

Microwave Radar and Millimeter-Wave Radar

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 Microwave Radar

Aplicações

Fatores de Performance

② Millimeter-Wave Radar

Aplicações

Fatores de Performance

③ Considerações Finais

Microwave Radar I

- A porção do espectro eletromagnético considerada uma frequência útil para radares práticos é entre 3 e 100 GHz;
- A maioria dos radares convencionais operam nas bandas L, S C ou X;
- A lista de letras (Figura) foi adotada como medida de segurança durante a Segunda Guerra Mundial, e foi mantida por conveniência;

Band	Frequency Range	Units
VHF	30-300	MHz
UHF	300-1,000	MHz
P	230-1,000	MHz
L	1,000-2,000	MHz
S	2,000-4000	MHz
C	4,000-8,000	MHz
X	8,000-12,500	MHz
K _a	12.5-18	GHz
K	18-26.5	GHz
K _a	26.5-40	GHz
Millimeter	> 30	GHz

Fonte:
(EVERETT, 1995)

Figura 1: Bandas de frequência designadas para frequências de radares (IEEE Standard 521-1976).

Microwave Radar II

- O radar utiliza radiação de micro-ondas para detetar o alcance, a distância e outras características dos dispositivos de deteção, além de aplicações móveis de banda larga (AGARWAL, 2021).
- O cálculo de distância é obtido por métodos TOF, CW phase Detection ou CW Frequency Modulation;
- *Pulsed Systems* pode detectar alvos em distâncias de até centenas de quilômetros, dependendo na medida do tempo de propagação de uma onda propagada na velocidade da luz.
- *Near-field measurements* (menos de 100 km) são mais difíceis para esse tipo de sistema;
 - Pois sinais nítidos de curta duração são difíceis de se gerar para distâncias inferiores a um pé.
- Radares de onda contínua (CW) são efetivos para curtas distâncias.
 - Pois *phase-detection* ou *frequency-shift* não são dependentes na velocidade da onda;
 - Além de também serem adequadas para medir a velocidade de objetos em movimento por meio de métodos Doppler.

Microwave Radar - Aplicações I

- Amplamente empregados em:
 - Vigilância militar e comercial;
 - Aplicações de navegação;
 - Detecção de curto alcance (radar de alerta de controle para aeronaves);
 - Indicadores de nível de tanques;
 - Controles de tráfego e de velocidade de veículos;
 - Sensores de movimento e detectores de presença;
 - Forno micro-ondas.
- As micro-ondas são ideais para detecção de longo alcance, porque a resolução é geralmente boa, a atenuação dos feixes na atmosfera é mínima;
 - Operando em distâncias de alguns metros a algumas centenas de metros.
- Radar de micro-ondas do espectro têm menos aplicabilidade às necessidades de prevenção de colisões de curto alcance de uma plataforma robótica móvel.

Microwave Radar - Fatores de Performance II

- Muitas aplicações comerciais de curto alcance usam a antena tipo corneta para não lidar com os problemas citados;
- As configurações de antenas *phased array* (Figura 9-9C) apresentam um arranjo de múltiplas antenas pequenas separadas por distâncias de alguns comprimentos de onda;
- Um dos fatores que atrapalha a performance significativamente é a atenuação atmosférica;
 - Chuva e neve podem causar atenuação significativa em sinais acima de 2 GHz;
 - Interferência multipercurso do solo;
 - Refletividade e diretividade da superfície alvo;
 - Cobertura natural, como neve ou folhagem.

Millimeter-Wave Radar I

- As ondas milimétricas constituem aquela porção do espectro eletromagnético com comprimentos de 30 a 300 GHz (EVERETT, 1995);
 - Entre micro-ondas e electro-ótico.
- Têm capacidade de alcance significativamente menor do que os sistemas que usam micro-ondas;
 - Principalmente devido à atenuação atmosférica e retroespalhamento (considerando principalmente em radares de busca e de sistemas aéreos).
- Para aplicações de curto alcance, o desempenho das ondas milimétricas é na verdade superior ao das microondas sob condições climáticas adversas;
 - Devido ao comprimento de ondas mais curto, produzem medições de alcance e Doppler mais precisas;
 - A relação entre o comprimento de onda e o tamanho do alvo melhora para frequências mais altas, permitindo uma melhor detecção de pequenos objetos, como postes, fios, árvores e sinais de trânsito

Millimeter-Wave Radar II

- As altas frequências Doppler proporcionam boa detecção de alvos em movimento lento. Os baixos requisitos de energia de comprimentos de onda mais curtos são atraentes para aplicações robóticas.
- Além disso, comprimentos de onda mais curtos traduzem-se em componentes menores, o que leva a tamanho e peso reduzidos;
- As desvantagens são que a atenuação atmosférica aumenta e os tamanhos menores da antena levam à redução da sensibilidade do receptor.

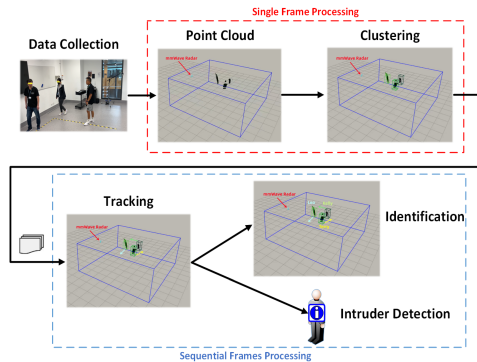
Millimeter-Wave Radar - Aplicações I

- Os usos mais comuns incluem:
 - Sensoriamento ambiental;
 - Radar de imagem com alta resolução;
 - Espectroscopia;
 - Equipamentos de telêmetro;
 - Frenagem de automóveis.
- Embora, o uso mais comum seja rastreamento e designação de alvos com fins militares (EVERETT, 1995).
- A estreita largura de feixe das transmissões de ondas milimétricas é altamente imune a problemas de reflexão do sol.
 - Radares de busca de micro-ondas de longo alcance e feixe largo para aquisição inicial e depois mudando para um radar de rastreamento milimétrico para controle do sistema de armas
- Sistemas de ondas milimétricas de curto alcance e baixa potência parecem ser adequados para evitar colisões e necessidades de navegação de um robô móvel externos.

Millimeter-Wave Radar - Aplicações II

- a capacidade de usar antenas menores é uma característica dominante que influencia a seleção de ondas milimétricas em micro-ondas.
 - As três plataformas mais diretamente afetadas: satélites, mísseis e mini-RPVs (*Remotely Piloted Vehicles*).
- Nas Figuras 3 e 4 podemos observar dos exemplos práticos do uso do Millimeter-Wave Radar.

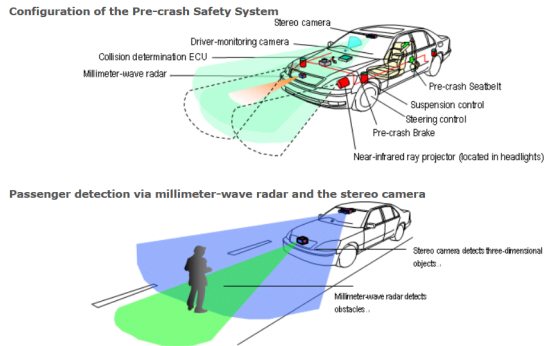
Millimeter-Wave Radar - Aplicações III



Fonte: (HUANG; PATEL; TSOI, 2023)

Figura 3: Sistema de identificação de objectos utilizando dados de nuvens de pontos gerados por um sensor de radar de ondas milimétricas.

Millimeter-Wave Radar - Aplicações IV



Fonte: (TOYOTA, 2006)

Figura 4: O sistema de segurança de pré-colisão detecta veículos e obstáculos na estrada.

Millimeter-Wave Radar - Fatores de Performance I

- Os principais pontos sobre os fatores de desempenho de um radar Millimeter-Wave, de acordo com (EVERETT, 1995), são:
 - Atenuação atmosférica:
 - Afeta a propagação do sinal de radar;
 - Frequências de ondas milimétricas são suscetíveis à absorção e dispersão devido à umidade e gases na atmosfera;
 - Limitar o alcance do sensor normalmente resolve esse problema, Para as aplicações robóticas previstas (prevenção de colisões, navegação, comunicações).
 - Radar Cross-Section (RCS):
 - Representa a capacidade de um alvo de refletir o sinal de radar de volta para o transmissor;
 - Importante para detectabilidade e identificação de alvos.
 - Reflexões de Múltiplos Caminhos (*Multipath Reflections*):
 - Ocorre quando o sinal do radar atinge o alvo e sofre reflexões de diferentes superfícies antes de retornar ao receptor;
 - Pode contribuir seriamente para o nível de ruído, às vezes é difícil ou impossível reduzir a relação sinal-ruído;

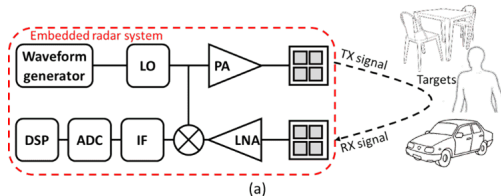
Millimeter-Wave Radar - Fatores de Performance III

- Mudanças de temperatura podem impactar a precisão das medições.
- Geometria do Feixe (*Beam Geometry*):
 - Refere-se à forma e direção do feixe de radar;
 - Ajustes na geometria do feixe podem afetar a resolução e a detecção de alvos em diferentes direções;
 - Usar feixes estreitos significaria ter um maior alcance, maior resolução angular, redução de ruído e interferência, retornos de lóbulo lateral minimizados, menos problemas de multipercurso e menos chances de detecção e interferência.

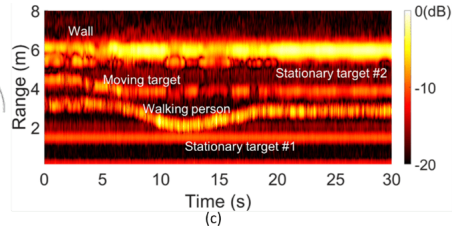
Considerações Finais I

- O sensoriamento baseado em radares de micro-ondas e ondas milimétricas é um tópico de pesquisa importante (EMANUELE; LI, 2023);
- Considerando esses ambos radares, os modos de operação e as tecnologias mais populares são:
 - Ondas contínuas moduladas em frequência (FMCW);
 - Chaveamento por mudança de frequência (FSK),
 - Interferometria;
 - Doppler;
 - Banda ultralarga (UWB);
 - Formação de feixe digital/RF;
 - Múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO);
 - Radar de abertura sintética (SAR).

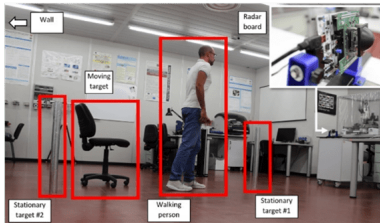
Considerações Finais II



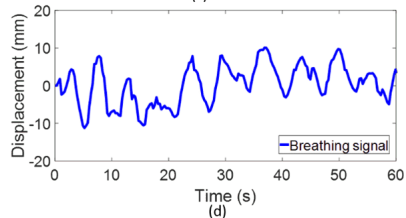
(a)



(c)



(b)



(a) Example of radar system blocks, (b) experimental set-up with multiple moving targets, (c) corresponding range profile and (d) detected breathing signal.

Fonte: (EMANUELE; LI, 2023)

AGARWAL, Tarun. **Microwaves technology**. [S.l.: s.n.], fev. 2021. Disponível em: <https://www.elprocus.com/microwaves-basics-applications-effects/>.

EMANUELE, Cardillo; LI, Changzhi. **Microwave and Millimeter-Wave Radar Electronics for Contactless Sensing Applications**. [S.l.: s.n.], jul. 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/journal/electronics/special_issues/F36645LQ0M.

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

HUANG, Xu; PATEL, Nitish; TSOI, Kit P. Application of mmWave Radar Sensor for People Identification and Classification. **Sensors**, MDPI, v. 23, n. 8, p. 3873, 2023.

TOYOTA. **Toyota Strengthens Efforts to Develop Safe Vehicles**. [S.l.: s.n.], ago. 2006. Disponível em: <https://global.toyota/en/detail/274094>.

Microwave Radar and Millimeter-Wave Radar

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