

# 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  $t + T$

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

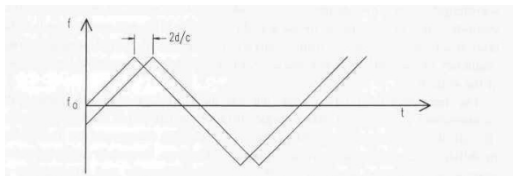
# Frequency Modulation II

- 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 (Figura 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:

$d$  = range to target;

$c$  = 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 parachoque 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 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

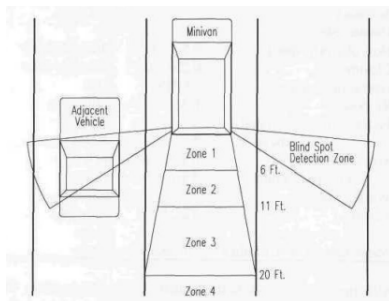
Fonte: (EVERETT, 1995)

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 Frist 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



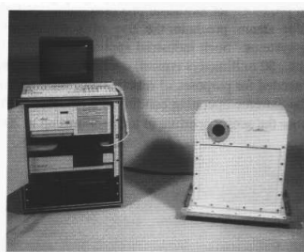
Fonte: (EVERETT, 1995)

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 mostra 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: Quatro feixes de ondas milimétricas empilhados verticalmente para escanear superfícies e produzir uma imagem de 4 por 64 pixels em um campo de visão de 12 por 64 graus

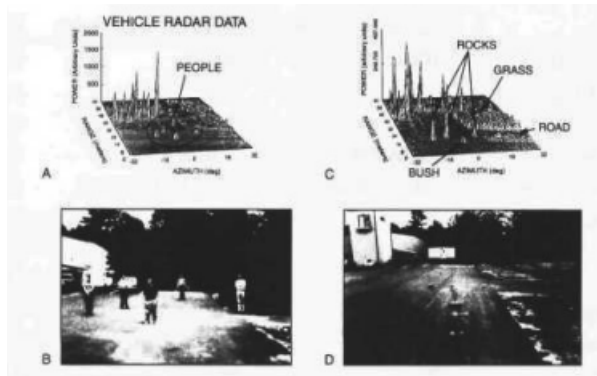
- Cada pixel individual contém 512 *bins* de alcance com 0,5 metros de distância;

# Millitech Millimeter Wave Radar III

- 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 IV



Fonte: (EVERETT, 1995)

Figura 7: Os dados de alcance adquiridos pelo sensor digitalizado de 256 pixels mostram alvos humanos e objetos inanimados

- 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 VI

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	$\pm 18$ to $\pm 28$	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