

MODERN APPLICATION, DEVELOPMENT AND ACCESSIBILITY OF RADAR TECHNOLOGIES, RADAR MODEL IMPLEMENTATION

Assoc. Prof. PhD Dimitar Minchev, Burgas Free University, mitko@bfu.bg
Preslav Atanasov, graduate student, 18311024@students.bfu.bg

Abstract: *Since the beginning of its creation in 1935, radar systems began to gain great popularity. Due to the mass interest, numerous publications and films about the radars appeared. They immediately found their application, and by 1939 England had built a chain of radar stations all along its southern and eastern coasts to guard against potential enemies by air and water. The peak of interest in radar technology came at the time of World War II. Aircraft and ships equipped with radar systems gain a huge advantage over enemy aircraft and vessels. By 1940, Germany also began to use radars effectively. Japan, on the other hand, never reached their full use, which contributed to the heavy defeats the country suffered during the war. Thanks to its good radar system, the United States of America was able to predict the attack on Pearl Harbor one hour before it happened. That's how important radar technology and its rapid development played in those turbulent and uncertain times. Today, it's no different. The times we live in are just as restless and unpredictable. It is extremely important that the development of this type of technology continues. Evolution in this area will bring peace and a sense of security to people, as this will ensure that in the event of an attack by enemy forces, they will be far more prepared and this could save millions of innocent lives. The purpose of this publication is to develop a mini radar model based on an HC-SR04 ultrasonic sensor and an Arduino compatible microcontroller.*

Keywords: *radar model implementation.*

СЪВРЕМЕННО ПРИЛОЖЕНИЕ, РАЗВИТИЕ И ДОСТЪПНОСТ НА РАДАРНИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, РЕАЛИЗИРАНЕ НА МОДЕЛ НА РАДАР

доц. д-р Димитър Минчев, Бургаски свободен университет, mitko@bfu.bg
Преслав Атанасов, дипломант, 18311024@students.bfu.bg

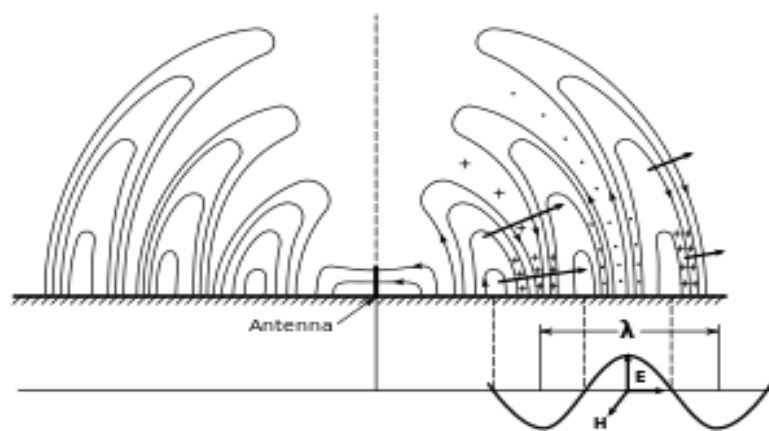
Абстракт: *Още от началото на създаването си през 1935 година, радарните системи започват да добиват голяма популярност. Поради масовия интерес се появяват многобройни публикации и филми за радарите. Те веднага намират своето приложение и до 1939 година Англия вече е изградила верига от радарни станции по цялото си южно и източно крайбрежие, за да се предпазва от потенциални врагове по въздух и вода. Пикът на интерес към радарните технологии идва по времето на Втората световна война. Оборудваните с радарни системи самолети и кораби, получават огромно предимство над вражеските летателни и плавателни съдове. До 1940 година и Германия започва да използва ефективно радари. Япония, от друга страна, така и не достига до тяхната пълноценна употреба, което допринася до тежките поражения, които страната понася по време на войната. Благодарение на добрата си радарна система, Съединените американски щати успяват да предвидят атаката над Пърл Харбър, един час преди тя да се случи. Ето толкова важна роля са играели радарните технологии и тяхното бързо развитие в онези буйни и несигурни времена. Днес, това далеч не е по-различно. Времената които живеем са също толкова неспокойни и непредвидими. От изключителна важност е развитието на този тип технологии да продължи. Еволюцията в тази сфера ще донесе спокойствие и чувство за сигурност у хората, тъй като това ще гарантира, че при*

евентуална атака от вражески сили, те ще бъдат далеч по-подготвени и това може да спаси милиони невинни животи. Целта на настоящата публикация е да се разработи модел на мини радар на базата на ултразвуков сензор HC-SR04 и Arduino съвместим микроконтролер.

Ключови думи: реализиране на модел на радар.

Обзор на радарните технологии и техните ключови елементи

Нека да започнем с това, какво точно са радиовълните. Радиовълните са електромагнитни вълни с дължина на вълната ламбда (λ) от 1 mm до 100 km. Те заемат дълговълновата част от спектъра на електромагнитните вълни. Използват се за предаване на информация (говор, музика, изображения). Създават се около проводник, в който протича променлив ток с висока честота и се излъчват чрез предавателна антена. Характерът на разпространението им в земната атмосфера зависи от дължината им. Попаднали върху приемна антена, индуцират в нея сигнали, подобни на тези, които са били генерирани от източника им.



Фиг.1 Диаграма на електрическото (E) и магнитно (H) полета на радиовълни, излъчвани от вертикална несиметрична вибраторна антена.

На фиг. 1а е показана диаграмата на електрическото и магнитното полета на радиовълна, излъчвана от несиметричен четвъртвълнов вибратор (монопол), означен с малка дебела вертикална линия в центъра. Диаграмата представлява напречно сечение на пространствената диаграма на излъчване – триизмерно тяло, което е симетрично спрямо вертикалната ос на антената (вертикалната пунктирна линия). Силовите линии на електрическото поле са плътните криви линии. Силовите линии на магнитното поле са хоризонтални кръгове около оста на антената, перпендикулярни на равнината на чертежа, и я пресичат в местата, означени с кръстове (от наблюдателя към чертежа) и точки (от чертежа към наблюдателя). Векторите на напрегатостта (интензитета) на електрическото поле E, на магнитното поле H и векторът на Пойнтинг (който съвпада с посоката на разпространение) са взаимно перпендикулярни и са изобразени на графиката долу вдясно.

Основни параметри на радиовълните

Радиовълните пренасят в пространството енергия, излъчена от генератор на електромагнитни трептения. Те се образуват при изменението на електрическото поле, например, когато през проводник преминава високочестотен променлив ток или когато в пространството възникват електрически разряди, които създават кратки затихващи трептения с неопределена честота.

Електромагнитното излъчване се характеризира с честота, дължина на вълната, скорост на разпространение и мощност (енергия). Честотата на електромагнитните вълни показва колко пъти в секунда се променя направлението на електрическия ток в излъчвателя и следователно, колко пъти в секунда се изменя във всяка точка на пространството величината на електрическото и магнитното поле. Честотите се измерват в херцове (Hz) – единица, наречена с името на немския учен Хайнрих Херц. 1 Hz е едно колебание (трептение) в секунда. Производни единици за честота са: 1 килохерц (kHz) = 10^3 Hz – хиляда колебания в секунда (s); 1 мегахерц (MHz) = 10^6

Hz – 1 милион колебания в секунда; 1 гигахерц (GHz) = 10⁹ Hz – 1 милиард колебания в секунда; 1 терахерц (THz) = 10¹² Hz – 1 билион колебания в секунда.

Свободното пространство е еднородна непоглъщаща среда с относителна диелектрична проникваемост, равна на единица ($\epsilon' = 1$).

То включва атмосферата и космическото пространство (въздух и вакуум). Радиовълните, както и другите електромагнитни вълни, се разпространяват в свободното пространство със скоростта на светлината във вакуум [9]

$$v = c = 299792458 \text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

Знаейки скоростта на движение на електромагнитните вълни, може да се определи разстоянието между точките в пространството, където електрическото (или магнитно) поле се намират в еднаква фаза. Това разстояние се нарича дължина на вълната.

Дължината на радиовълните (в метри) се определя по формулата:

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

където честотата на електромагнитното излъчване е в херцове f [Hz], или за по-лесно:

$$\lambda \approx \frac{300}{f}$$

където честотата е в мегахерцове f [MHz].

На честота 1 MHz съответства дължина на вълната от приблизително 300 m. С увеличаване на честотата дължината на вълната намалява, и обратно, с намаляване на честотата дължината става по-голяма. Дължината на радиовълната пряко определя размерите на предавателните и приемателни радиоантени.

Свойства на радиовълните

Основни свойства на радиовълните са отражение, пречупване, затихване, поглъщане, разсейване, дифракция, интерференция и др.

Електромагнитните вълни свободно преминават безпрепятствено през въздуха и космическото пространство, но ако на пътя им има метален проводник, антена или друго електропроводимо тяло, то вълните отдават част от своята енергия на този обект, създавайки по този начин променлив ток в него. Винаги част от излъчената енергия се отразява от повърхностите. Върху това свойство е основана радиолокацията. Излъчени в затворено пространство могат да възникнат стоящи вълни.

Дифракция на вълните се нарича способността им да заобикалят препятствия по пътя си. Това е възможно, само ако телата са по-малки от дължината на вълната или са сравними с нея. Например, за да бъде засечен самолет, дължината на вълната на радиолокатора трябва да бъде по-малка от геометрическите размери на самолета (по-малка от 10 m). Ако тялото е по-голямо от дължината на вълната, то може да я отрази. Има обаче и случаи, в които тялото може и да не отрази радиовълната, например, ако е изградено по технологията „Стелт“.

Разпространение на радиовълните.

Енергията, която пренасят електромагнитните вълни, зависи от мощността на генератора (радиопредавателя) и разстоянието до него. Научно казано, това звучи така: потокът енергия на единица площ е право пропорционален на излъчената мощност и обратно пропорционален на квадрата на разстоянието до предавателя. Това означава, че далечината на приемане зависи от мощността на предавателя, но в по-голяма степен зависи от разстоянието до него. Например, енергийният поток на електромагнитното излъчване от Слънцето достига до 1 kW (киловат) на квадратен метър на повърхността на Земята, а потокът енергия на една средновълнова предавателна станция – едва хилядни или даже милионни части от W (ват) на квадратен метър. Радиовълните се излъчват чрез антена и се разпространяват във вид на енергия на електромагнитното поле. И въпреки че природата на радиовълните е една, тяхната способност за разпространение силно зависи от дължината на вълната. Земята представлява електрически полупроводник и преминавайки над повърхността ѝ, радиовълните постепенно отслабват. Това се дължи на факта, че електромагнитните вълни предизвикват ток на повърхността на планетата,

с което се губи и част от енергията. Тоест, енергията се поглъща от Земята, при това толкова повече, колкото е по-къса вълната (по-висока честотата). Енергията отслабва още и защото радиоизлъчването се разпространява във всички посоки, и следователно, колкото по-отдалечен е приемникът от предавателя, толкова по-малко енергия се пада на единица площ и толкова по-малко попада в антената.[4]

Разпределение на радиочестотния спектър.

Радиовълните (радиочестоти), използвани в радиотехниката, заемат област (или спектър) от 100 km (3 kHz) до 0,1 mm (3000 GHz). Това е малка област от спектъра на електромагнитните вълни, обхващаща вълните с голяма дължина. След радиовълните, по степен на намаляване на дължината следва областта на инфрачервените лъчи, после е тесният участък на видимата светлина, след него са диапазоните на ултравиолетовите, рентгеновите и гама лъченията. Всички те са електромагнитни трептения с една природа, различаващи се само по дължина на вълната, и съответно по честотата.

Вътре в диапазона на радиочестотите също има обособени подобласти, но границите между тях са условни. Те следват една след друга, а понякога даже се припокриват. Най-общо според дължината на вълната радиовълните се делят на: свръхдълги $\lambda = 10 - 100$ km; дълги $\lambda = 1 - 10$ km; средни $\lambda = 100 - 1000$ m; къси $\lambda = 10 - 100$ m; ултракъси $\lambda < 10$ m; метрови $\lambda = 1 - 10$ m; дециметрови $\lambda = 1 - 10$ dm; сантиметрови $\lambda = 1 - 10$ cm; милиметрови $\lambda = 1 - 10$ mm; субмилиметрови $\lambda = 0,1 - 1$ mm.

ITU диапазони.

Международният съюз по телекомуникации ITU има нарочен регламент за радио диапазоните Radio Regulations. Според чл. 2, радиоспектърът се подразделя на девет честотни диапазона, които се обозначават с последователни цели числа, както е посочено в таблицата.[10]

Диапазони според ITU

Номер на диапазона	Наименование и съкратено означение	Честотен диапазон	Диапазон от дължини на вълната†
4	Много ниски честоти (VLF)	3 – 30 kHz	10 – 100 km
5	Ниски честоти (LF)	30 – 300 kHz	1 – 10 km
6	Средни честоти (MF)	300 – 3000 kHz	100 – 1000 m
7	Високи честоти (HF)	3 – 30 MHz	10 – 100 m
8	Много високи честоти (VHF)	30 – 300 MHz	1 – 10 m
9	Ултрависоки честоти (UHF)	300 – 3000 MHz	1 – 10 dm
10	Свръхвисоки честоти (SHF)	3 – 30 GHz	1 – 10 cm
11	Крайно високи честоти (EHF)	30 – 300 GHz	1 – 10 mm
12	Хипервисоки честоти (THF)	300 – 3000 GHz	0,1 – 1 mm

Фиг.2 Диапазон според ITU.

Радиолокация

Радиолокацията е процесът на откриване на местоположението на обект чрез употребата на радиовълни. Тя се отнася обикновено до пасивни употреби, особено радара, както и откриване на скрити кабели, тръби и други (например радара за определяне на скоростта). Азимутът, ъгълът спрямо земята под който се връща сигналът, както и времето за което се връща, определят кръговите координати на засечения обект и така и неговото местоположение. Радиолокаторът е снабден с мощен свръхвисокочестотен (СВЧ) генератор, свързан със специална антена, която излъчва радиовълни само в определена посока. Теоретично и експериментално е доказано, че колкото дължината на електромагнитната вълна е по-малка, толкова по-голяма насоченост на излъчването може да се постигне. Затова при трикоординатните радиолокационни станции (РЛС) се използват предимно микровълни (сантиметров и милиметров диапазон). При двукоординатните РЛС се използват по-дълги радиовълни (дециметров и метров диапазон), понеже те се разпространяват по-лесно и не е необходима пряка видимост между засичания обект и станцията, а и с по-ниска мощност се покриват по-големи разстояния. За определяне на

разстоянието до обекта най-често се използва импулсен режим на излъчване. Продължителността на всеки импулс е много малка, така че излъчването му приключва преди пристигането на отразения сигнал. Това дава възможност една и съща антена да се използва както за предаване, така и за приемане: в паузата между два последователни импулса предавателната антена се превключва да работи като приемна антена и регистрира отразения от обекта импулс. При активната радиолокация РЛС изпраща радио сигнал, на който следения обект отвърща с активен отговор (друг радио сигнал) – принципът на определяне на координатите е същия както при пасивната локация, но тук засечения сигнал не е отразен, а генериран и излъчен от обекта (запитване – отговор). Този принцип се използва от диспечерите за проследяване и навигация на самолети и кораби.

Ефект на Доплер

При движение на целта се наблюдава отместване на честотата поради изменение на броя дължини на вълните между нея и радиолокатора. Това може да влоши или да подобри ефективността на работата на радара, в зависимост от това как ще повлияе на процеса на откриване. Например радиолокатор със система за следене на движещи се цели може да отчете ефекта на Доплер чрез сигнал за компенсиране (отхвърляне) на определени радиални скорости, което намалява ефективността. Радиолокационните системи с морско базиране, полуактивните системи за насочване, метеорологичният радар, военните въздухоплавателни средства и радарната астрономия разчитат на Доплеровия ефект за повишаване на ефективността. Той дава информация за скоростта на целта по време на процеса на откриване. Също така позволява да бъдат откривани малки обекти в среда, съдържаща близко разположени много по-големи и бавно движещи се обекти.

Доплеровото отместване зависи от това дали конфигурацията на радара е активна или пасивна. Активният радар предава сигнал, който се отразява обратно към приемника. Пасивният радар зависи от изпращания от целта сигнал към приемника.[8]

Поляризация.

При всяко електромагнитно излъчване електричната компонента на полето е перпендикулярна на направлението на разпространението, и това направление на електричната компонента на полето е поляризацията на вълната. В сондиращия сигнал на радара поляризацията може да бъде управлявана при различни ефекти. Радарите ползват хоризонтална, вертикална, линейна и кръгова поляризация, за да откриват различни типове отражения. Например, кръговата поляризация се ползва, за да се минимизират смущенията, предизвикани от дъжда. Пристигналите сигнали с линейна поляризация обикновено индицират метални повърхности. Сигналите със случайна поляризация често показват фрактални повърхности, такива като камъни или почва, и се използват от навигационните радари.

Интерференция.

Радарните системи трябва да преодоляват нежелателните сигнали, за да се фокусират само върху действителните цели. Такива нежелателни сигнали могат да произхождат от вътрешни и външни източници, всеки от които може да бъде пасивен или активен. Способността на радиотехническата система да преодолява тези нежелани сигнали определя нейното (отношение сигнал/шум). Сигнал/шум (SNR) се определя като отношението на мощността на сигнала към мощността на шума действащ в рамките на желания сигнал; той сравнява нивото на желания сигнал от целта с нивото на фоновия шум (атмосферния шум и шума, генериран вътре в приемника). Колкото по-високо е SNR на системата, толкова по-добре тя отделя действителните цели от околния шум.

Видове радари

Бистатичен радар

Този тип радарна система включва Tx-предавател и Rx-приемник, който е разделен на разстояние, еквивалентно на разстоянието на оценения обект. Предавателят и приемникът са разположени в подобна позиция, наречена монашески радар, докато военният хардуер с много голям обсег на въздух и въздух във въздуха използва бистатичния радар.

Доплеров радар

Това е специален тип радар, който използва Доплеров ефект за генериране на скорост на данните по отношение на цел на определено разстояние. Това може да бъде получено чрез предаване на електромагнитни сигнали в посока на обект, така че той да анализира как действието на обекта е повлияло на честотата на върнатия сигнал.

Тази промяна ще даде много точни измервания за радиалната компонента на скоростта на обекта в зависимост от радара. Приложенията на тези радари включват различни индустрии като метеорология, авиация, здравеопазване и др.

Моноимпулсен радар

Този вид радарна система сравнява получения сигнал, използвайки определен радарен импулс до него, като контрастира сигнала, както се наблюдава в множество посоки, иначе поляризации. Най-често срещаният тип моноимпулсен радар е коничният сканиращ радар. Този вид радар оценява възвръщаемостта от два начина за директно измерване на позицията на обекта. Важно е да се отбележи, че радарите, които са разработени през 1960 г., са едноимпулсни радари.

Пасивен радар

Този вид радари са предназначени главно да забелязват, както и да следват целите чрез обработка на индикации от осветлението в околността. Тези източници включват комуникационни сигнали, както и търговски предавания. Категоризирането на този радар може да се извърши в същата категория бистатични радари.

Радар за измерване

Тези радари са предназначени за тестване на самолети, ракети, ракети и др. Те дават различна информация, включително пространство, местоположение и време, както при анализа на последващата обработка, така и в реално време.

Метеорологични радари

Те се използват за откриване на посоката и времето чрез използване на радиосигнали чрез кръгова или хоризонтална поляризация. Изборът на честота на метеорологичния радар зависи главно от компромиса с производителността сред затихването, както и отразяването на валежите като резултат от атмосферната водна пара. Някои видове радари са проектирани главно за използване на доплерови отмествания за изчисляване на скоростта на вятъра, както и двойна поляризация за разпознаване на видовете валежи.

Картографски радар

Тези радари се използват главно за изследване на голяма географска област за приложенията на дистанционното наблюдение и географията. В резултат на радара със синтетична апертура те са ограничени до доста неподвижни цели. Има някои специфични радарни системи, използвани за откриване на хора след стени, които са по-различни в сравнение с тези, открити в строителните материали.

Навигационни радари

Като цяло, те са едни и същи за търсене на радари, но се предлагат с малки дължини на вълната, които могат да се възпроизведат от земята и от камъни. Те обикновено се използват на търговски кораби, както и на самолети за дълги разстояния. Има различни навигационни радари като морски радари, които се поставят често на кораби, за да се избегне сблъсък, както и за навигационни цели.

Импулсен радар

Pulsed RADAR изпраща импулси с висока мощност и висока честота към целевия обект. След това изчаква ехо сигнала от обекта, преди да бъде изпратен друг импулс. Обхватът и разделителната способност на RADAR зависят от честотата на повторение на импулсите. Той използва метода на Доплер смяна. Принципът на RADAR за откриване на движещи се обекти с помощта на Доплерова смяна работи върху факта, че ехо сигналите от неподвижни обекти са в една и съща фаза и следователно се анулират, докато ехо сигналите от движещи се обекти ще имат някои промени във фазата. Тези радари са класифицирани в два типа.

Пулс-доплер

Той предава висока честота на повторение на импулса, за да се избегнат доплерови неясноти. Предаваният сигнал и полученият ехо сигнал се смесват в детектор, за да се получи доплерово

изместване, а различният сигнал се филтрира с помощта на доплер филтър, където нежеланите шумови сигнали се отхвърлят.

Индикатор за движеща се цел

Той предава ниска честота на повторение на импулса, за да се избегнат неясноти в обхвата. В MTI RADAR система получените ехо сигнали от обекта са насочени към смесителя, където се смесват със сигнала от стабилен локален осцилатор (STALO), за да се получи IF сигнал. Този IF сигнал се усилва и след това се подава към фазовия детектор, където неговата фаза се сравнява с фазата на сигнала от кохерентния осцилатор (COHO) и се получава сигнал за разлика. Кохерентният сигнал има същата фаза като сигнала на предавателя. Кохерентният сигнал и STALO сигналът се смесват и подават към усилвателя на мощността, който се включва и изключва с помощта на импулсен модулатор.

Непрекъснатата вълна

Непрекъснатата вълна RADAR не измерва обхвата на целта, а по-скоро скоростта на промяна на обхвата чрез измерване на доплеровото изместване на обратния сигнал. В CW RADAR вместо импулси се излъчва електромагнитно излъчване. Основно се използва за измерване на скоростта. RF сигналът и IF сигналът се смесват в етапа на миксера, за да генерират честотата на локалния осцилатор. След това RF сигналът се предава, а полученият сигнал от антената RADAR се състои от RF честотата плюс честотата на доплеровото преместване. Полученият сигнал се смесва с честотата на локалния осцилатор във втория етап на смесване, за да се генерира честотният сигнал IF. Този сигнал се усилва и се подава към третия етап на смес, където се смесва с IF сигнала, за да се получи сигналът с доплерова честота. Тази доплерова честота или доплерово изместване дава скоростта на промяна на обхвата на целта и по този начин се измерва скоростта на целта.[6]

Обзор на съществуващи решения в областта.

Arduino Two Ultrasonic Sensor Radar - 360 degrees Rotation-Project hub.

Използван е сензор HC-SR04, който изглежда е стандартен за този тип разработки. Проектът разполага с добре описан код, както и линкове към сайтове, от които можем да закупим необходимите части, но няма предложена схема на свързване. Друг недостатък на проекта е, че се използват две платки и два сензора, което макар и малко увеличава цената, с което го прави по-малко достъпен. Също така е използван 3D принтер, а това е нещо, до което не всеки има достъп. [11]

Mini radar with Arduino-Project hub.

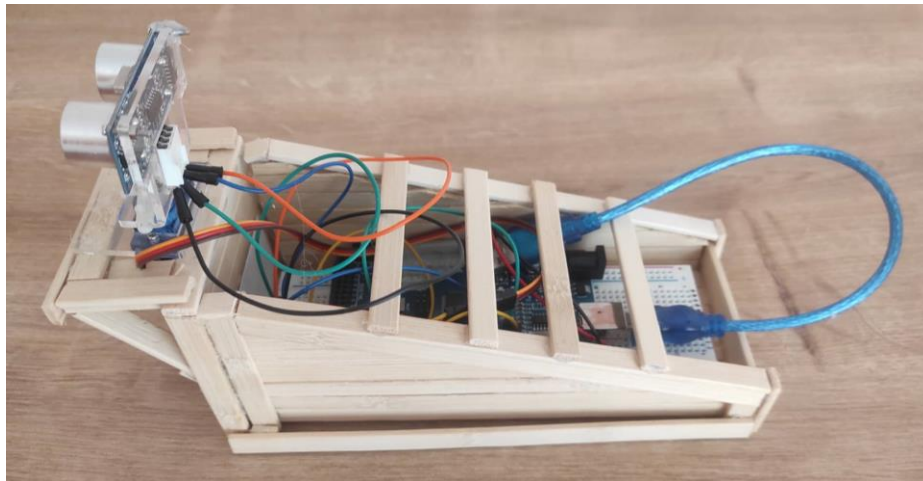
Отново е използван сензор HC-SR04. Този проект разполага със схема на свързване, но няма предоставен код от автора на разработката. Частите са евтини и се намират лесно онлайн. Не намирам избрания дисплей за удобен, тъй като е малък и резултатите от тестовете ще бъдат извлечени по-трудно, а за сметка на това е по-скъп от всички останали части. Друг недостатък на проекта е, че отново е използван 3D принтер за абсолютно всички части от покритието на радара.

Arduino Radar-Hackster.io.

Използван е сензор HC-SR04. Цената на проекта е добра. Има предоставен описан код както и схема на свързване. Тук не е използван 3D принтер, което прави проекта по-лесен за изпълнение. Има предоставени и линкове за сайтове, от които можем да закупим частите. Този проект се доближава най-много от трите до това, което искам да разработя.[12]

Реализиране на модел на радар

Избран е сензор Ultrasonic Sensor HC-SR04, както и стандартен мотор, дъска и кабели. Също така е избрана платка Arduino Mega 2560. Платката е малко по-скъпа от Arduino Uno, но има по-големи възможности и може да бъде използвана за бъдещи проекти.



Фиг. 3. Реализиране на модел на радар

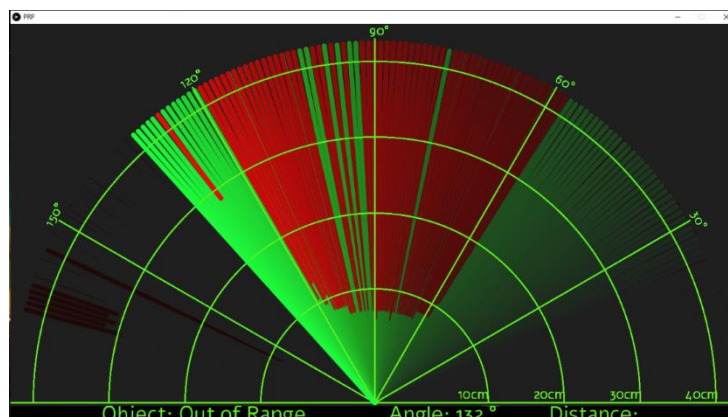
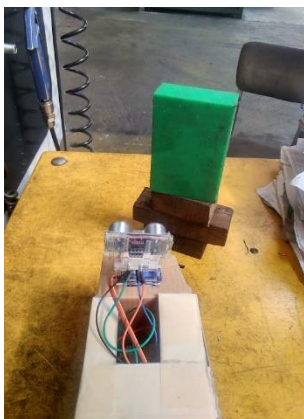
Arduino Mega 2560 разполага с повече Flash memory, има повече Ram и Rom памет, както и доста повече пинове. Единственият недостатък е размера на платката, тъй като е по-голяма от останалите предложения. Цената на проекта е сравнително ниска. Използваната платка е по-скъпа, но с повече възможности. Избран е отново сензор Ultrasonic Sensor HC-SR04, тъй като той се води като стандартен сензор за този тип проекти и ще бъде интересно да се тестват възможностите му. За проекта няма да бъде използван 3D принтер или други подобни устройства, което значително ще намали нивото на трудност и времето необходимо за създаването на проекта.

Изследване и анализ на разработката.

Така реализираният модел на радар е подложен на тестове с различни материали:

Пластмаса

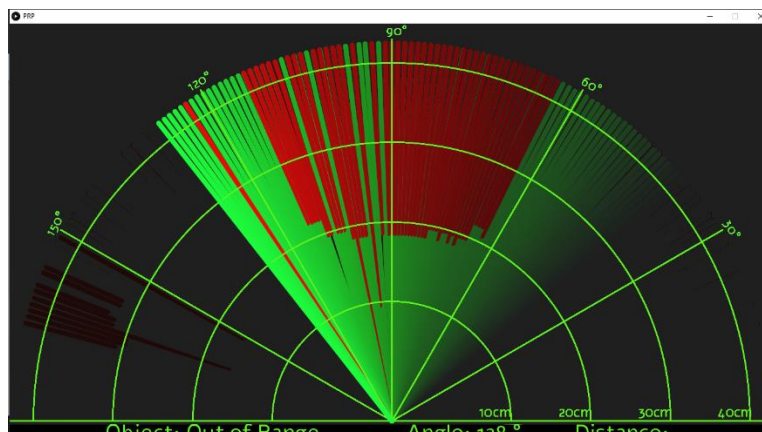
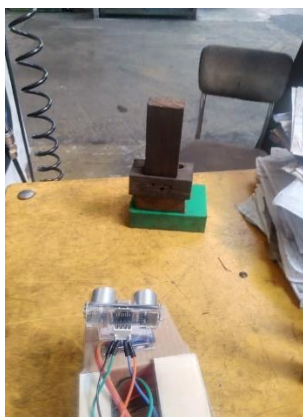
Пластмасовият блок е поставен директно срещу сензора (Фиг.4). Той разполага с достатъчно равна и голяма площ, за да върне вълните към радара без проблем. Ако блокчето е поставено под ъгъл спрямо радара, то изпратените към него вълни биват разпръснати от ръба на детайла и не успяват да достигнат до сензора.



Фиг. 4. Тест за засичане на пластмасов блок, поставен директно срещу сензора.

Дърво

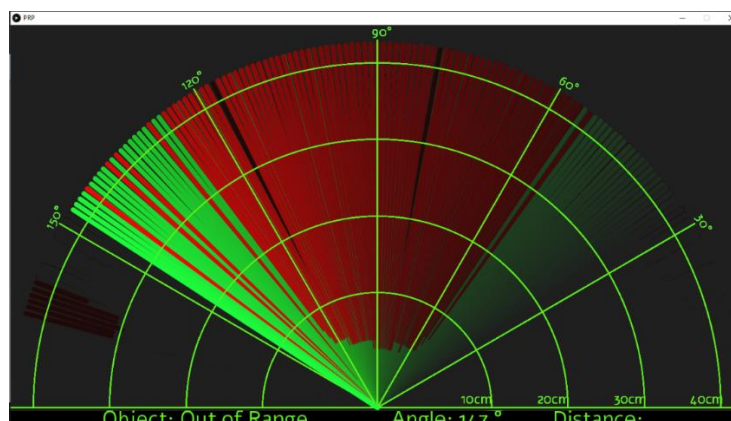
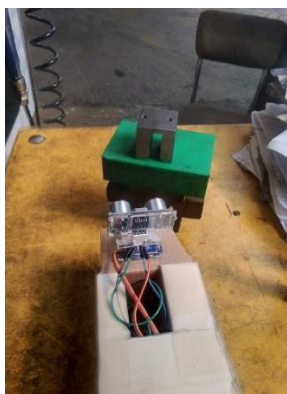
Отново ясно се вижда засеченият обект, благодарение на това, че има достатъчно голяма площ, от която да се отразят вълните от сензора. Когато дървеният блок е поставен под ъгъл спрямо радара, то обектът почти изчезва от екрана. За разлика от пластмасовия детайл, дървеният успя да отрази малка част от вълните, но това се дължи на ъгъла на поставяне, а не от материала.



Фиг. 5. Тест за засичане на дървен блок, поставен директно пред сензора.

Метал

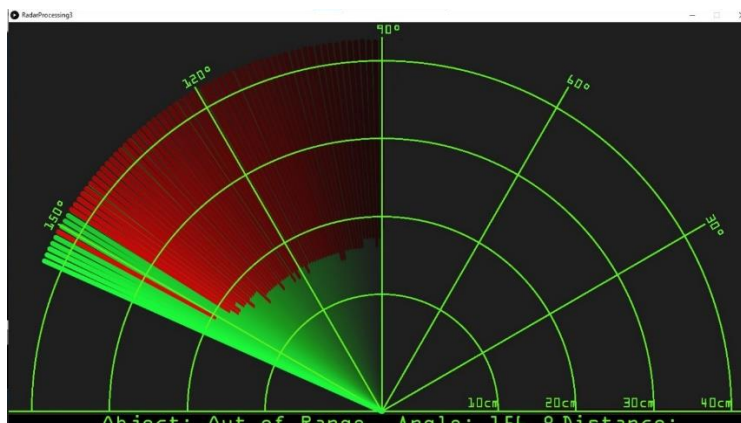
Кубче от стомана, поставено директно срещу сензора (Фиг.6). Макар кубчето да е с по-странна форма от останалите детайли, то успешно успя да отрази изпратените към него вълни. Материалът отново не повлия над резултата.



Фиг. 6. Кубче от стомана, поставено директно срещу сензора.

Стъкло

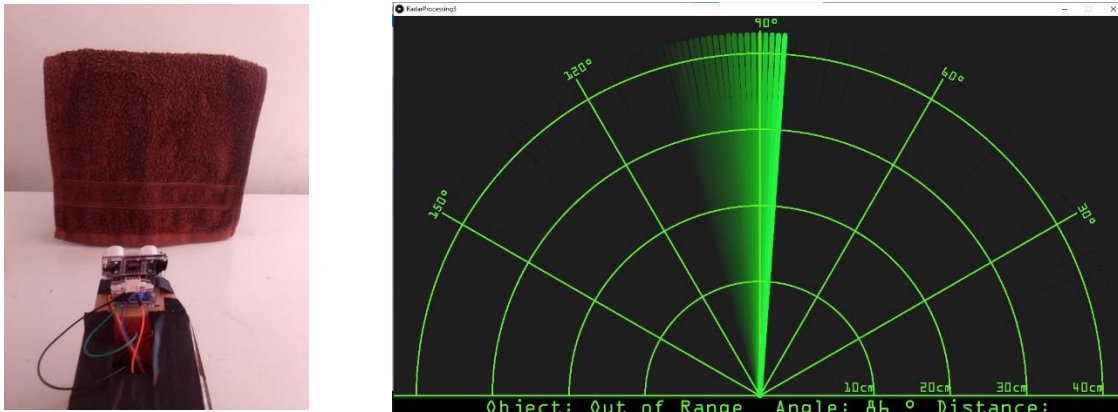
Парчето стъкло е с дебелина едва 2 милиметра и плътност 2500 кг/м³, което е доста по-малко от плътността на металите, но е достатъчно, за да попречи на вълните да преминат.



Фиг. 7. Парче стъкло, поставено пред радара.

Памук

Памукът абсорбира звуковите вълни, защото е порест материал. Звуковата енергия навлиза в отворите на порите и отскача в памука. Това в крайна сметка притъпява вибрациите и звуковите вълни биват превърнати в топлинна енергия. Детайлът остава не засечен.



Фиг. 8. Детайл изработен от памук, поставено пред радара.

Изводи направени от изследването.

От направените тестове става ясно, че материалът, от който са направените детайлите не е от голямо значение в повечето случаи. Изключение правят детайлите от меки материали и по точно тези изградени от памук. Всичко се дължи на плътността и начина, по който са вплетени нишките на съответния детайл от мек материал. Също така памучните детайли нямаха достатъчно равна повърхност, която да отрази вълните от сензора. За да бъде засечен един обект, той трябва да има плътна и здрава структура. При мрежата това се видя доста ясно. Поради големият брой дупки в мрежата, засичането и беше невъзможно. Формата на обектите също има влияние върху крайния резултат. Това стана ясно от тестовете на детайла от мед и детайла от неръждаема стомана. И двата са с цилиндрична форма и са с почти идентичен диаметър. Въпреки, че бяха поставени на едно и също разстояние то сензора, детайлът от неръждаема стомана беше успешно засечен, за разлика от този от мед. Това се дължи на по-неправилните форми на детайла от мед. Големината на обекта е от голямо значение. Установих това при тестовете с главината от месинг и златната монета. Макар главината да е също с цилиндрична форма, тя беше достатъчно масивна, за да осигури нужната повърхност за отразяване на вълните. При обръщането на монетата настрана тя изчезна напълно. Най-важното нещо се оказва обаче ъгълът, под който са поставени обектите. Колкото и голям да е един детайл, поставен под определен ъгъл, той просто изчезва.

Заклучение

Обхватът на Ultrasonic Sensor HC-SR04 е от 2 до 400 сантиметра. Разполага с точност до 0.3 сантиметра, което го прави идеален за всякакъв вид малки проекти, а достъпната му цена го прави дори още по-примамлив за Arduino ентузиастите. Функционирането на сензора не се повлиява от светлина или от тъмни материали, за разлика от Sharp Distance сензорите. Въпреки това HC-SR04, може да срещне трудности при засичане на акустично меки материали, като дрехи например. Сензорът има малка чувствителност и разделителна способност, особено на по-големи разстояния, което се дължи на по-широката диаграма на излъчване на сензора. HC-SR04 превъзхожда сензори, като Laser Distance сензорите, по това, че е по-евтин и има по-голям обхват на засичане, но в същото време има по-бавно време за реакция и не е изолиран от околната среда, което създава ограничение за това къде може да бъде използван сензора.

Използвана литература

- [1].Кристиян Волф(автор на немския оригинал),Превод на български-Жана Волф, Извеждане на радарното уравнение.
- [2].Х. Нурев, Митът за невидимото превъзходство.
- [3]. Стоян Тошев, Легендарните самолети „стелт“.
- [4].Михаил Щербак, Как се разпространяват радиовълните.
- [5]. Стелт технология-bahasa.wiki.
- [6]. Какво е РАДАР: Основи, видове и приложения-bg.jf-parede.pt.
- [7]. Louis Brown, A Radar History of World War II: Technical and Military Imperatives.

- [8]. M. Castelaz, „Exploration: The Doppler Effect“, Pisgah Astronomical Research Institute.
- [9]. R. Penrose, (2004). The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe.
- [10]. Radio Regulations, Volume 1, Article 2-ITU, 2008.
- [11]. Arduino Two Ultrasonic Sensor Radar - 360 degrees Rotation-Project hub.
- [12]. Mini Radar with Arduino-Project hub.