Aplicación de comunicaciones y sensores a la conducción de vehículos a motor

Juan Pablo Benitez

***Resumen*—La imposibilidad de detectar otros actores de tránsito fuera de la línea de visión al conducir contribuye sensiblemente a la tasa de accidentes de tránsito, siendo uno de los mayores causantes de muerte a nivel mundial. Para reducir la incidencia de accidentes por falta de línea de visión entre actores de tránsito se propone la implementación de una plataforma de comunicaciones v2x combinada con un paquete de sensores, que permitiría informar a conductores y otros actores de situaciones del entorno peligrosas como vehículos y peatones al ingresar a intersecciones. Como prototipo se presenta el diseño de un protocolo abierto de comunicaciones a utilizar en la plataforma (OV2X).**

I. Introducción

Según la OMS[1], los accidentes de tránsito representan la octava causa mas importante de muertes en todo el mundo. Cobran más de 1,35 millones de vidas y causan hasta 50 millones de lesiones cada año, siendo la principal causa de muerte de niños y adultos jóvenes (5 a 29 años). Más de la mitad de las muertes por accidentes de tránsito en el mundo se encuentran entre peatones, ciclistas y motociclistas. El hecho es que cada una de esas muertes y lesiones se pueden prevenir. Adicionalmente, un estudio de la AAA (American Automobile Association) concluye que los choques generan 300.000 millones de dolares en gastos cada año[2]. Según el Departamento de Transporte de los Estados Unidos, un amplio porcentaje de los accidentes son causados por incidentes relacionados a intersecciones e ingresos/egresos de autopistas o vías rápidas[3], esto podría ser reducido drásticamente con la existencia de un sistema de comunicación inter-vehicular. Vehículos ingresando/egresando de una intersección o autopista podrían notificar a los que las transitan de sus intenciones, alertando a sus conductores[4].

Actualmente, los sistemas de asistencia avanzadas de conducción (ADAS por sus iniciales en inglés) y sistemas de auto-conducción de vehículos autónomos (niveles SAE 2 o superiores) alimentan sus motores de procesamiento en base a sensores directamente disponibles en los vehículos que controlan.

Estos sensores proveen a su núcleo de cálculo (ya sea en forma de un sistema computarizado como en el caso de los vehículos autónomos, o en los controladores independientes en caso de los sistemas ADAS) de datos acerca del entorno, el estado del vehículo y sus ocupantes.

Sin embargo, estos sensores se encuentran usualmente limitados por su alcance efectivo, que varía entre algunos centímetros para los ultrasónicos, y un par de cientos de metros para las cámaras, LiDAR y RaDAR montados en automóviles. Otra fuerte limitación que aplica a estos sensores es su línea de visión: todos funcionan a través de la medición de alguna onda (de radio, luz o ultrasonido), por lo que necesitan mantener una línea de visión a su objetivo para detectarlo.

Una mejora a las limitaciones que aplican a estas plataformas sería proveer una capa de interconexión para los vehículos; de esta manera un vehículo podría compartir la información procesada de sus sensores, habilitando a otros a reaccionar a eventos fuera de su linea de visión y alcance.

Adicionalmente, el soporte para la interconexión de los vehículos permitiría propagar otros tipos de alertas y notificaciones, como ser información de clima adverso (bancos de niebla por ejemplo), problemas en el camino (como derrumbes en zonas montañosas), o incluso permitiría liberar carriles prioritarios de manera adelantada para el paso de vehículos de emergencias.

A lo largo de este paper se describen las tecnologías actualmente disponibles y aplicables al contexto y presenta una propuesta de implementación para un protocolo de comunicación para propagación de información geolocalizada de sensores y la motivación para su desarrollo.

Esto presenta dos desafíos: por un lado el de transferencia física de los datos a media distancia entre los vehículos, soportando una capa de seguridad y un protocolo de capa física que permita hacer multidifusión (multicast o broadcast) de las tramas. Por otro de la definición de un protocolo de señales de tamaño reducido que permita transferir la información de manera eficaz en ráfagas con baja latencia.

La propuesta se centra en mejorar sustancialmente la consciencia del entorno del usuario a través de la propagación de información acerca de eventos fuera del alcance de sus sensores, basándola en la implementación de una capa de interconexión entre vehículos, actuando como una fuente adicional de datos para alimentar una experiencia basada en Realidad Aumentada [5][6], presentando la información de manera relativa al contexto[7][8] (aunque el diseño y desarrollo de esta no es el foco principal del mismo).

Respecto de las tecnologías necesarias para la implementación de la solución, la dividimos en 3 grandes grupos:

- Comunicaciones, cubriendo desde la capa física hasta la de aplicaciones. [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15]
- Sensores, respecto de los sensores actualmente en uso en vehículos (autónomos y tripulados)[16][17][18][19][20][21].
- el Núcleo de cómputo, necesario para generar la imagen visual a representar, realizar la fusión de datos de sensores, procesar la información recibida de la red y transmitir la información relevante producida por los propios sensores. [22][23].

El paper está dividido en 4 secciones, las dos primeras divididas en sí mismas en sub secciones por los grupos de

tecnologías:

- Estado del arte, adonde se describe las tecnologías actuales relacionadas a la plataforma tanto de hardware como de software.
- Marco teórico, donde se presentan las tecnologías seleccionadas como posiblemente aplicables a la solución.
- Análisis y resultados, describiendo el resultado general de la investigación y como sería la implementación de la plataforma.
- Conclusión y trabajos futuros, una conclusión concisa respecto del resultado de la implementación e implantación de una plataforma V2X y los desafíos que esta conlleva, acompañados de los lineamientos de diseño del protocolo de comunicaciones necesario para hacerlo.

II. Estado del arte

II-A. Comunicaciones

Actualmente, los protocolos disponibles de redes de corto alcance que podemos aplicar a la solución se pueden encuadrar en dos grandes grupos, WLAN y WPAN.

II-A1. redes wireless de área local: Las redes wireless de área local, dominadas principalmente por la familia de standards IEEE 802.11 (WLAN), son una evolución de redes LAN cableadas -como por ejemplo Ethernet (IEEE 802.3)- integrando dispositivos inalámbricos como pares de los cableados y enfocándose en maximizar el alcance y velocidad de transferencia de datos. Algunas tecnologías relevantes relacionadas a WLAN son:

- IEEE 802.11 LAN inalámbrica (WLAN, Wireless Local Area Network) es la tecnología de base de los protocolos inalámbricos de corto alcance mas comúnmente utilizados, tanto para redes hogareñas y empresariales, como para comunicaciones entre vehículos (Inter-Vehicular Communications, IVC por su sigla en inglés)[9].
- IEEE 802.11p y DSRC (Dedicated Short-Range Communications) se han vuelto sinónimo del uso de IEEE 802.11 para IVC. IEEE 802.11p es la enmienda introducida que agrega muchas de las funcionalidades faltantes en la familia IEEE 802.11 para realizar IVC de manera eficiente, especialmente la posibilidad de operar en la banda de frecuencias de 5.9GHz. Esta banda de radio es conocida en USA como la banda de radio dedicada para comunicaciones de corto alcance (DSRC)[9].

II-A2. Redes wireless de área personal: Por otro lado, las WPAN fueron desarrolladas para proveer conexiones de manera eficiente energéticamente dentro del área personal de cada dispositivo, usualmente dentro del rango de los 10 metros. A su vez, las WPAN se dividen en función de la velocidad de transferencia de datos que manejan:

- Alta velocidad (High Rate, HR) WPAN, definido en el estándar IEEE 802.15.3, orientadas a la transmisión de audio y vídeo en tiempo real con un ancho de banda de aproximadamente 55Mbps[11].
- Media velocidad (Medium Rate, MR) WPAN, definido en el estándar IEEE 802.15.1 (Bluetooth 1.1), orientada a la transmisión de audio de alta calidad y conexión de pequeños dispositivos con un ancho de banda de aproximadamente 3Mbps (aunque actualmente Bluetooth en su versión 5.0 alcanza ya los 50 Mbps)[11].
- Baja velocidad (Low Rate, LR) WPAN, definido en el estándar IEEE 802.15.4, orientada a dispositivos de muy bajo consumo (extendiendo la vida útil de las baterías) y baja necesidad de transferencia de datos[11].

Llevando WPAN a un stack completo de capas OSI, podemos mencionar ZigBee como uno de los protocolos de referencia actuales. En ZigBee las dos capas de mas bajo nivel (física y de acceso al medio) son definidas en el standard IEEE 802.15.4 (LR WPAN), mientras que el standard define las capas de red, aplicación y seguridad[10].

II-A3. Protocolos IVC: Mas allá de las tecnologías de networking, existen a este momento distintos protocolos IVC propuestos, en proceso de desarrollo o implementación, siendo los dos más importantes el norteamericano IEEE WAVE y el europeo ETSI ITS.

La familia de protocolos IEEE 1609, o WAVE ("Wireless Access in Vehicular Environments")[14] describe una plataforma de comunicaciones desarrollada para proveer servicios interoperables a los usuarios de un sistema de transporte. Específicamente, se ocupa de las comunicaciones entre vehículos (V2V) y de vehículos a infraestructura (V2I). Se apoya en el estandar 802.11p y DSRC para el sus capas física y de control de acceso al medio (Figura 1)

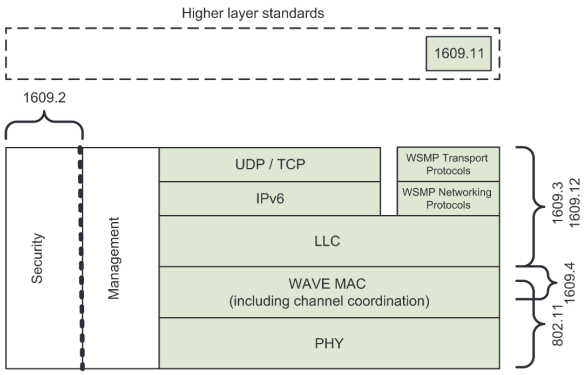


Figura 1. Arquitectura WAVE[14]

La plataforma se encuentra definida en una serie de standards de la familia IEEE 1609, provee servicios de seguridad (1609.2), red (1609.3), manejo de múltiples canales de comunicación (1609.4) y un protocolo orientado a pago de electónico (1609.11).

De manera similar, ITS ("Intelligent Transportation System"), del Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI), funciona sobre una pila similar de tecnologías de comunicación multi-canal basada en DSRC, y provee una serie de *aplicaciones*, aunque mas básicas, orientadas a seguridad, datos y conectividad. [15].

II-B. Sensores

En la actualidad los principales sensores en uso en automóviles para detectar el entorno en la actualidad se dividen en tres grandes grupos: ultrasónicos, RADAR/LiDAR y

ópticos (cámaras). Usualmente se suelen emplear de manera combinada, fusionando los datos que producen para compensar las limitaciones de cada uno.

Los sensores ultrasónicos son utilizados principalmente para cortas distancias, trabajan emitiendo pulsos de ultrasonido y calculando la distancia por el tiempo que tarda el eco en retornar. El rango de efectividad es de hasta 5,5m y tiene problemas para detectar objetos que se mueven a alta velocidad. El material y la forma del blanco (especialmente el ángulo de impacto) también pueden tener un efecto adverso en la detección y medición de la distancia ya algunos materiales son mas absorbentes que otros[19].

LiDAR (Light Detection and Ranging) es una tecnología desarrollada durante los años 1960s, usada por la industria aeroespacial para mapeo del espacio y terreno. Esto último la llevó, a mediados de los 1990s, a su introducción en la industria relacionada a la topografía a través de de los scanners láser. Funciona emitiendo pulsos de luz láser o infrarroja y detectar el reflejo en el blanco, utilizando el tiempo de retorno para estimar la distancia al mismo. Los sensores LiDAR producen datos en forma de una nube de puntos de datos (PCD) en una a tres dimensiones con un rango de efectividad de hasta 300m, limitada a que el blanco no sea transparente. Este tipo de sensor también es susceptible a perder capacidad en climas severos[19][20].

RaDAR (Radio Detection and Ranging) fue desarrollado durante la Segunda Guerra Mundial para el cálculo de posición y velocidad de objetos a grandes distancias. Funciona de manera similar al LiDAR(es un predecesor de esa tecnología); pero emitiendo ondas electromagnéticas de manera direccional. Tiene el beneficio adicional de poder calcular la velocidad relativa del objetivo a través del efecto o desplazamiento Doppler (la variación en la frecuencia de la onda reflejada permite calcular la velocidad a la que se mueve el objetivo) y no ser afectado por las condiciones climáticas[20][21].

II-C. Núcleo de cómputo

La rápida evolución del poder de cómputo aplicado a los vehículos en la últimas décadas va desde los procesadores mono núcleo de 16 bits utilizados en los Boeing 737, pasando por los 40686 (32 bit) utilizados en aeronaves mas modernas como el 777, hasta soluciones mas modernas como Nvidia Hyperion, compuesta por múltiples procesadores ARM de 48 bits especializados para tareas críticas.

Siendo sistemas críticos, las características importantes necesarias para el cómputo en este tipo de plataformas son la reducción de riesgo de fallos actualmente reflejada a nivel general en el standard IEC 61508 [24], especializada en el standard ISO/IEC 26262 para la industria automovilística[25].

II-D. Presentación

Los HUDs forman parte de las interfaces humano-máquina desde los albores de la aviación militar e ingresaron en la industria automotriz a fines de 1980. Actualmente, evolucionaron con la incorporación de displays transparentes de alta resolución, con múltiples aplicaciones no solo en el ámbito de la aviación militar y civil, sino también incorporándose lentamente a la industria automotriz de la mano de marcas como BMW[26] y Mercedes Benz[27], como se muestra en la figura 2.

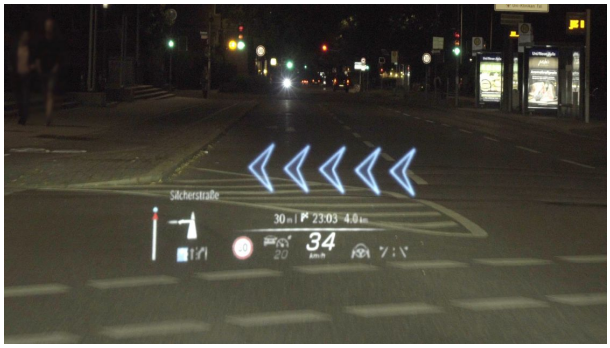


Figura 2. Mercedes-Benz S-Class AR HUD [27]

III. Marco teórico

En este proyecto se plantea un framework de implementación de una plataforma integrada de comunicación de datos de entorno. La plataforma consta de tres componentes básicos: un núcleo de cómputo, un paquete de sensores y un stack de protocolos de comunicación IVC (V2V, V2I).

III-A. Comunicaciones

Basado en el stack TCP/IP, el diseño de un stack de comunicaciones capaz de mantener comunicaciones V2x se divide en distintas capas divisibles en dos grupos:

- capas de red, ocupadas de la transmisión de la información
  - física, que define la interfaz con el medio físico de transmisión de datos.
  - control de acceso al medio, responsable de definir canales de comunicación y direccionamiento
  - transporte, responsable del enrutamiento de los paquetes de datos
- capa de aplicaciones adonde se definen los diferentes servicios de alto nivel expuestos a través de la plataforma. Ejemplos de esto serían servicios V2I para pagos (peajes), acceso a información de clima o navegación o de señalización estática (balizas); o servicios V2V de intercambio de información de seguridad e información del entorno.

Estas capas se ven acompañadas o atravesadas por la necesidad de proveer servicios de soporte como geolocalización o sincronización de reloj, de una manera segura, resistente a fallos y ataques.

III-A1. red: Para las capas de red el protocolo se apoyaría en el standard IEEE 802.11p, también llamado WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments)[14], aunque existen investigaciones que cuestionan su capa de transmisión y acceso al medio/[12], especialmente la utilizada para la transmisión V2V, por lo que posiblemente sea necesario utilizar algún protocolo especializado para la transferencia de ráfagas de paquetes unicast/multicast por radio[13].

III-A2. geolocalización: La geolocalización sería provista por una capa de abstracción, implementable a través de distintos proveedores, provisto que puedan otorgar el grado de precisión necesaria (¡10m de error) para proveer información suficientemente exacta como para ser accionable. Un ejemplo de esto es el sistema GPS Precise Positioning System (PPS) SIS, que provee aproximadamente 3.8 9.7m de error (P95).

III-B. Sensores

Los sensores se pueden dividir en dos grandes grupos, sensores del estado del vehículo y del estado del entorno. El uso combinado de LiDAR con Radares de banda milimétrica y cámaras permite detectar y alimentar al núcleo con información de distancia a los objetos del entorno y condiciones del terreno (Figura 3).

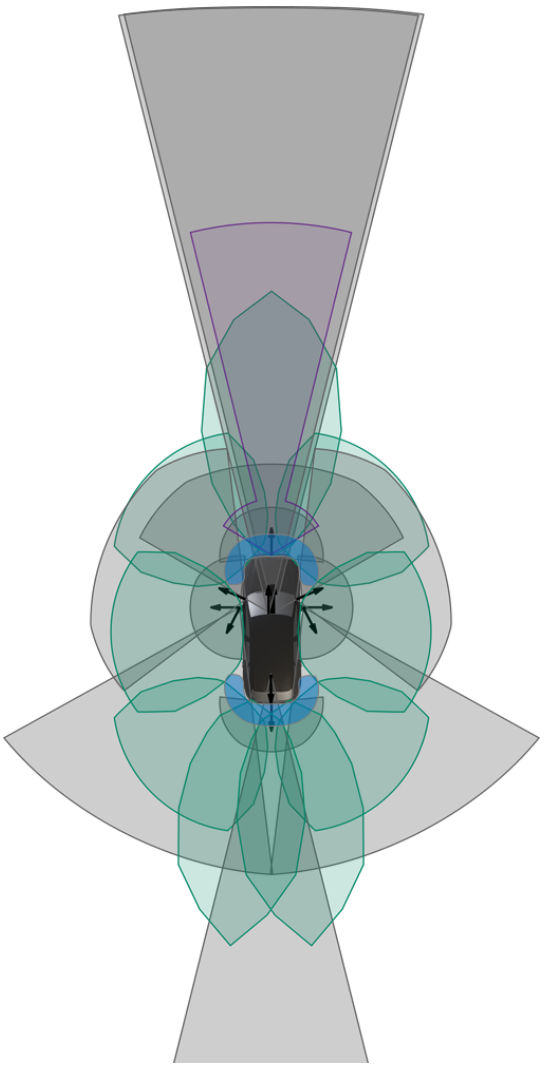


Figura 3. Paquete de Sensores combinados

Monitoreando las condiciones del vehículo es posible detectar eficientemente cambios de dirección y marcha, utilizando sensores en el sistema de frenos (algunos incluso ya existentes, como los utilizados por sistemas ABS) y de dirección (algunos también presentes en las direcciones asistidas), permitiendo comunicar eficientemente tanto cambios de trayectoria y velocidad como situaciones anormales como hidroplaneo.

El interior del vehículo también se monitoriza a través del uso de cámaras, para detectar patrones de cansancio, sueño y atención al camino, permitiendo advertir a terceros de situaciones adversas dentro del vehículo.

III-C. Núcleo de cómputo

El núcleo de cómputo de datos tiene la responsabilidad de fusionar de los datos de sensores, integrarla con la información recibida de la red, y la selección y renderizado de la información a presentar. Todo esto, manteniendo una tasa extremadamente baja de errores y fallas dada la criticidad de su operación, soportando estándares de la industria como ISO 26262.

Tanto la información de los múltiples sensores on-board como la recibida de manera remota debe compilarse y correlacionarse para obtener una fusión de datos que presente tanto el estado del vehículo como las condiciones del entorno. Esta información —priorizada y prefiltrada para evitar distracciones innecesarias— debe ser posicionada y renderizada de manera apropiada al conductor a través de las distintas pantallas.

Las capacidades de procesamiento necesarias ya se encuentran disponibles en los vehículos actuales con sistemas de asistencia avanzada de conducción (ADAS por sus iniciales en inglés) o autónomos (niveles SAE 2 o superiores). Un ejemplo de esto es la plataforma Drive de Nvidia (Figura 4).



Figura 4. Nvidia Drive Hyperion Core[23]

Nvidia Drive es una plataforma abierta de hardware y software para ADAS y vehículos autónomos, contando en su última versión con múltiples CPU/GPU, alcanzando las 300 TOPS (billones de operaciones por segundo) y 2000 TFLOPS (billones de operaciones de punto flotante por segundo) y la capacidad para manejar doce cámaras exteriores, tres cámaras interiores, nueve radares, doce sensores Doppler por ultrasonido y un LiDAR frontal, además de un LiDAR para la recopilación de datos absolutos del terreno. La plataforma está impulsada por un sistema en un chip (SoC) llamado Orin, diseñado para manejar la gran cantidad de aplicaciones y redes neuronales profundas que se ejecutan simultáneamente en vehículos y robots autónomos, al tiempo que logra estándares de seguridad sistemáticos como ISO 26262 ASIL-D [28].

IV. Prototipo: Protocolo Open V2X (OV2X)

El protocolo abierto extensible para vehículos (Open Vehicle to eXtension, OV2X por su sigla en inglés) propone una interfaz extensible de comunicaciones para el intercambio de información entre actores viales (principalmente vehículos) y la infraestructura que los rodea y gobierna. OV2X define una serie de servicios de base, y permite su extensión a través de servicios desarrollados por terceros, llamados *extensiones*. El protocolo especifica una API estándar, contemplando los mensajes soportados por los servicios de base para su uso tanto por integradores como implementadores de servicios V2X. Si bien está desarrollado sobre la pila TCP/IP, el protocolo es completamente agnóstico de la tecnología subyacente utilizada para transportar los datagramas. Los objetivos primordiales del protocolo son:

- minimizar el tamaño de los mensajes, para hacerlo operable en áreas remotas, donde el ancho de banda de conexión puede ser limitado.
- soportar múltiples modos de operación, necesarios para proveer distintos niveles de servicio y seguridad en distintos tipos de entorno de infraestructura (urbano, rural, remoto).
- permitir la interoperabilidad entre servicios V2X de distintos orígenes, soportando estándares abiertos desarrollados por entidades conocidas de la industria automotriz (como SAE y la FHWA), tanto como de las tecnologías de la información (ISO, IEC, IETF, IEEE).
- soportar internacionalización, para lo cual se seleccionó la integración con el diccionario abierto de mensajes para ITS propuesto por la norma SAE J2540/2[29]

IV-1. Presentación: Siendo un protocolo abierto, el formato seleccionado para su presentación es el de una RFC, alineada con los lineamientos definidos por la IEEE para su desarrollo y formato. Respecto de la representación de las interfaces en sí, y para mantener el protocolo lo más agnóstico posible de la tecnología de base, se seleccionó la sintaxis Abstract Syntax Notation One (ASN.1, definida en ITU-T X.680[30] y ISO/IEC 8824-1[31]), ámpliamente utilizada tanto en el ámbito de las tecnologías de la información (por ejemplo en IETF RFC-1157 o SNMP, RFC-4511 o LDAP, RSA PKCS), telecomunicaciones (IEEE 802.11, 3GPPP GSM/GPRS/EDGE/UMTS/LTE/5G) y en la industria automotriz (SAE J2735, NTCIP 1103, ETSI ITS)

IV-A. Servicios

El protocolo está orientado a servicios, que se ocupan de agrupar todas las funcionalidades y mensajes relativos a una temática en particular, como por ejemplo Transito, Clima, Servicios de Pago. Proveen también la extensibilidad al permitir el desarrollo de servicios por terceros. Dadas las distintas características de los servicios, pueden operar en tres modos distintos:

- Públicos: la información que envían es pública, lo que la hace cacheable y retransmitible de manera abierta por los routers a través de sus conexiones con pares y terminales (por ejemplo, información del clima y tránsito).
- Protegidos: la información del servicio está solo disponible para ciertos usuarios a través de conexiones seguras, pero es enrutable a través de las conexiones de router a router (por ejemplo, información de servicios pagos de terceros, o privilegiada de agencias de seguridad).
- Privados: los mensajes de estos servicios solo están disponibles en conexiones seguras de punta a punta, volviéndola disponible solamente cuando existe una conexión directa a la red (por ejemplo, para servicios de pago de peajes).

Los servicios también pueden funcionar de manera cliente-servidor, de distribución o descentralizada:

- Cliente-servidor opera en un modelo orientado a la conexión.
- Distribución opera de manera híbrida, trabajando como cliente-servidor entre los routers y los servidores, y por difusión para con las terminales. Provee una manera optimizada de distribuir información pública y regionalizada.
- Descentralizada opera como una red peer-to-peer, permitiendo a las terminales aisladas compartir información de servicios públicos cuando no existe infraestructura disponible.

IV-B. Redes y conectividad

El protocolo define tres tipos de nodo:

- Server: la columna vertebral de la red, responsable de proveer uno o varios servicios. Solo accesibles desde los routers.
- Router: los puntos de acceso a la red, proveen conectividad a servicios a las terminales sobre un área definida de cobertura y propagan los mensajes generados de manera local.
- Terminal: Nodo de usuarios, consume servicios y publica información generada localmente (Transito, posición) al router o a sus pares.

Basado en estos tres tipos de nodo, la red soporta tres diferentes topologías: árbol, estrella y malla, dependiendo de la infraestructura disponible. Cuando la conectividad es completa (como en un área urbana), se utiliza una topología de árbol, permitiendo el acceso a todos los servicios (Figura 5).

En la topología de estrella, solo se cuenta con acceso a infraestructura local pero no a internet (lo que la hace apta para autopistas y con conectividad limitada), por lo que ciertos servicios no serían accesibles.

Finalmente, en la topología de malla no se requiere de infraestructura, los nodos se conectan entre sí cuando están dentro del alcance y comparten información de servicios básicos y públicos (Figura 7).

IV-C. Seguridad

Las plataformas V2X, además de los requerimientos usuales de confidencialidad, integridad, autenticidad, autorización y no repudio; requieren de ciertas características especiales:

- Privacidad, especialmente referido a la trazabilidad de los usuarios.

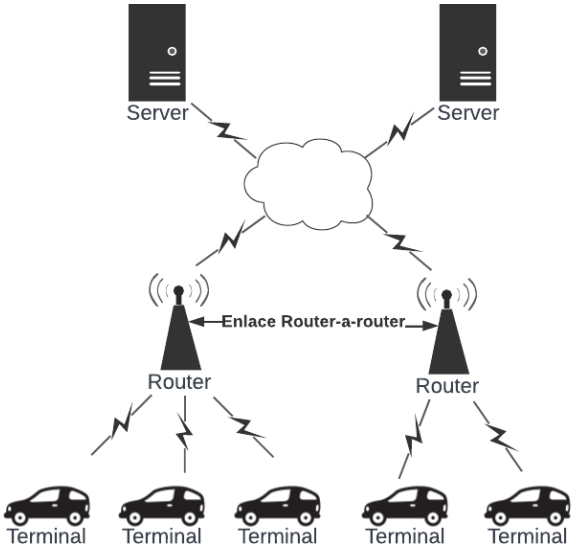


Figura 5. Topología de Árbol

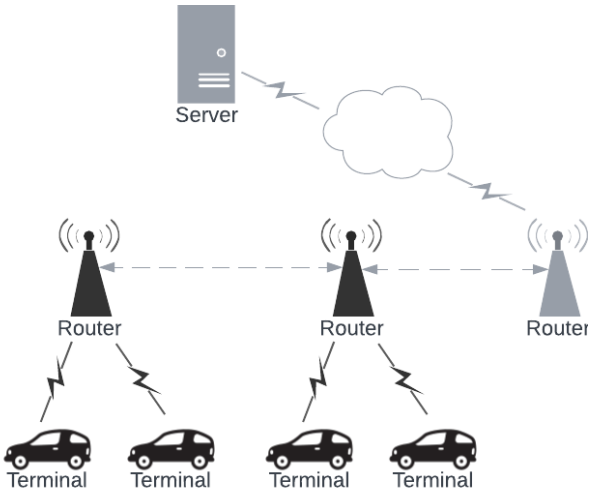


Figura 6. Topología de Estrella

- Anchos de banda limitados sobre conexiones intermitentes, ya que necesitan poder operar en áreas remotas con conectividad e infraestructura limitadas.
- Hardware especial, ya que buena parte de la infraestructura y hardware para vehículos tiene limitaciones especiales de costos y consumo de energía.

Los requisitos básicos son resueltos utilizando criptografía asimétrica, a través de certificados obtenidos por los clientes al iniciar una sesión en la plataforma.

Los requisitos mas importantes y difíciles de resolver son los de privacidad y legales, ya que el protocolo debe permitir que los actores sean trackeables *solo hasta cierto punto*, mientras que mantienen el control necesario para mantener el no-repudio de los mensajes. Para resolver esto se propone el uso de certificados por sesión, utilizando un pseudónimo generado al azar y un servicio independiente que mantenga el seguimiento de a quién pertenece el certificado.

Algunas de las funcionalidades no solo están disponibles solo

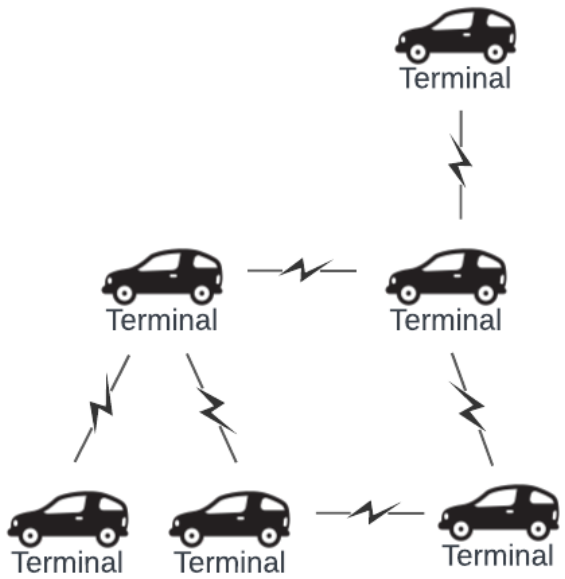


Figura 7. Topología de Malla

para ciertos usuarios sino también *solo en ciertas regiones*. Por ejemplo, para el servicio básico de mensajes de tránsito la lectura de los mensajes no requiere de permisos especiales ya que la información es pública, pero la emisión de alertas de vehículos de emergencia debe estar apropiadamente autenticada y autorizada solo para ciertas regiones. Por otro lado, en un escenario completamente distinto, un servicio de pago electrónico de peajes puede requerir que la accesibilidad al mismo sea regional, y todos sus mensajes son estrictamente confidenciales y cumplir las condiciones de integridad, autenticidad, autorización y no repudio.

V. Análisis y resultados

El análisis indica que la amplificación del alcance efectivo de los sensores a través del desarrollo de una plataforma de comunicación V2x permitiría reducir el tiempo de respuesta a incidentes, previniendo accidentes en las operaciones de mayor riesgo, como el ingreso o egreso de vías rápidas o intersecciones. Adicionalmente, la plataforma permitiría facilitar la atención de urgencias a través de señalización inteligente, dotando a los servicios de emergencia de maneras de liberar carriles de forma adelantada; admitiría el balizamiento a distancia de accidentes, agilizando el tránsito y reduciendo costos.

Desarrollar una plataforma de comunicación V2X tendría numerosos beneficios; pero conlleva ciertos costos asociados. Desde el punto de vista de la infraestructura, las instalaciones necesarias para implementar un sistema de tránsito inteligente es costosa, aunque comparable con el ahorro de costos relacionado a la reducción de accidentes y embotellamientos de tránsito. El uso de sensores Doppler y cámaras de proximidad/LiDAR es hoy en día un lugar común en

los vehículos de rango medio y alto, siendo utilizados para estacionamiento, control de carriles y medición de distancias de frenado; pero la situación es muy diferente en los vehículos económicos, adonde el costo de implantación de un paquete de sensores sería un costo sensible. El costoso hardware necesario para procesar la información se encuentra actualmente solo disponible en los vehículos inteligentes o de gamas mas altas, aunque su masificación permitiría reducir los costos. Finalmente, disponer de la información en el vehículo no sería necesario, hacer un uso apropiado de la misma requeriría el costo de desarrollo de una nueva experiencia de usuario (UX) junto con el diseño de la interfaz usuario-maquina (HMI) basada en Realidad Aumentada; lo que implicaría desarrollar las tecnologías necesarias para hacer del uso de HUDs una realidad accesible para vehículos de costo mediano a bajo.

Desde el punto de vista del paquete de sensores, no sería necesario más que aplicar un paquete de sensores similar al utilizado en la navegación y sistemas de piloto automático de los automóviles autónomos en la actualidad. Tesla actualmente presenta un arco completo de sensores combinando LiDAR, RaDAR, reconocimiento visual a través de cámaras para las distancias medias y largas, con sensores Doppler para distancias cortas. A esto se agrega la integración con sensores ya presentes en los vehículos dentro de los sistemas de asistencia de frenado y control de tracción para monitorizar de manera mas eficiente cambios de dirección, velocidad y condiciones del terreno.

Los motores actuales de fusión de sensores permiten la detección confiable de objetos a corta, media y larga distancia, alimentando al núcleo de cómputo con toda la información necesaria para mapear el entorno del vehículo, mientras que sensores y orígenes de datos internos (como el sistema de navegación, el velocímetro e indicadores de luces) proveen la información del estado del mismo. Toda esta nube de información es priorizada y filtrada para mostrar y transmitir las indicaciones necesarias en el momento correcto.

VI. Conclusión y trabajos futuros

La implantación de un sistema de tránsito inteligente que soporte V2X permite reducir la cantidad de accidentes (con la correspondiente pérdida de vidas), costos asociados a embotellamientos, y dotaría a los servicios de emergencias de una poderosa herramienta para administrar el tránsito. Aún estamos lejos de contar con las tecnologías necesarias para implementarlo de manera masiva debido a limitaciones técnicas y de costos, pero el diseño del protocolo de base permitiría guiar futuros desarrollos.

Referencias

[1] W. H. Organization, "Global status report on road safety 2018," https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684, 2018, accessed: 2022-03-30.

[2] I. Cambridge Systematics, *Crashes vs. Congestion – What's the Cost to Society?*, 4800 Hampden Lane, Suite 800 Bethesda, Maryland 20814, Nov 2011. [Online]. Available: http://exchange.aaa.com/wp-content/uploads/2012/07/AAA-Crashes-vs-Congestion-2011.pdf

[3] S. Andrews, M. Cops, and V. I. I. Consortium, *Vehicle infrastructure integration proof of concept: Results and findings summary-vehicle. Final report*, May 2009, no. FHWA-JPO-09-043. [Online]. Available: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/3984

[4] D. Böhmländer, S. Hasirlioglu, V. Yano, C. Lauerer, T. Brandmeier, and A. Zimmer, "Advantages in crash severity prediction using vehicle to vehicle communication." Rio de Janeiro, Brazil: IEEE, Jun 2015. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/7272562

[5] y. A. M. L. Abdi, F. B. Abdallah, "In-vehicle augmented reality traffic information system: A new type of communication between driver and vehicle," https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915034857, pp. 242–249, Jan. 2015, accessed: 2022-03-29.

[6] X. Ma, Z. Hong, J. Huang, J. He, J. Song, and M. Jia, "The impact of arhud intelligent driving on the allocation of cognitive resources under the breakthrough of 5g technology," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1982, no. 1, p. 012024, Jul 2021.

[7] A. Riegler, K. Weigl, A. Riener, and C. Holzmann, "Stickywsd: Investigating content positioning on a windshield display for automated driving," Virtual Event Essen, Germany, Nov 2020.

[8] F. Schwarz and W. Fastenmeier, "Augmented reality warnings in vehicles: Effects of modality and specificity on effectiveness," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 101, p. 55–66, Apr 2017.

[9] C. Sommer and F. Dressler, *Vehicular Networking*. Cambridge University Press, 2015.

[10] S. Farahani, *Chapter 1 - ZigBee Basics*. Burlington: Newnes, Jan 2008, p. 1–24. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750683937000017

[11] A. Sable, "Comparative study on ieee standard of wpan," *International Journal for Research in Emerging Science and Technology*, vol. 1, no. 1, p. 4, 2014.

[12] A. Abdelgader and L. Wu, *The Physical Layer of the IEEE 802.11p WAVE Communication Standard: The Specifications and Challenges*, Oct 2014, vol. 2, journalAbbreviation: Lecture Notes in Engineering and Computer Science.

[13] S. Boyd, J. Ellis, and M. Pursley, "A protocol for adaptive multicast transmission in packet radio networks," Oct 2010, p. 708–713.

[14] "Ieee standard for wireless access in vehicular environments (wave) architecture," Tech. Rep., Apr 2019.

[15] E. T. S. I. (ETSI), "Intelligent transport systems (its); vehicular communications; basic set of applications; definitions," Francia, Tech. Rep. TR 102 638, Jun 2009. [Online]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102600_102699/102638/01.01.01_60/tr_102638v010

[16] X. Chen, T. Zhang, Y. Wang, Y. Wang, and H. Zhao, "Futr3d: A unified sensor fusion framework for 3d detection," Mar 2022. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2203.10642v1

[17] D. Parekh, N. Poddar, A. Rajpurkar, M. Chahal, N. Kumar, G. P. Joshi, and W. Cho, "A review on autonomous vehicles: Progress, methods and challenges," *Electronics*, vol. 11, no. 1414, p. 2162, Jan 2022.

[18] A. Ghasemieh and R. Kashef, "3d object detection for autonomous driving: Methods, models, sensors, data, and challenges," *Transportation Engineering*, vol. 8, p. 100115, Jun 2022.

[19] S. Chowdhry, "Optimisation of distance measurement in autonomous vehicle using ultrasonic and lidar sensors," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2022.

[20] M. K. Henry Alexander Ignatious, Hesham-El-Sayed, "An overview of sensors in autonomous vehicles," https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921025540, pp. 736–741, 2022, accessed: 2022-03-29.

[21] Z. Wei, F. Zhang, S. Chang, Y. Liu, H. Wu, and Z. Feng, "Mmwave radar and vision fusion for object detection in autonomous driving: A review," *Sensors*, vol. 22, no. 7, 2022. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/1424-8220/22/7/2542

[22] A. Vaibhav Malawade, T. Mortlock, and M. Abdullah Al Faruque, *HydraFusion: Context-Aware Selective Sensor Fusion for Robust and Efficient Autonomous Vehicle Perception*. ACM/IEEE, 2022, aDS Bibcode: 2022arXiv220106644V, type: article. [Online]. Available: https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022arXiv220106644V

[23] "Drive hyperion autonomous vehicle development platform," Jan 2019. [Online]. Available: https://developer.nvidia.com/drive/drive-hyperion

[24] R. Bell, "Introduction to iec 61508," in *Acm international conference proceeding series*, vol. 162, 2006, pp. 3–12.

[25] P. Kafka, "The automotive standard iso 26262, the innovative driver for enhanced safety assessment & technology for motor cars," *Procedia Engineering*, vol. 45, p. 2–10, Jan 2012.

[26] B. Group, "Bmw 5 series at bmw welt pr," https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0267886EN/, 2017, accessed: 2022-04-12.

[27] M.-B. Group, "Head-up display: Info in focus," https://group-media.mercedes-benz.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Head-up-display-Info-in-focus.xhtml?oid=9904470, 2014.

[28] “Nvidia introduces drive agx orin — advanced, software-defined platform for autonomous machines.” [Online]. Available: http://nvidianews.nvidia.com/news/nvidia-introduces-drive-agx-orin-advanced-software-defined-platform-for-autonomous-machines
[29] V. C. T. Committee, “Itis (international traveler information systems) phrase lists,” Tech. Rep. J2540/2, 12 2020. [Online]. Available: https://www.sae.org/standards/content/j2540/2_202012/
[30] “X.680: information technology - abstract syntax notation one (asn.1).” [Online]. Available: https://www.itu.int/rec/T-REC-X.680
[31] “Iso/iec 8824-1:2021: Information technology — abstract syntax notation one (asn.1).” [Online]. Available: https://www.iso.org/standard/81416.html