

Frequency Modulation

Fábio Demo da Rosa

Universidade Federal de Santa Maria
Pós-Graduação em Ciência da Computação
Disciplina de Robótica Móvel

faberdemo@gmail.com

25 de Agosto de 2023

- ① Frequency Modulation
- ② VRSS Automotive Collision Avoidance Radar
- ③ VORAD Vehicle Detection and Driver Alert System
- ④ Safety First System Vehicular Obstacle Detection and Warning System
- ⑤ Millitech Millimeter Wave Radar

Frequency Modulation I

- O *Frequency Modulated Continuous Wave Radar* (FMCW), ou Radar de Onda contínua com Modulação de Frequência, é uma técnica alternativa ao Phase-shift measurement;
- Transmissão de uma onda eletromagnética contínua modulada por um sinal triangular periódico que ajusta a frequência da portadora acima e abaixo da frequência média f_0 ;
- O transmissor emite um sinal que varia em frequência como uma função linear do tempo;

$$f(t) = f_0 + at \quad (1)$$

- Onde:

$a = \text{some constant};$

$t = \text{elapsed time}.$

- O sinal é refletido no alvo e chega ao receptor em um tempo $t + T$

$$T = \frac{2d}{c} \quad (2)$$

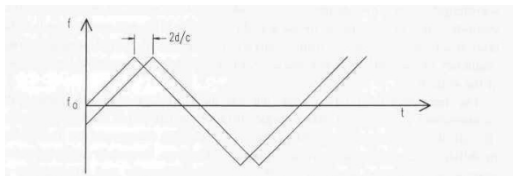
Frequency Modulation II

- Onde:

$T = \text{round-trip propagation time};$

$d = \text{distance to target};$

$c = \text{speed of light}.$



Fonte: (EVERETT, 1995)

Figura 1: A curva de frequência recebida é deslocada ao longo do eixo do tempo em relação à frequência de referência.

- O sinal recebido é comparado com o sinal referência obtido diretamente do transmissor;

Frequency Modulation III

- A curva de frequência recebida será deslocada ao longo do eixo de tempo, por um período igual ao tempo necessário para a onda se propagar e retornar;
- Devido ao efeito Doppler, pode ocorrer um deslocamento no eixo de frequência.
- As duas frequências da 4, quando combinadas em um misturador, produzem uma *beat frequency* f_b :

$$F_b = f(t) - f(T + t) = aT \quad (3)$$

- A *frequency beat* é a medida usada para calcular a distância do objeto (alvo):

$$d = \frac{F_b c}{4F_r F_d} \quad (4)$$

- Onde:

c = range to target;

d = speed of light;

F_b = *beat frequency*;

Frequency Modulation IV

F_r = repetition (modulation) frequency;

F_d = total FM frequency deviation.

- A medida da distância é proporcional a diferença ou *frequency beat*;
- Os avanços no controle de onda de diodos laser permite essa tecnologia de alcance com radar ser usada com lasers.
- A *frequency-modulation* apresenta vantagens sobre a *phase-shift measurement*, já que não apresenta ambiguidade quando medindo uma única distância;
- Entretanto, possui desvantagens associadas com a linearidade e repetibilidade da *frequency ramp*, assim como a coerência do feixe de laser em sistemas ópticos;
- Sendo assim, a maioria dos FMCW disponíveis comercialmente são baseados em radar, enquanto os dispositivos laser são mais comuns no TOF ou no *phase-detection*

Automotive Collision Avoidance Radar I

- É um radar Doppler modificado, com intuito de alertar motoristas para situações perigosas;
- Uma antena de microondas miniaturizada, montada no para-choque do veículo envia um sinal de feixe estreito que detecta apenas os objetos diretamente no caminho do veículo
 - ignorando alvos (placas de trânsito e carros estacionados) em ambas as vias.
- Quando o sinal do radar é refletido por um alvo estacionário ou em movimento mais lento, ele é detectado pela antena e transmitido a um processador de sinal eletrônico sob o capô.
- O processador de sinal computa constantemente:
 - Velocidade do veículo;
 - Aceleração;
 - Distância do alvo;
 - Velocidade relativa.
- Se algum desses parâmetros necessitem que o motorista tome uma ação ofensiva/corretiva, um *buzzer* e uma luz são ativadas em um painel "especial" do veículo.

Automotive Collision Avoidance Radar II

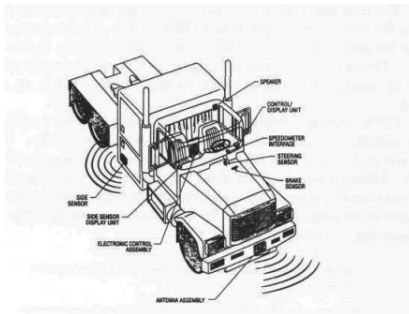
| Parameter | Value | Units |
|------------------------|-----------|------------|
| Effective range | 1-300 | feet |
| Accuracy | 1.5 | percent |
| Update rate | 200 | Hz |
| Operating frequency | 24 | GHz |
| RF power | 10 | milliwatts |
| Beamwidth (horizontal) | 6 | degrees |
| (vertical) | 6 | degrees |
| Size (antenna) | 3 x 4 | inches |
| (electronics unit) | 4 x 5 x 2 | inches |
| Weight (total) | 4 | pounds |
| Power | 12 | volts DC |
| | 12 | watts |

Fonte: (EVERETT, 1995)

Figura 2: Especificações VRSS

Vehicle Detection and Driver Alert System I

- VORAD (*Vehicle Onboard Radar*) Safety Systems, Inc., também desenvolveu um sistema comercial de radar doppler FMCW de ondas milimétricas;



Fonte: (EVERETT, 1995)

Figura 3: O módulo antena/transmissor/receptor é montado na frente (ou lateral) do veículo

Vehicle Detection and Driver Alert System II

- O VORAD consegue distinguir até 20 objetos estacionários ou em movimento, dentro de um *range* de 350 pés (106,68m);
- Dois microprocessadores calculam o *range* e a *range-rate* dos dados (radio frequência) e analisam os resultados em conjunto com a velocidade, frenagem e ângulo da direção;
- Esse sistema também guarda 20 minutos dos dados históricos mais recentes numa memória EEPROM para reconstrução dos fatos após possíveis acidentes.

Vehicle Detection and Driver Alert System III

| Parameter | Value | Units |
|---------------------------|-------------|----------------|
| Effective range | 1-350 | feet |
| Accuracy | 3 | percent |
| Update rate | 30 | Hz |
| Host platform speed | 0.5-120 | miles per hour |
| Closing rate | 0.25-100 | miles per hour |
| Operating frequency | 24.725 | GHz |
| RF power | 0.5 | milliwatts |
| Beam width (horizontal) | 4 | degrees |
| (vertical) | 5 | degrees |
| Size (antenna) | 6 x 8 x 1.5 | inches |
| (electronics unit) | 8 x 6 x 5 | inches |
| Weight (total) | 6.75 | pounds |
| Power | 12-24 | volts DC |
| | 20 | watts |
| Mean-time-between-failure | 17,000 | hours |

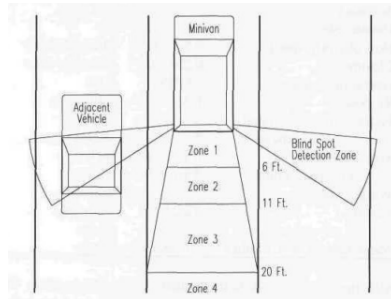
Fonte: (EVERETT, 1995)

Figura 4: O módulo antena/transmissor/receptor é montado na frente (ou lateral) do veículo

Safety First System Vehicular Obstacle Detection and Warning System I

- Safety First Systems, Ltd. e General Microwave desenvolveram uma unidade, que utiliza microondas para alerta de pontos cegos enquanto motoristas estão freando ou trocando de pistas;
- Um protótipo do sistema entregue à Chrysler Corporation, usa antenas de microfita biestáticas;
- Tais antenas eram montadas nos painéis laterais traseiros e no para-choque traseiro de uma minivan e pode detectar objetos parados e em movimento dentro dos padrões de cobertura mostrados na Figura 5

Safety First System Vehicular Obstacle Detection and Warning System II



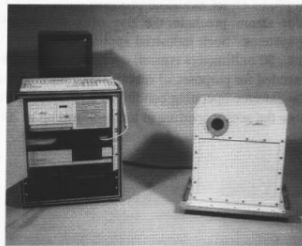
Fonte: (EVERETT, 1995)

Figura 5: Safety First System

Millitech Millimeter Wave Radar I

- Millitech Corporation também desenhou alguns sistemas FMCW de onda milimétrica focadas em *robotic collision avoidance*;
- Foram sistemas superiores aos dispositivos infravermelhos sob quaisquer condições climáticas, incluindo neblina, chuva, poeira e areia;
- A Figura 6 demonstra as imagens escaneadas e o sistema de aquisição de dados, no qual quatro feixes empilhados verticalmente são mecanicamente escaneados para produzir um quadro de 256 pixels de dados a uma taxa de 5 Hz;

Millitech Millimeter Wave Radar II

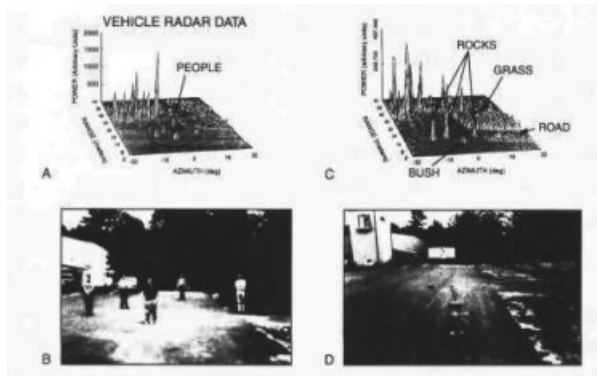


Fonte: (EVERETT, 1995)

Figura 6: Sensores empilhados

- Cada pixel individual contém 512 *bins* de alcance com 0,5 metros de distância;
- Uso de controle de loop fechado do oscilador para gerar a forma de onda básica do transmissor, produzindo um desempenho estável e de baixo custo que não se degrada com o tempo;

Millitech Millimeter Wave Radar III



Fonte: (EVERETT, 1995)

Figura 7: Quatro feixes de ondas milimétricas empilhados verticalmente para produzir uma imagem de por 64 pixels em um campo de visão de 12 por 64 graus

Millitech Millimeter Wave Radar IV

- A operação na região de ondas milimétricas do espectro de radiofrequência permite um desempenho de maior resolução em uma configuração de pacote menor que pode ser obtida com contrapartes de micro-ondas de frequência mais baixa;

Millitech Millimeter Wave Radar V

| Parameter | 256-Pixel Scanned Sensor | Fixed-Beam Industrial Sensor | Units |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------|
| Maximum range: | 100 | 30 | meters |
| Minimum range | 0.5 | 0.2 | meters |
| Output power | 10 | 5-10 | milliwatts |
| Field of View | 12 by 64 | 1 to 2 | degrees |
| Radar cross-section | -40 (minimum) | -30 (minimum) | dBsm |
| Resolution: range | 50 | 5 | centimeters |
| azimuth | 1 | 1-2 | degrees |
| elevation | 3 | 1-2 | degrees |
| Center frequency | 77 | 94 | GHz |
| Sweep bandwidth | 300 | 400 | MHz |
| Frame rate | 5 | -- | Hz |
| Data output | Digital | External A/D | |
| Power | 24 | ±18 to ±28 | volts DC |
| | 3 | 0.5 | amps |

Fonte: (EVERETT, 1995)

Figura 8: Especificações do Millitech Millimeter Wave Radar

EVERETT, H.R. **Sensors for Mobile Robots**. [S.l.]: CRC Press, 1995. ISBN 9781439863480.
Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=s0BZDwAAQBAJ>.

Frequency Modulation

Fábio Demo da Rosa

Universidade Federal de Santa Maria
Pós-Graduação em Ciência da Computação
Disciplina de Robótica Móvel

faberdemo@gmail.com

25 de Agosto de 2023