

SENSORES EM REDES VEICULARES

Luis Enrique Cardozo Ramirez

Adrian Alejandro Chavez

Alanes

**Sensor de frequência
Doppler: Controle de cruzeiro
adaptativo.**

20/10/2024

-

T546- IoT

-

Prof. Samuel Baraldi

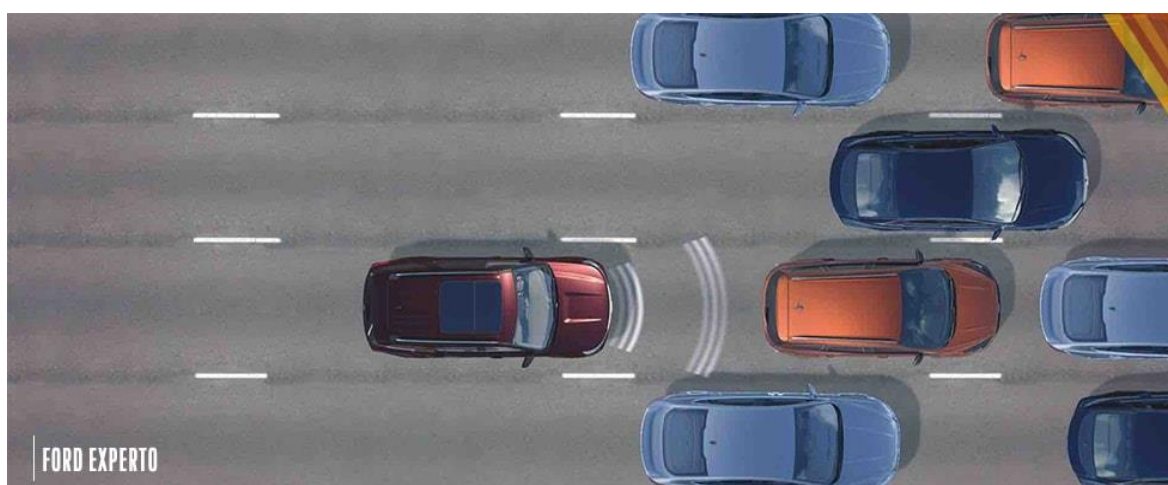
Conteúdo

1. Introdução.....	3
2. Sensor de frequência Doppler	4
2.1 Princípio de operação	4
2.2 Características técnicas.....	5
3. Controle de cruzeiro adaptativo (ACC)	6
3.1 Definição e funcionamento.....	6
3.2 Componentes do sistema ACC	7
4. Marcas Conhecidas com ACC.....	8
5. Benefícios e limitações	8
5.1 Benefícios.....	8
5.2 Limitações	9
6. Tendências futuras.....	9
6.1 Integração com IA e direção autônoma.....	9
6.2 Comunicação V2X e coordenação de tráfego	9
6.3 ACC preditivo e autonomia total.....	10
7. Conclusões	10
8. Referências	10

1. Introdução

O setor automotivo passou por vários avanços significativos nas últimas décadas, sendo uma das principais inovações o Adaptive Cruise Control (ACC). Esse sistema permite que a velocidade do veículo seja ajustada em resposta ao ambiente, aumentando os níveis de segurança e conforto. O sensor de frequência Doppler tem desempenhado um papel fundamental na operação desses sistemas, fornecendo uma detecção precisa e confiável do ambiente [1]. Este documento discute o ACC com foco nas tecnologias e nos sensores empregados, integrando informações de artigos e referências atualizados.

Figure 1: Adaptive Cruise Control



Fonte: Ford Motor Company, 2024

Outro elemento importante que complementa o ACC é a combinação de tecnologias que trabalham em conjunto para oferecer uma experiência de condução segura e eficiente. Entre essas tecnologias, destacam-se os radares de micro-ondas, as câmeras de visão frontal e os sensores ultrassônicos, todos integrados para proporcionar uma avaliação contínua do ambiente ao redor do veículo. A fusão dessas informações permite ao sistema ACC tomar decisões em tempo real, ajustando a velocidade conforme as condições da estrada e a presença de outros veículos.

Ao analisar a evolução do ACC, observa-se que ele não apenas elevou os padrões de segurança no trânsito, mas também contribuiu para a redução do estresse dos motoristas, uma vez que parte da responsabilidade pela manutenção da distância segura é transferida para o sistema. Essa tendência de automatização gradual, que visa não apenas a segurança, mas também o conforto, reflete um caminho promissor para o futuro da mobilidade. Assim, a integração de diferentes sensores e tecnologias inteligentes mostra-se fundamental para a contínua evolução dos veículos modernos, destacando o papel do ACC como um precursor em direção à autonomia total.

Figure 2: Sensores frequência Doppler



Fonte: Elaboração Propria com Prompt IA, 2024

Além disso, os avanços na inteligência artificial e no aprendizado de máquina têm ampliado as capacidades dos sistemas de controle adaptativo, permitindo que eles aprendam padrões de tráfego e respondam de maneira mais sofisticada. Ao se integrar com outros sistemas de assistência ao motorista, como a frenagem de emergência automática e a manutenção de faixa, o ACC se consolida como uma tecnologia chave para o desenvolvimento de veículos cada vez mais autônomos.

Os fabricantes de veículos vêm investindo significativamente em pesquisa e desenvolvimento para aperfeiçoar a precisão e a confiabilidade dos sensores empregados no ACC. A combinação de sensores Doppler com algoritmos avançados de processamento de sinais tem permitido uma resposta mais rápida e eficiente, essencial para situações em que a distância entre veículos muda de forma abrupta, como em frenagens emergenciais ou mudanças repentinas de velocidade.

2. Sensor de frequência Doppler

2.1 Princípio de operação

Doppler sensors analyze the variation of the frequency of a wave when the source and the observer are in relative motion. These sensors are based on the phenomenon described by Christian Doppler. This concept was adapted to be used in vehicle systems, where electromagnetic waves are used, normally in the microwave range. By means of the emission and reception of waves, these sensors allow the measurement of

distância e da velocidade de objetos próximos ao veículo, permitindo uma resposta dinâmica do sistema ACC [2]. As formulas para calculating radial velocity remain close to those described in the original principle [3]. A avaliação contínua da distância e da velocidade dos veículos ao redor é possível por meio de essa função, que permite a ajuste da velocidade do veículo em conformidade.

O legal é que, analisando como essas ondas voltam depois de bater em outros carros, os sensores conseguem calcular não só a que distância eles estão, mas também quão rápido estão se movendo. Essa tecnologia é crucial para sistemas de piloto automático adaptativos (ACC). Graças a ela, seu carro pode "sentir" o trânsito ao redor e ajustar a velocidade sozinho, mantendo uma distância segura dos outros veículos.

2.2 Características técnicas

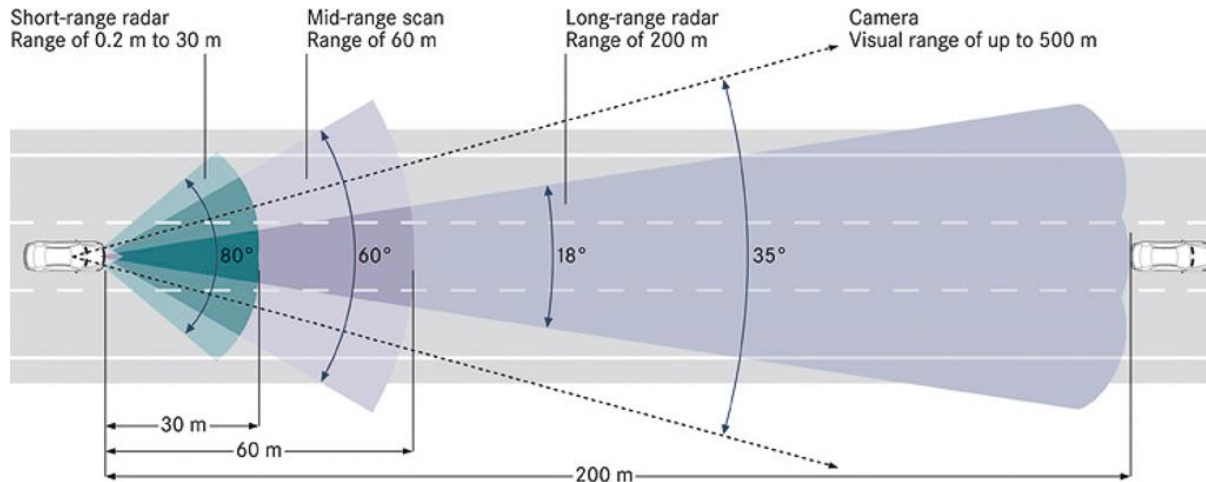
Os sensores Doppler operam em frequências de 24 GHz para radares de curto alcance e 77 GHz para radares de longo alcance. Essas frequências determinam fatores como a resolução espacial e o alcance do sensor. Além disso, eles incorporam tecnologias como FMCW (Forma de Onda Contínua Modulada por Frequência) e MIMO (Múltiplas Entradas e Múltiplas Saídas), o que lhes permite operar com eficiência em diferentes condições ambientais [4].

Além disso, a implementação de técnicas como a formação de feixe digital permite que o feixe de detecção seja orientado eletronicamente, melhorando a precisão sem a necessidade de mover fisicamente o sensor.

Outro recurso importante é o uso de sistemas MIMO, que permitem o uso de várias antenas para melhorar a capacidade de detecção e a resolução do sensor. Isso resulta em uma melhoria significativa na capacidade do sistema de distinguir entre diferentes objetos no ambiente, o que é essencial para evitar colisões e garantir uma resposta rápida e eficaz do ACC.

Normalmente, o controle de cruzeiro adaptativo emprega um radar em uma faixa de frequência que não compete com o radar da polícia e não ativa os sensores de radar. Alguns fabricantes de automóveis empregam dois radares para o controle do cruceiro adaptativo de alcance total: um para um alcance de cerca de 100 pés e outro que alcança aproximadamente 600 pés, ou cerca de 6-7 segundos em velocidades de rodovia.

Figura 3: Eficácia do ACC



Fonte: Howard, 2013

O controle de cruceiro adaptativo parcial tende a ser uma única unidade, embora algumas implementações de controle de cruceiro adaptativo de alcance total atualmente possam também empregar um único radar. As primeiras unidades de controle de tração adaptativa eram uma mistura competitiva de laser em certos veículos e radar em outros. O radar triunfou porque opera de forma mais eficaz com tempo limitado e os custos foram reduzidos para competir com o laser. Não obstante, certos controles de cruceiro adaptativo são ópticos. Subaru emprega duas câmeras posicionadas na lateral do espelho retrovisor para o seu sistema EyeSight. Também oferece frenagem automática sem assistência em baixas velocidades, caso um peão ou um veículo retido interfira no seu trajeto.

3. Controle de cruceiro adaptativo (ACC)

3.1 Definição e funcionamento

O ACC permite que um veículo ajuste sua velocidade de acordo com a distância do veículo da frente, mantendo uma distância segura e reagindo às condições do tráfego. Ele usa sensores Doppler e, às vezes, lasers ou câmeras adicionais para avaliar constantemente a situação da estrada. Esse sistema pode acionar os freios ou acelerar de acordo com as necessidades detectadas [6].

A operação básica do ACC pode ser dividida nas seguintes etapas:

- **Deteção de ambiente:** os sensores Doppler monitoram continuamente a estrada, detectando veículos e outros objetos no caminho do veículo.

- **Análise de dados:** A Unidade de Controle Eletrônico (ECU) processa os dados fornecidos pelos sensores e calcula a distância e a velocidade relativa dos objetos detectados.
- **Ajuste de velocidade:** com base nessas informações, o sistema ajusta a velocidade do veículo por meio de aceleração ou frenagem para manter uma distância segura em relação ao veículo da frente.
- **Intervenção do motorista:** embora o ACC possa operar de forma autônoma, o motorista sempre tem a opção de intervir e assumir o controle do veículo a qualquer momento.
- Os sistemas ACC mais avançados incorporam tecnologias de previsão que antecipam os movimentos do tráfego [5]. Esse recurso de previsão melhora a eficiência e a segurança do sistema, especialmente em situações de tráfego intenso.

3.2 Componentes do sistema ACC

O ACC é composto por sensores (incluindo Doppler), uma Unidade de Controle Eletrônico (ECU), atuadores para freios e acelerador e uma interface de usuário que permite ao motorista definir a velocidade desejada e exibir o status do sistema [7]. Além disso, esses sistemas são integrados a outras funções do veículo, como assistência de frenagem de emergência e controle de tração, permitindo uma resposta segura e coordenada.

- **Sensores:** os sensores Doppler são essenciais para o sensoramento ambiental. Em alguns sistemas avançados, eles são combinados com câmeras e sensores lidar para melhorar a precisão e a confiabilidade da detecção.
- **Unidade de controle eletrônico (ECU):** a ECU processa os dados recebidos dos sensores e determina as ações necessárias para ajustar a velocidade do veículo. Essa unidade atua como o "cérebro" do sistema ACC.
- **Atuadores:** São responsáveis pela execução de ações determinadas pela ECU, como a aplicação dos freios ou o aumento da aceleração.
- **Interface do usuário:** os controles e o visor de informações permitem que o motorista interaja com o sistema, defina a velocidade de cruzeiro e a distância desejada em relação ao veículo da frente.

Ele também funciona em conjunto com o sistema de direção hidráulica para manter o veículo no centro da pista, especialmente em autoestradas e em situações de fluxo de tráfego [6].

4. Marcas Conhecidas com ACC

El Control de Crucero Adaptativo (ACC) es una tecnología que han tomado varias marcas de autos para mejorar la conducción y la seguridad en las vías. Maserati, por ejemplo, usa ACC en sus nuevos modelos, lo que hace que el coche mantenga una distancia apropiada con el auto de adelante. Este sistema también tiene una función Stop & Go, que es útil en el tráfico denso, ya que detiene el vehículo y lo pone en marcha nuevamente cuando es seguro seguir [9].

Ford usa esta tecnología en sus coches más nuevos. El ACC cambia la velocidad del coche no solo para mantener una distancia fija, sino que también puede frenar o acelerar según el tráfico. Este sistema es útil para viajes largos en la carretera, ya que permite conducir más tranquilo y seguro sin que el conductor tenga que hacer muchos cambios [10]. Volkswagen, por su parte, trajo el ACC como parte de su paquete "IQ. DRIVE", que brinda ayuda avanzada al conducir. Este sistema puede bajar la velocidad según el tráfico y las curvas de la carretera, haciendo el viaje más fácil y seguro [11].

Marcas de lujo como Porsche y Volvo también han adoptado el ACC. Porsche lo incluye en varios de sus modelos, como el Cayenne y el 718, con ajustes especiales para altas velocidades y un control de frenada más preciso en situaciones de mucho tráfico [12]. Volvo, líder en seguridad, ha actualizado el ACC para que se ajuste a la velocidad del tráfico, las señales y el clima, mejorando el control en distintas situaciones de manejo [13].

5. Benefícios e limitações

5.1 Benefícios

Os principais benefícios são:

- **Segurança:** ao manter uma distância constante do veículo da frente, o ACC reduz o risco de colisões traseiras [3]. Estudos demonstraram que a implementação do ACC pode reduzir significativamente os acidentes causados pela distração do motorista ou pela frenagem repentina no trânsito.
- **Conforto e eficiência:** reduz a fadiga do motorista, especialmente em viagens longas ou em condições de tráfego intenso. Também melhora a eficiência do combustível ao evitar freadas e acelerações bruscas [3]. Isso resulta em uma direção mais suave e econômica, o que é benéfico tanto para o motorista quanto para o meio ambiente.
- **Redução do estresse:** em situações de tráfego intenso, o ACC ajuda a reduzir o estresse do motorista, ajustando constantemente a velocidade. Isso permite que o motorista se concentre mais no ambiente e menos no

gerenciamento da aceleração e da frenagem.

- Otimização do fluxo de tráfego: em nível macro, o uso generalizado do ACC pode contribuir para um fluxo de tráfego mais eficiente, pois os veículos equipados com ACC tendem a manter distâncias mais regulares e a evitar frenagens bruscas, o que reduz a probabilidade de congestionamentos e acidentes.

5.2 Limitações

Algumas das limitações mais importantes são:

- Condições extremas: Em situações de neblina ou chuva forte, os sensores Doppler podem ter dificuldades, embora ainda sejam mais eficazes do que os sistemas baseados apenas em câmeras. [6]
- Curvas acentuadas e objetos pequenos: a detecção de veículos em curvas acentuadas e objetos menores na estrada continua sendo um desafio para a tecnologia. [4]
- Interferência eletromagnética: em áreas com alta densidade de veículos equipados com sensores semelhantes, pode ocorrer interferência eletromagnética, afetando o desempenho do sistema. Embora os fabricantes estejam trabalhando em soluções para atenuar esse problema, ele continua sendo uma área a ser aprimorada.
- Dependência do motorista: existe o risco de que os motoristas se tornem excessivamente dependentes do ACC e reduzam sua atenção à estrada. Essa dependência pode ser perigosa se o sistema falhar ou se for confrontado com uma situação para a qual não foi projetado.

6. Tendências futuras

A evolução do ACC está alinhada com a tendência de autonomia dos veículos. Os sistemas futuros combinarão informações de GPS e dados V2V (veículo a veículo) para antecipar curvas e se ajustar às condições de tráfego antes que o veículo atinja pontos críticos. A inteligência artificial desempenhará um papel fundamental na tomada de decisões, melhorando a eficiência e a segurança do sistema.

6.1 Integração com IA e direção autônoma

Com a integração da IA, o ACC será capaz de prever situações de risco antes que elas ocorram e tomar medidas preventivas para evitar acidentes [3].

6.2 Comunicação V2X e coordenação de tráfego

A comunicação Vehicle-to-Everything (V2X) será fundamental para a próxima

geração de ACC. Com a capacidade de se comunicar com outros veículos e com a infraestrutura rodoviária, o ACC poderá coordenar suas ações com mais eficiência [8].

6.3 ACC preditivo e autonomia total

O ACC preditivo será capaz de analisar grandes quantidades de dados em tempo real para prever o comportamento de outros veículos na estrada. Usando sensores avançados e dados V2V, o ACC será capaz de prever quando um veículo mudará de faixa ou diminuirá a velocidade, permitindo uma resposta mais rápida e precisa. Essa capacidade de previsão é uma etapa crucial para a condução autônoma de nível superior, em que os veículos poderão operar sem intervenção humana na maioria das situações.

7. Conclusões

O sensor Doppler nos sistemas ACC possibilitou melhorias significativas na segurança e no conforto dos veículos modernos, com o potencial de se tornar um dos pilares da autonomia dos veículos. À medida que mais sensores forem integrados e a comunicação V2X avançar, o ACC evoluirá para se tornar parte integrante da direção autônoma. No entanto, é necessário equilibrar o uso da tecnologia com a responsabilidade do motorista, garantindo sempre a segurança nas estradas.

A combinação de sensores avançados, inteligência artificial e comunicação V2X promete transformar a maneira como os veículos interagem com seu ambiente e com outros veículos. O futuro do ACC não se concentrará apenas em melhorar a experiência de dirigir, mas também em fazer uma contribuição significativa para a segurança geral das estradas. No entanto, para que essas tecnologias atinjam todo o seu potencial, é essencial que os motoristas entendam seus recursos e limitações e que a infraestrutura rodoviária se adapte às novas necessidades dos veículos conectados e autônomos.

8. Referências

- [1] M. Maurer, C. Gerdes, B. Lenz, and H. Winner, “Autonomous Driving Technical, Legal and Social Aspects,” 2016. Available: <https://typeset.io/pdf/autonomous-driving-technical-legal-and-social-aspects-488md5hik9.pdf>
- [2] R. Rajamani, “Vehicle Dynamics and Control,” 2016. Available: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5349444/mod_resource/content/3/Rajesh_Rajamani_Vehicle_Dynamics_and_Con.pdf
- [3] B. van Arem, C. J. G. van Driel, and R. Visser, “The Impact of Cooperative Adaptive Cruise Control on Traffic-Flow Characteristics,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 7, no. 4, pp. 429–436, 2006, doi: <https://doi.org/10.1109/tits.2006.884615>

- [4] P. Bhatia, "Vehicle Technologies to Improve Performance and Safety". Available: https://escholarship.org/content/qt4zw4m05k/qt4zw4m05k_noSplash_d5a3f3fe607c232cd3ae810061b22e19.pdf
- [5] J. Senra, D. Carvalhido, R. Gomes, P. Araujo, A. Monteiro, and E. Rodrigues, "Evolution of the cruise control," 2018, Available: <https://core.ac.uk/reader/154276830>
- [6] D. Sanket, "Adaptive Cruise Control System: A State of Art System for Advance Control, Safety & Performance Improvement," *International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM)*, vol. 09, p. 3, 2023, Available: <http://ijream.org/papers/IJREAMV09I0398001.pdf>
- [7] R. Al-Hindawi, T. Alhadidi, and M. Adas, "Evaluation and Optimization of Adaptive Cruise Control in Autonomous Vehicles using the CARLA Simulator: A Study on Performance under Wet and Dry Weather Conditions," 2024. Available: <https://arxiv.org/pdf/2405.01504>
- [8] B. Howard, "What is adaptive cruise control, and how does it work?," *ExtremeTech*, 2013. <https://www.extremetech.com/cars/157172-what-is-adaptive-cruise-control-and-how-does-it-work>.
- [9] Maserati. "Control de crucero adaptativo." Disponible en: <https://www.maserati.com/es/es/ownership/manuales-maserati/seguridad/control-de-crucero-adaptativo>
- [10] Ford. "¿Qué es el Control Crucero Adaptativo?" Disponible en: <https://www.ford.mx/blog/experto/control-crucero-significado-como-funciona-oct2021/>
- [11] Volkswagen. "Adaptive Cruise Control." Disponible en: <https://www.vw.com/es/iq-drive/adaptive-cruise-control.html>
- [12] Porsche. "Driving - Adaptive Cruise Control (ACC)." Disponible en: [https://www.porsche.com/usa/accessoriesandservices/porscheservice/vehicleinformation/imanuals/~vf~/Driving-Adaptive-Cruise-Control-\(ACC\)/](https://www.porsche.com/usa/accessoriesandservices/porscheservice/vehicleinformation/imanuals/~vf~/Driving-Adaptive-Cruise-Control-(ACC)/)
- [13] Volvo. "Adaptive Cruise Control (ACC)." Disponible en: https://volvo.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/9568/