. Жаботинский, Д. Н. Зубарев, Б. Б. Кадомцев, И. С. Шапиро, Д. В. Ширков; под общ. ред. А. М. Прохорова. — М.: Советская энциклопедия, 1988—1999.
4. Раджбалдев, Раджендран В., Паланиччи П. Применения ультразвука: монография – М.: Техносфера, 2006. -575 с.

5.МуякшинС.И. Модель ультразвукового эхолотатора с фазированной антенной решеткой для спецпрактикума по радиофизике / Открытое образование, 5, 2009. –С.53-58.