



El aprendizaje automático mejora el radar automotriz

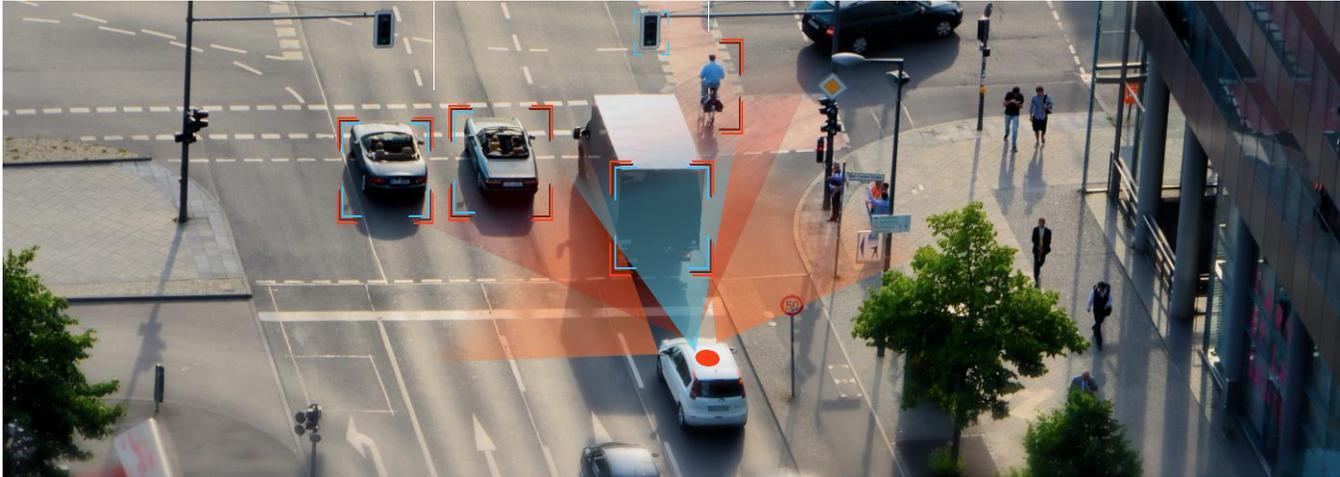
Algunos pueden pensar que el mayor desafío para la automatización de vehículos es desarrollar los algoritmos que le indican a un vehículo dónde y cómo conducir: la planificación y la política. Pero eso no es cierto. El mayor desafío radica en la detección y la percepción, en la construcción de un sistema de percepción capaz de crear de manera confiable el modelo ambiental más preciso y sólido para que actúen las funciones de planificación y política. De esta manera, los sistemas de percepción son fundamentales para permitir mayores niveles de automatización.

A medida que los OEM (fabricantes de equipo original) buscan los mejores sistemas de percepción para implementar en sus vehículos y permitir capacidades de seguridad activa y para salvar vidas, el radar brinda una multitud de beneficios, incluido el costo bajo del sistema y la resiliencia a través de una amplia gama de condiciones atmosféricas y de iluminación.

Tales atributos hacen del radar una base ideal para construir el modelo ambiental de cualquier vehículo y se vuelven especialmente fundamentales a medida que los vehículos van más allá de las funciones básicas de advertencia y pasan a funciones de asistencia y automatización. Centralizar la inteligencia y aplicar el aprendizaje automático de manera correcta permite impulsar el rendimiento, lo cual asegura que los vehículos aprovechen las fortalezas del radar a la vez que fusionan los datos con los de otras modalidades de detección. Al hacerlo, los OEM pueden crear el mejor lienzo sobre el cual diseñar e implementar funciones de planificación y políticas que brinden características avanzadas y resuelvan los casos extremos más desafiantes.



Aprendizaje automático y radar



Las capacidades de seguridad activa salvan vidas y previenen accidentes. Por ejemplo, según el Instituto de Seguros para la Seguridad en las Carreteras, la advertencia de impacto frontal con frenado de emergencia automático reduce los impactos traseros en un 50 %. En una encuesta de Consumer Reports de 2019, el 57 % de los propietarios dijeron que

una función avanzada de asistencia al conductor en el vehículo los había salvado de sufrir un accidente. Dichas soluciones suelen usar un radar o una cámara frontal, o idealmente, ambos.

El desafío de los OEM para los próximos años será llevar al mercado características de seguridad activa más avanzadas de manera económica, lo que les permitirá ofrecer las capacidades en más modelos y llevarlas a más consumidores. Esto al tiempo que sientan las bases para mayores niveles de automatización, mismos que tendrán que abordar los desafíos de detección más difíciles.

El éxito depende de dos funciones principales: la calidad de la información que brindan los sensores y la capacidad de la computadora para interpretar esos datos. Por el lado de los sensores, las soluciones centradas en el radar ofrecen una excelente base para este camino. Por el lado de la computadora, un sistema de aprendizaje automático puede usar los datos de los sensores del radar y combinarlos con datos de otras fuentes a fin de crear una imagen sólida del entorno de un vehículo.

LOS BENEFICIOS DEL RADAR

Los sensores que más se utilizan hoy en día en los vehículos son el radar y las cámaras. Además, medios ultrasónicos desempeñan una función en distancias cortas a bajas velocidades y se utiliza lidars en la conducción autónoma.

Parte de la razón por la que el radar se usa de manera extensa es que indica de manera confiable qué tan lejos está un objeto. Los radares automotrices típicos de largo alcance brindan mediciones de alcance en objetos que se encuentran a una distancia de entre 300 y 500 metros. En cambio, las cámaras deben estimar qué tan lejos está un objeto en función del tamaño del mismo en la imagen de la cámara y otros factores. Incluso desde un enfoque estereoscópico, tal cálculo puede ser desafiante. Además, la resolución se convierte en un problema, ya que un solo píxel en la imagen de una cámara es muy amplio a larga distancia, lo que dificulta que una cámara distinga esos objetos. Las ópticas de enfoque pueden ser útiles, pero limitan el campo de visión, lo que lleva a un acuerdo desafiante típico de los sistemas de percepción basados en cámaras.

Al mismo tiempo, el radar realiza mediciones propias de la velocidad relativa, por lo que, al mismo tiempo que brinda una medición del alcance, también puede decir qué tan rápido se aleja o se acerca algo hacia el vehículo. Es posible que las cámaras y los lidars necesiten tomar múltiples imágenes a lo largo del tiempo para estimar la velocidad relativa.

Debido a que el radar utiliza ondas de radio en lugar de luz para detectar objetos, funciona bien con lluvia, niebla, nieve y humo. Esto contrasta con las tecnologías ópticas como las cámaras (o en el futuro, lidar) que por lo general son susceptibles a los mismos desafíos que el ojo humano. Considera la última vez que quedaste cegado debido a la luz solar directa mientras conducías o que trataste de ver claramente a través de un parabrisas cubierto de suciedad. Los sensores ópticos enfrentan los mismos desafíos, pero los radares aún pueden ver bien en esos casos. Además, a diferencia de las cámaras, el radar no necesita una escena o iluminación de alto contraste para detectar bien por la noche.



Figura 1. El radar puede percibir el entorno en una variedad de condiciones atmosféricas y de iluminación.

El radar también brinda una gran flexibilidad de embalaje al OEM, gracias a su capacidad para funcionar cuando se coloca detrás de superficies opacas. Las tecnologías ópticas deben ser capaces de “ver” la carretera, lo que requiere que sean visibles desde el exterior de un vehículo, de preferencia en un punto alto para que puedan tener una buena línea de visión y mantenerse alejadas de la suciedad de la carretera. El radar, por el contrario, se puede colocar detrás de las rejillas del vehículo o en los parachoques, o bien, se puede esconder, lo que brinda a los diseñadores gran flexibilidad para centrarse en la estética del vehículo.

DÓNDE USAR SENSORES ÓPTICOS

Las cámaras son muy adecuadas para la clasificación de objetos. Solo una cámara puede leer los letreros de las calles y también es mejor al determinar si un objeto es otro vehículo, un peatón, una bicicleta o incluso un perro. Cada uno de tales objetos se comporta de modo distinto, por lo que el

sistema del vehículo preverá mejor los movimientos si sabe con exactitud lo que está mirando.

Lidar llamó la atención porque ofrece algunas fortalezas únicas. Puede tomar mediciones de alcance directo a alta resolución y formar una cuadrícula, donde cada celda de la cuadrícula tiene una distancia particular asociada. Debido a que el lidar funciona a una frecuencia mucho más alta, tiene una longitud de onda mucho más corta que el radar tradicional; eso significa que puede brindar una resolución de ángulo más alta que el radar, lo que permite que lidar identifique los bordes de los objetos con mayor precisión.

Una desventaja de lidar es que necesita tener una superficie limpia y clara frente a él para ser efectivo, lo que por supuesto puede ser particularmente problemático en un vehículo en movimiento. Un escarabajo desafortunado pero en el sitio preciso podría dejar ciego al vehículo.

Un problema igual de importante es que la tecnología del lidar es menos madura que la del radar, lo que significa que es mucho más costosa. El gasto limita la amplitud con la que se puede usar lidar en el mercado automotriz de alto volumen actual.

Para garantizar una solución confiable y segura, un vehículo debe tener acceso a una combinación de diferentes tecnologías de detección y luego usar la fusión de sensores (**ver el recuadro en la siguiente página**) para unir esas entradas y obtener la mejor comprensión posible del entorno. Pero incluso si eso no es posible (si las cámaras están manchadas y el lidar tiene problemas de salpicaduras de insectos), los radares en el vehículo pueden brindar información excelente, en especial cuando se combinan con los algoritmos de aprendizaje automático correctos.



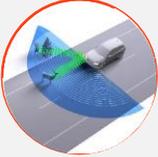
Figura 2. El radar se puede ubicar detrás de la carrocería exterior de un vehículo.

FUSIÓN DE SENSORES

La fusión de sensores es la capacidad de reunir entradas de diferentes radares, lidars y cámaras para formar un solo modelo o imagen del entorno alrededor de un vehículo. El modelo resultante es más preciso porque equilibra las fortalezas de los diferentes sensores. Así bien, los sistemas del vehículo pueden usar la información que brinda la fusión de sensores a fin de respaldar acciones más inteligentes.

Por supuesto, cuantos más sensores haya en un vehículo, más desafiante se vuelve la fusión, pero también existen más oportunidades para mejorar el rendimiento.

Antes, el poder de procesamiento para analizar los datos de los sensores con la intención de determinar y rastrear objetos se incluía con las cámaras o los radares. Con el enfoque de arquitectura satelital de Aptiv, la potencia de procesamiento se centraliza en un controlador de dominio de seguridad activa más potente, lo que permite recopilar datos de cada sensor y fusionarlos en el controlador de dominio.

		RADAR	LIDAR	CÁMARA	FUSIÓN
RADAR  <ul style="list-style-type: none"> • Detección de largo alcance • Movimiento de objetos • Rendimiento para todo tipo de clima 	Detección de objetos	+	+	○	+
	Detección de peatones	-	○	+	+
	Condiciones atmosféricas	+	○	-	+
LIDAR  <ul style="list-style-type: none"> • Detección precisa de objetos en 3D • Precisión de rango • Detección de espacio libre 	Condiciones de iluminación	+	+	-	+
	Suciedad	+	○	-	+
	Velocidad	+	○	○	+
CÁMARA  <ul style="list-style-type: none"> • Clasificación de objetos • Posición angular de objeto • Contexto de la escena 	Distancia:	+	+	○	+
	precisión	+	○	○	+
	Distancia: rango	-	○	+	+
	Densidad de datos	-	○	+	+
	Clasificación	+	-	○	+

+: fortaleza ○: capacidad -: debilidad

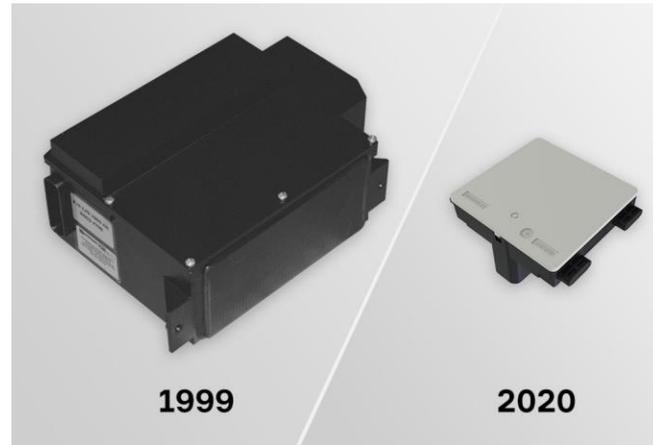
APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

El aprendizaje automático es un subconjunto de la inteligencia artificial que se refiere a la capacidad de entrenar a un sistema a través de la experiencia con diferentes situaciones aparentes. A medida que los vehículos se vuelven más automatizados, los desarrolladores pueden usar el aprendizaje automático y entrenar sistemas para identificar objetos y comprender mejor el entorno con menos datos.

Un desafío que el aprendizaje automático permite abordar con el radar es la detección de bordes. Las longitudes de onda más largas del radar producen una resolución más baja que puede conducir a objetivos poco resueltos, lo que dificulta saber dónde están los bordes de un objetivo. Cuando eso sucede, interpretar los datos y resolver la escena es todo un desafío. Los ingenieros están trabajando en formas de mejorar la resolución del radar, como pasar de la frecuencia común de 77 GHz que se usa en las aplicaciones automotrices actuales a 120 GHz o más, con la correspondiente reducción en la longitud de onda. Eso permite una resolución mucho más alta para el sensor del mismo tamaño. Sin embargo, incluso con los radares actuales, el aprendizaje automático permite caracterizar diferentes situaciones cuando los datos son difíciles de describir a través de algoritmos estándar.

Los desarrolladores pueden presentar muchos ejemplos de objetos en una categoría particular a un sistema de aprendizaje automático y puede aprender cómo objetos complejos con muchos puntos de reflexión dispersan las señales. Puede aprovechar la información contextual. Incluso puede aprender de los datos simultáneos que brindan las cámaras, lidars o mapas en HD para clasificar objetos en función de las señales del radar.

Es posible obtener más beneficios si usamos el aprendizaje automático con buen juicio. En lugar de adoptar un enfoque de fuerza bruta y aplicar el aprendizaje automático a todos los datos sin procesar que brinda un radar, podemos hacer un procesamiento previo clásico y luego aplicar el aprendizaje automático solo a aquellas partes que tienen sentido.



UNA PRIMICIA AUTOMOTRIZ

En Aptiv fuimos pioneros en tecnologías de Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor (ADAS) en 1999 con un sistema de control de cruceo adaptativo para el Jaguar XKR. Con un radar de microondas en la parte delantera del vehículo, el sistema de Control de Cruceo Adaptativo (ACC) midió la distancia y la velocidad relativa del vehículo precedente y usó el acelerador y el frenado para garantizar que el Jaguar se mantuviera entre 1 y 2 segundos detrás de él.

La tecnología ganó un premio PACE, pero el radar era costoso, por lo que la capacidad estaba dirigida restringidamente a vehículos de lujo. Los ingenieros decían a modo de broma que si comprabas el radar, te llevabas el auto gratis. Muchas generaciones de hardware después, la tecnología es más pequeña, más liviana y cuesta menos de una décima parte. El radar demostró su éxito a lo largo de décadas de uso intensivo y los vehículos de todos los niveles ahora confían en la tecnología para brindar funciones de seguridad activa a los consumidores.

Muchos radares automotrices usan un conjunto de antenas para medir los ángulos. Al procesar señales de radar clásico, las señales digitalizadas de cada antena se convierten en alcance y velocidad. Las señales se comparan a través del conjunto de antenas para realizar mediciones de ángulos. Un ejemplo de procesamiento previo sería usar el procesamiento de señales clásico para aislar regiones de interés, a fin de enfocar objetos con ciertos alcances y velocidades. Las señales de cada antena con un alcance y una velocidad comunes se pueden usar para entrenar un sistema.

Los radares comunes pueden utilizar hasta 12 antenas y se pueden emplear cinco o más radares en un solo vehículo. Esas antenas permiten la formación de haces digitales, donde las señales de cada antena individual se digitalizan y luego se combinan digitalmente. El resultado es que los radares muestrean las señales una vez y luego forman haces en tantas direcciones diferentes como sea necesario. Al mirar a través de estas series y analizar los lugares donde se superponen los radares, el sistema puede deducir los ángulos de diferentes objetos.

Este tipo de análisis le da al sistema una gran base de información para alimentar una red neuronal, que a su vez puede aplicar el aprendizaje automático para producir una imagen aún más clara de la escena. Sin este paso intermedio, un sistema de IA tendría que determinar la escena a partir de las señales digitalizadas sin procesar en tiempo real, lo que significa que tendría que ser extremadamente poderoso y, por lo tanto, más costoso y requeriría muchos recursos y largas secuencias de entrenamiento para averiguar qué hacer con los datos. Además, tal sistema sería difícil de solucionar: si el vehículo detecta un objeto que no estaba allí, por ejemplo, podría ser difícil descifrar dónde salió mal el procesamiento. La combinación del procesamiento clásico con el aprendizaje automático puede brindar cierta ortogonalidad en el procesamiento de datos, lo que aumenta la solidez del sistema.

Si bien los datos que brinda el radar son más complejos que los que provienen de los sistemas de visión, ya que ofrecen un alcance y una tasa de alcance además de la ubicación de los objetos, también son bastante valiosos. Vale la pena el esfuerzo de filtrar de manera inteligente los datos para extraer significado. Los 20 años de historia de trabajo de Aptiv con radares automotrices (fuimos los primeros en instalar un radar en un Jaguar en 1999 para habilitar el control de cruceo adaptativo) nos brindó los conocimientos especializados necesarios para extraer los datos relevantes de la manera más eficiente.

VENTAJA DE COSTO Y ENERGÍA

Las arquitecturas emergentes tienen radares satelitales distribuidos por todo el vehículo, conectados a través de Ethernet a un sistema en chip central con un acelerador de aprendizaje automático. En Aptiv usamos este tipo de arquitectura satelital para procesar datos de cinco radares o más y mantener bajos los costos. El enfoque es muy eficiente con los datos y los modelos de aprendizaje automático pueden ejecutarse en procesadores que cuestan menos y consumen menos energía que las alternativas.

Por ejemplo, una implementación que procesa datos a partir de seis radares de alcance corto usaría alrededor de 1 W, mientras que una implementación que procesa datos a partir de seis cámaras podría consumir de 10 a 15 W, y una unidad de procesamiento gráfico de alta gama consume alrededor de 100 W.

En otro ejemplo, el aprendizaje automático puede recopilar información sobre el alcance y la detección del espacio libre en los datos que genera el radar para ofrecer resultados cercanos a lidar, pero al menor costo del radar.

Los ahorros potenciales provienen de no tener que construir implementaciones paralelas de procesamiento, RAM y comunicaciones en cada sensor y de las eficiencias que se obtienen al centralizar el software en un controlador de dominio. El costo menor significa que incluso los vehículos estándar o de nivel de entrada se pueden equipar con esta tecnología que salva vidas.

SITUACIONES DESAFIANTES

Hay muchas situaciones que los conductores humanos enfrentan todos los días que no se prestan a soluciones fáciles cuando se trata de sistemas avanzados de asistencia al conductor. Si hay un objeto en la carretera, ¿es seguro pasar por encima? ¿Cómo debería el vehículo ajustar la conducción si un camión cercano crea un punto ciego? El aprendizaje automático junto con el radar puede abordar estas y muchas otras inquietudes. A continuación hay algunos ejemplos.



Residuos en el camino

Los objetos pequeños o residuos en el camino pueden ser un desafío, en especial a altas velocidades. Se demostró que el radar con el aprendizaje automático mejora el alcance en más de un 50 % y le permite rastrear objetos pequeños a 200 metros, lo que da suficiente tiempo al vehículo para cambiar de carril o detenerse de manera segura.

Objetos sobre los que es seguro pasar por encima

Por lo general, los conductores humanos dan por hecho la capacidad de determinar si pueden pasar por encima de un objeto en el camino o no. No pueden calcular si el objeto mide 5 o 10 cm de alto. Tienden a actuar por intuición, o tal vez siguiendo una corazonada, en función de la experiencia. Un sistema de aprendizaje automático también se puede entrenar con objetos sobre los que es seguro conducir y otros que no lo son. Los programadores pueden crear una parte de la cadena de procesamiento general que se centre en esta pregunta como un subconjunto especial de clasificación de objetos ("se puede pasar por encima", ¿sí o no?) y enviar la respuesta a un software que pueda tomar medidas de ser necesario.

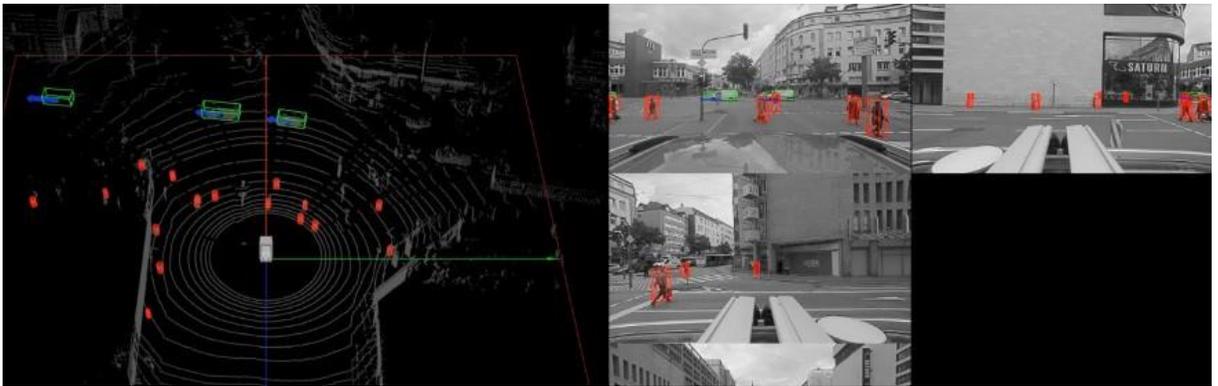
Usuarios vulnerables de la carretera

Entre los usuarios vulnerables de la carretera se encuentran los ciclistas y motociclistas. Esta fue un área particular de atención para las agencias reguladoras y calificadoras, ya que estos usuarios cuentan con poca protección en caso de impacto y pueden ser más difíciles de identificar que otros vehículos. El aprendizaje automático reduce los errores en un 70 % en comparación con el procesamiento de señales de un radar clásico, y la fusión de sensores con otras modalidades de detección puede mejorarla aún más.

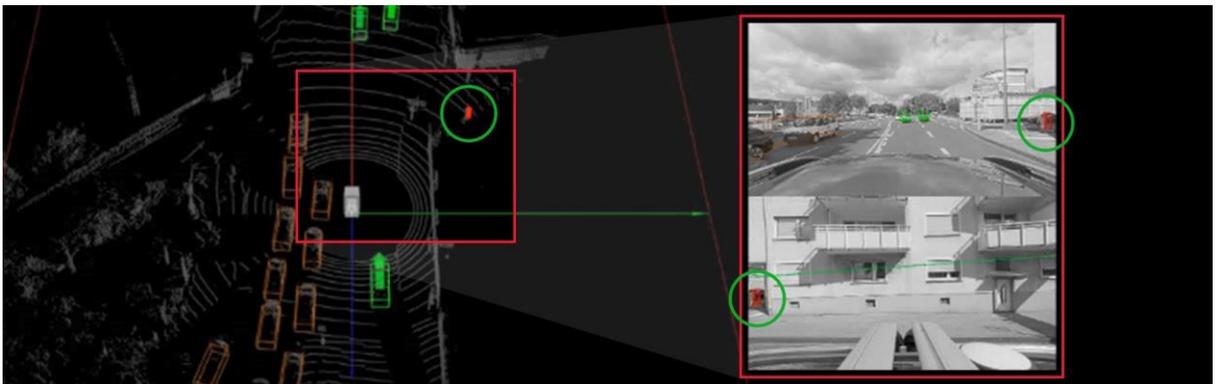


Peatones

La detección de peatones puede presentar desafíos inigualables para cualquier tipo de sensor, en especial en un entorno urbano abarrotado donde muchos peatones pueden cruzar una calle y caminar en diferentes direcciones. Sin embargo, al usar todas las dimensiones de los datos de un radar como se describió antes, las técnicas avanzadas de aprendizaje automático pueden ayudar al vehículo a ver a los peatones en un entorno muy concurrido. Incluso puede detectarlos detrás de un automóvil estacionado u otra obstrucción que pueda ocultarlos de la vista.



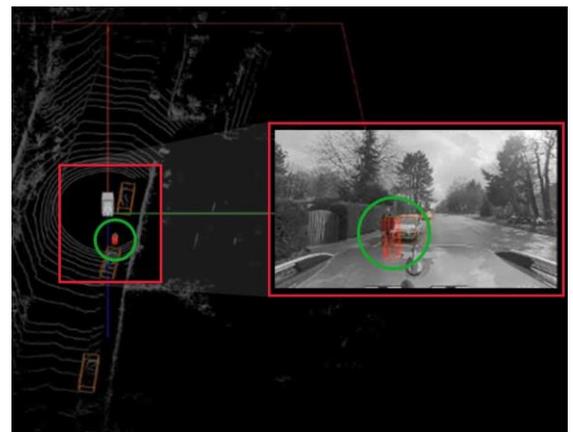
Peatones ocultos:



Peatón cerca del camino y vehículo estacionado:

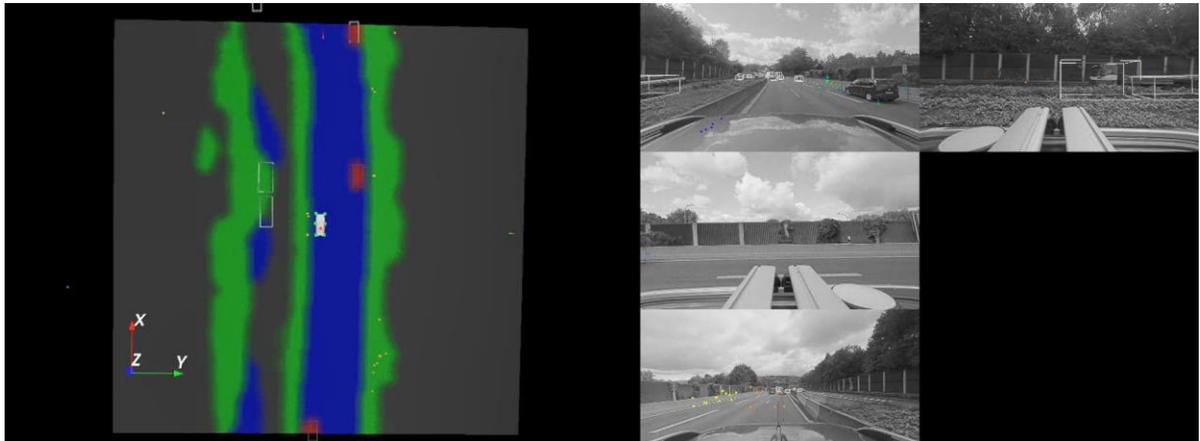


Alerta de peatón durante una maniobra de estacionamiento trasero:



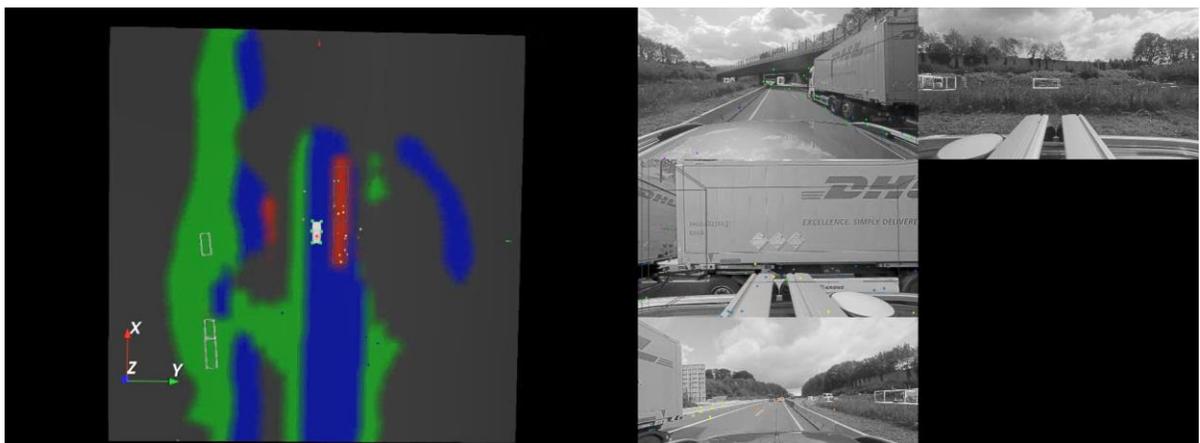
Límites viales de baja reflectividad

Algunos límites viales, como paredes planas de hormigón vistas desde ángulos agudos, no reflejan mucho en el radar. El aprendizaje automático puede usar una segmentación sólida y procesamiento de señales en todo el alcance, Doppler y respuesta de antena a lo largo del tiempo para calcular dónde están esos límites.



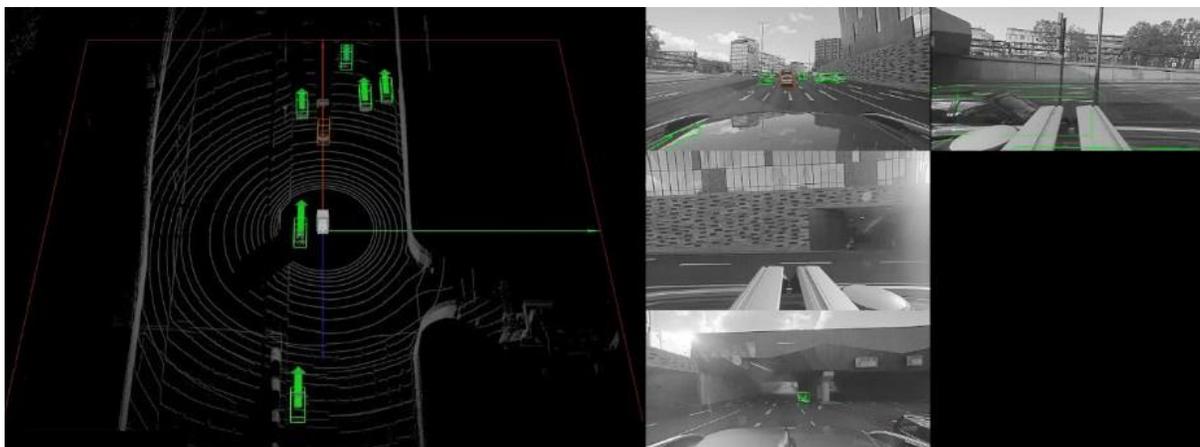
Punto ciego

La oclusión del sensor (un punto ciego que crea otro objeto, como un camión grande) es uno de los mayores desafíos de la conducción automatizada. Más que no poder detectar objetos ocultos, el problema consiste en que los sistemas actuales no son completamente conscientes de los puntos ciegos. Los conductores humanos aprendieron a tener en cuenta las posibilidades inadvertidas y a protegerse contra las amenazas que pueden estar ocultas. El enfoque de percepción de Aptiv crea esta conciencia y permite que las funciones anteriores actúen a la defensiva, como lo haría un conductor humano.



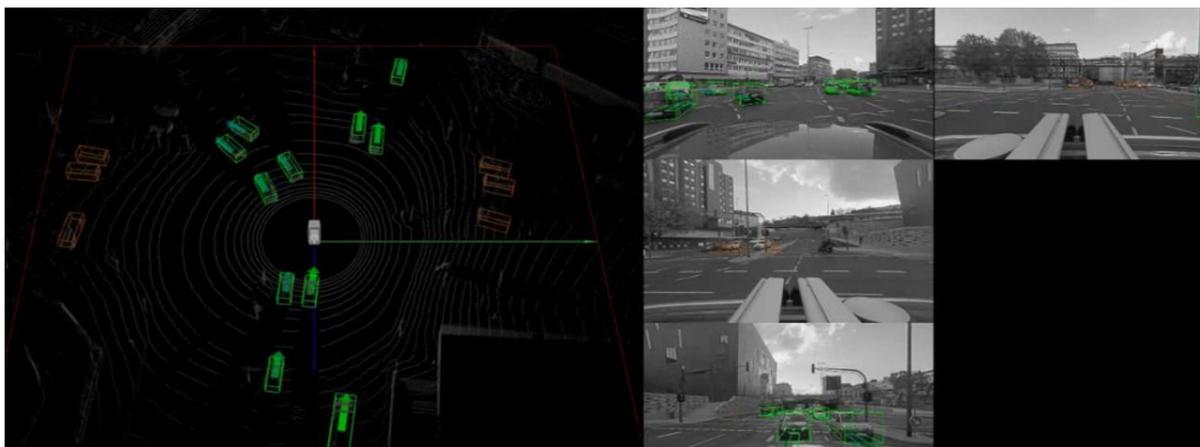
Automóvil parado en el carril

El aprendizaje automático puede ayudar a brindar una detección y un seguimiento precisos de los objetos, incluidos los límites de los objetos y una separación considerable. Con métodos de procesamiento avanzados, podemos reducir más de un 50 % el error de posición y el error de dirección hacia objetos, lo que significa que el vehículo puede determinar mejor cuando otro vehículo está detenido en su carril.



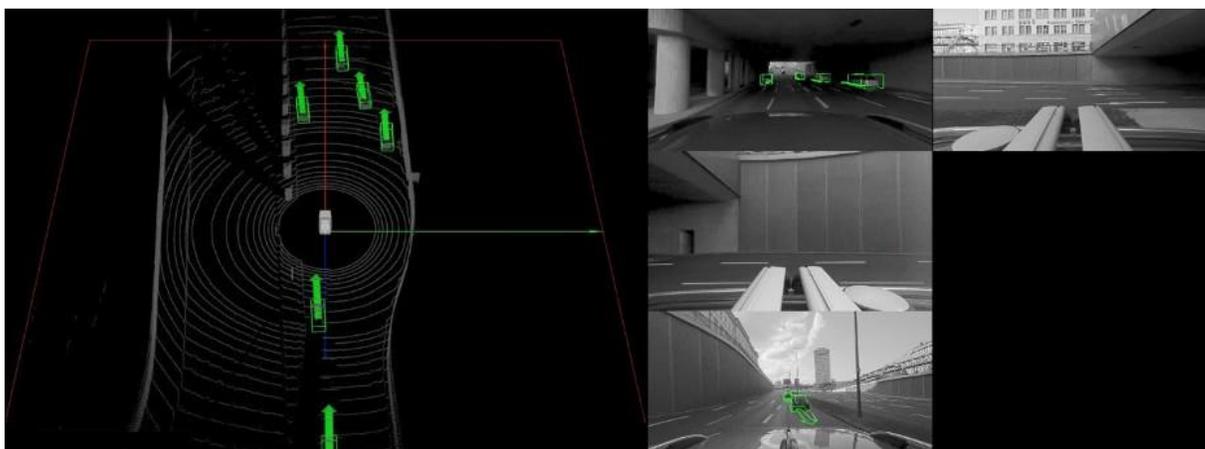
Detección de 360 grados

El enfoque de fusión de sensores de Aptiv reúne entradas de datos de diversos sensores alrededor de un vehículo. Si el vehículo está equipado con suficientes sensores, significa que puede tener una vista de 360 grados del entorno, y dicha imagen completa permitirá que el vehículo tome mejores decisiones. El aprendizaje automático ayuda al sistema a identificar objetos dentro de ese ámbito, clasificándolos como automóviles, camiones, motocicletas, bicicletas, peatones, etc. Puede determinar su rumbo. Asimismo, puede ayudar a separar e identificar objetos inmóviles o de movimiento lento.



Seguimiento dentro de un túnel

El aprendizaje automático también permite que un vehículo comprenda cuando está dentro de un túnel. Históricamente, los túneles son un entorno desafiante para un radar. Las paredes del túnel brindan una superficie reflejante, lo que puede resultar en una gran cantidad de detecciones abrumadoras para la capacidad de un radar para procesar objetivos. Además, estos reflejos pueden provenir de ángulos de elevación altos, lo que puede dificultar la identificación de objetivos inmóviles como tales. Además, los túneles suelen tener ventiladores para despejar el aire estancado y las aspas giratorias del ventilador podrían confundir al radar haciéndole creer que está viendo un objeto en movimiento. Todos estos problemas se pueden reducir al hacer ajustes en el procesamiento del radar cuando el vehículo está en un túnel. Al aplicar el aprendizaje automático al procesamiento de datos del radar, el sistema puede filtrar el ruido de las detecciones positivas con una precisión mucho mayor que la que permitían los métodos clásicos. Ahora puede interpretar mejor los retornos del radar en túneles y demás entornos cerrados, clasificar objetivos como ventiladores y resolver eficazmente el desafío del túnel.



EL CAMINO A FUTURO

A medida que los OEM busquen llevar capacidades de seguridad activa a toda su gama de vehículos, necesitarán sensores económicos y capaces de entregar datos en condiciones desafiantes, así como la inteligencia para obtener la información más útil de los datos. Pueden lograrlo a través del aprendizaje automático y una combinación de sensores anclados con radar. Las innovaciones como RACam de Aptiv pueden empaquetar esos sensores (en este caso, el radar y la cámara) en una unidad compacta.

La Satellite Architecture (arquitectura satelital) de Aptiv centraliza la inteligencia que recibe datos de tales sensores, lo que mejora el rendimiento al mantener baja la latencia y reducir la masa del sensor hasta en un 30 %. Luego, los OEM pueden desarrollar características diferenciales para diversos niveles de conducción automatizada además de esta sólida base de tecnología de detección y percepción, al construir desde la automatización de nivel 1 hasta el nivel 2 y 2+.

A más largo plazo, Smart Vehicle Architecture de Aptiv permite la visión general al estructurar la arquitectura eléctrica y electrónica de un vehículo de una manera que tenga más sentido para sus necesidades de detección y percepción, creando un camino hacia la automatización de nivel 3 y 4. Mientras tanto, los OEM pueden tomar medidas importantes en la actualidad para democratizar la seguridad activa y garantizar que todos tengan acceso a estas tecnologías que salvan vidas.

SOBRE EL AUTOR



Rick Searcy

Gerente de Sistemas de Radar Avanzados

Rick gestiona el desarrollo de sistemas de radar avanzados para Aptiv, puesto que ocupa desde 2013. Estuvo involucrado en el desarrollo de todos los radares producidos en la empresa desde 1994.

Rick se encuentra en Kokomo, Indiana. Obtuvo su maestría en la Universidad de Michigan, donde estudió electromagnetismo aplicado y procesamiento de señales digitales.

SABER MÁS EN [APTIV.COM/ADVANCED-SAFETY](https://www.aptiv.com/advanced-safety) →