

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**SISTEMA DE MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA PARA APLICAÇÕES DE
‘SEGUIDOR’**

Hadrien Busieau

Thomas Demmer

São Paulo

2014

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**SISTEMA DE MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA PARA APLICAÇÕES DE
'SEGUIDOR'**

Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de Graduação em
Engenharia

Hadrien Busieau

Thomas Demmer

Orientador: Professor Decio Crisol
Donha

Área de Concentração:

Engenharia Mecânica

São Paulo

2014

Busieau, Hadrien

Sistema de medição de distância para aplicações de “seguidor” / H. Busieau; T. Demmer. -- São Paulo, 2014.

56 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

**1.Aeronaves não tripuladas 2.Ultrassom 3.Radionavegação
4.Sensor 5.Processamento de imagens I.Demmer, Thomas
II.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento
de Engenharia Mecânica III.t.**

RESUMO

Esse relatório apresenta o trabalho feito durante nosso projeto de desenvolver e construir um sistema de medição de distancia para uma aplicação de seguidor. O objectivo desse documento e de mostrar de onde vem essa vontade de trabalhar nesse projeto e porque nos pensamos que esse trabalho realmente responde a uma necessidade dos consumidores.

Nos vamos também apresentar as diferentes pistas que nos estudamos. O trabalho se concentrou em torno do entendimento e o desenvolvimento de vários sensores ultrassônicos e radio. As maiores dificuldades que se tornaram também os desafios mais interessantes são ilustrados. Uma primeira técnica usando o tempo de voo entre um sinal de ida e um outro sinal de voo deu bastante resultados interessantes em ultrassons. O desenvolvimento dessa mesma tecnologia com ondas radio foi um desafio ainda maior que ainda não deu certo, essencialmente por causa de problemas de medição do tempo. Uma ultima solução que deu os resultados mais interessantes e baseada na tecnologia de sistema de navegação LORAN.

Essa relatório ilustra os passos teóricos e técnicos que fizemos para chegar ate um sistema capaz de medir a distancia perto do objetivo final.

ABSTRACT

This paper presents the work that has been done during our project to develop and build a distance measuring system that could be used to implement an ‘automatic following’ option to robots and drones.

We will try to show why we believed this project was interesting and responded to a real consumers demand. We will as well present the different solutions that we studied in order to get to our final result. Our work was essentially built around the understanding and development of ultrasonic and radio sensors circuits. The main difficulties we encountered, which turned to be our most interesting challenges, are described with many details and our solutions as well. A first solution consists in measuring the time between a sent signal A and a received signal B using ultrasonic waves. This solution already gave us some interesting results presented in this paper. A second solution was to replace this same system with radio frequencies. Especially due to difficulties in the measuring of time, we did not manage to bring this solution to a working prototype. A third solution, which gave the most promising results, is based on a LORAN navigation system.

During this paper you will discover the technical and theoretical steps we went through on order to get a distance measuring system close to our initial objective.

SUMÁRIO

1	Descrição do Projeto	1
1.1	A necessidade	1
1.1.1	Qual e necessidade do consumidor?	1
1.1.2	Porque essas caixas A e B não existem?	2
1.2	Nossa solução.....	2
2	Especificações e organização.....	4
2.1	Especificações	4
2.2	Descrição funcional do nosso projeto.....	5
2.2.1	Medir a distância:.....	5
2.2.2	Medir um ângulo.....	7
2.2.3	Sistema de navegação LORAN	9
3	Soluções técnicas	11
3.1	Justificativas das nossas opções técnicas	11
3.2	Medir a distância através de ondas ultra-sônicas.....	12
3.3	Medição de distância usando ondas de rádio	17
3.3.1	Princípio e desafio.....	17
3.3.2	Construir um relógio realmente precisa.....	19
3.3.3	Método complementar a ser estudada	21
3.4	Nosso sistema ultra-sônico LORAN.....	23
3.4.1	Pre-algorithm	23
3.4.2	Simulações eletrônicas.....	23
4	Resultados	26
4.1	Os circuitos eletrônicos.....	26
4.1.1	O nosso sensor de distância ultra-sônico	26
4.1.2	Nosso sistema LORAN ultra-sônica (assíncrono)	28
4.2	Medição de distância resultados de nossos programas Arduino	31
5	Conclusões	37
6	Bibliografia	38

6.1	Livros e artigos.....	38
6.2	Websites	39
	Annexo A – Cálculos de posição no sistema LORAN.....	40
	Annexo B - Circuitos eletrônicos básicos desenvolvidos.....	45

Tabela de figuras

Figura 1: Descrição esquemática do nosso princípio de medição de distâncias. Peças em verde estão no drone, peças em vermelho estão no alvo.....	7
Figura 2 : Estimar a orientação do drone usando dois receptores.....	8
Figura 3: princípio esquemático do circuito de controlo.....	8
Figura 4: Ilustração do sistema hiperbólica de rádio-navegação LORAN.....	10
Figura 5: Transmissor e receptor de ultra-som e circuito integrado NE555.	13
Figura 6: Diagrama do circuito electrónico do transmissor.....	13
Figura 7: Gerador de terra virtual.....	14
Figura 8: Circuito eletrônico de recepção e transmissão.	16
Figura 9: Receptor fixado no drone.	17
Figura 10: Exemplo de um circuito impresso de um transmissor 434 MHz e o seu receptor associado.....	18
Figura 11: Diagrama de Blocos de um multiplicador de clock. (Source: PI6C4511 data sheet)	20
Figura 12: Esquema funcional de como vamos construir o nosso contador de 200 MHz. 21	
Figura 13: Princípio de funcionamento da medição do tempo com base em dois contadores.	22
Figura 14: Diagrama de blocos do sistema de dois contadores	22
Figura 15: Equações obtidos para os dois hipérbolas.....	23
Figura 16: Três sinais de 40 kHz pulsando simuladas em ISIS.	25
Figura 17: Imagem do circuito eletrônico transmissor 41 kHz	27
Figura 18: Imagem do sistema de recepção e emissão que vai estar no alvo.....	27
Figura 19: Imagem de circuito eletrônico do receptor do drone.	28
Figura 20: Circuito gerador de pulsos para o sistema LORAN (1).....	29
Figura 21: Circuito gerador de pulsos para o sistema LORAN (2).....	29
Figura 22: Emissor pulso ultrasónico	30
Figura 23: Todo o circuito passivo e móvel do sistema LORAN.....	30
Figura 24: Receptor de pulso ultrasónico , versão soldada	31
Figura 25 : Arduino Due apresentação comercial.....	31
Figura 26: Aquisição dos pulsos no osciloscópio	32
Figura 27: Aquisição dos pulsos no Arduino Due, impresso em um gráfico Excel	32
Figura 28: Histograma de aquisição de dados	34
Figura 29: Convergência do valor médio	34
Figura 30: Localização do circuito receptor calculado no Excel a partir dos valores obtidos na placa Arduino	35

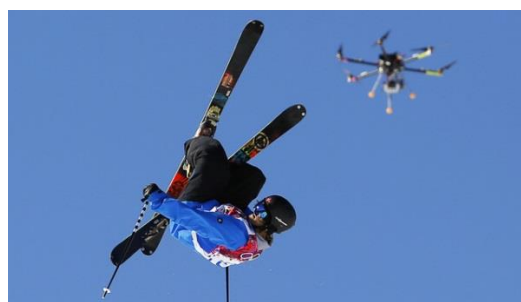
1 DESCRIÇÃO DO PROJETO

1.1 A necessidade

1.1.1 Qual e necessidade do consumidor?

Hoje em dia, dois mercados estão subindo rapidamente: por um lado, os filmes pessoais lançada por marcas como a GoPro em torno dos esportes radicais. E, por outro lado, o mercado de drone pessoais em que a sociedade Parrot francês é um dos líderes. Combinando os dois começar imediatamente à sua mente: Eu posso usar a agilidade da minha drones para filmar meu filme, onde e sempre que eu quiser. O problema é: você está realmente qualificado o suficiente para manter seu drone com o objetivo de você, enquanto você esqui para baixo da montanha?!

Vamos supor que você tem à sua disposição duas caixas A e B, e que estas duas caixas de medir a distância entre cada um deles a cada segundo, independentemente de onde você é e qual o tempo é. Em seguida, verifica-se que seria muito fácil criar um sistema eletrônico que poderia fazer seu drones segui-lo e isso de uma forma completamente automática. Não precisa pagar centenas de milhares de dólares para alugar um helicóptero para atirar pro-esquiadores descendo as encostas!



A lista inteira de potenciais usuários desses dois caixas A e B é muito grande:

- Cinema: câmera perfeitamente seguinte movimentos dos atores, drones câmera, câmeras automáticas quando se fotografa em torno perigosos ...
- Esportes radicais: concorrentes da trilha, sensor de colisão, câmeras automáticas ...

- Automotivo: assistência, detector de colisão, condução / estacionamento auto condução ...
- O monitoramento de segurança: na sequência de veículos sensíveis, sensor de proximidade, sensor de presença ...
- Monitoramento: Monitoramento de crianças, animais, alarme de roubo de malas ou quaisquer outros objetos ...
- Entretenimento: sincronizado coreografia com robôs ou projeção, seguindo robots ...
- Robótica: pessoa e rastreamento de objetos em todas as condições ...

Bem, essas duas caixas A e B não existem (ainda!) ...

1.1.2 Porque essas caixas A e B não existem?

Um monte de sensores de distância estão atualmente em uso, tanto para fins profissionais e pessoais. Todos estes sensores de distância são realmente bons no que fazem, mas há duas coisas que não podem fazer e que é absolutamente necessário:

- Os sensores têm para medir a distância que seja a sua posição e orientação no espaço.
- O que manter rastreamento, mesmo que os obstáculos separá-los um do outro.

Na verdade, os sensores de distância baseado na LASER ou tecnologias de ultra-som tem que ser destinado a seu alvo para medir a distância corretamente. Toda a análise de imagem em tempo real não pode funcionar quando os obstáculos são cegando-os, e não são realmente confiável atualmente. Todas as tecnologias de radar em funciona apenas com longas distâncias e detectar o alvo ... assim como todos os outros objetos em seus campos de visão.

.

1.2 Nossa solução

O que propomos é criar essas duas caixas A e B, trabalhando com todos os tipos de ambiente (iluminação, chuva, neve ...), mesmo coberto de lama, de cabeça

para baixo ou em qualquer posição. É manter a medição da distância AB quaisquer que sejam as posições e orientações das caixas, com três ou mesmo paredes de betão, separando-os um do outro.

2 ESPECIFICAÇÕES E ORGANISAÇÃO

2.1 Especificações

Nós não podemos fazer, por razões técnicas, uma lista muito precisa de especificações para o momento. Decidimos, portanto, projetar especificações que servirão mais como uma diretriz de trabalho do que como uma grade real de avaliação para o produto no final de desenvolvimento. No entanto, a fim de ter certeza de propor um produto que se distingue dos que já estão no mercado, tentamos permanecer o mais próximo possível das seguintes condições que impomos como um primeiro esboço das especificações do produto:

- Condições de funcionamento

É possível encontrar uma grande quantidade de sensores de distância já em uso para fins industriais, profissionais ou privadas. Mas nenhum deles pode atender aos dois critérios seguintes, limitando bastante a sua utilização:

- Detectar a distância do alvo, independentemente da orientação do transmissor e do sensor.

- Manter uma avaliação precisa da distância, mesmo que os obstáculos são interpostos entre o transmissor e o sensor.

Nosso produto deve funcionar independentemente das condições externas (escuridão, chuva, neve ...), mesmo quando cobertas de lama, ou de cabeça para baixo ou em qualquer posição. Ele mede a distância entre os dois sensores A e B, independentemente das posições destes dois no espaço (sem obrigação de pertencer ao mesmo plano ou eixo) e mesmo com a presença de obstáculos (árvores, paredes de betão ...).

- Faixa de preço

Temos de nos manter em um intervalo que é acessível em comparação com este tipo de produtos eletrônicos atualmente no mercado. Vamos tentar manter o nosso produto em torno de uma centena de euros. Sabendo-se que, de momento, não

podemos otimizar os preços (como não temos os meios para fazê-lo por agora), vamos em primeiro lugar considerar que conseguimos, mesmo que ligeiramente ultrapassar nossos limites. O que conta aqui é a primeira avaliação.

- Dimensões

Excepto para a antena, os sensores e transmissores precisa ser tão pequeno quanto possível, com dimensões da ordem de grandeza de um centímetro. Mais uma vez, nós não temos os meios técnicos atualmente para otimizar o espaço, reduzindo os circuitos e os componentes. Nós, portanto, pode pagar um pouco para ultrapassar nossos limites, tendo em mente a ordem de magnitude.

- Performances

Como um primeiro protótipo, a distância do sensor tem de avaliar a distância entre as duas caixas com um erro de uma ordem de grandeza de um decímetro. A menor distância mensurável deve ser mais do que um metro, e o mais longo, pelo menos da ordem de grandeza de várias dezenas de metros. A frequência de medida deve ser em torno de 100 Hz. Nós permitimos que os valores extremos, se ficar marginal (<5%).

2.2 Descrição funcional do nosso projeto

Considerado as especificações que estamos enfrentando, que surgiu com soluções diferentes para construir um sistema capaz de seguir uma pessoa em diferentes condições.

Existem duas funções principais do nosso sistema deve ser capaz de fazer: a primeira função é a capacidade de medir a distância sem ser perturbado por eventos ou perturbações externas e a segunda função é a de ser capaz de medir um ângulo de modo que o nosso drones fica sempre orientada para a pessoa que é suposto seguir.

2.2.1 Medir a distância:

O princípio da medição da distância através de ondas mecânicas ou eletromagnéticas já foi estudado muito e existem vários sistemas e sensores

disponíveis no mercado. Mas a maioria desses sistemas são baseados na diferença de tempo entre o sinal enviado e seu retorno ecoou.

A vantagem deste princípio é que o sinal em eco é "suposto ser o mesmo" que o sinal enviado, de modo que, por meio de análise de sinal, que podem relacionar-se as diferenças (em fase ou amplitude) entre estes dois sinais para as propriedades que queremos medir. O inconveniente deste princípio é que ele não é independente das perturbações externas. Por exemplo, se um outro objecto passa entre o transmissor e o receptor do sinal de ecoado voltará mais rápido e a distância medida será aquele entre o transmissor e o objeto perturbadores, fazendo com que os resultados falsos.

Nossa idéia é tentar ficar com as vantagens e resolver as desvantagens. Temos a intenção de fazer isso por não trabalhar com o sinal ecoou mas com um completamente outro sinal. Isto significa que teremos que trabalhar com um transmissor e receptor extra, mas significa também que não será incomodado pela falsa medição.

Como isso funciona?

Nosso drones irá enviar um sinal Um com uma frequência f_A ao alvo que quer seguir. O alvo será equipado com o receptor apropriado e, logo que receberá o sinal Um devolverá um sinal B com um f_B frequência diferente para o avião. O tempo entre os momentos que enviar um e do momento em que receber B conterá informações sobre a distância. Isso fará com que nós não medir qualquer eco falso. Agora, para manter a possibilidade de utilizar a análise de sinais, nós temos que ter a condição de que o sinal recebido é uma transformação do sinal de enviar, o que foi facilmente o caso com um sinal em eco, mas que não é fácil com a nossa primeira solução. Pretendemos resolver esse problema usando a dois sinais A e B para realizar a mesma informação: criamos um sinal I contendo informações sobre a fase (a piar por exemplo) que modulam com nosso sinal de envio A. O alvo recebe o modulada sinal e demodula-lo para recuperar o nosso sinal I. será então modulá-lo novamente, mas desta vez com sinal B e enviá-lo de volta para que o drone demodulates lo uma última vez. No final, nós entraremos em contato a imagem do nosso sinal original e

ser capaz de compará-lo. A informação da distância será contida nas diferenças que teremos entre esses dois sinais.

A figura a seguir mostra um esquema simples do princípio descrito acima:

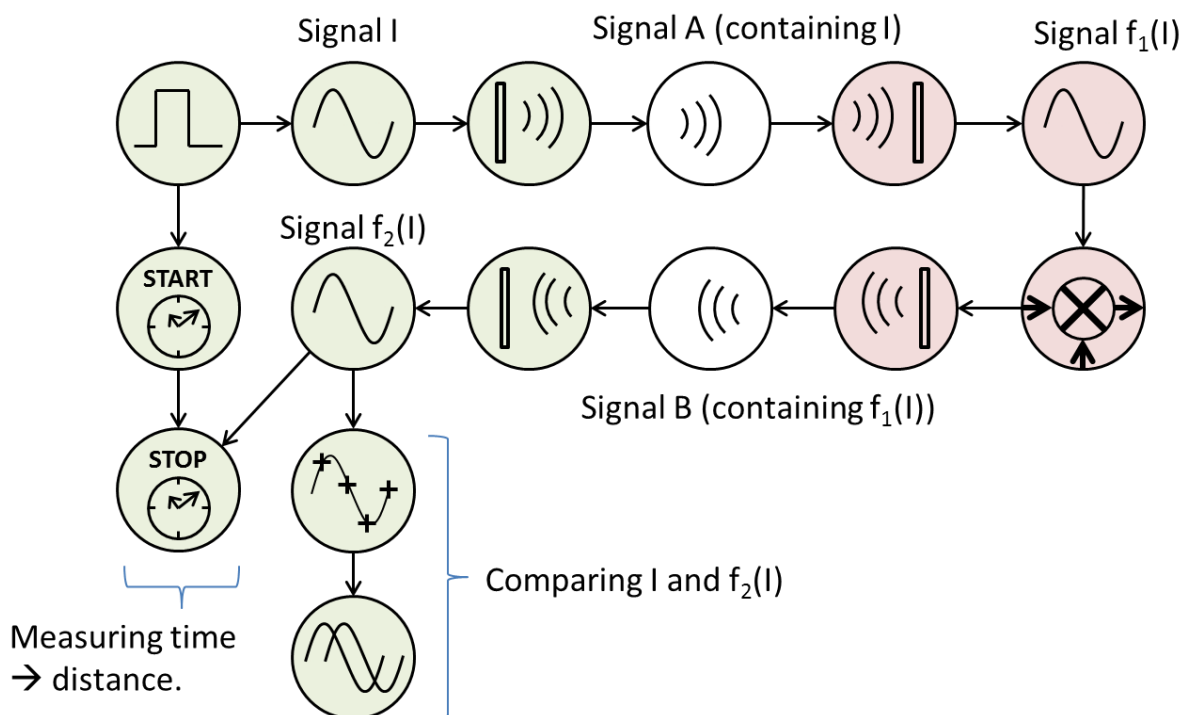


Figura 1: Descrição esquemática do nosso princípio de medição de distâncias. Peças em verde estão no drone, peças em vermelho estão no alvo.

As soluções técnicas serão descritas de forma mais precisa, mais adiante neste artigo.

2.2.2 Medir um ângulo

Medindo a distância como visto acima permitirá manter uma distância constante entre o avião e o alvo. Mas nós provavelmente também terá o nosso drones seja capaz de apontar o alvo (no caso, é equipado com uma câmera, por exemplo). Isso significa que teremos de controlar o outro grau de liberdade.

Para fazer isso, nós estamos indo para o anúncio de um receptor na drone e comparar os dois sinais recebidos enviar a partir do mesmo ponto. A diferença entre os dois sinais, que, neste caso, é suposto ser exatamente o mesmo, vai nos dar

informações sobre a orientação do zangão. A figura a seguir ilustra como isso poderia ser feito:

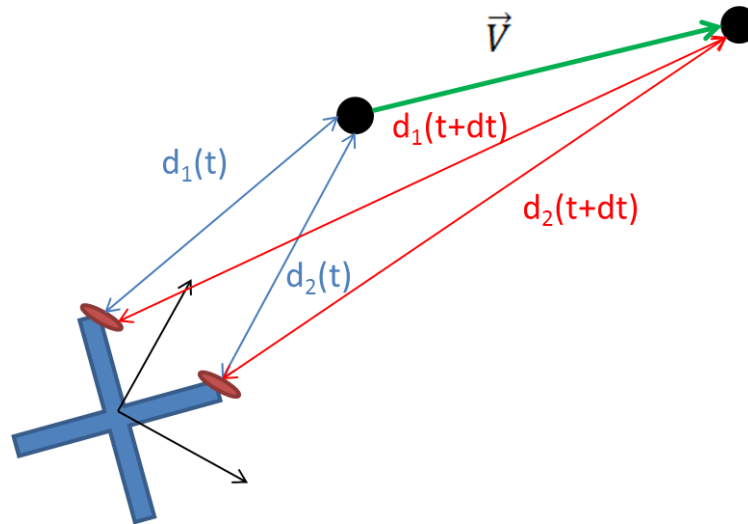


Figura 2 : Estimar a orientação do drone usando dois receptores.

Como podemos ver na figura anterior, o facto de tanto o alvo e o zumbido um movimento significa que esta orientação terá de ser constantemente adaptado. Um método seria usar a técnica de medição de distância apresentamos anteriormente para obter as distâncias entre o alvo e cada receptor. A diferença dessas distâncias e um modelo geométrico do drones nos daria o ângulo exato que o avião teria de girar. Mas isso implica uma várias operações matemáticas de medição e distância realmente precisa. Para evitar essa dificuldade, vamos usar um loop controlado vez. Ao comparar os dois sinais recebidos vamos tentar medir um positivo ou uma fase negativa, que pode ser traduzido em um ângulo positivo ou negativo de rotação. Um ciclo de retorno com um controlador PID bem calibrado irá certificar-se as correções são feitas rapidamente o suficiente para que o drone constantemente visa o alvo.

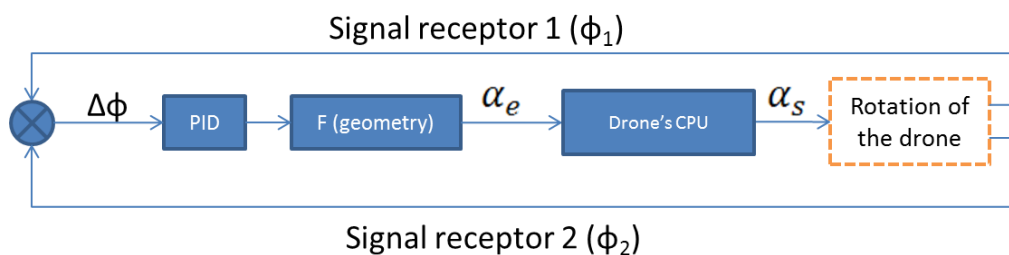


Figura 3: princípio esquemático do circuito de controlo.

A grande vantagem deste tipo de malha de controle é que não temos de saber o valor exato da diferença de distância entre os dois receptores.

Vamos agora ver como, na prática, conseguimos criar um sistema deste tipo.

2.2.3 Sistema de navegação LORAN

Enquanto trabalhava em soluções anteriores, percebemos que estávamos talvez o excesso de transportar o robô com sensores. Sabíamos que havia soluções que nos permitiram definir somente um receptor no drones (em vez de um receptor e um emissor).

LORAN (por Long Range navegação) é um sistema que se baseia em três pontos extremidade de emissão de recepção de um ponto. IT'S geralmente usado para medir grandes distâncias (mais de 100 km) que utilizam frequências de rádio, mas pensamos que podemos conseguir aplicar a mesma tecnologia em uma distância menor.

Novamente, a idéia é começar com ondas ultra-sônicas para conhecer a tecnologia e para preparar os algoritmos, e em seguida, passar por cima de frequências de rádio.

O princípio é o seguinte: cada um dos três emissores separados um do outro enviar um impulso, com um determinado tempo Δt entre cada pulso. Um receptor recebe essas três impulsos de uma distância desconhecida. Se o receptor estava à mesma distância exacta de cada emissor ele iria receber três impulsos separados por um tempo t . Se esta nsi't o caso, o tempo entre cada impulso será diferente: esta diferença de tempo correspondente à diferença de distância entre o receptor e cada emissor. Para uma dada diferença, os possíveis pontos correspondem a uma hipérbole. Você precisa de pelo menos duas diferenças (três pontos) para obter uma posição única, correspondente à intersecção das duas hipérbolas. Ao medir as variações de tempo entre cada pulso, o receptor dos sistemas LORAN é capaz de saber em que ele é uma hipérbole. Sabendo as duas hipérbolas, é apenas um truque matemático para saber a posição exata.

A figura abaixo dá uma visão esquemática de como isso funciona. Os pontos A, B e C correspondem aos três emissores. A hipérbole vermelho, são todos os pontos em que a AF distância - CF = 12 e a hipérbole azul corresponde a todos os pontos onde $BF - CF = -7$. O ponto F corresponde ao ponto de intersecção, o ponto em que o receptor deve estar.

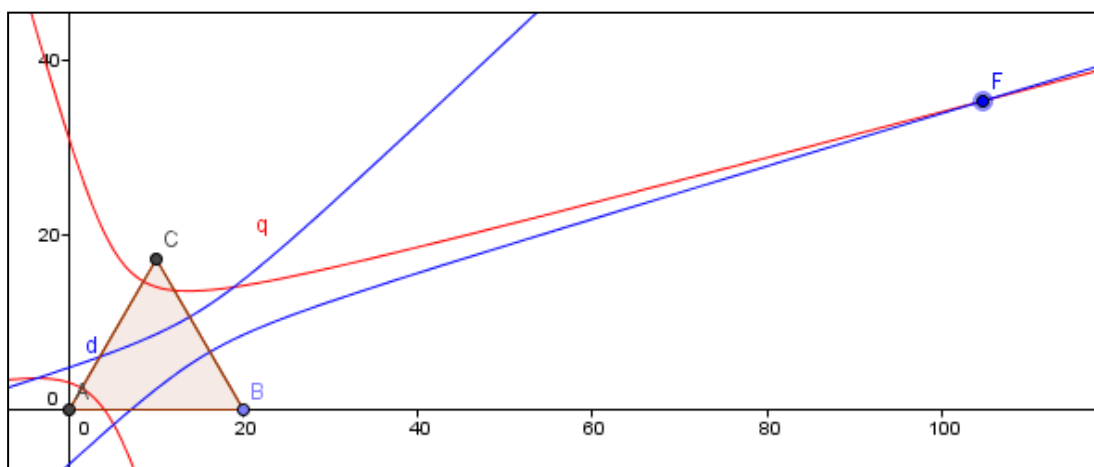


Figura 4: Ilustração do sistema hiperbólico de rádio-navegação LORAN.

Durante o nosso projeto, tentamos usar este sistema para construir o nosso sistema de medição de distância. Nós só trabalhamos com ondas ultra-sônicas, mas o princípio eo algoritmo principal deve ser facilmente convertido para trabalhar com frequências de rádio. Outras informações sobre este papel você vai descobrir os nossos desenvolvimentos técnicos, bem como os nossos primeiros resultados.

3 SOLUÇÕES TÉCNICAS

3.1 Justificativas das nossas opções técnicas

Hoje em dia, é possível encontrar uma grande quantidade de diferentes sensores no mercado que permitem medir a distância entre dois pontos. Nós todos sabemos que os sensores a laser, os baseados em ultra-som, os outros com base em ondas infravermelhas, etc ... e estes são apenas alguns dos sensores que trabalham sem contato físico. A coisa é, olhando para o sensor direito de trabalhar com, no nosso caso, nenhum deles tem as capacidades para cumprir as nossas especificações. E isso por duas razões principais:

- O primeiro é que nós queremos ser capazes de seguir um objeto que se move em todas as direções do espaço. Assim, não podemos trabalhar com um produto que precisa ser apontado para o alvo para medir a distância (como um raio laser, por exemplo). São então proibida LASER ou sistemas de ultrassom infravermelhos ou muito direcionais.

- O segundo ponto principal é que o nosso produto, provavelmente, terá de trabalhar com um grande número de diferentes objetos e obstáculos em seu entorno. Ele tem que ser capaz de seguir o destino entre um monte de coisas e manter a segui-lo mesmo que o objectivo é, por vezes escondido. Esta rejeita quase todos os sensores que conhecemos, que o trabalho usando o ir e vir do eco

A seção anterior "Descrição do funcionamento do nosso projeto", explicou o caminho que queremos implementar as coisas em geral. De um ponto de vista técnico, estes são os dois pontos de nosso produto terá de cumprir, que se segue a partir do que foi dito:

- Nós precisamos ser capazes de estabelecer uma ligação entre o emissor eo receptor, mesmo que eles não visam a um ao outro. A melhor maneira de fazer isso é usando um emissor e um receptor que são ambos omnidirecional.

- Nossa emissor tem que ser capaz de enviar um sinal de que carregam uma informação (como a parte enviou) e nosso receptor tem que ser capaz de lê-lo. Esta é

a única maneira de enviar um sinal de A e esperar por um sinal B, em contrapartida, não sendo enganado por todos os ecos que voltam de outros objetos e obstáculos.

A escolha óbvia até agora é a transmissão de rádio. Este tipo de tecnologia que nos permitiria enviar um sinal em todas as direções, utilizando, por exemplo, uma antena dipolo de meia onda. Nós também poderia usá-lo para assinar o sinal como A, primeiro emissor, ou B, segundo emissor, e lê-lo. Também é uma tecnologia que facilmente carrega um sinal em longas distâncias, e passar por obstáculos como trios, paredes, etc.

Mas o fato é que esta tecnologia é um pouco mais do que as nossas habilidades em eletrônica. Decidimos começar com sensores ultra-sônicos. Mesmo que as ondas ultra-sônicas não pode chegar facilmente através de uma parede e é muito menos do que as ondas de rádio omnidirecional, eles são muito mais fáceis de usar e manipular do que os dispositivos eletrônicos de rádio, e os circuitos eletrônicos são mais simples.

A idéia era provar e testar nosso sistema em um modelo mais simples em primeiro lugar, mesmo se ele não se encaixa toda a nossa especificação. E então, em segundo lugar, para tentar construí-la usando exatamente os mesmos algoritmos, mas com dispositivos de rádio desta vez.

3.2 Medir a distância através de ondas ultra-sônicas

A primeira solução que pensei foi a utilização de radiofrequências. Podemos facilmente ter acesso aos transmissores de rádio de 40 kHz e receptores e do Fundo eletrônico exigido era dentro do nosso alcance. Depois de tentar várias soluções finalmente chegamos um sistema trabalhando como é apresentada na seção de resultados. Vamos ver aqui como podemos construir um sistema desse tipo.

Para criar uma onda sônica 40 kHz usamos um transdutor de cerâmica comum que excita em sua frequência de ressonância (que explica a 40 kHz e não outra frequência). Esta excitação é feita electricamente com uma amplitude de 5 V e 40 kHz sinal electrónico oscilante. Criamos este sinal usando um IC chamado NE555 que, em certas condições, cria uma saída de oscilação muito estável.



Figura 5: Transmissor e receptor de ultra-som e circuito integrado NE555.

Este sinal está oscilando entre 0 e 5 V, que não é ótimo para um transdutor que prefere tensões com um valor médio igual a zero. Porque a nossa única fonte de tensão é a saída de + 5V do Arduino, vamos ter que gerar um terreno virtual de + 2.5V, de modo que vamos agora trabalhar em + 2.5V / -2.5V.

O circuito eletrônico final é a seguinte:

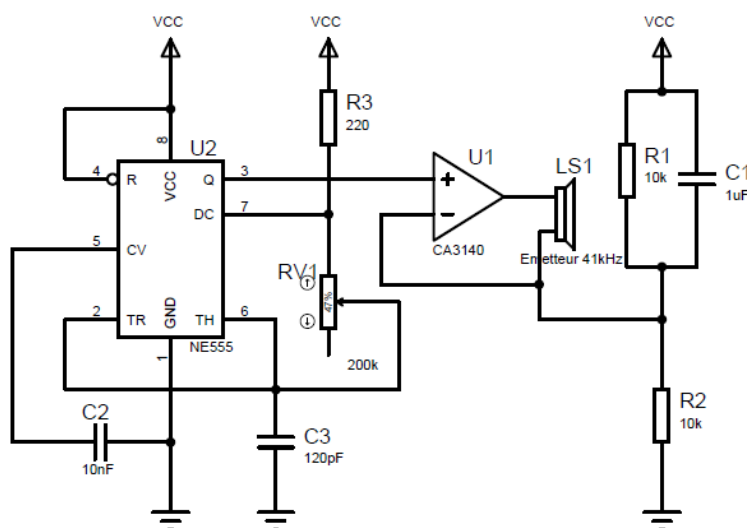


Figura 6: Diagrama do circuito eletrônico do transmissor.

Do lado esquerdo podemos reconhecer o NE555 em uma configuração instável. A oscilação é criada pelos pequenos condensadores nos pinos 5 e 6. A resistência variável entre 6 e 7 nos permite alterar com precisão a frequência de modo a ficar o mais perto possível da frequência de ressonância do transdutor nossa. No nosso caso, essa frequência foi de 41,5 kHz. A saída Q gera o sinal de oscilação que passa através de um comparador de modo a que o transdutor vê uma impedância muito alta. A parte da direita é um divisor de tensão simples para criar o nosso virtual chão.

O sinal emitido tem de ser recebido pelo alvo após a sua propagação através do ar. Geralmente, o sinal recebido tem uma amplitude muito baixa (inferior a 5 mV) e terá que ser amplificadas e "limpos" do seu ruído. Como o sinal vai chegar na forma de um seio com um valor médio zero, teremos de adaptar-se e alimentar os nossos amplificadores com um + Vcc e -Vcc em vez de um + Vcc e 0V. Para isso vamos precisar de um terreno virtual realmente limpo caso contrário, teremos problemas de oscilação. A figura a seguir mostra como nós criamos este terreno virtual de alta impedância.

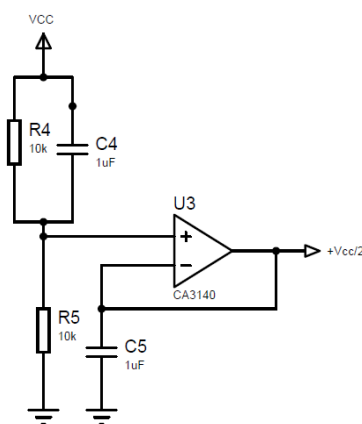


Figura 7: Gerador de terra virtual

Os dois capacitores são usados para suavizar a tensão em caso de ligeiras oscilações eo amplificador definido no modo seguidor de tensão serve para colocar um realmente alta impedância. Este terreno virtual será nomeado como + Vcc / 2 na figura abaixo, que representa o diagrama eletrônico do que construir. A fim de obter o fator de amplificação que queremos, nós usamos dois estágios de amplificação numerados de 1 e 3. Entre estas duas fases, nós filtrar o sinal com um filtro passa-baixa (2) do primeiro fim de filtrar o ruído de alta frequência. Número 4 corresponde a um detector de envelope com uma alta resistência de modo que serve como é um conversor alternativo à contínua. Esta tensão contínua, a qual é proporcional à amplitude do sinal recebido, é comparado com uma tensão de referência ajustável (a qual pode ser ajustada através do potenciômetro) em 5. A redução desta tensão de referência, permite-nos ter uma margem mais ampla, mas nos torna mais sensível às perturbações externas criando ruídos. O comparador irá, assim, criar um sinal contínuo de + 5V, se o transdutor recebe um sinal. Este sinal de 5V vai abrir o

transistor 6 que irá desencadear um novo dispositivo de transmissão de sinal, como visto de cima (7).

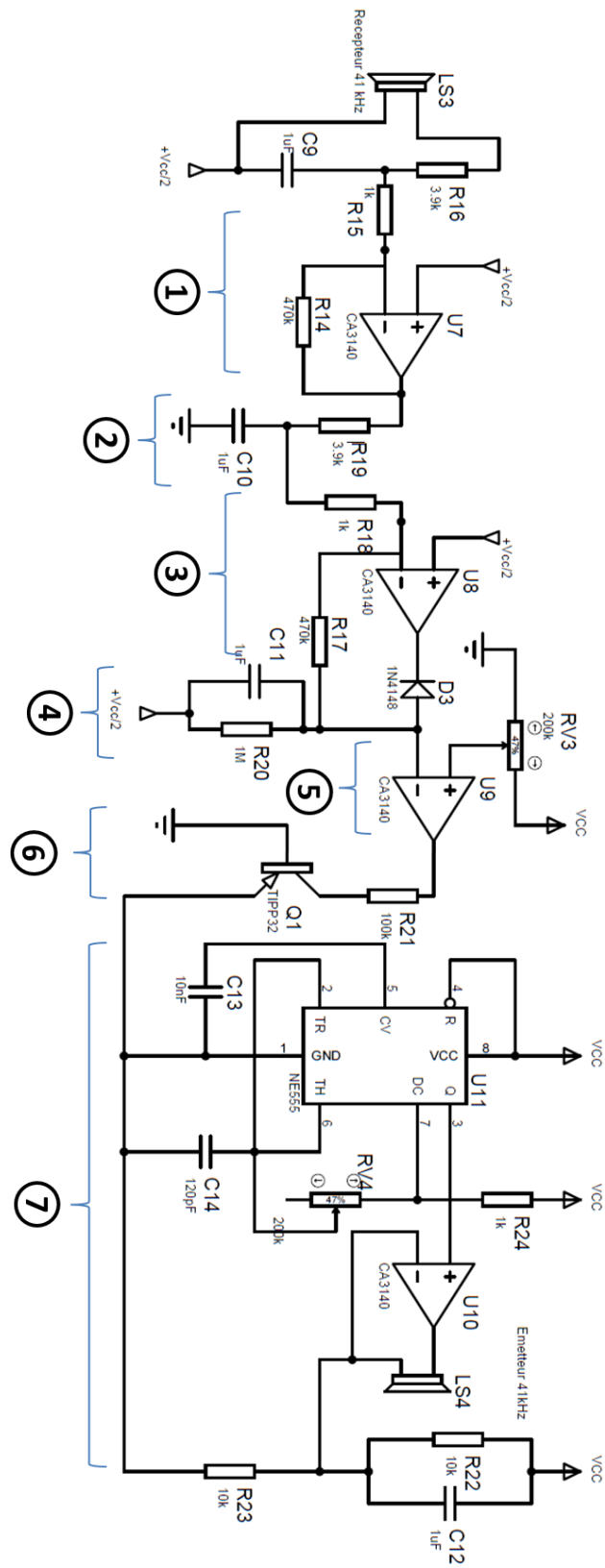


Figura 8: Circuito eletrônico de recepção e transmissão.

A figura seguinte é quase a mesma que a figura anterior, pois o receptor funciona da mesma, mas em vez de colocar um transmissor que colocar um diodo emissor de luz para mostrar que o sinal de retorno bem.

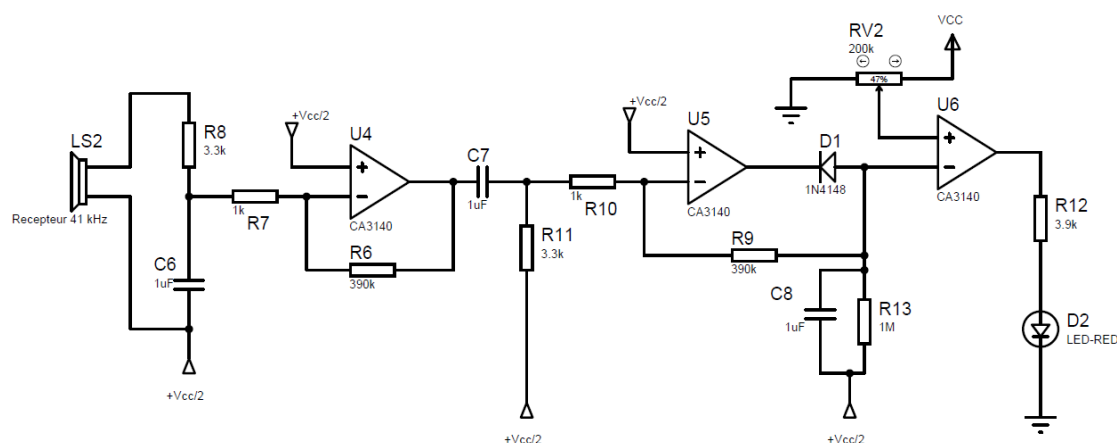


Figura 9: Receptor fixado no drone.

Além disso, em nosso projeto, a luz LED será substituído pelo Arduino.

A construção e o resultado desses sistemas são mostrados na última parte deste artigo.

Porque as ondas sonoras são relativamente lentos, vamos ser capazes de medir o tempo que o sinal levou para dar a volta com o relógio interno do Arduino com uma grande precisão. O código desta medida está em andamento e será mostrada no nosso próximo papel.

3.3 Medição de distância usando ondas de rádio

Outra solução é a utilização de ondas de rádio para medir a distância. Como visto acima, os sinais de rádio permitem que algumas grandes vantagens, porque eles podem passar os obstáculos e são multidirecionais.

3.3.1 Princípio e desafio

A idéia é novo para usar dois transmissores de RF diferentes (434 MHz e 315 MHz) para modular um sinal chirp. Algumas lojas online vendem pequenos circuitos

impressos (ver figura abaixo) que já fazem a modulação ou demodulação eo envio ou a recepção de um sinal dado. Isto é realmente útil para nós, porque evita que tenhamos que construir um circuito eletrônico de frequência muito alta por conta própria, e assim, utilizar componentes específicos e conhecimento eletrônico mais sofisticado.

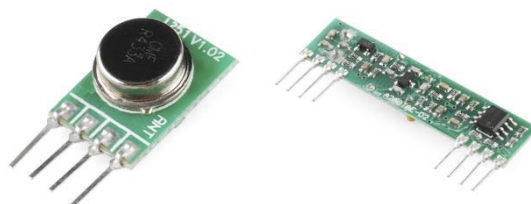


Figura 10: Exemplo de um circuito impresso de um transmissor 434 MHz e o seu receptor associado.

O princípio técnico é o seguinte: vamos construir um sinal eletrônico que queremos enviar usando o cartão Arduino ou usando um circuito eletrônico externo. Este sinal vai estar em uma faixa de frequência que ainda está dentro do funcionamento linear dos principais componentes eletrônicos para que ele nos permite usar o nosso conhecimento eletrônico básico. Este sinal será memorizado e enviados através do nosso transmissor de frequência de rádio. Ele será desmodulado pelo receptor, para que possamos recuperar um sinal de baixa frequência que podemos amplificar, filtro e, em seguida, enviar de volta para o drone usando o outro transmissor.

O princípio é, portanto, exactamente a mesma que com ondas ultra-sónicas. Mas aí vem a dificuldade. As frequências de rádio viajam à velocidade da luz (chamado c) o que significa que o tempo para fazer a viagem de volta é extremamente pequeno. Para uma distância d entre o drone e o alvo, o tempo que vai querer medir será de aproximadamente:

$$\Delta t = 2d/c$$

Se, por exemplo, o drone está a uma distância de cinco metros do alvo no momento em que terá que medir será de cerca de 33 ns (nanossegundos). Para medir tais lapsos pouco tempo que vai precisar de um relógio muito rápido. Quanto maior

for a precisão, mais rápido o relógio! Se chamarmos p a precisão em metros e f a frequência de oscilação do relógio, teremos:

$$p = \frac{c}{2 \cdot f}$$

Uma frequência de contagem de 200 MHz corresponderá a uma precisão de mais ou menos 75 cm. Esta distância é comparável com a escala das distâncias que vamos trabalhar. Em uma distância de 100m essa precisão é muito boa, pois significa um erro de 0,75% ... mas em uma distância de 5m o erro é de 15%.

Como podemos ver aqui, a maior dificuldade de usar ondas de rádio será para medir o tempo com uma boa precisão. Os melhores cristais de quartzo comuns têm uma frequência de oscilação de 30 MHz, o que é muito longe de ser aceitável (precisão de 5 metros!). Felizmente, existem maneiras de aumentar esta frequência de oscilação. Algumas das soluções estudadas são apresentadas a seguir.

3.3.2 Construir um relógio realmente precisa.

Nosso principal objetivo é, portanto, para construir o relógio mais preciso possível. Isso significa que nós temos que criar um sinal muito alto relógio de frequência e de ter acesso a componentes que reagem e são capazes de funcionar corretamente em tais frequências.

A maneira mais fácil de obter acesso a um sinal de relógio de alta frequência é a utilização de um cristal de quartzo. Esses cristais podem gerar sinais de oscilação limpas vai até 30 MHz e são baratas e fáceis de obter. Esta frequência é ok se queremos medir longas distâncias, mas, como vimos, está longe de ser o que estamos procurando. Vamos ter que levantar esta frequência de oscilação usando um sistema baseado Phase Locked Loop (PLL). Felizmente, existem componentes eletrônicos disponíveis que fazem esta multiplicação de frequência, o que nos permite aumentar a nossa frequência de até 200 MHz. Como exemplo, o PI6C4511 de Pericom® ou o NB3N511 de ON Semiconductor® são circuitos integrados que podem se multiplicar uma frequência de relógio de entrar até oito vezes impresso. A figura seguinte é uma vista esquemática do modo como esses componentes trabalham:

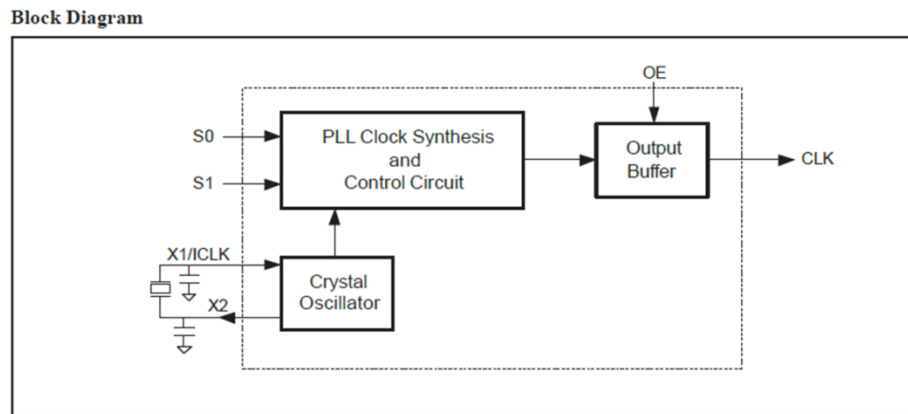


Figura 11: Diagrama de Blocos de um multiplicador de clock. (Source: PI6C4511 data sheet)

Como podemos ver, o cristal de quartzo só tem que estar diretamente conectado às entradas de clock certas. As duas entradas S1 e S2 estão conectados a um oscilador controlado de tensão interna (VCO) e nos permite escolher o fator de multiplicação (x2 para x8). A entrada OE serve para fazer o relógio ON ou OFF.

Com este sistema, que será normalmente capaz de criar um relógio de 200 MHz oscilante. Devido ao tempo de aquisição limitada do Arduino, não podemos usar este relógio para substituir o relógio interno do Arduino. Teremos de construir o contador associado, de modo que apenas o resultado memorizado será transferida para o Arduino para outras interpretações. Já vimos que a precisão máxima, seremos capazes de obter com este contador é 0,75m. Mas, dependendo da distância, que terá de contar com mais ou menos bits. Partindo do princípio de que nunca será mais do que 10m do nosso destino, o tempo máximo de nós terá que medir será 66,7ns. Isto corresponde a 13 ou 14 oscilações do relógio (uma oscilação corresponde a 5ns). Um contador de 4 bits é capaz de contar até $2^4 - 1 = 15$ oscilações do relógio e deve ser suficiente. O Arduino é capaz de processamento de 8 números de bits, para que possamos construir um contador de 8 bits no caso de ir mais longe do que 10m. O impacto sobre o tempo de processamento utilizando contadores de 4 bits ou 8 bits não foi ainda estudada, mas será incluída nas nossas outras considerações. Frequências de relógio alta de 4 bits contadores binários síncronos estão disponíveis em algumas lojas on-line. Por exemplo, o 74ACT163 de STMicroelectronics® ou o MC10H016 de NO Semiconductor® contadores são capazes de trabalhar de frequências que são ainda superiores a 200 MHz.

O princípio de funcionamento é de bastante simples. O sinal de contagem de permitir que vai para ALTO quando o sinal é enviado a partir do drones, que terá início a contagem binária. Este mesmo sinal vai voltar para LOW quando o sinal de volta. A saída do contador estadia memorizado enquanto o sinal claro não tenha sido transferido para ELEVADO. Teremos, assim, tempo suficiente para o Arduino para memorizar o resultado e começar o processo novamente. A figura seguinte é um diagrama de blocos simplificado do nosso conceito.

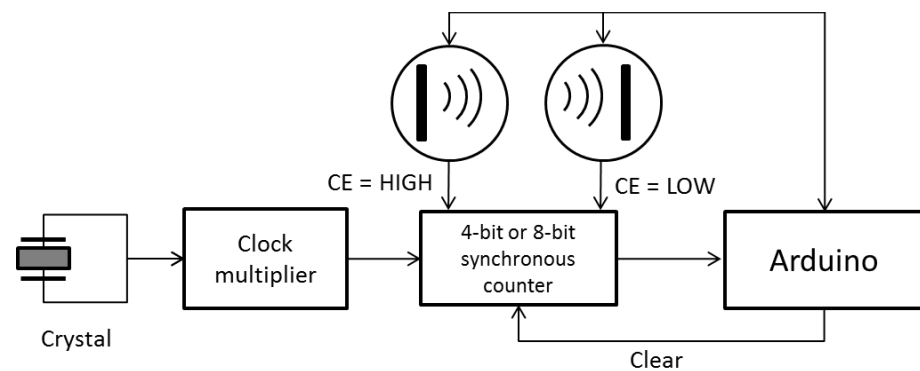


Figura 12: Esquema funcional de como vamos construir o nosso contador de 200 MHz.

Como os principais componentes ainda não chegou, não podemos apresentar qualquer resultado sobre esta parte, mesmo que estamos ocupados tentando fazer um modelo de CAD para nos ajudar.

3.3.3 Método complementar a ser estudada

É claro que, se pudéssemos simplesmente aumentar esta frequência ainda mais, vamos tentar. Estamos à procura de outras técnicas que podem fazer a nossa medição de tempo ainda mais preciso. Um deles parece bastante acessível para nós. Seu princípio é simples. Em vez de parar o contador quando o sinal voltar, começamos um outro balcão com uma frequência perto do primeiro. O que vai medir é o tempo (ou seja, o número de contagens de relógio) para o segundo relógio para entrar em fase com a primeira, como mostrado na figura a seguir.

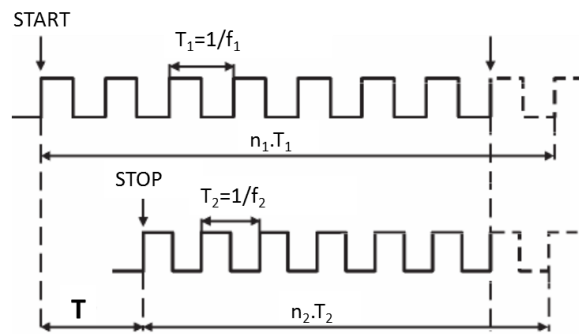


Figura 13: Princípio de funcionamento da medição do tempo com base em dois contadores.

Quando enviamos o sinal começamos o contador do relógio 1. Quando o sinal retorna após um tempo T começamos a contar com o contador de relógio 2. Contamos até que os dois relógios têm a mesma fase que ocorrerá após oscilações de n_1 o relógio 1 e n_2 oscilações do relógio 2. Em seguida, terá $T = (n_1 - 1) T_1 - (n_2 - 1) T_2$. A nova resolução será igual ao $T_1 - T_2$. Por exemplo, se conseguirmos criar dois contador de 120 MHz (= 8,33 ns) e 130 MHz (= 7,69 ns), devemos ser capazes de medir um lapso de tempo de 0,64 ns que deve ser equivalente a ter um relógio de 1,56 GHz. Claro que isso tem de ser analisada com cuidado, porque é apenas uma abordagem teórica. Há ainda uma grande quantidade de trabalho e de estudo que vamos ter que fazer antes de nós será capaz de fazer algo parecido com este trabalho. No entanto, é parte das opções que manter em mente para o nosso projeto.

O diagrama de blocos funcional seria como segue.

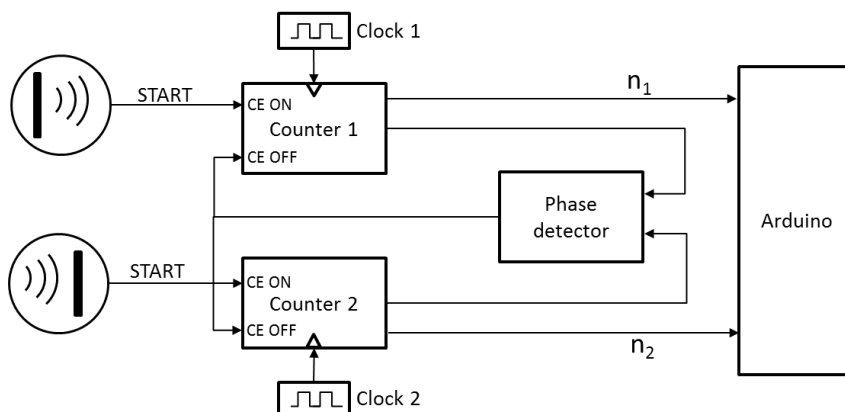


Figura 14: Diagrama de blocos do sistema de dois contadores

A principal dificuldade deste sistema será o bloco "detector de fase", porque ele vai tem que ser rápido e muito preciso. Os trabalhos irão ser feito neste sistema.

3.4 Nosso sistema ultra-sônico LORAN.

3.4.1 Pre-algorithm

Antes de construir o nosso sistema, tentamos compreender os fundamentos matemáticos da LORAN, a fim de otimizar o nosso algoritmo de localização. Como dito anteriormente, o conjunto de pontos para cada um dos quais o valor absoluto da diferença entre as distâncias de dois focos dado é uma constante é uma hipérbole. O problema é, por conseguinte, em primeiro lugar, para encontrar as equações das hipérbolas dadas pela extremidade diferença medida segundo lugar, a solução de intersecção destas duas hipérbolas. Este problema não é tão simples como parece. A nossa resolução, que foi realizada por meio de bordo, um solucionador de matemática analítica, pode ser encontrada no apêndice. Como você pode ver, a resolução nos dá oito soluções de nossas coordenadas (X, Y) em função do d12 e d23 diferença. Quatro dessas soluções têm qualquer significado físico e podem ser ignorados. Nos quatro soluções que sobraram são verdadeiras soluções, mas não em cada intervalo de d12 e d23. Ao analisar os sinais e os valores de d12 e d23 podemos voltar a um máximo de duas soluções. Em alguns casos, temos uma solução que é perfeito, em outros casos, temos duas que não podem ser diferenciados. Vamos talvez ter que adicionar um emissor extra para ter uma equação adicional para que possamos obter apenas uma solução para cada caso.

$$(x, y) \rightarrow -\frac{3}{2} x \sqrt{3} R^2 y + \frac{1}{2} x \sqrt{3} R D^2 - \frac{1}{4} D^4 - \frac{1}{2} y R D^2 + R^2 D^2 + x^2 D^2 + y^2 D^2 - \frac{3}{4} R^2 x^2 - \frac{9}{4} y^2 R^2 = 0$$

$$(x, y) \rightarrow \frac{3}{2} x \sqrt{3} R^2 y - \frac{1}{2} y R G^2 - \frac{1}{4} G^4 + R^2 G^2 + x^2 G^2 + y^2 G^2 - \frac{1}{2} x \sqrt{3} R G^2 - \frac{3}{4} R^2 x^2 - \frac{9}{4} y^2 R^2 = 0$$

Figura 15: Equações obtidos para os dois hipérbolas.

3.4.2 Simulações eletrônicas

Uma vez estávamos convencidos de que seria possível fazer um algoritmo de trabalho, começamos a projetar os circuitos eletrônicos. Precisávamos de um circuito capaz de enviar três pulsos para três emissores de ultra-som, com um tempo estável entre cada pulso. Usando nosso conhecimento que construímos durante todo este projecto, decidimos usar uma NE555 astável para criar o primeiro sinal de relógio de 660 Hz. Com um contador de década, fomos capazes de criar três saídas de pulso de uma forma que nos permitam reconhecê-los, uma vez recebido: três pulsos separados por 3ms e, em seguida, 15ms antes de enviá-los novamente. Desta forma, vamos sempre saber qual é que no receptor. Isso é feito pelo "1 - gerador de sinal Básico 'que você pode encontrar no apêndice. O problema de um contador de décadas é que cria um impulso que permanecer na DE ALTA enquanto o segundo impulso não é enviado, no nosso caso um impulso de 1500 μ s. Precisávamos de um caminho mais curto impulsão de 200 μ s. Para isso, teve que construir um oscilador monostável com um impulso positivo (se desencadeou em uma inclinação ascendente), com um gatilho isolado (ele é apenas desencadeada uma vez) e que não seriam forçados ALTA quando o sinal de disparo permanece elevada. Para isso, usamos algumas portas TTL e o atraso trazido pela carga de um capacitor, conforme mostrado na figura '2 - oscilador Monostável' do apêndice.

Finalmente, tivemos que transformar isso três pulsos TTL em três sinais diferentes na frequência certa para enviá-los (3 - dividir Signal e conversor de 40 kHz) e adicionar um poder acima do sistema para ser capaz de trabalhar com tensões mais elevadas do que o 5V suportados por todos nossos componentes (4 - Power-up gate).

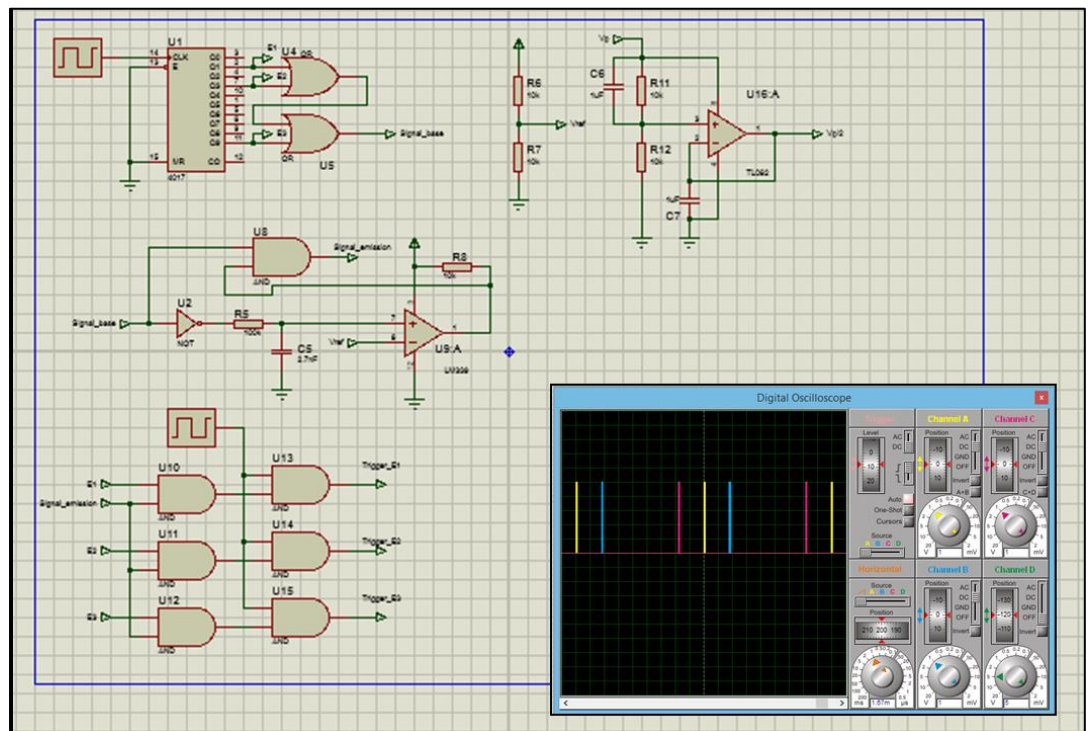


Figura 16: Três sinais de 40 kHz pulsando simuladas em ISIS.

Com um circuito eletrônico simulado sólida, que só precisava para começar a construí-la de verdade.

4 RESULTADOS

Estamos muito orgulhosos de apresentar os nossos resultados. Eles são a conclusão de uma grande quantidade de trabalho, que envolveu a aprendizagem e aquisição de conhecimentos no início, mas também criar e inovar em nossos próprios circuitos eletrônicos e escrever nossos próprios códigos de programação. Naturalmente, ainda há um monte de trabalho, tanto a robustez precisas dos nossos resultados e construir os circuitos eletrônicos correspondentes às nossas últimas idéias. No entanto, nós começamos o processamento de dados obtidos a partir de programas que escreveu, explorando circuitos eletrônicos que construímos, projetados em algoritmos e métodos que inventamos!

Organizamos esta seção em duas partes. O primeiro apresenta uma avaliação dos muitos circuitos eletrônicos que temos construído, eo segundo mostra uma avaliação dos nossos primeiros programas escritos em Arduino e os resultados que eles gerados.

4.1 Os circuitos eletrônicos

4.1.1 O nosso sensor de distância ultra-sônico

Como visto anteriormente, a distância medida através de ondas de ultra-som é mais fácil de entender e de construir do que com ondas de radiofrequência. É por isso que comecei com isso para que nós vamos chegar a resolver os principais problemas.

A figura a seguir mostra o nosso transmissor 41 kHz.

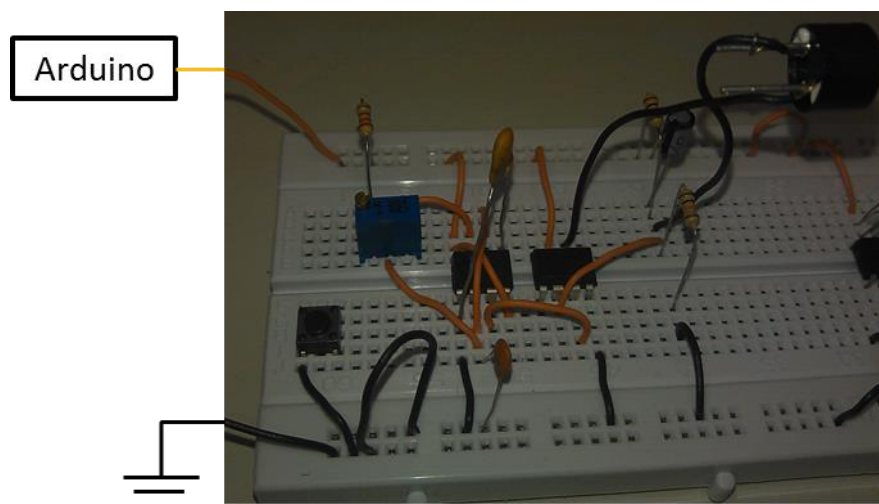


Figura 17: Imagem do circuito eletrônico transmissor 41 kHz

Este transmissor é aquele que envia o primeiro sinal do drones. Ele é acionado pelo Arduino, que começará a contar no mesmo momento. Este sinal vai através do ar para o nosso receptor, o qual será no alvo. O circuito eletrônico é o seguinte:

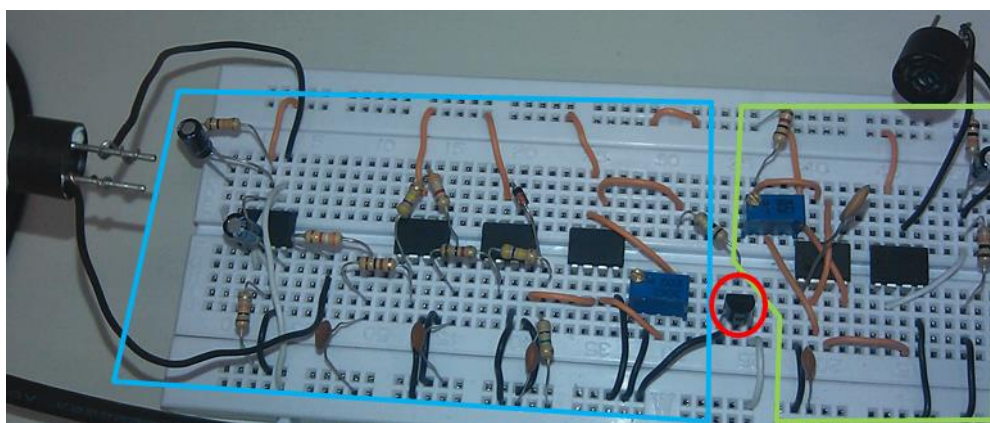


Figura 18: Imagem do sistema de recepção e emissão que vai estar no alvo.

O sinal chega ao sensor do lado esquerdo. O circuito marcado em azul é o circuito de recepção e seu objetivo é gerar uma corrente contínua de alta o suficiente para "abrir" o transistor (em vermelho) que irá acionar o circuito verde cujo objetivo é criar um sinal oscilante que será enviado de volta usando o transmissor à direita. Ele irá agora só tem que voltar para o receptor no drones, que é apresentado na figura a seguir:

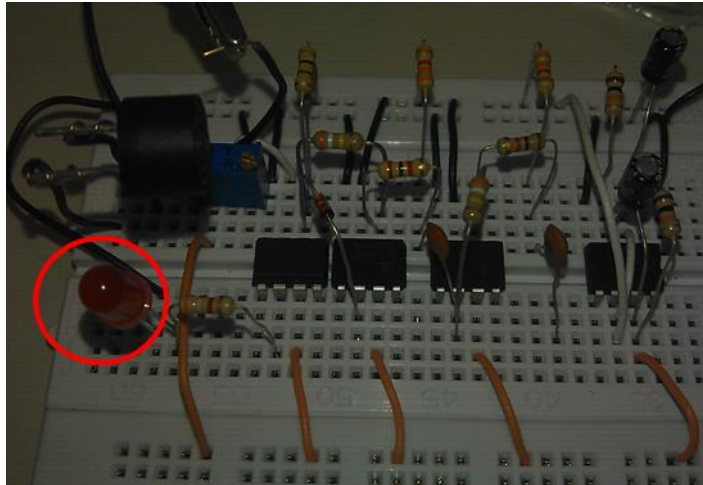


Figura 19: Imagem de circuito eletrônico do receptor do drone.

O sinal é receptor pelo receptor à direita e limpos e amplificado. Este circuito gera uma tensão contínua que será recebida pelo Arduino e fazer parar o contador. Para testar o nosso sistema sem o Arduino, vamos colocar uma luz LED em vez disso.

Com estes três circuitos eletrônicos conseguimos criar um controle de "ida e volta" remoto que seja capaz de definir um LED. Nós tentamos diferentes configurações de comparadores, filtros e tensão de trabalho e, finalmente, tem um sistema que poderia trabalhar até uma distância de 6 metros! A maioria dos sensores ultra-sônicos 5V trabalhar dentro de uma gama de 3 m.

4.1.2 Nosso sistema LORAN ultra-sônica (assíncrono)

Foram construídos dois módulos para actuar como um sistema de posicionamento com base na tecnologia LORAN. O primeiro circuito é o quadro de referência fixo e é aquele que contém os emissores de ultra-sons, de modo que é a parte "activa". O segundo circuito é passivo na medida em que apenas ouve a ultra-sons impulsos enviados pelo circuito activo anterior.

As duas imagens seguintes (Figura 20 e Figura 21) mostram os circuitos eletrônicos que geram os três pulsos de sinais de ultra-som no sistema fixo de coordenadas. Esses sinais são enviados por três emissores de ultra-som (ver Figura 22) dispostos em triângulo equilátero cujo centróide é a origem da armação.

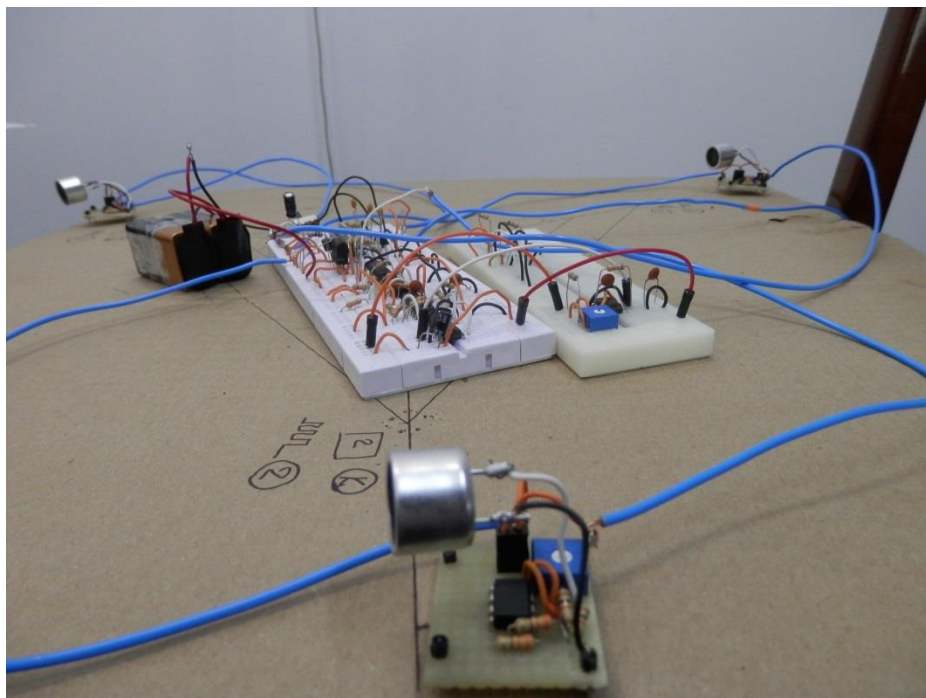


Figura 20: Circuito gerador de pulsos para o sistema LORAN (1)

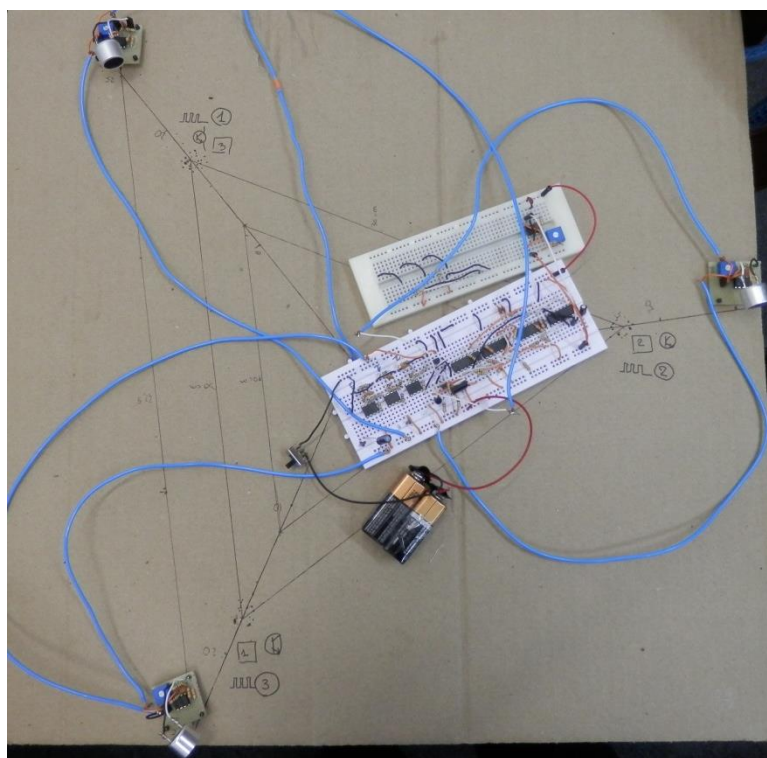


Figura 21: Circuito gerador de pulsos para o sistema LORAN (2)

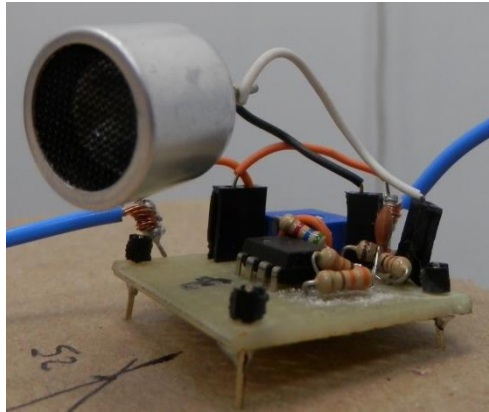


Figura 22: Emissor pulso ultrasónico

Também construiu o circuito chamado "passivo" (veja a Figura 23 e Figura 24), que simplesmente ouve e detecta pulsos emitidos pelo circuito de referência fixo. É composto por um receptor de ultra-som, 4 banda passar filtros de ordem 2 em cascata e um comparador. O Arduino Devido placa eletrônica programável em seguida, lê os dados recebidos, processa e retorna para o computador.

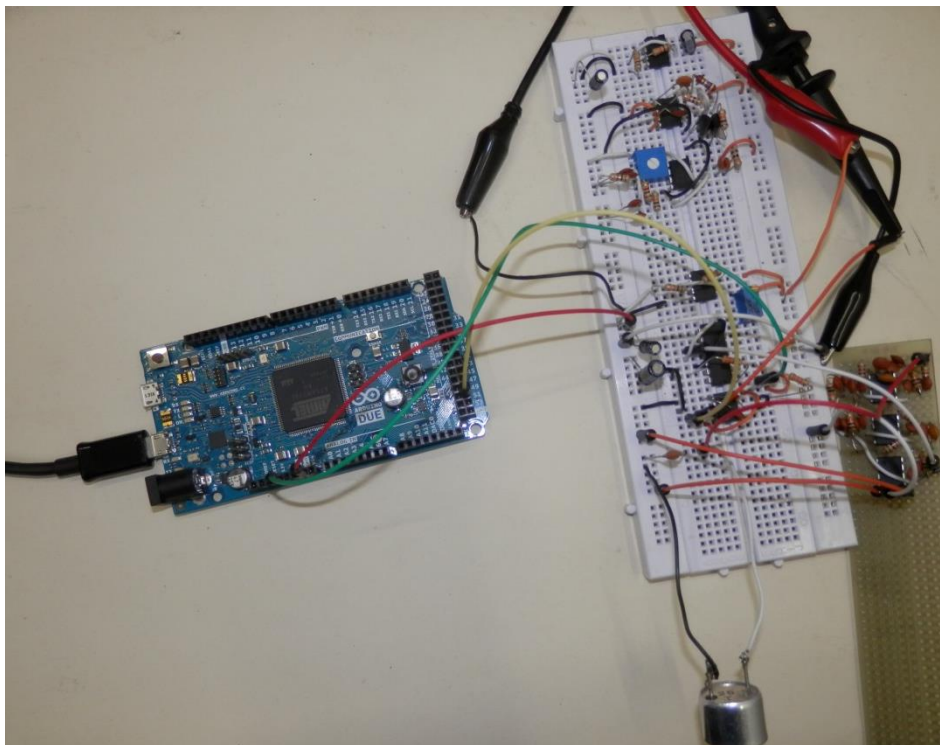


Figura 23: Todo o circuito passivo e móvel do sistema LORAN

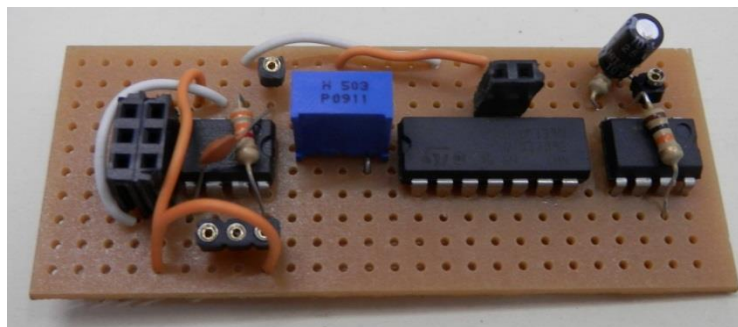


Figura 24: Receptor de pulso ultrasónico , versão soldada

4.2 Medição de distância resultados de nossos programas Arduino

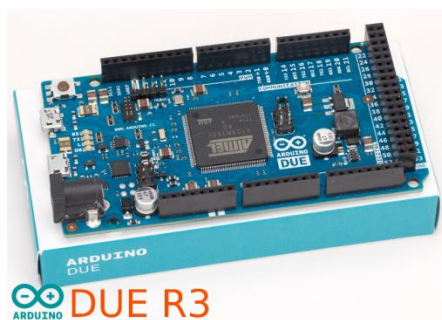


Figura 25 : Arduino Due apresentação comercial

Usando a conhecida plataforma de prototipagem rápida Arduino, poderíamos escrever nossos próprios códigos em linguagem de programação Arduino, e, em seguida, tê-los executado pelos cartões eletrônicos Arduino e Arduino Due. Estes

cartões nos permitiu executar programas que escrevemos, baixá-lo a partir do computador, e em seguida, comunicar com nossos vários circuitos eletrônicos.

Nosso primeiro programa simplesmente permitiu-nos comunicar com nossos circuitos eletrônicos. O cartão eletrônico Arduino Devido mostrou-nos quando o nosso circuito de detecção eletrônica recebeu um sinal de ultra-som. Ele enviou as coordenadas temporais dos impulsos recebidos, e usando uma folha de excel nós traçamos os resultados na Figura 27 (usando apenas dois emissores). Os impulsos podem ser vistos na Figura 26, que é a sua aquisição no osciloscópio.

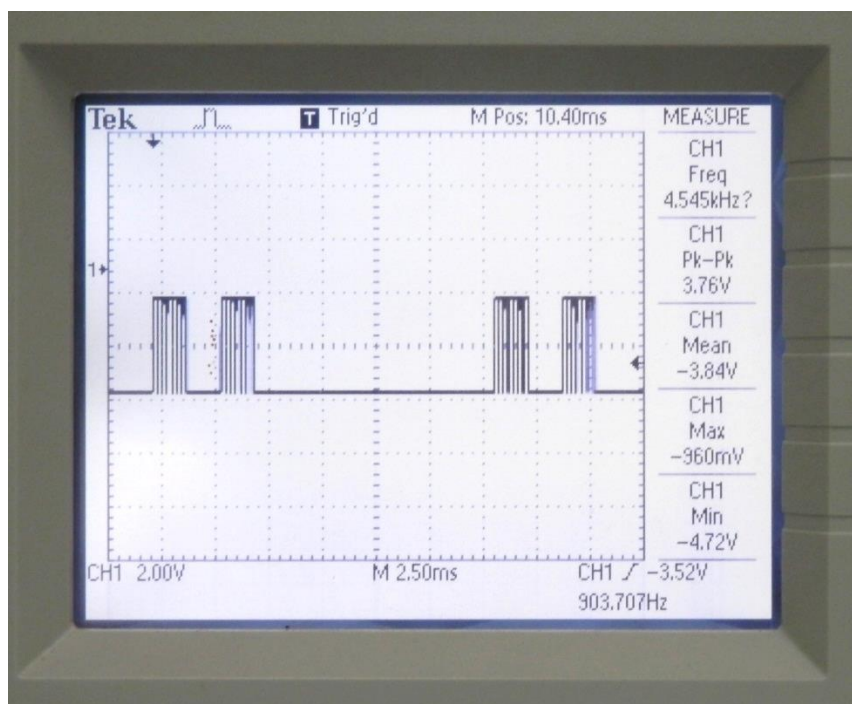


Figura 26: Aquisição dos pulsos no osciloscópio

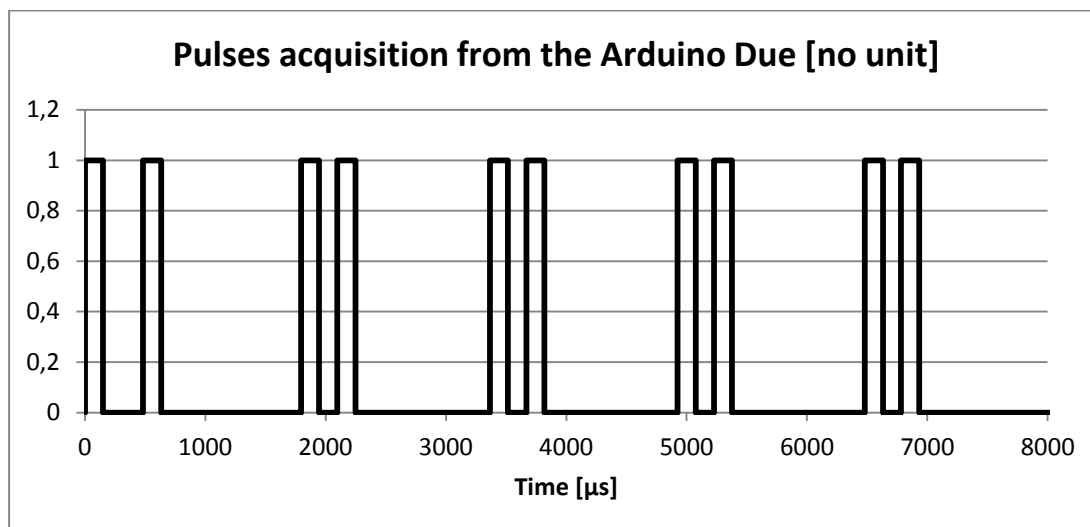


Figura 27: Aquisição dos pulsos no Arduino Due, impresso em um gráfico Excel

Usando a aquisição de chegadas de pulsos, fomos capazes de implementar nosso sistema de localização baseado na tecnologia de LORAN. O cartão electrónico Arduino Devido começa observando as diferenças entre os tempos de chegada dos impulsos de ultra-sons, e calcula a separação espacial relativa entre as fontes de emissão de impulsos.

A fim de testar a robustez das nossas medidas de distância espacial relativa entre os 3 fontes, realizamos testes estatísticos simples, como o cálculo da média, desvio padrão, histograma e a convergência da média. Os gráficos seguintes mostram o histograma (Figura 28) e a convergência significativo (Figura 29) dos nossos dados. Foram realizadas três aquisições diferentes, de 150 medidas de cada um. O nome D12 refere-se à distância relativa entre o emissor número 1 e número 2, enquanto o nome D13 refere-se à distância relativa entre o emissor número 1 e número 3.

Pode-se ver que a distribuição obtida no nosso histograma está longe de ser uma distribuição de Gauss, mesmo depois de 150 aquisições. Assim, mesmo com uma convergência rápida e precisa da média, ainda estamos trabalhando em como pegar o valor correto a partir de uma pequena quantidade de aquisição, não usando o famoso Teorema Central do Limite.

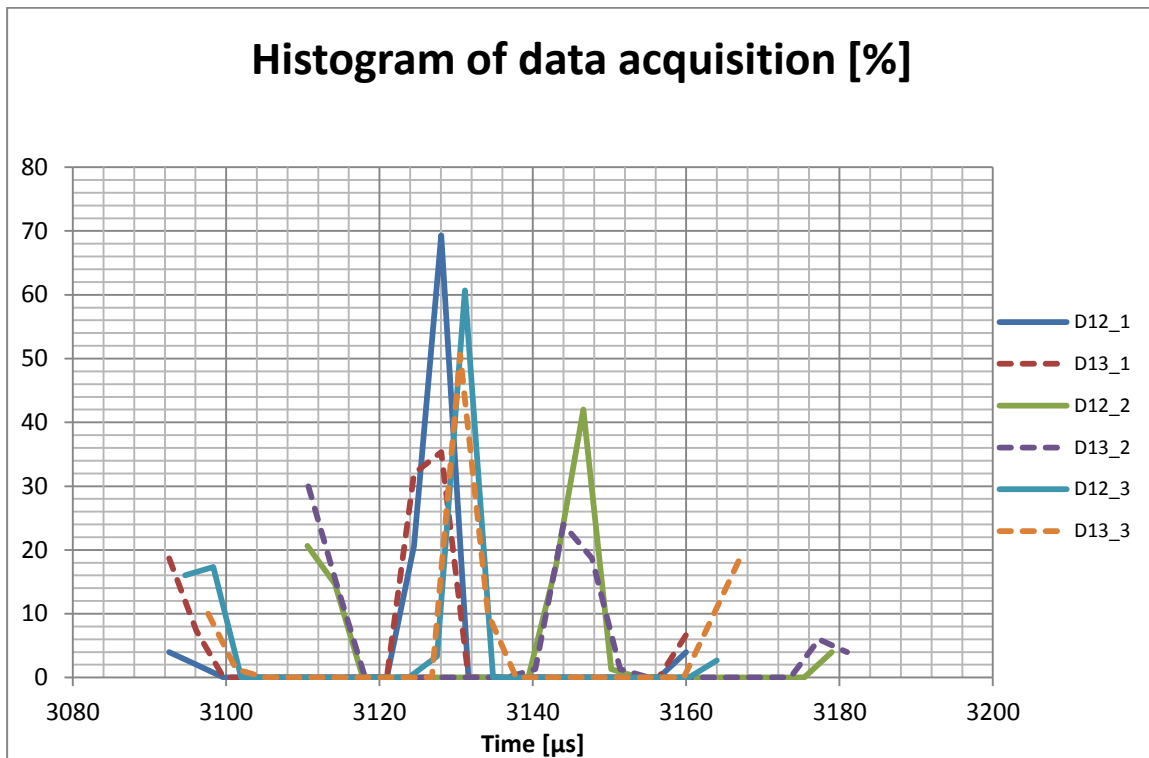


Figura 28: Histograma de aquisição de dados

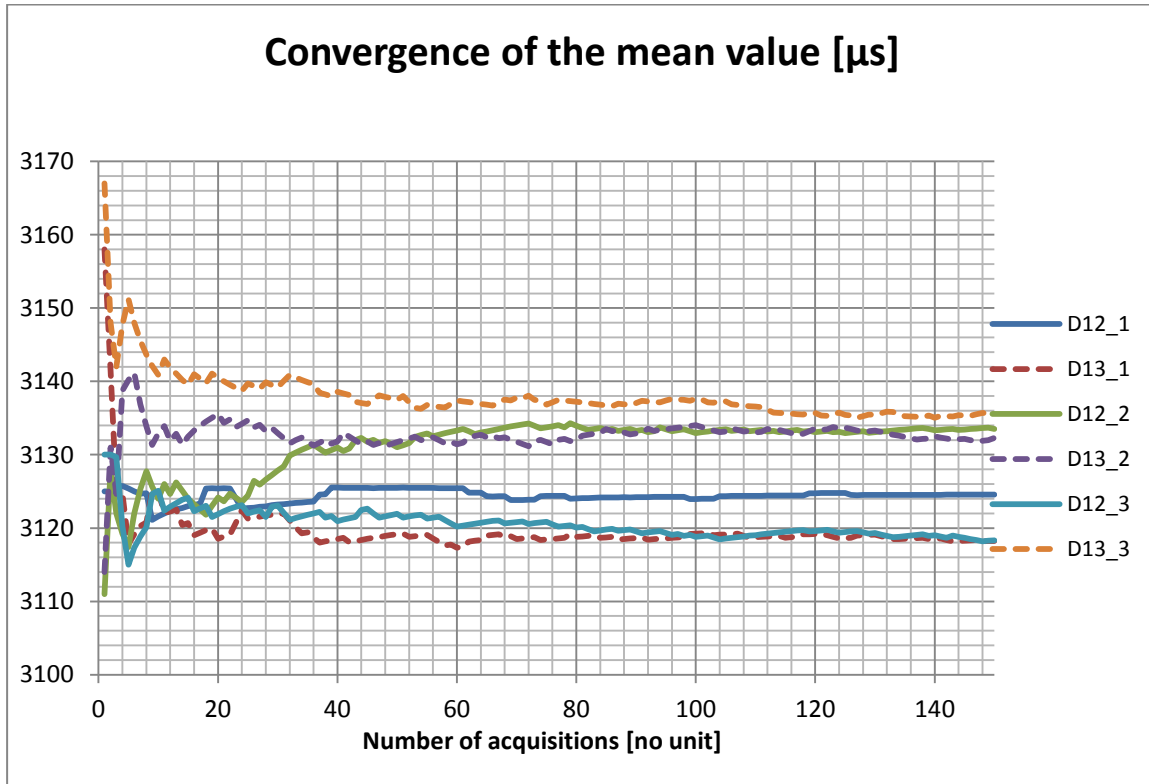


Figura 29: Convergência do valor médio

No momento da elaboração deste relatório, que ainda não tiveram o tempo para implementar a tecnologia LORAN completa na placa Arduino Due. No entanto, já tínhamos uma folha de excel para os cálculos das coordenadas do elemento receptor no quadro do circuito do transmissor de referência fixo. Estes cálculos foram baseados em distâncias temporais encontrados pelo Arduino Due.

Por exemplo, o nosso sistema de medidas as seguintes coordenadas (em centímetros) no quadro dos emissores:

X	-1,0134
Y	-45,0598

Isto corresponde ao X1Y1 solução de intersecção das curvas parabólicas como mostrado na Figura 30: a localização do circuito de receptor calculado a partir dos valores de tabuleiro Arduino em ExcelFigure 30, onde X1Y1 é a solução mais próxima.

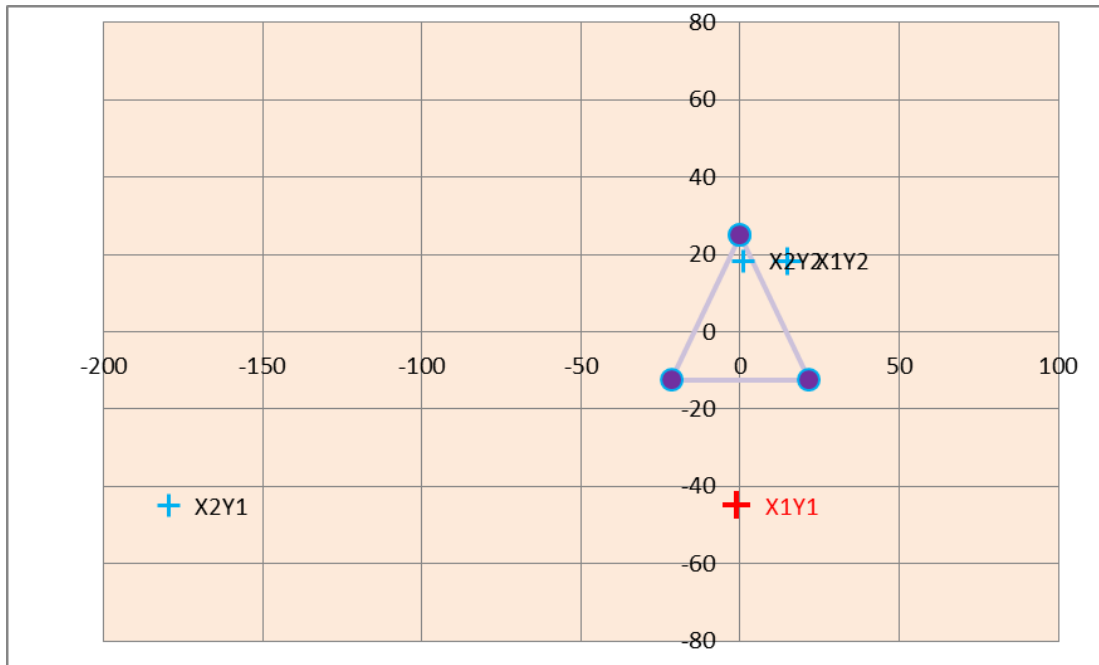


Figura 30: Localização do circuito receptor calculado no Excel a partir dos valores obtidos na placa Arduino

Onde estamos, na verdade, medidas as seguintes coordenadas: $(x, y) = (-5; -50)$. Estamos actualmente a testar a robustez das medições localização feitas pelo nosso sistema de ultra-som LORAN.

5 CONCLUSÕES

Como vimos ao longo de todo este projecto, há uma série de razões pelas quais o nosso sistema de medição ideal ainda não existe. Orientação dos sinais, a velocidade da luz, medição do tempo, algoritmo matemático ou problemas financeiros, esses são apenas um pequeno número de razões que encontramos e que poderia facilmente explicar a ausência desta tecnologia.

Mas, por outro lado, confrontando todos esses problemas, por meio de adaptações do projeto de investigação, nos estamos convencidos de que já fizemos um longo caminho em direção desta tecnologia. Este projeto mostrou que a solução reside provavelmente em uma combinação de ondas de rádio e de som em uma adaptação de uma tecnologia mais grande como LORAN para um nível menor. Vimos que nossos últimos resultados são muito interessantes e que foi alcançado o objetivo principal de medição de distância.

Há, claro, ainda muito trabalho a fazer, mas com a quantidade de conhecimentos práticos e teóricos que conseguimos acumular durante este projeto, este trabalho é um desafio perfeito que nós estamos prontos para aceitar!

6 BIBLIOGRAFIA

6.1 Livros e artigos

CHEN Zhichao and BIRCHFIELD Stanley T., *Person Following with a Mobile Robot Using Binocular Feature-Based Tracking*, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), San Diego, California, October 2007, 6 p.

DELAGNES Eric, *Circuits intégrés pour la Mesure du Temps*, Ecole IN2P3 building blocks, Porquerolles 2005, 61 p.

HICKMANN Ian, *Analog Circuits Cookbook*, 2nd edition, 1999, 356p

KRYSINSKI Tomasz and MALBURET Francois, *Mechanical Instability*, ISTE Ltd and John Wiley & Sons Inc 4 août 2010, 368 p.

KRYSINSKI Tomasz and MALBURET Francois, *Mechanical Vibrations: Active and Passive Control*, ISTE, 30 mars 2006, 368 p.

KUGELSTATD Thomas (Texas Instrument), *Op Amps for Everyone*, chapter 16 Active Filter Design Techniques, 2008, 66p

LE RUYET Didier (Ecole Nationale des Arts et Métiers), *Electronique analogique, FILTRAGE ET AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL*, Octobre 2007, 59p

MUGABUHAMYE Robert and RODRIGUES Damien, *Télémetre ultrason*, Université François-Rabelais de Tours, 2007, 27 p.

ROUX Philippe, *Amplificateur Operationnel : réalisation des filtres de second ordre*, 2012, 22 p.

Y. K. Chan and S. Y. Lim, *Design and Development of a Low Cost Chirp Generator for Airborne Synthetic Aperture Radar*, 2009

6.2 Websites

Como construir um medidor de frequência:

<http://florentportelatine.perso.sfr.fr/electronique/montages/frequecemetre/frequence metre.html>

Como construir um transmissor FM:

http://www.sonelec-musique.com/electronique_realisations_emetteur_fm_001.html

ANNEXO A - CÁLCULOS DE POSIÇÃO NO SISTEMA LORAN

Estes cálculos são obtidos no software de cálculos formais Maple, e permitem obter a posição (x,y) do drone nos eixos relativos da base emissora.

>

restart;

$$d1 := (x, y) \rightarrow \sqrt{x^2 + (y - R)^2} - \sqrt{\left(x + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot R\right)^2 + \left(y + \frac{R}{2}\right)^2};$$

$$d2 := (x, y) \rightarrow \sqrt{x^2 + (y - R)^2} - \sqrt{\left(x - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot R\right)^2 + \left(y + \frac{R}{2}\right)^2};$$

$$l := (x, y) \rightarrow \sqrt{x^2 + (y - R)^2} - \sqrt{\left(x + \frac{1}{2} \sqrt{3} R\right)^2 + \left(y + \frac{1}{2} R\right)^2}$$

$$(x, y) \rightarrow \sqrt{x^2 + (y - R)^2} - \sqrt{\left(x + \frac{1}{2} \sqrt{3} R\right)^2 + \left(y + \frac{1}{2} R\right)^2}$$

$$d2 := (x, y) \rightarrow \sqrt{x^2 + (y - R)^2} - \sqrt{\left(x - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot R\right)^2 + \left(y + \frac{R}{2}\right)^2}$$

$$(x, y) \rightarrow \sqrt{x^2 + (y - R)^2} - \sqrt{\left(x - \frac{1}{2} \sqrt{3} R\right)^2 + \left(y + \frac{1}{2} R\right)^2}$$

>

expand(d1(x,y)²)

$$2R^2 - yR + 2x^2 + 2y^2 - 2\sqrt{R^2 - 2Ry + x^2 + y^2} \sqrt{x^2 + x\sqrt{3}R + R^2 + y^2 + yR} + x\sqrt{3}R$$

expand((R² - 2Ry + x² + y²) · (x² + x√3R + R² + y² + yR))

$$2x^2R^2 - x^2yR + x^4 + 2x^2y^2 + x\sqrt{3}R^3 - 2x\sqrt{3}R^2y + x^3\sqrt{3}R + x\sqrt{3}Ry^2 + R^4 - R^3y - y^3R + y^4$$

expand\left(\left(\frac{1}{2} \cdot (2R^2 - yR + 2x^2 + 2y^2 + x\sqrt{3}R - D^2)\right)^2\right)

$$-\frac{1}{2}x\sqrt{3}R^2y + x\sqrt{3}Ry^2 - \frac{1}{2}x\sqrt{3}RD^2 + \frac{1}{4}D^4 + \frac{1}{2}yRD^2 + x\sqrt{3}R^3 - x^2yR + x^3\sqrt{3}R + x^4 + R^4 + y^4 - R^2D^2 - x^2D^2 - y^2D^2 + \frac{11}{4}x^2R^2 + 2x^2y^2 - R^3y + \frac{9}{4}R^2y^2 - y^3R$$

$$\begin{aligned}
& \text{simplify} \left(2R^2x^2 - x^2yR + x^4 + 2x^2y^2 + x\sqrt{3}R^3 - 2x\sqrt{3}R^2y + x^3\sqrt{3}R + x\sqrt{3}Ry^2 \right. \\
& \quad + R^4 - R^3y - y^3R + y^4 - \left(-\frac{1}{2}x\sqrt{3}R^2y + x\sqrt{3}Ry^2 - \frac{1}{2}x\sqrt{3}RD^2 + \frac{1}{4}D^4 \right. \\
& \quad + \frac{1}{2}yRD^2 - R^2D^2 - x^2D^2 - y^2D^2 + x\sqrt{3}R^3 + x^3\sqrt{3}R - x^2yR + x^4 + R^4 + y^4 \\
& \quad \left. \left. + 2x^2y^2 - R^3y - y^3R + \frac{11}{4}R^2x^2 + \frac{9}{4}y^2R^2 \right) \right) \\
& -\frac{3}{2}x\sqrt{3}R^2y + \frac{1}{2}x\sqrt{3}RD^2 - \frac{1}{4}D^4 - \frac{1}{2}yRD^2 + R^2D^2 + x^2D^2 + y^2D^2 - \frac{3}{4}x^2R^2 \\
& \quad - \frac{9}{4}R^2y^2
\end{aligned}$$

$\text{expand}(d2(x, y)^2)$

$$\begin{aligned}
& 2R^2 - yR + 2x^2 + 2y^2 - 2\sqrt{R^2 - 2Ry + x^2 + y^2} \sqrt{x^2 - x\sqrt{3}R + R^2 + y^2 + yR} \\
& \quad - x\sqrt{3}R
\end{aligned}$$

$\text{expand}((R^2 - 2Ry + x^2 + y^2) \cdot (x^2 - x\sqrt{3}R + R^2 + y^2 + yR))$

$$\begin{aligned}
& 2x^2R^2 - x^2yR + x^4 + 2x^2y^2 - x\sqrt{3}R^3 + 2x\sqrt{3}R^2y - x^3\sqrt{3}R - x\sqrt{3}Ry^2 + R^4 - R^3y \\
& \quad - y^3R + y^4
\end{aligned}$$

$\text{expand}\left(\left(\frac{1}{2} \cdot (2R^2 - yR + 2x^2 + 2y^2 - x\sqrt{3}R - G^2)\right)^2\right)$

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{2}x\sqrt{3}R^2y - x\sqrt{3}Ry^2 + \frac{1}{2}x\sqrt{3}RG^2 + \frac{1}{4}G^4 - R^2G^2 - x^2G^2 - y^2G^2 + \frac{1}{2}yRG^2 \\
& \quad - x\sqrt{3}R^3 - x^2yR - x^3\sqrt{3}R + x^4 + R^4 + y^4 + \frac{11}{4}x^2R^2 + 2x^2y^2 - R^3y + \frac{9}{4}R^2y^2 \\
& \quad - y^3R
\end{aligned}$$

$\text{simplify}\left(2R^2x^2 - x^2yR + x^4 + 2x^2y^2 - x\sqrt{3}R^3 + 2x\sqrt{3}R^2y - x^3\sqrt{3}R - x\sqrt{3}Ry^2 \right.$

$$\begin{aligned}
& \quad + R^4 - R^3y - y^3R + y^4 - \left(\frac{1}{2}x\sqrt{3}R^2y - x\sqrt{3}Ry^2 + \frac{1}{2}yRG^2 + \frac{1}{4}G^4 - R^2G^2 \right. \\
& \quad - x^2G^2 - y^2G^2 - x\sqrt{3}R^3 - x^3\sqrt{3}R - x^2yR + x^4 + R^4 + y^4 + 2x^2y^2 - R^3y - y^3R \\
& \quad \left. \left. + \frac{1}{2}x\sqrt{3}RG^2 + \frac{11}{4}R^2x^2 + \frac{9}{4}y^2R^2 \right) \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{3}{2}x\sqrt{3}R^2y - \frac{1}{2}x\sqrt{3}RG^2 - \frac{1}{4}G^4 + R^2G^2 + x^2G^2 + y^2G^2 - \frac{1}{2}yRG^2 - \frac{3}{4}x^2R^2 \\
& \quad - \frac{9}{4}R^2y^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{eq1} := (x, y) \rightarrow & -\frac{3}{2}x\sqrt{3}R^2y + \frac{1}{2}x\sqrt{3}RD^2 - \frac{1}{4}D^4 - \frac{1}{2}yRD^2 + R^2D^2 + x^2D^2 \\
& + y^2D^2 - \frac{3}{4}R^2x^2 - \frac{9}{4}y^2R^2 = 0
\end{aligned}$$

$$(x, y) \rightarrow -\frac{3}{2} x \sqrt{3} R^2 y + \frac{1}{2} x \sqrt{3} R D^2 - \frac{1}{4} D^4 - \frac{1}{2} y R D^2 + R^2 D^2 + x^2 D^2 + y^2 D^2 \\ - \frac{3}{4} R^2 x^2 - \frac{9}{4} y^2 R^2 = 0$$

$$eq2 := (x, y) \rightarrow \frac{3}{2} x \sqrt{3} R^2 y - \frac{1}{2} y R G^2 - \frac{1}{4} G^4 + R^2 G^2 + x^2 G^2 + y^2 G^2 - \frac{1}{2} x \sqrt{3} R G^2 \\ - \frac{3}{4} R^2 x^2 - \frac{9}{4} y^2 R^2 = 0$$

$$(x, y) \rightarrow \frac{3}{2} x \sqrt{3} R^2 y - \frac{1}{2} y R G^2 - \frac{1}{4} G^4 + R^2 G^2 + x^2 G^2 + y^2 G^2 - \frac{1}{2} x \sqrt{3} R G^2 \\ - \frac{3}{4} R^2 x^2 - \frac{9}{4} y^2 R^2 = 0$$

> subs(R = U, solve(eq1(x, y), x)[2])

$$-\frac{1}{4D^2 - 3U^2} \left(D^2 \sqrt{3} U - 3\sqrt{3} U^2 y \right. \\ \left. + 2\sqrt{D^6 - 4D^4 U^2 + 2D^4 U y - 4D^4 y^2 + 3D^2 U^4 - 6D^2 U^3 y + 12D^2 U^2 y^2} \right)$$

$$SOL1 := solve\left(eq2\left(-\frac{1}{4D^2 - 3R^2} \left(\sqrt{3} R D^2 - 3\sqrt{3} R^2 y \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. - 2\sqrt{D^6 - 4D^4 R^2 + 2D^4 R y - 4D^4 y^2 + 3D^2 R^4 - 6D^2 R^3 y + 12D^2 R^2 y^2} \right), y \right), y \right)$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{1}{6} \frac{1}{(4D^2 - 4DG + 4G^2 - 9R^2)R} (6D^3G - 12D^2G^2 + 3R^2D^2 + 6DG^3 - 12DGR^2 \\
& \quad + 3R^2G^2 \\
& \quad - 2(-3D^6G^2 + 9D^6R^2 + 6D^4G^4 - 54D^4R^4 + 18D^3G^3R^2 - 54D^3GR^4 \\
& \quad - 3D^2G^6 + 81D^2R^6 - 54DG^3R^4 + 162DGR^6 + 9G^6R^2 - 54G^4R^4 + 81G^2R^6)^{1/2}) \\
& , -\frac{1}{6} \frac{1}{(4D^2 - 4DG + 4G^2 - 9R^2)R} (6D^3G - 12D^2G^2 + 3R^2D^2 + 6DG^3 \\
& \quad - 12DGR^2 + 3R^2G^2 \\
& \quad + 2(-3D^6G^2 + 9D^6R^2 + 6D^4G^4 - 54D^4R^4 + 18D^3G^3R^2 - 54D^3GR^4 \\
& \quad - 3D^2G^6 + 81D^2R^6 - 54DG^3R^4 + 162DGR^6 + 9G^6R^2 - 54G^4R^4 + 81G^2R^6)^{1/2}) \\
& , \frac{1}{6} \frac{1}{(4D^2 + 4DG + 4G^2 - 9R^2)R} (6D^3G + 12D^2G^2 - 3R^2D^2 + 6DG^3 \\
& \quad - 12DGR^2 - 3R^2G^2 \\
& \quad + 2(-3D^6G^2 + 9D^6R^2 + 6D^4G^4 - 54D^4R^4 - 18D^3G^3R^2 + 54D^3GR^4 \\
& \quad - 3D^2G^6 + 81D^2R^6 + 54DG^3R^4 - 162DGR^6 + 9G^6R^2 - 54G^4R^4 + 81G^2R^6)^{1/2}) \\
& , \frac{1}{6} \frac{1}{(4D^2 + 4DG + 4G^2 - 9R^2)R} (6D^3G + 12D^2G^2 - 3R^2D^2 + 6DG^3 \\
& \quad - 12DGR^2 - 3R^2G^2 \\
& \quad - 2(-3D^6G^2 + 9D^6R^2 + 6D^4G^4 - 54D^4R^4 - 18D^3G^3R^2 + 54D^3GR^4 \\
& \quad - 3D^2G^6 + 81D^2R^6 + 54DG^3R^4 - 162DGR^6 + 9G^6R^2 - 54G^4R^4 + 81G^2R^6)^{1/2})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
> \text{SOL2} := \text{solve} \left(\text{eq2} \left(-\frac{1}{4D^2 - 3R^2} (\sqrt{3}RD^2 - 3\sqrt{3}R^2y \right. \right. \\
\left. \left. + 2\sqrt{D^6 - 4D^4R^2 + 2D^4Ry - 4D^4y^2 + 3D^2R^4 - 6D^2R^3y + 12D^2R^2y^2}), y \right), y \right)
\end{aligned}$$

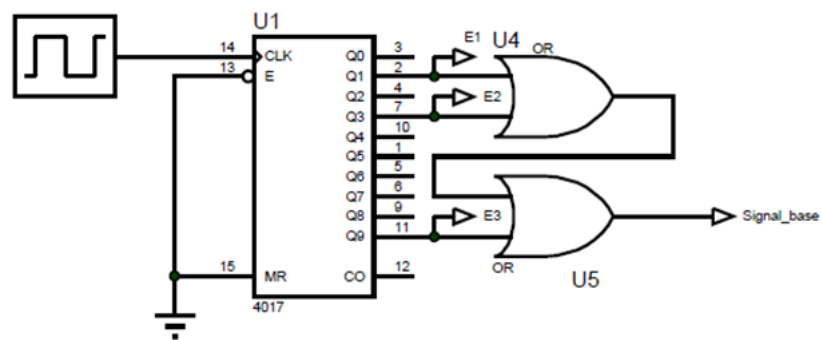
$$\begin{aligned}
& -\frac{1}{6} \frac{1}{(4D^2 - 4DG + 4G^2 - 9R^2)R} (6D^3G - 12D^2G^2 + 3R^2D^2 + 6DG^3 - 12DGR^2 \\
& \quad + 3R^2G^2 \\
& \quad - 2(-3D^6G^2 + 9D^6R^2 + 6D^4G^4 - 54D^4R^4 + 18D^3G^3R^2 - 54D^3GR^4 \\
& \quad - 3D^2G^6 + 81D^2R^6 - 54DG^3R^4 + 162DGR^6 + 9G^6R^2 - 54G^4R^4 + 81G^2R^6)^{1/2}) \\
& , -\frac{1}{6} \frac{1}{(4D^2 - 4DG + 4G^2 - 9R^2)R} (6D^3G - 12D^2G^2 + 3R^2D^2 + 6DG^3 \\
& \quad - 12DGR^2 + 3R^2G^2 \\
& \quad + 2(-3D^6G^2 + 9D^6R^2 + 6D^4G^4 - 54D^4R^4 + 18D^3G^3R^2 - 54D^3GR^4 \\
& \quad - 3D^2G^6 + 81D^2R^6 - 54DG^3R^4 + 162DGR^6 + 9G^6R^2 - 54G^4R^4 + 81G^2R^6)^{1/2}) \\
& , \frac{1}{6} \frac{1}{(4D^2 + 4DG + 4G^2 - 9R^2)R} (6D^3G + 12D^2G^2 - 3R^2D^2 + 6DG^3 \\
& \quad - 12DGR^2 - 3R^2G^2 \\
& \quad + 2(-3D^6G^2 + 9D^6R^2 + 6D^4G^4 - 54D^4R^4 - 18D^3G^3R^2 + 54D^3GR^4 \\
& \quad - 3D^2G^6 + 81D^2R^6 + 54DG^3R^4 - 162DGR^6 + 9G^6R^2 - 54G^4R^4 + 81G^2R^6)^{1/2}) \\
& , \frac{1}{6} \frac{1}{(4D^2 + 4DG + 4G^2 - 9R^2)R} (6D^3G + 12D^2G^2 - 3R^2D^2 + 6DG^3 \\
& \quad - 12DGR^2 - 3R^2G^2 \\
& \quad - 2(-3D^6G^2 + 9D^6R^2 + 6D^4G^4 - 54D^4R^4 - 18D^3G^3R^2 + 54D^3GR^4 \\
& \quad - 3D^2G^6 + 81D^2R^6 + 54DG^3R^4 - 162DGR^6 + 9G^6R^2 - 54G^4R^4 + 81G^2R^6)^{1/2})
\end{aligned}$$

subs(R = U, SOL2[4])

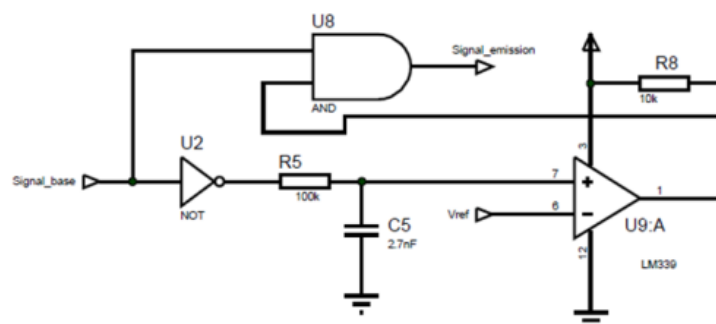
$$\begin{aligned}
& \frac{1}{6} \frac{1}{(4D^2 + 4DG + 4G^2 - 9U^2)U} (6D^3G + 12D^2G^2 - 3U^2D^2 + 6DG^3 - 12DGU^2 \\
& \quad - 3U^2G^2 \\
& \quad - 2(-3D^6G^2 + 9D^6U^2 + 6D^4G^4 - 54D^4U^4 - 18D^3G^3U^2 + 54D^3GU^4 \\
& \quad - 3D^2G^6 + 81D^2U^6 + 54DG^3U^4 - 162DGU^6 + 9G^6U^2 - 54G^4U^4 + 81G^2U^6) \\
& \quad ^{1/2})
\end{aligned}$$

ANNEXO B - CIRCUITOS ELETRÔNICOS BÁSICOS DESENVOLVIDOS

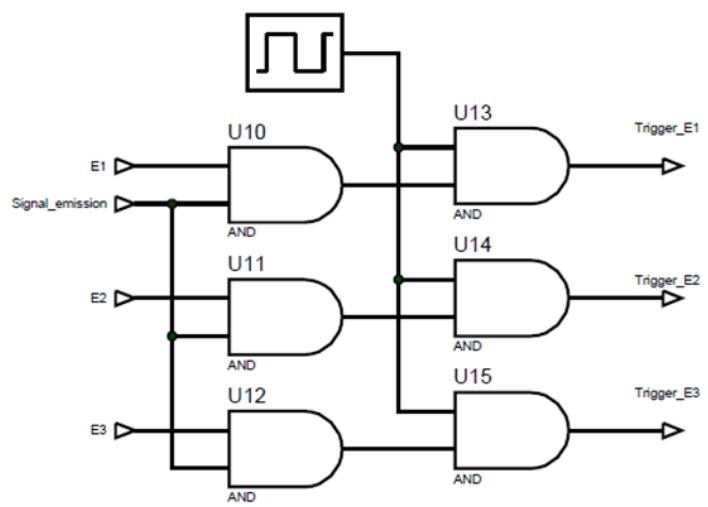
Seguem os circuitos básicos que nós desenvolvemos para construir o sistema emissor da base do sistema LORAN.



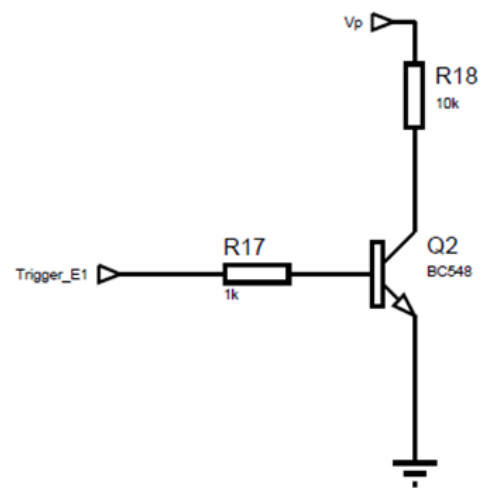
1 - Base signal generator



2 - Monostable oscillator



3 – Signal split and 40kHz converter



4 – Power-up gate