



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

ELO322 - REDES DE COMPUTADORES I

Proyecto Final
Controller Area Network

Alonso Rodríguez Barreda	ROL: 201321060-0
Manuel Arriagada Ramos	ROL: 201573032-6
Valentina Tapia Brizuela	ROL: 201630011-2

28 de Agosto, 2017

Resumen

El estándar de comunicación *Controller Area Network* (CAN) es un protocolo de comunicación serial descentralizado del tipo CSMA/CD[1]. Creado en el año 1983 por la compañía BOSCH en respuesta a requerimientos de la industria automovilística por estándares de comunicación de alta robustez frente a ambientes hostiles, sin descuidar el costo de implementación y la velocidad de transmisión.

Su desarrollo permite reducir en forma considerable el cableado interno de los automóviles y uniformizar los marcos de comunicación entre sus distintos dispositivos internos. Dadas sus cualidades de robustez logra una rápida adhesión en su utilización por parte de otras industrias, posicionándolo hoy en día como el protocolo por defecto para dispositivos automovilísticos junto a su sistema de diagnóstico a bordo (OBD), así como un amplio uso en aplicaciones de control industrial.

Introducción

Existen variadas implementaciones de la filosofía del protocolo de comunicación CAN, siendo la mas popular la implementación de alta velocidad *High-Speed CAN*. La distribución del estándar se encuentra regulada bajo la norma ISO 11898-1 [2]

Como se observa en la figura 1 las redes CAN implementan solo las dos primeras capas del modelo OSI. La capa física queda determinada principalmente por

un *CAN transceiver*, diseñado en *hardware* bajo las especificaciones de la norma y que se encarga de generar y controlar las señales eléctricas que transitan el canal de transmisión. Por su parte la implementación del *Data Link* queda determinada por un *CAN controller*, el cuál puede formar parte de un dispositivo de mayor nivel o presentarse como un circuito integrado dedicado. Es tarea del *CAN controller* implementar los requerimientos del protocolo que garantizan el transpaso de información desde un nodo a otro resguardando el correcto funcionamiento de la red segun se describe en la norma ISO 11898-2 [3]

Características

- Sencillo: Tiene como objetivo minimizar la complejidad del cableado, además de poseer una programación sencilla, reduciendo en gran medida los costos monetarios.
- Estandarizado: Se trata de un estándar definido en las normas ISO 11898, que se divide a su vez en varias partes, cada una de las cuales aborda diferentes aspectos de CAN.
- Medio de transmisión adaptable: El sistema de bus CAN es capaz de trabajar con un par trenzado de cables, o bien, con uno solo de ellos. Esta particularidad es empleada en diversos tipos de enlaces, como los

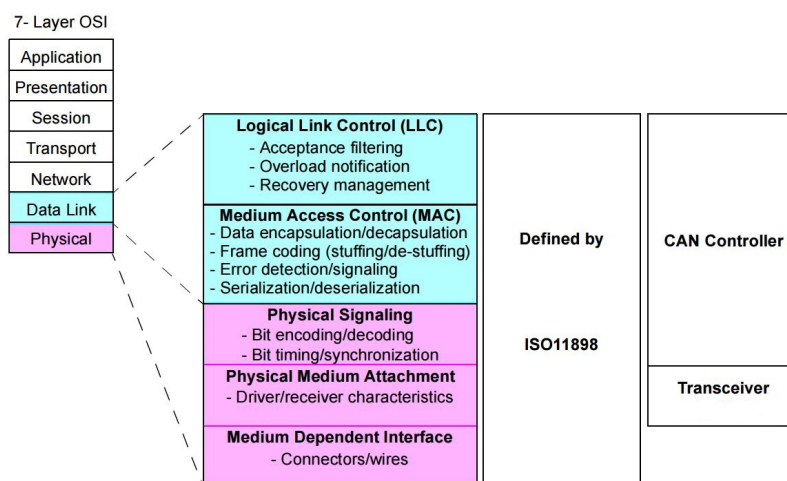


Figura 1: CAN segun el modelo por capas OSI

enlaces ópticos o los enlaces de radio.

- Estructura definida: La información que circula entre las unidades a través de los dos cables (bus) son paquetes de bits (0's y 1's) con una longitud limitada y con una estructura definida de campos que conforman el mensaje.
- Número de nodos: Es posible conectar hasta 110 dispositivos en una sola red CAN.
- Prioridad de Mensajes: El envío de mensajes para distribuirlos en la red es según la prioridad de cada uno de estos, optimizando el ancho de banda disponible.
- Entrada y salida de nodos: Si un nodo presenta una falla, este es desconectado sin que afecte el funcionamiento de la red. Similarmente, se pueden añadir nodos sin afectar al resto del sistema.
- Velocidad flexible: ISO define dos tipos de redes CAN: una red de alta velocidad (de hasta 1 Mbps) definida por la ISO 11898-2, y una red de baja velocidad tolerante a fallo
- Orientado a mensajes: Se trata de un protocolo orientado a mensajes, y no a direcciones.
- Multidifusión (multicast): Permite que todos los nodos puedan acceder al bus de forma simultánea con sincronización de tiempos.
- Medio compartido (broadcasting): La información es enviada en la red a todos los destinos de forma simultánea.

- Detección y señalización de errores: Una de las principales ventajas de CAN, es su sistema de detección de errores, posee 5 mecanismos para detectar fallas, con la capacidad de señalarlas. Además puede retransmitir, de manera automática, las tramas erróneas.

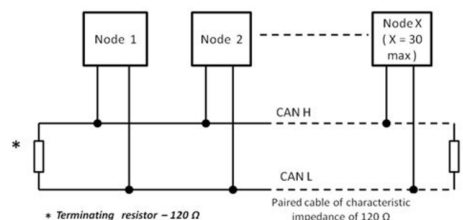


Figura 2: Red CAN

Capa física

La capa física, a diferencia de la capa de enlace, no está totalmente establecida. El estándar ISO 11898 define aspectos como codificación, temporización y sincronización de bit correspondientes a la subcapa *Physical Signaling (PS)*. Las otras dos subcapas fueron dejadas fuera de la especificación, permitiendo a los diseñadores de sistemas optimizar el medio de transmisión para su aplicación. A medida que la especificación CAN creció en popularidad, se crearon estándares de la capa física de CAN para facilitar el desarrollo de redes y dispositivos.

La red CAN posee una topología bus de dos cables a los cuales son conectados los nodos en paralelo. Esta red posee un sistema “multimaestro”, es decir, todos los nodos tienen control en el bus y son capaces de transmitir información. El bus es cerrado en los extremos con impedancias de carga para evitar la reflexión de algunas señales transmitidas.

Cables : Algunos cables sugeridos para el bus son los cables paralelos, trenzados con o sin blindado. Las señales transmitidas por estos cables se denominan CAN_H (CAN High) y CAN_L (CAN Low). Cuando el bus CAN está en modo inactivo, ambas líneas transportan 2,5V. Cuando se transmiten bits de datos, la línea CAN_H pasa a 3,75V y CAN_L cae a 1,25V, generando así un diferencial de 2,5V entre las líneas. Dado que la comunicación se basa en tensión diferencial entre las dos líneas de bus, el bus CAN no es sensible a ruidos electromagnéticos. Esto hace del bus CAN una opción fiable para comunicaciones en red en equipos móviles.[4]

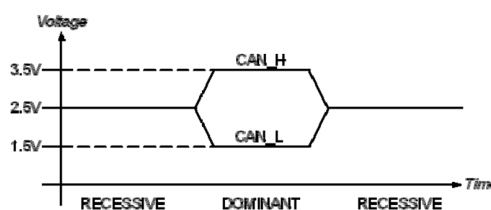


Figura 3: CAN High y CAN Low

Conectores: Los conectores se utilizan para conectar un participante de bus CAN a la línea de bus CAN. El estándar CAN, no especifica ningún tipo de conector para el bus y por lo tanto cada aplicación puede tener un conector distinto. Sin embargo, hay varios formatos comúnmente aceptados como el conector DB-9 en el cual el pin 3 y 5 son usados para la señal CAN_L y CAN_H respectivamente.

Relación distancia-velocidad: La velocidad de transmisión depende de la distancia hasta un máximo de 1000 metros. Mientras más pequeña sea el largo de los cables, mayor será la velocidad de transmisión. En la siguiente tabla podemos corroborar lo anteriormente dicho.

Velocidad (Kbps)	Longitud del bus (m)
1000	40
500	100
100	500
50	1000
20	2500
10	5000

Tabla 1. Tasa de transmisión vs largo del bus

Tramas

En un bus CAN existen cuatro tipos de tramas:

1. Trama de datos (*Data frame*) : Información útil que se transmite a todos los demás nodos. Puede incluir entre 0 y 8 Bytes de información. Es formada por los siguientes campos: Inicio de trama (SQF), arbitraje (identificador), control, datos, CRC, ACK, fin de trama (EQF).
2. Trama de error (*Error frame*): Se transmite cuando un nodo detecta un error en un mensaje y hace que todos los demás nodos de la red también manden una trama de error. Tiene dos campos: Indicador de error (*Error Flag*), que es distinto según el error, y “delimitador de error” que permite a los nodos reiniciar la comunicación limpiamente tras el error.
3. Trama remota (*Remote frame*) : El objetivo de la trama de información remota es solicitar la transmisión de datos desde un nodo a otro. Esta trama es similar a la trama de datos, con dos diferencias. En primer lugar, este tipo de mensaje está marcado explícitamente por un bit RTR((*Remote Transfer Request*), y en segundo lugar no contiene datos.
4. Trama de sobrecarga (*Overload Frame*) : Es similar a la trama de error con respecto a su formato, y es transmitido por un nodo que se encuentra demasiado ocupado. Se utiliza principalmente para proporcionar un retraso adicional entre los mensajes.

CSMA/CD+CR

El algoritmo de acceso al medio compartido que utiliza CAN se denomina Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection + Collision Resolution (Acceso Múltiple con detección de portadora, detección de colisión más Resolución de colisión), más conocido como CSMA/CD+CR.

- Acceso Múltiple: Cada nodo en el bus tiene la misma oportunidad de transmitir un mensaje.
- Detección de Portadora: Todos los nodos deben vigilar el bus para identificar si está siendo utilizado, si no existe actividad en este, esta permitido enviar mensajes.
- Detección de Colisión: En caso de que dos nodos empiezen a transmitir un mensaje al mismo tiempo, ocurriera una colisión entre ambos, está será detectada por CAN debido a la detección de colisiones.
- Resolución de Colisión: Permite identificar entre las tramas en colisión cual es la que posee mayor prioridad, evitando que esta se pierda.

El método de arbitraje que utiliza CR para identificar la trama de mayor prioridad se basa en una topología eléctrica que aplica una función lógica determinista a cada bit, que se resuelve con la prioridad

del nivel definido como bit de tipo dominante. Definiendo el bit dominante como equivalente al valor lógico '0' y bit recesivo al nivel lógico '1' se trata de una función AND de todos los bits transmitidos simultáneamente. Cada transmisor escucha continuamente el valor presente en el bus, y se retira cuando ese valor no coincide con el que dicho transmisor ha forzado. Mientras hay coincidencia la transmisión continúa, finalmente el mensaje con identificador de máxima prioridad sobrevive. Los demás nodos reintentarán la transmisión lo antes posible.

Gestión de Errores

Cuando un nodo presenta un error, se han incorporado a CAN medidas de aislamiento para tratar con tales nodos, gestionadas por los controladores integrados a ellos. Esto tiene como objetivo evitar que el funcionamiento del resto de la red se vea afectado. Un nodo puede encontrarse en uno de los tres estados siguientes en relación a la gestión de errores:

- Error Activo (Error Active): Es el estado normal de un nodo. Participa en la comunicación y en caso de detección de error envía una trama de error activa
- Error pasivo (Error Passive): Un nodo en estado de error pasivo participa en la comunicación, sin embargo ha de esperar una secuencia adicional de bits recesivos antes

de transmitir y sólo puede señalar errores con una trama de error pasiva.

- Anulado (Bus Off): En este estado, deshabilitará su transceptor y no participará en la comunicación.

Para determinar el estado en que se encuentra un nodo, se implementaron dos contadores en el controlador de comunicaciones, un contador de error de transmisión (TEC) y un contador de errores de recepción (REC). Si existe un éxito en la transmisión de una trama, el contador TEC disminuirá, en cambio, si existe un error, este aumentará. El contador REC funciona de manera similar, pero analiza la recepción de tramas. Cuando los valores de ambos contadores llegan a cierto valor, este determinará en que estado debe estar el nodo en cuestión.

Higher Layer Protocols

Debido a que el estándar de comunicación CAN solo regula las transacciones a bajo nivel surge la necesidad de definir y estandarizar el significado de los mensajes enviados, así como la acción que deberá realizar un nodo en respuesta a estos.

En ambientes industriales surgen iniciativas como CAN OPEN, DEVICE-NET, etc. que establecen una serie de requisitos para que un nodo se incorpore a la red, en base a esto surgen fabricantes que ofrecen dispositivos compatibles con el objetivo de acelerar y facilitar la implementación. En la industria automotriz el

HLP con que se comunican los distintos dispositivos que conforman el automóvil son en general diseñados por cada empresa por separado y de carácter confidencial.

Pruebas

Para la realización de las pruebas se emplea una Controller Area Network en desarrollo utilizada en un proyecto conducido por el Centro Avanzado de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, AC3E (www.ac3e.cl). Se generan diversos tipos de *frames* y se observa su propagación en un osciloscopio con decodificación serial para facilitar el entendimiento de los datos transmitidos.

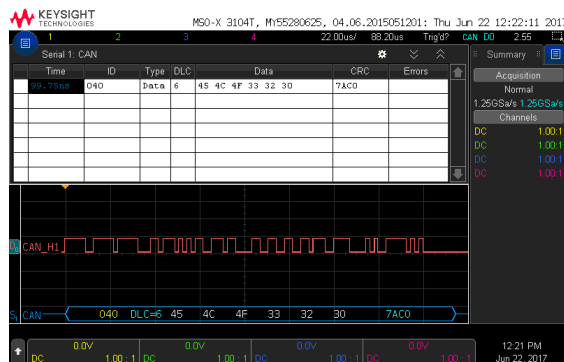


Figura 4: *Frame* de datos estándar

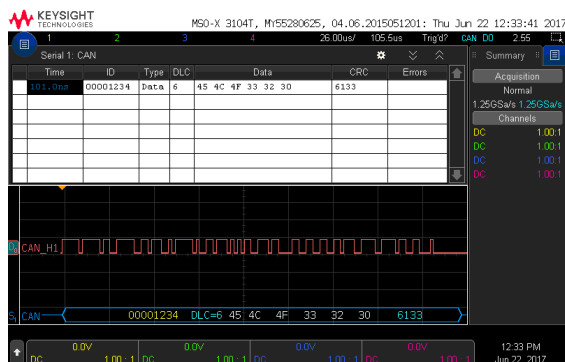


Figura 5: *Frame* de datos extendido

En la figura 4 se observa el *frame* de transmisión estándar. En este caso el *ID* es $0x40$ y se transmiten seis datos. De igual forma se observa en la figura 5 un *frame* de transmisión de datos extendido, en este caso el campo *ID* es de $0x1234$, el cual no puede ser contenido en un *frame* estándar.

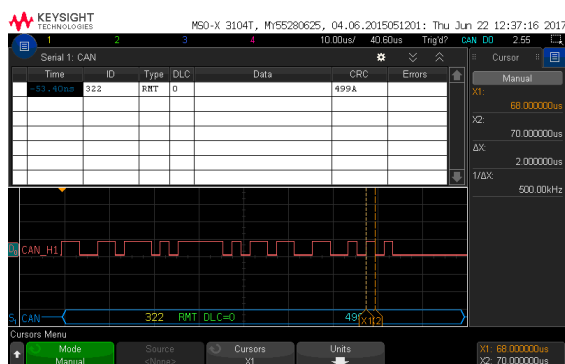


Figura 6: *Frame* de solicitud de transmisión remota

El *frame* de requerimiento de transmisión remota (RTR) es de tamaño considerablemente menor como se observa en la figura 6, debido a esto su utilización

resulta en una implementación más rápida cuando se tiene un sistema en que un nodo actúa de unidad de recopilación y procesamiento de datos.

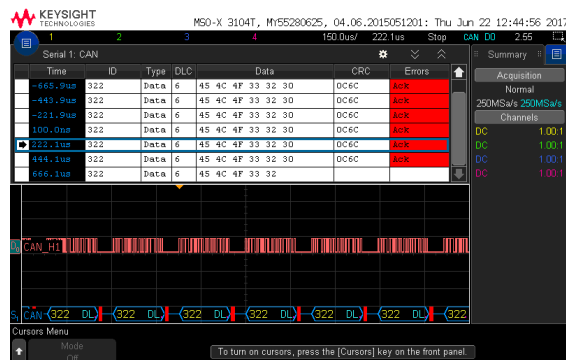


Figura 7: *Frame* de error por *Acknowledge*

Para simular un error de conexión se desconectan los demás nodos de la red. De esta forma al momento de transmitir mensajes se generan errores continuos de *Acknowledge* como se observa en la figura 7. En esta situación el contador TEC alcanza un valor de 128, por lo que el nodo entra en estado *error passive*.

Referencias

- [1] Steve Corrigan. SLOA101A - Introduction to the Controller Area Network (CAN). Technical report, Texas Instruments, 2002.
- [2] International Organization for Standardization. ISO 11898-1 Road vehicles – Controller area network (CAN)

- Part 1: Data link layer and physical signalling. Technical report, 2003 - 2006 - 2015.
- [3] International Organization for Standardization. ISO 11898-2 Road vehicles – Controller area network (CAN) – Part 2: High-speed medium access unit. Technical report, 2003 - 2016.
- [4] Q&A – What is CAN? Technical report, Axiomatic Technologies Corporation, 2006.