

Advanced Driver Assistance System (ADAS): Componentes, desafios e aplicações

1st Diana Laura Fernández Duarte
Instituto Nacional de Telecomunicações
Santa Rita do Sapucaí, Brasil
diana.duarte@inatel.br

2nd Alfredo Jesús Arbolaez Fundora
Instituto Nacional de Telecomunicações
Santa Rita do Sapucaí, Brasil
alfredo.fundora@inatel.br

Resumo—Os *Advanced Driver Assistance System (ADAS)* desempenham um papel primordial na redução de acidentes de trânsito provocados principalmente por erros humanos. Neste artigo, é realizado um estudo do estado da arte dessa tecnologia, com foco nos elementos que a compõem e em sua integração com diferentes algoritmos de visão computacional, assim como nas diferentes classificações apresentadas na literatura, ampliando-se nos níveis de automação definidos pela *Society of Automotive Engineers (SAE)*. Para o desenvolvimento desses sistemas, é necessário levar em consideração aspectos éticos e superar alguns desafios que ainda limitam sua expansão comercial global. Este projeto destaca o papel das comunicações veiculares na superação dessas limitações e descreve as principais aplicações desenvolvidas pelos grandes representantes da indústria automotiva.

Index Terms—ADAS, automatização, inteligência artificial, comunicações veiculares

I. INTRODUÇÃO

De acordo com um relatório publicado pela Organização Mundial da Saúde em 13 de dezembro de 2023, os acidentes de trânsito causam a morte de aproximadamente 1,19 milhão de pessoas por ano e deixam um saldo de 20 a 50 milhões de feridos. Entre as principais causas estão erros humanos, como a condução sob efeito de álcool, o uso de telefones celulares e o cumprimento ineficiente das normas de trânsito [1].

Aumentar a segurança do motorista e dos passageiros tem sido uma grande preocupação desde os primórdios da condução. Os primeiros sistemas de segurança apenas protegiam os passageiros de lesões mais graves após um acidente. Com o passar dos anos, eles evoluíram para os *Advanced Driver Assistance System (ADAS)*, que têm como objetivo evitar completamente os acidentes causados por erro humano ou, pelo menos, reduzir as mortes e os ferimentos graves naqueles que não podem ser evitados [2].

Os ADAS implantam diferentes tipos de sensores, como câmeras, radar, LiDAR e sensores ultrassônicos em torno de um veículo para coletar informações do ambiente e alertar os motoristas sobre condições perigosas, e até mesmo intervir em seu nome quando determinadas condições físicas impedem uma resposta eficaz do motorista. Isso os posiciona como uma tecnologia fundamental para o desenvolvimento de veículos autônomos [3].

Com base em uma revisão do estado da arte, este documento descreve a tecnologia ADAS na Seção II, aprofundando-se em um de seus componentes: as câmeras, devido à sua crescente

e considerável adoção. A Seção III apresenta as diferentes classificações atribuídas ao ADAS na literatura, enquanto a Seção IV discute o importante papel das comunicações veiculares. As considerações éticas e os desafios atuais são apresentados nas Seções V e VI, respectivamente. A Seção VII exemplifica os ADAS desenvolvido pelos principais representantes do setor automotivo e, finalmente, na Seção VIII, são apresentadas as conclusões obtidas após esse estudo aprofundado.

II. TECNOLOGIA ADAS

As funcionalidades do ADAS surgem de uma combinação de componentes eletrônicos avançados e algoritmos poderosos de Inteligência Artificial, que trabalham juntos para interpretar e responder ao ambiente do veículo. Esses elementos e seu papel fundamental no desenvolvimento do ADAS são apresentados a seguir.

A. Componentes

Os ADAS consistem em vários componentes eletrônicos que funcionam em conjunto, conforme mostrado na Figura 1. Cada um desses componentes e suas principais funcionalidades são descritos a seguir.

1) *Sensores*: A tecnologia ADAS integra sensores que detectam e medem variáveis físicas do ambiente em tempo real. Esses dados são usados pelo sistema de computador para regular os movimentos do veículo de acordo com as condições do ambiente ao redor [4], [5]. Os sensores mais comumente usados são:

- **Ultrassônicos**: Medem a distância de um objeto a partir do tempo de voo das ondas sonoras. Seu alcance de detecção é limitado a 5,5 m. Eles são extremamente úteis em aplicações de estacionamento em que a estimativa de distância é necessária em espaços confinados. Geralmente são colocados sob os para-choques dianteiro e traseiro [6].
- **Radar**: Usa ondas eletromagnéticas (RF) para medir a distância e a velocidade de objetos em movimento. Os radares de curto alcance normalmente cobrem distâncias entre 0,5 m e 20 m, os radares de médio alcance variam de 1 m a 60 m, enquanto os radares de longo alcance cobrem distâncias de 10 m a 250 m. Seu desempenho é melhor

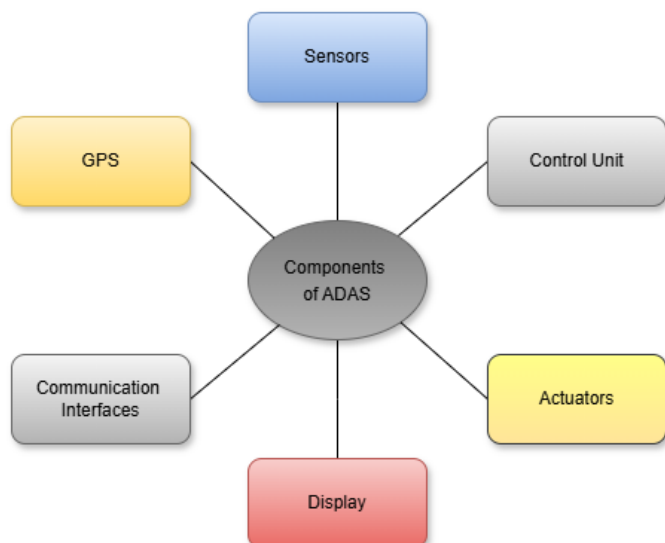


Figura 1: Componentes do ADAS [4].

do que o de outros sensores em condições climáticas desfavoráveis ou de pouca luz [6].

- **LiDAR:** Baseado em detecção e localização de luz. Calcula a distância relativa a um obstáculo a partir do tempo que um pulso óptico leva para atingir um objeto e retornar. Ele fornece uma imagem tridimensional precisa do ambiente com cobertura de 360°. Seu alcance máximo de detecção é de aproximadamente 200 m. É mais caro do que os sensores de radar [6].
- **Cameras:** Registram dados visuais, como marcas de pista, sinais de trânsito ou outros veículos. Elas ganharam grande popularidade nos sistemas ADAS devido à sua versatilidade, baixo custo e fácil instalação. O processo para extrair informações úteis dos vídeos capturados passa por diferentes etapas: aquisição, pré-processamento, segmentação, reconhecimento e rastreamento de objetos, estimativa de profundidade e controle do sistema.

A primeira etapa refere-se ao processo de capturar um quadro de um vídeo, que é representado por meio de uma matriz de pixels. As taxas de quadros variam de acordo com a aplicação. Para estimar a distância de outros veículos, são necessárias taxas de quadros mais altas devido ao movimento dos veículos. Por outro lado, para capturar objetos estáticos, como sinais de trânsito, essa taxa pode ser muito mais baixa. O pré-processamento de imagens geralmente inclui etapas comuns, como remoção de ruído, melhoria de cores, conversão de espaços de cor e estabilização da imagem, com o objetivo de otimizar os dados visuais para os algoritmos de visão computacional que serão usados nas etapas posteriores.

A etapa de segmentação é necessária, pois os quadros precisam ser divididos em objetos reconhecíveis. Os pixels geralmente são classificados utilizando técnicas de limiarização, que estabelecem um intervalo de valores

para identificar características específicas, como a cor. Por exemplo, um algoritmo pode ser projetado para localizar, dentro de um quadro, pixels de uma determinada cor. Esses serão destacados em branco, enquanto os que não forem de interesse serão representados em preto.

A etapa de detecção e rastreamento de objetos consiste em classificar um objeto dentro da imagem e prever seu movimento. Para isso, formula-se uma hipótese sobre o que poderia ser o objeto com base em padrões conhecidos. Por exemplo, um carro poderia ser identificado por sua forma retangular, que inclui um retângulo menor correspondente à placa. Essa hipótese é validada por meio de algoritmos de *Machine Learning (ML)* e *Deep Learning (DL)*.

Após identificar os objetos de interesse dentro de uma imagem, é necessário medir a distância em que estão localizados. As câmeras estéreo reconstróem o ambiente por meio de um mapa bidimensional e uma nuvem de pontos 3D. Os sistemas que utilizam câmeras monoculares exigem técnicas avançadas, como fluxo óptico, calibração e métodos de mínimos quadrados, para estimar a distância.

A etapa final envolve a interpretação dos resultados das camadas anteriores para, finalmente, tomar decisões e executar as ações correspondentes. Essa etapa requer alta precisão para evitar interpretações errôneas que possam comprometer a segurança do veículo [2].

2) **Unidade de Controle:** A unidade de controle processa os dados coletados pelos sensores e toma decisões com base nessas informações. Esse processamento passa por diferentes estágios. Primeiro, o ruído é removido e os erros são corrigidos por um processo de filtragem. Os dados pré-processados são analisados por algoritmos e métodos de aprendizado de máquina para identificar possíveis perigos e avaliar o risco. Por fim, a unidade de controle decide qual ação deve ser tomada para evitar ou reduzir os danos, ou se o motorista precisa ser notificado [4], [5].

3) **Atuadores:** Os atuadores transformam os sinais elétricos em movimentos mecânicos para implementar as decisões tomadas pela Unidade de Controle. Esses ajustes físicos afetam diretamente o comportamento do veículo, como a frenagem, a direção ou a aceleração [5].

4) **Display:** O sistema envia notificações ao condutor por meio de alertas sonoros ou visuais, dependendo da natureza e da gravidade do evento detectado. Uma tela pode exibir áreas críticas captadas pelas câmeras, incluindo objetos nos pontos cegos do condutor [5].

5) **Interfaces de Comunicação:** Para garantir a cooperação e a transferência eficiente de informações entre os diferentes elementos que compõem um ADAS, são necessárias interfaces de comunicação que atendam aos requisitos de largura de banda, latência, complexidade e segurança do sistema. Entre as interfaces mais comumente utilizadas estão a *Controller Area Network (CAN)*, *FlexRay* e *Ethernet* [5].

6) **Global Positioning System (GPS):** O GPS fornece informações valiosas sobre a posição e a velocidade dos

veículos ao redor. Essas informações complementam os dados coletados pelos sensores para melhorar a percepção do ambiente e otimizar as decisões do sistema [5].

B. Inteligência Artificial nos ADAS

O uso de técnicas de IA é essencial para o desenvolvimento de sistemas capazes de se adaptar a ambientes dinâmicos, permitindo a categorização de cenários e padrões de comportamento do motorista a partir de dados coletados por uma fusão de vários sensores.

Os algoritmos de aprendizado supervisionado criam modelos preditivos a partir de dados previamente classificados e rotulados, e incluem tarefas de classificação, regressão, redução de dimensionalidade e detecção de anomalias. Os métodos *Principal Component Analysis (PCA)*, *Histogram of Oriented Gradients (HOG)*, *Support Vector Machines (SVM)*, *K-Nearest Neighbors (KNN)* e bayesianos são comumente usados para reconhecimento de padrões e identificação de objetos em uma imagem, por exemplo, distinguindo entre um veículo e um pedestre. Para a previsão de eventos futuros, alguns autores propõem o uso de algoritmos de regressão. Esses métodos permitem encontrar a relação entre diversas variáveis com base no número total de variáveis independentes, no tipo de elementos dependentes e na forma geométrica da linha de regressão observada. Em [7] eles estudaram como o comportamento do motorista varia de acordo com as horas de direção, usando um método de regressão segmentado. Os algoritmos de árvore de decisão permitem a identificação e a análise de relações entre variáveis em um conjunto de dados. Em [8], eles desenvolveram um sistema de assistência para mudança de pista que informa o motorista sobre espaços de pista seguros ou inseguros, usando classificadores bayesianos e árvores de decisão.

Os métodos de aprendizado não supervisionado relacionam dados de um conjunto para identificar padrões e realizar classificações em subgrupos com base em informações de similaridade. Eles são geralmente classificados como métodos de agrupamento. Os autores de [9] compararam três algoritmos de agrupamento diferentes: *Gustafson-Kessel (GK)*, *Fuzzy C-Means (FCM)* e *Gath-Geva (GG)*, com o objetivo de classificar e identificar as intenções do motorista. Em [10], eles propuseram um algoritmo de agrupamento para classificar cenários de encontros de direção a partir das trajetórias de GPS de vários veículos.

Os modelos de aprendizagem por reforço exploram o ambiente repetidamente para encontrar a melhor solução. Um agente toma decisões em um ambiente com base em um princípio de tentativa e erro, aprendendo quais ações geram as melhores recompensas. Por exemplo, no contexto de um ADAS, o ambiente pode ser uma área de estacionamento; o agente, o controle da direção; e a recompensa, o posicionamento correto do veículo. Em [11], eles apresentaram uma estrutura baseada no aprendizado por reforço inverso (IRL) e na arquitetura de *Bidirectional Recurrent Neural Network (BRNN)* para a previsão de longo prazo da trajetória de pedestres em ambientes de tráfego urbano.

Nos métodos tradicionais de ML, as redes neurais simples ignoram as relações espaciais entre os dados, o que resulta na perda de informações importantes. Isso levou a um aumento na popularidade dos métodos de DL. Esses métodos utilizam redes neurais multicamadas para treinar seus modelos, emulando o cérebro humano. Modelos como o *Autoencoder*, a *Restricted Boltzmann Machine (RBM)*, a *Deep Belief Network (DBN)*, a *Convolutional Neural Network (CNN)*, a *Deep Neural Network (DNN)* e a *Recurrent Neural Network (RNN)* são amplamente utilizados para processamento de imagens, identificação de veículos, pedestres e comportamento de motoristas [12].

III. CLASSIFICAÇÃO ADAS

Os ADAS têm sido classificados de várias formas na literatura, de acordo com critérios como: a capacidade de adotar uma função preventiva em situações perigosas, o nível de automação, o impacto na segurança rodoviária e na eficiência do tráfego, os níveis de interação homem-máquina (HMI), a natureza do controle cinemático do veículo e o nível de suas funções cooperativas. As principais categorias correspondentes a cada uma dessas abordagens de classificação são apresentadas a seguir.

A. Capacidade de adotar uma função preventiva

De acordo com sua capacidade de adotar uma função preventiva em situações perigosas na estrada, os ADAS são classificados como passivos ou ativos. Os ADAS passivos são aqueles que buscam atenuar os efeitos de uma colisão em vez de evitá-la, enquanto os ADAS ativos visam evitar acidentes aumentando a consciência situacional do motorista por meio de alertas ou agindo diretamente nos controles do carro [13].

B. Níveis de Automação

Na transição para veículos completamente autônomos, os ADAS evoluíram de sistemas focados exclusivamente em aumentar o conforto do motorista para soluções projetadas para compreender profundamente tanto o estado do ambiente quanto o do próprio condutor. Esses sistemas estão classificados nos seis níveis de automação definidos pela *Society of Automotive Engineers (SAE)*, que vão desde a condução totalmente manual até a completamente autônoma, passando por níveis intermediários que implicam uma cooperação ativa entre o veículo e o motorista [14], conforme mostra a Figura 2.

1) *Nível 0 (Sem automação)*: Nesse nível, não tem ADAS ativo no veículo, apenas sistemas que fornecem avisos ou assistência temporária, mas a responsabilidade total é do motorista [14]. Os principais exemplos desses sistemas são:

- *Parking Sensor*: Sistema de assistência ao motorista que emite alarmes acústicos com base na distância dos obstáculos ao redor, para auxiliar o motorista durante a manobra de estacionamento. Para isso, utiliza entre 8 e 12 sensores localizados nos para-choques dianteiro e traseiro do veículo [14].

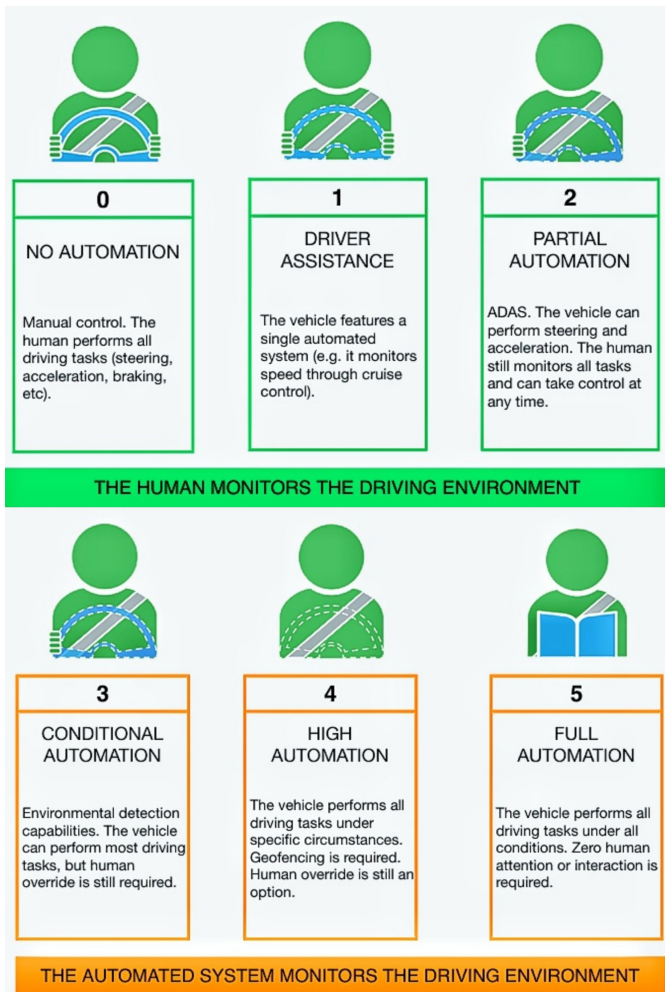


Figura 2: Níveis da SAE para automação da condução [15].

- **Surround View:** um sistema mais sofisticado que auxilia o motorista durante o processo de estacionamento, combinando as informações coletadas pelos sensores de estacionamento com as informações capturadas por quatro câmeras de ângulo amplo. Isso proporciona ao motorista uma visão completa dos arredores, como se o veículo fosse observado de cima (visão panorâmica). Os vídeos gerados pelas câmeras são sobrepostos com elementos gráficos, como linhas de estacionamento, um modelo 3D do próprio veículo e paredes de obstáculos, para uma melhor interpretação visual do ambiente [14].
- **Traffic Sign Recognition (TSR):** Uma câmera frontal montada no para-brisa do veículo capta sinais de trânsito ao longo da estrada. As informações coletadas são combinadas com informações de outras fontes, como mapas de navegação [14].
- **Lane Departure Warning (LDW):** Alerta o motorista por meio de sinais acústicos, visuais ou táteis quando o veículo está se desviando involuntariamente da faixa. Ele usa uma câmera frontal que detecta marcações de faixa na estrada e as compara com a direção do [14].

- **Night Vision:** Esse sistema melhora a visibilidade do motorista no escuro por meio de um iluminador infravermelho e câmeras de alta sensibilidade, que detectam objetos que não são visíveis a olho nu em condições de pouca luz [14].
- **Blind Spot Detection (BSD):** Detecta obstáculos dentro do ponto cego dos espelhos retrovisores usando dois radares de curto alcance nas laterais traseiras do veículo. Os alarmes geralmente são visuais, mas também emitem alarmes acústicos ou táteis quando é detectada uma possível colisão com o obstáculo [14].
- **Forward Collision Warning (FCW):** Um sistema de detecção de obstáculos à frente e projeção precisa da trajetória do veículo, projetado para alertar o motorista sobre colisões iminentes. Os alarmes geralmente são visuais e sonoros, embora alguns sistemas também tenham a capacidade de aplicar uma frenagem brusca para chamar a atenção do motorista caso ele não responda aos sinais acima. Essa função geralmente é ativada por uma combinação de radar e câmera [14].

2) **Nível 1 (Assistência à condução):** Nesse nível, o veículo é equipado com tecnologias ADAS que são capazes de controlar uma função de condução específica por meio de atuadores. No entanto, o motorista continua sendo o principal responsável e deve permanecer alerta. Exemplos de ADAS nesse nível são:

- **Anti Lock Braking System:** Um sistema de segurança projetado para evitar o travamento das rodas durante uma frenagem brusca. Uma unidade de controle eletrônico (ECU) processa as informações dos sensores de velocidade colocados nas rodas do veículo e aciona um modulador hidráulico para regular a pressão do freio [14].
- **Electronic Stability Control (ESC):** Uma combinação de plataformas inerciais, sensores de ação do motorista e sensores de velocidade das rodas ajuda a manter a estabilidade do veículo durante situações críticas, como sobreviragem ou subviragem, aplicando uma frenagem seletiva em rodas individuais [14].
- **Adaptive Cruise Control (ACC):** Sistema projetado para ajustar automaticamente a velocidade do carro para manter uma distância segura do veículo da frente, controlando o motor e a caixa de câmbio automática. Ele usa três sensores de radar: dois sensores de curto alcance para detectar obstáculos em pistas adjacentes e um sensor de longo alcance para detectar objetos em seu caminho. Esse radar de longo alcance permite o estabelecimento de velocidades mais altas, pois detecta obstáculos distantes em um estágio inicial e ajuda a evitar frenagens bruscas [14].
- **Emergency Brake Assist (EBA):** Assiste o motorista durante uma frenagem de emergência, fornecendo potência de frenagem adicional. O sistema também detecta colisões iminentes e pré-carrega as pastilhas de freio para garantir uma resposta imediata caso o motorista decida frear. Constitui uma evolução do sistema FWC [14].
- **Automatic Emergency Brake Assist (AEB):** Complementa

o sistema EBA com a capacidade de frear automaticamente no caso de uma resposta atrasada do motorista a colisões imediatas, a fim de evitar a colisão ou, pelo menos, reduzir a velocidade do impacto [14].

- *Lane Centering (LC)*: O sistema monitora continuamente a direção do veículo, ajustando-a de modo que o veículo permaneça sempre no centro da pista. Ele exige a colocação de sensores capacitivos no volante para monitorar as ações do motorista, pois esses sistemas tendem a incentivar o motorista a abrir mão de parte de sua autoridade [14].

3) *Nível 2 (Automação parcial)*: Nesse nível, os sistemas ADAS fornecem ao veículo uma automação parcial, permitindo a condução autônoma em determinados cenários específicos. Embora os ADAS nesse nível tenham a mesma autoridade que no nível 1, eles são capazes de acelerar ou frear enquanto controlam a direção do veículo [14].

- *Highway Assist (HA)*: Combina as funcionalidades do ACC, LC e BSD. Quando o motorista ativa o pisca para indicar o desejo de ultrapassar, o sistema verifica se há veículos ou obstáculos nos pontos cegos da estrada. Se as condições forem seguras, o sistema acelera gradualmente e dirige o veículo para realizar a manobra de ultrapassagem desejada [14].
- *Autonomous Parking*: Esses sistemas não apenas auxiliam o motorista durante a manobra de estacionamento, mas também identificam vagas adequadas. O sistema automatiza o controle da direção, enquanto o motorista é responsável apenas por operar os pedais de acordo com as instruções do sistema. Ele consiste em quatro sensores ultrassônicos nas laterais do veículo, além dos oito sensores usuais [14].

4) *Nível 3 (Automação condicional)*: Nesse nível de automação, o ADAS dentro do veículo é capaz de perceber o ambiente e tomar decisões informadas de forma autônoma. Se comportam como sistemas *fail-safe*, ou seja, à prova de falhas, pois assumem a autoridade de manobra em cenários predefinidos e só solicitam que o motorista retome o controle quando detectam falhas ou avaliam que não podem lidar com a situação atual, fornecendo as informações necessárias para corrigi-la.

Esses sistemas geralmente são equipados com sensores e unidades de controle de decisão eletrônica (ECU) redundantes. Diferentemente dos sistemas de nível anterior, os ADAS de nível 3 têm lógica de controle centralizada. Cada sensor detecta o ambiente e envia as informações processadas para uma ECU que reconstrói completamente o ambiente e toma decisões com base nessa reconstrução [14].

- *Highway Chauffeur (HC)*: Esse sistema é um exemplo de ADAS de nível 3. O veículo assume a responsabilidade de dirigir em cenários predefinidos dentro do domínio de design operacional. Uma solicitação de controle é enviada ao motorista se o ambiente ao redor ficar fora desse domínio ou se uma falha for detectada. Se o motorista não responder, o sistema deve ser capaz de diminuir

a velocidade ou estacionar para reduzir os riscos. É uma evolução dos HA, pois toma decisões de forma autônoma, sem depender de instruções do motorista [16].

5) *Nível 4 (Automação alta)*: Neste nível, o veículo é capaz de controlar todos os aspectos relacionados à condução em cenários específicos, como rodovias ou tráfego urbano controlado. Nesses ambientes, o motorista pode ceder o controle total ao veículo, se assim desejar, sem a necessidade de permanecer constantemente alerta. Esses sistemas devem se comportar como sistemas *fail-operational*, ou seja, devem ser capazes de funcionar de maneira segura mesmo quando ocorrem falhas, sem a necessidade de intervenção do motorista [14].

- *Automatic Valet Parking*: Esses sistemas devem ser capazes de identificar uma vaga de estacionamento disponível e realizar a manobra sem qualquer intervenção humana, de modo que o motorista possa estar fora do veículo. Isso requer comunicação entre o veículo e a infraestrutura (V2I) [17].

6) *Nível 5 (Automação total)*: Neste nível, o veículo é capaz de perceber o ambiente e responder de forma inteligente em qualquer cenário de condução, de modo que não é mais necessário um motorista. Este nível de automação ainda se encontra em fases de desenvolvimento [14].

C. Impacto na segurança rodoviária e na eficiência do tráfego

Eles também são classificados de acordo com seu impacto na segurança viária e na eficiência do tráfego. A primeira categoria agrupa sistemas com alto impacto na segurança e na otimização do tráfego, como sistemas de monitoramento da superfície da estrada, controle de cruzeiro adaptativo e sistemas anticollisão. A segunda categoria inclui sistemas com altos níveis de impacto na segurança rodoviária, mas com baixa contribuição para a eficiência do tráfego, como sistemas de detecção de obstáculos e pedestres, sistemas de aviso de colisão em cruzamentos e monitoramento da vigilância do motorista. A terceira categoria reúne sistemas com alto impacto na otimização do tráfego, mas com baixa eficiência na segurança viária, como os sistemas de disseminação de informações de tráfego em tempo real. A quarta e última categoria inclui sistemas que têm baixo impacto em ambos os aspectos avaliados, por exemplo, sistemas de gerenciamento de estacionamento [18].

D. Níveis de HMI

De acordo com os níveis de HMI, os ADAS são classificados como sistemas com interações invisíveis para o usuário, com interações informativas ou interações interativas. Nos ADAS com interações invisíveis para o usuário, as ações executadas pelo sistema são imperceptíveis e não interessam ao motorista. Os sistemas com interações informativas fornecem informações valiosas ao usuário sobre a situação atual e também sugerem determinadas manobras, enquanto nos sistemas com interações interativas o usuário participa ativamente da tomada de decisões [19].

E. Natureza do controle cinemático do veículo

Os ADAS também são classificados de acordo com a natureza do controle cinemático do veículo. Os sistemas de controle longitudinal manipulam a aceleração, a frenagem e o controle de marcha do carro para manter uma distância segura, dependendo do tráfego atual. Por outro lado, os sistemas de controle lateral têm o objetivo de manter o veículo dentro de uma faixa, ajustando a direção das rodas [20].

F. Nível das funções de cooperação

Os ADAS também são classificados de acordo com o nível de suas funções de cooperação. A primeira categoria, definida como funções implícitas unilaterais, agrupa aquelas que usam informações cooperativas existentes, como mensagens padrão transmitidas por outros participantes, para melhorar o alcance e a percepção do sistema, sem a necessidade de comunicação dedicada. A segunda categoria agrupa as funções explícitas unilaterais que exigem uma troca de informações entre os veículos para transmitir suas intenções a cada um dos participantes. A terceira categoria reúne as funções explícitas bilaterais que exigem a colaboração ativa de todos os participantes por meio de comunicação bidirecional para a realização de manobras de direção cooperativa [21].

IV. COMUNICAÇÕES VEICULARES

Os ADAS se beneficiam das redes veiculares para alcançar uma percepção mais ampla do ambiente, detectando riscos a distâncias maiores e executando ações preventivas precoces que reduzem consideravelmente a probabilidade de acidentes na estrada. Os sistemas de comunicação veículo a veículo (V2V) reduzem os riscos de colisões ao compartilhar informações em tempo real. A comunicação entre veículos e infraestrutura (V2I) permite a sincronização com os semáforos para uma condução mais responsável. A comunicação entre o veículo e a nuvem (V2N) fornece atualizações em tempo real das condições do tráfego e o intercâmbio de informações entre o veículo e os pedestres (V2P) permite identificar os usuários mais vulneráveis na via. Os sistemas de comunicação veículo a tudo (V2X) integram todas essas funcionalidades, informando o condutor sobre o clima, o estado da estrada, o tráfego, acidentes ou qualquer situação que represente um perigo para o veículo. Podem incluir ferramentas para o pagamento automático de pedágios, estimativa da melhor rota, notificações de postos de combustíveis, restaurantes ou pontos de interesse próximos, com o objetivo de construir um sistema de transporte inteligente, onde a segurança seja priorizada.

A. Tecnologias de comunicação veicular usadas em ADAS

A seguir estão algumas das tecnologias de comunicação veicular utilizadas em ADAS para conectar o veículo com o seu entorno, de acordo com a aplicação:

- *Dedicated Short-Range Communications (DSRC)*: É uma tecnologia sem fio de curto alcance projetada para comunicações veiculares, baseada no padrão IEEE 802.11p para as camadas física (PHY) e de controle de acesso ao meio (MAC). Opera na faixa de frequência de

5.9 GHz com uma largura de banda de canal de 75 MHz. Alcança taxas de transferência entre 6 e 27 Mbps e é ideal para aplicações que exigem uma latência de ponta a ponta de aproximadamente 100 ms, desde que a densidade de veículos seja moderada [22].

- *Infrared (IR)*: É uma tecnologia sem fio de curto alcance que opera em bandas não licenciadas do espectro e atinge velocidades de transmissão de até 100 Mbps. Foi utilizada em sistemas como o Sistema de Comunicação e Informação Veicular (VICS) no Japão e o sistema de pedágio para caminhões na Alemanha, sob os padrões ASTM E 1897, ASTM E 1933 e ASTM E 1934 [3].
- *Bluetooth Low Energy (BLE)*: Tecnologia de comunicação sem fio que atinge taxas de transferência de 1 Mbps. Possui um consumo ultra baixo de energia de aproximadamente 1 μ A em estado de repouso e menos de 20 mA de consumo máximo. Sua latência é de aproximadamente 6 ms desde o estado não conectado. Facilita a comunicação entre os diferentes dispositivos eletrônicos dentro do veículo, conectando sensores, sistemas de entretenimento e dispositivos móveis. Embora o BLE não tenha sido originalmente projetado para redes veiculares, é possível projetar uma rede piconet entre veículos de maneira confiável até uma certa distância entre cada salto [23].
- *Zigbee*: Padrão de comunicação sem fio projetado principalmente para aplicações de baixo custo, baixa potência e consumo de energia. Baseado no padrão IEEE 802.15.4 para as camadas PHY e MAC. Opera em bandas de frequência não licenciadas, incluindo 2.4 GHz globalmente, com taxas de transferência de 250 Kbps. Na América, também pode operar em frequências de 902 a 928 MHz atingindo taxas de dados de 40 Kbps, e na Europa a uma frequência de 868 MHz com uma velocidade de transmissão de até 20 Kbps. Possui um alcance de 10 a 75 metros. Em redes veiculares, o Zigbee pode ser utilizado para comunicações de curto alcance, por exemplo, para alertar o condutor com base nas informações coletadas por sensores de medição de distância [3], [24].
- *Visible Light Communication (VLC)*: Em sistemas VLC, os dispositivos transmissores são LEDs que modulam a intensidade da luz para codificação e transmissão de dados. Opera em uma faixa não licenciada do espectro eletromagnético, entre 430 THz e 790 THz. Alcança taxas de dados consideravelmente altas e ultra baixa latência. Comparado com tecnologias de rádio frequência, o VLC exige uma linha de visão direta entre o transmissor e o receptor, o que reduz significativamente os riscos de segurança, confinando o sinal a um espaço visível e específico. A infraestrutura viária conta com diversas fontes de luz, como semáforos ou postes de iluminação, além de ser cada vez mais comum o uso de luzes LED em veículos. Isso possibilita o intercâmbio de informações entre o veículo e seu entorno por meio de VLC [25].
- *Comunicações Móveis*: Cada geração da tecnologia

móvel impulsionou novos e mais significativos avanços para o intercâmbio de informações nas redes veiculares. A segunda geração dos sistemas celulares alcançava velocidades de dados de até 100 Kbps, enquanto a terceira geração fornecia taxas um pouco mais altas de até 300 Kbps. Isso permitiria monitorar a localização e trocar mensagens curtas entre veículos em uma ampla região geográfica. Com a chegada do LTE e sua capacidade para transmitir até 100 Mbps, as aplicações de infotimento, diagnóstico remoto e navegação se beneficiariam da conectividade em nuvem, melhorando a experiência do condutor e do passageiro. As redes 5G atuais estão concebidas para gerenciar tráfego 1000 vezes superior ao das redes 4G, o que é vital para aplicações de alto desempenho que necessitam de alta capacidade de transmissão de dados, como o conteúdo de vídeo capturado pelas câmeras nos veículos. Essa tecnologia permite o agrupamento automatizado de veículos, a gestão eficiente de interseções, um maior nível de consciência situacional e a atualização de software em tempo real, ampliando o alcance das redes veiculares [3], [26].

- *WiFi*: O primeiro padrão WiFi projetado especificamente para redes veiculares foi aprovado em 2010 sob o nome IEEE 802.11p, com transmissões na faixa de 5.9 GHz. Em comparação com os padrões WiFi tradicionais, ocupa uma largura de banda menor, de 10 MHz, e é capaz de operar sem se conectar a um conjunto básico de serviços (BSS). Uma evolução dessa tecnologia é o padrão IEEE 802.11bd, focado em ambientes de alta mobilidade, que ainda está em desenvolvimento [27].

V. CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

Os sistemas avançados de assistência ao motorista fazem uso de informações confidenciais do usuário, como dados pessoais, padrões de direção e localização. Portanto, eles são obrigados a informar o usuário sobre como tratam esses dados. Operando então com o consentimento do usuário, é essencial garantir a privacidade do usuário. Isso requer o uso de criptografia avançada e armazenamento seguro. Uma interpretação errônea dos dados coletados pelo sistema pode levar a situações críticas em que a segurança dos passageiros, bem como de outros usuários da estrada, é comprometida [4].

Os algoritmos de inteligência artificial devem ser submetidos a testes rigorosos antes de validar seu uso, garantindo a funcionalidade e a confiabilidade do sistema em cenários reais. Esses algoritmos têm o potencial de gerar vieses não intencionais e oferecer tratamento desequilibrado entre diferentes grupos demográficos. Portanto, é fundamental abordar essas desigualdades durante o treinamento, usando métodos que garantam a equidade na tomada de decisões. A inclusão dessas ações não apenas fomenta um ambiente ADAS mais equitativo, mas também promove tecnologias automotivas mais seguras, claras e inclusivas, reforçando a confiança do usuário e alinhando-se aos valores sociais fundamentais [4].

VI. DESAFIOS

Apesar dos muitos avanços, os ADAS ainda apresentam desafios que precisam ser superados. Esses desafios são apresentados a seguir.

A. Condições ambientais variáveis

As mudanças nas condições climáticas podem afetar significativamente o desempenho do ADAS baseado em visão. Portanto, sugere-se a fusão de diferentes tipos de sensores. Em seguida, o sistema se baseia nas informações fornecidas pelo sensor mais adequado de acordo com as condições ambientais atuais. Por exemplo, em situações de pouca luz, os dados fornecidos pelo radar são mais confiáveis do que os obtidos pelo LiDAR, ao passo que, em condições climáticas favoráveis, o LiDAR é muito mais preciso em suas medições. A comunicação com a infraestrutura rodoviária também ajuda a mitigar esse problema [2].

B. Consumo de energia e latência

Os ADAS envolvem algoritmos complexos que resultam em alto consumo de energia e dissipação de calor, o que reduz a eficiência do veículo, especialmente para veículos elétricos, e compromete a vida útil do sistema. Em vez de depender de unidades centrais de processamento (CPUs) tradicionais, o ADAS deve integrar unidades de processamento gráfico e processadores de sinais de imagem projetados para reduzir o consumo de energia. Sua operação em tempo real também exige uma latência significativamente baixa [2].

C. Segurança

Os ADAS são projetados para auxiliar o motorista durante determinadas manobras e, assim, contribuir para aumentar a segurança nas estradas. A fraqueza e a vulnerabilidade desses sistemas podem ter o efeito oposto, resultando em acidentes fatais. Pesquisadores do *Keen Security Lab* da Tencent realizaram um ataque remoto a um Tesla Model S, conseguindo controlar funções vitais, como freios eletrônicos e travas de portas [28]. Em outro caso, os especialistas em segurança Charlie Miller e Chris Valasek conseguiram controlar o motor, a caixa de câmbio e os freios de um Jeep Cherokee, o que levou a Fiat Chrysler a fazer um recall de mais de 1 milhão de veículos para resolver a vulnerabilidade [29]. Pesquisadores das universidades de Michigan e da Califórnia conseguiram enganar o sistema de câmeras *Mobileye* adicionando adesivos às placas de trânsito, o que fez com que o sistema as interpretasse erroneamente [30].

D. Restrições geoespaciais

Os ADAS são treinados com base em normas de trânsito específicas de determinadas localizações geográficas, o que limita seu alcance operacional e sua expansão comercial. Os algoritmos poderiam se comunicar com a infraestrutura rodoviária para aprender em tempo real, reduzindo assim a dependência total de treinamento prévio para cada local [2].

VII. ADAS EM FABRICANTES AUTOMOTIVOS GLOBAIS (OEMs)

A empresa japonesa UTMS desenvolveu um sistema de assistência à segurança no trânsito (DSSS) baseado em DSRC/IEEE 802.11p. Seus principais objetivos são reduzir os acidentes de trânsito em cruzamentos e diminuir a responsabilidade do motorista na tomada de decisões. Ele usa sistemas de comunicação V2V, V2I e V2X para monitorar em tempo real a localização e a velocidade de outros veículos e pedestres na estrada. Esse sistema alerta o motorista quando ele trafega em áreas com alto índice de acidentes, detecta a presença de veículos na pista oposta, recomenda velocidades seguras, estima os riscos de colisões frontais e laterais e avisa sobre travessias de pedestres. O DSSS foi integrado aos veículos Prius, Crown Majesta, Crown Royal e Crown Athlete. [31]

A fabricante de automóveis Honda, comprometida com sua meta de alcançar zero acidentes fatais em motocicletas e automóveis Honda até 2050, apresentou o Honda SENSING 360+, um sistema omnidirecional de segurança e assistência ao motorista. Os veículos são equipados com um sensor de sonar na traseira e cinco radares de ondas milimétricas: um na frente e um em cada canto, alcançando uma cobertura de 360 °, o que não elimina a necessidade de confirmação visual pelo motorista. Eles integram mapas de alta definição para melhor controle do veículo, além de uma câmera e um sensor de aderência do volante para monitorar o estado do motorista e detectar sinais de exaustão, distração ou problemas que possam comprometer a segurança da condução. De acordo com os anúncios da empresa, esse sistema será introduzido primeiramente nos carros Accord na China. Os Honda Legend EXs foram colocados à venda em 2021, equipados com o Honda SENSING Elite, um sistema que inclui o recurso Traffic Jam Pilot, que se qualifica para a tecnologia de direção automatizada de Nível 3 [32].

A empresa alemã Mercedes-Benz introduziu o assistente de distância ativo DISTRONIC em seus veículos, com alcance de Nível 2. Esse sistema é capaz de manter automaticamente uma distância segura pré-selecionada em relação a outros veículos à frente em todos os tipos de estrada. Ele ajuda o motorista a manter o veículo centrado em sua faixa ao viajar em velocidades de até 210 km/h, além de evitar mudanças de faixa não intencionais, operando em uma faixa de velocidade de 60 a 250 km/h. Ele foi projetado para parar o veículo de forma controlada se detectar desvios inadequados e consistentes por parte do motorista. No caso de uma colisão iminente, ele avisa o motorista preventivamente com alarmes visuais e sonoros e auxilia durante a frenagem se a força exercida não for suficiente. Ele é integrado ao Digital Light, um sistema que fornece iluminação adaptativa à noite.

Em dezembro de 2021, a Mercedes-Benz se tornou a primeira empresa automotiva do mundo a atender aos requisitos legais da norma internacional UN-R157 e a receber uma aprovação internacional para sistemas de direção condicionalmente automatizados, correspondente ao nível 3 da SAE. Seu sistema DRIVE PILOT foi implementado inicialmente na

Alemanha, onde 13.191 km de autoestrada estão aprovados para uso. O veículo é capaz de assumir a tarefa de dirigir, mesmo em determinadas condições de tráfego intenso, desde que a velocidade não exceda 60 km/h. Ele é equipado com um sensor LiDAR, uma câmera no vidro traseiro para detectar principalmente luzes azuis, microfones para captar sirenes de veículos de emergência e sensores de umidade nos poços das rodas para monitorar as condições climáticas e do pavimento. Os sistemas redundantes de direção e freio acrescentam um nível extra de segurança operacional. A empresa está trabalhando atualmente em um sistema de estacionamento de nível 4, o INTELLIGENT PARK PILOT. A ideia é que o motorista deixe o veículo em uma área predefinida e o veículo seja automaticamente guiado por sensores de estacionamento até uma vaga reservada. O motorista controlaria o veículo por meio de seu smartphone para conduzi-lo a uma zona de retirada designada [33].

Desde 2014, a Tesla equipa todos os seus veículos com o Autopilot, um sistema projetado para tornar a direção mais segura e menos estressante. Ele inclui funções de controle de cruzeiro adaptativo para ajustar automaticamente a velocidade de acordo com o tráfego ao redor e assistência automática à direção para ajudar a manter o veículo centralizado em uma faixa. Esse sistema foi enriquecido com outras funcionalidades para formar o chamado Full Self-Driving (FSD), que, ao contrário do nome, ainda requer a supervisão do motorista. As funções habilitadas são: estacionamento automático, reconhecimento de semáforos e sinais de parada, e convocação para orientar o movimento do veículo em espaços apertados. Desde 2022, todos os veículos da Tesla para o mercado norte-americano são equipados com o sistema de percepção Tesla Vision, que substitui o radar por várias câmeras externas e poderosos algoritmos de processamento de imagens [34].

A empresa General Motors lançou em 2017 o primeiro sistema de assistência à condução verdadeiramente mãos livres, denominado SuperCruise. Atualmente, ele pode operar em mais de 400.000 km de autopistas entre Estados Unidos e Canadá, e pretende ampliar para 750.000 km. Os principais recursos incluem mudança automática de faixa e capacidade de reboque com as mãos livres. Seu preço permite que ele seja adotado por carros mais econômicos. Os carros mais premium usam o Ultra Cruise, lançado em outubro de 2021, o qual promete uma experiência de condução com capacidades de mão livres em 95%. Isso inclui autopistas, vias urbanas, caminhos rurais e caminhos residenciais que cobrem 2 milhões de milhas, com a intenção de aumentar 3,4 milhões no futuro. O Ultra Cruise incorpora os recursos avançados de seu antecessor e inclui funções como navegação interna, giros automáticos, visualização de 360 ° através de sensores como LiDAR, câmeras e radares, e a possibilidade de estacionamento em zonas residenciais. Os sistemas são atualizados remotamente, acrescentando aos seus veículos novas características para satisfazer as necessidades do condutor [35].

O BlueCruise da Ford é um sistema de assistência ativa à condução que combina a funcionalidade do ACC e do LCA para assumir o controle da frenagem e da direção do carro.

Ele permite que o motorista mantenha as mãos fora do volante em zonas designadas da rodovia, chamadas de *Hands-Free Blue Zones*. Nos EUA, essas zonas cobrem 130.000 milhas de estradas [36].

VIII. CONCLUSÕES

Os sistemas de assistência ao motorista evoluíram significativamente ao longo dos anos: de sistemas projetados apenas para amortecer o impacto durante um acidente a sistemas avançados que desempenham um papel ativo na prevenção de acidentes. A fusão de vários sensores, combinada com poderosos algoritmos de visão computacional, permite que o ADAS se adapte a ambientes dinâmicos, forneça informações valiosas ao motorista e até mesmo assuma o controle de determinadas funções do veículo, dependendo do nível de automação. As principais empresas automotivas, como Tesla, Mercedes-Benz, Ford e General Motors, implementaram o ADAS em seus veículos. No entanto, apesar de seus inúmeros avanços, alguns desafios em termos de padronização, segurança e privacidade ainda não foram superados, o que limita seu alcance operacional e sua expansão comercial. A comunicação com outros veículos, e principalmente com a infraestrutura, é um aspecto fundamental para superar essas limitações. Os sistemas de transporte inteligentes representam um futuro iminente, não apenas para otimizar a mobilidade urbana, mas também para alcançar maior sustentabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

- [1] O. M. de la Salud. (2023) Despite notable progress, road safety remains urgent global issue. [Online]. Available: <https://www.who.int/news/item/13-12-2023-despite-notable-progress-road-safety-remains-urgent-global-issue>
- [2] V. K. Kukkala, J. Tunnell, S. Pasricha, and T. Bradley, "Advanced driver-assistance systems: A path toward autonomous vehicles," *IEEE Consumer Electronics Magazine*, vol. 7, no. 5, pp. 18–25, 2018.
- [3] M. A. S. Kathiresan, M. Neelaveni R., Ed., *Automotive Embedded Systems*. Springer, 2021. [Online]. Available: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-59897-6>
- [4] A. A. Mehta, A. A. Padaria, D. J. Bavisi, V. Ukani, P. Thakkar, R. Geddam, K. Kotecha, and A. Abraham, "Securing the future: A comprehensive review of security challenges and solutions in advanced driver assistance systems," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 643–678, 2024.
- [5] S. C. S. P. M. Raj, and S. Raj, "Advanced driver assistance system (adas) in autonomous vehicles: A complete analysis," in *2023 8th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, 2023, pp. 1501–1505.
- [6] J. Nidamanuri, C. Nibhanupudi, R. Assfalg, and H. Venkataraman, "A progressive review: Emerging technologies for adas driven solutions," *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, vol. 7, no. 2, pp. 326–341, 2022.
- [7] S. Hyodo, T. Yoshii, M. Satoshi, and S. Hirotoshi, "An analysis of the impact of driving time on the driver's behavior using probe car data," *Transportation Research Procedia*, vol. 21, pp. 169–179, 2017, international Symposia of Transport Simulation (ISTS) and the International Workshop on Traffic Data Collection and its Standardization (IWTDCS). [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517302235>
- [8] Y. Hou, P. Edara, and C. Sun, "Modeling mandatory lane changing using bayes classifier and decision trees," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 15, no. 2, pp. 647–655, 2014.
- [9] Y. Hua, H. Jiang, H. Tian, X. Xu, and L. Chen, "A comparative study of clustering analysis method for driver's steering intention classification and identification under different typical conditions," *Applied Sciences*, vol. 7, no. 10, 2017. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-3417/7/10/1014>
- [10] W. Wang, A. Ramesh, J. Zhu, J. Li, and D. Zhao, "Clustering of driving encounter scenarios using connected vehicle trajectories," *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, vol. 5, no. 3, pp. 485–496, 2020.
- [11] K. Saleh, M. Hossny, and S. Nahavandi, "Long-term recurrent predictive model for intent prediction of pedestrians via inverse reinforcement learning," in *2018 Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA)*, 2018, pp. 1–8.
- [12] A. Moujahid, M. ElAraki Tantaoui, M. D. Hina, A. Soukane, A. Ortalda, A. ElKhadimi, and A. Ramdane-Cherif, "Machine learning techniques in adas: A review," in *2018 International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering (ICACCE)*, 2018, pp. 235–242.
- [13] A. Koesdwiady, R. Souza, F. Karray, and M. S. Kamel, "Recent trends in driver safety monitoring systems: State of the art and challenges," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, no. 6, pp. 4550–4563, 2017.
- [14] M. Galvani, "History and future of driver assistance," *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, vol. 22, no. 1, pp. 11–16, 2019.
- [15] L. Davoli, M. Martalò, A. Cilfone, L. Belli, G. Ferrari, R. Presta, R. Montanari, M. Mengoni, L. Giraldo, E. G. Amparore, M. Botta, I. Drago, G. Carbonara, A. Castellano, and J. Plomp, "On driver behavior recognition for increased safety: A roadmap," *Safety*, vol. 6, no. 4, 2020. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2313-576X/6/4/55>
- [16] S. Luca, A. Serio, G. Paolo, M. Giovanna, P. Marco, and C. Bresciani, "Highway chauffeur: state of the art and future evaluations : Implementation scenarios and impact assessment," in *2018 International Conference of Electrical and Electronic Technologies for Automotive*, 2018, pp. 1–6.
- [17] H. Banzhaf, D. Nienhüser, S. Knoop, and J. M. Zöllner, "The future of parking: A survey on automated valet parking with an outlook on high density parking," in *2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2017, pp. 1827–1834.
- [18] J. GOLIAS and G. Yannis, "Classification of driver-assistance systems according to their impact on road safety and traffic efficiency," *Transport Reviews*, 11 2010.
- [19] F. Visintainer, L. Altomare, A. Toffetti, A. Kovacs, and A. Amditis, "Towards manoeuvre negotiation: Autonet2030 project from a car maker perspective," *Transportation Research Procedia*, vol. 14, pp. 2237–2244, 2016, transport Research Arena TRA2016. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516302459>
- [20] J. Valldorf and W. Gessner, *Advanced Microsystems for Automotive Applications 2003*. Springer, 01 2003.
- [21] O. Sawade and I. Radusch, "Survey and classification of cooperative automated driver assistance systems," in *2015 IEEE 82nd Vehicular Technology Conference (VTC2015-Fall)*, 2015, pp. 1–5.
- [22] A. M. S. Abdelgader and W. Lenan, "The physical layer of the ieee 802.11p wave communication standard: The specifications and challenges," pp. 691–698, 2014.
- [23] W. Bronzi, R. Frank, G. Castignani, and T. Engel, "Bluetooth low energy performance and robustness analysis for inter-vehicular communications," *Ad Hoc Networks*, vol. 37, pp. 76–86, 2016, special Issue on Advances in Vehicular Networks. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570870515001663>
- [24] S. Dorle, D. Deshpande, A. Keskar, and M. Chakole, "Vehicle classification and communication using zigbee protocol," in *2010 3rd International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology*, 2010, pp. 106–109.
- [25] A. Memedi and F. Dressler, "Vehicular visible light communications: A survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 1, pp. 161–181, 2021.
- [26] M. M. Elsayed, K. M. Hosny, M. M. Fouda, and M. M. Khashaba, "Vehicles communications handover in 5g: A survey," *ICT Express*, vol. 9, no. 3, pp. 366–378, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959522000054>
- [27] A. Bazzi, G. Cecchini, M. Menarini, B. M. Masini, and A. Zanella, "Survey and perspectives of vehicular wi-fi versus sidelink cellular-v2x in the 5g era," *Future Internet*, vol. 11, no. 6, 2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1999-5903/11/6/122>
- [28] K. S. L. Blog. (2016) Car hacking research: Remote attack tesla motors. [Online]. Available: <https://keenlab.tencent.com/en/2016/09/19/Keen-Security-Lab-of-Tencent-Car-Hacking-Research-Remote-Attack-to-Tesla-Cars/>
- [29] BBC. (2015) Fiat chrysler recalls 1.4 million cars after jeep hack. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/news/technology-33650491>

- [30] K. Eykholt, I. Evtimov, E. Fernandes, B. Li, A. Rahmati, C. Xiao, A. Prakash, T. Kohno, and D. Song, "Robust physical-world attacks on deep learning visual classification," in *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2018, pp. 1625–1634.
- [31] U. S. of Japan. (2021) Dsss [driving safety support systems]. [Online]. Available: <https://utms.or.jp/english/system/dsss.html>
- [32] Honda. (2023) Honda to introduce "honda sensing 360+" omnidirectional safety and driver-assistive system. [Online]. Available: <https://global.honda/en/newsroom/news/2023/4231117eng.html>
- [33] M.-B. Group. (2022) The front runner in automated driving and safety technologies. [Online]. Available: <https://group.mercedes-benz.com/innovation/case/autonomous/drive-pilot-2.html>
- [34] Tesla. (2024) Tesla vision update: Replacing ultrasonic sensors with tesla vision. [Online]. Available: <https://www.tesla.com/support/transitioning-tesla-vision>
- [35] G. Motors. (2024) Gm super cruise offers the most hands-free miles in north america. [Online]. Available: https://www.gm.com/?evar25=news_gm_com_header
- [36] Ford. (2024) Bluecruise. [Online]. Available: <https://es.ford.com/technology/bluecruise/>