

# Giao thức truyền thông trong kiến trúc ADAS hiện đại



**Chanakya Mehta**

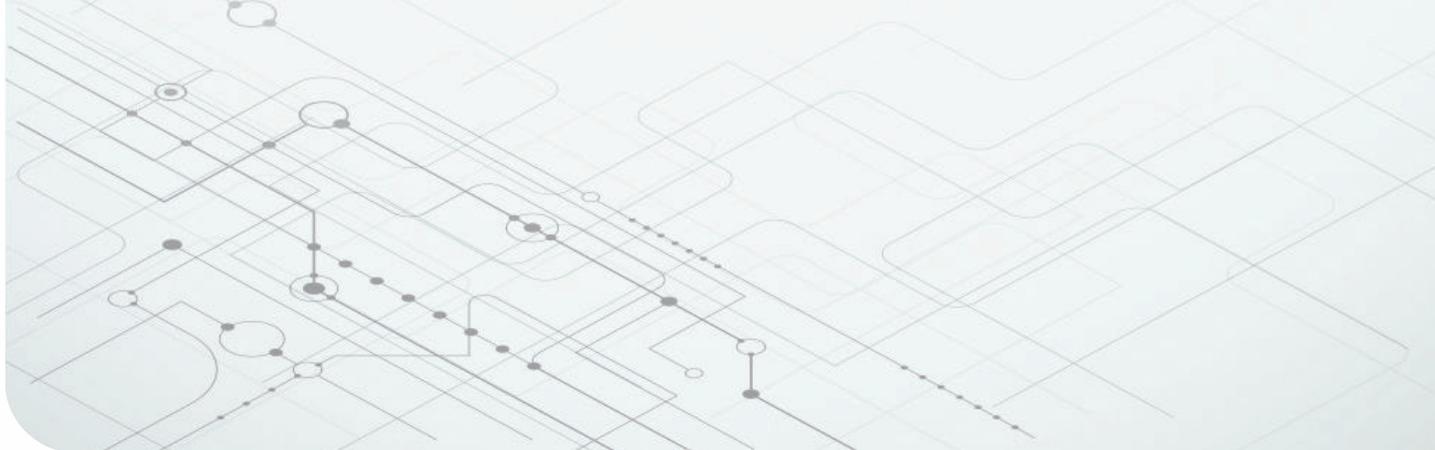
Systems and applications manager  
FPD-Link™ SerDes

**Shannon Lippincott**

Product marketing engineer  
Transceivers

**Connie Lu**

Product marketing engineer  
PCIe products



# Phương tiện hiện đại dựa vào các công nghệ giao tiếp ô tô tốc độ cao giúp truyền tải dữ liệu nhanh và xa hơn để tăng tính an toàn và tự chủ của xe.

## Tóm tắt

Tài liệu này phân tích bốn giao thức truyền thông ô tô và cách các giao thức này cùng tồn tại để cải thiện tính an toàn và tự chủ của xe.

- 1 Ethernet**  
Ethernet cho phép truyền dữ liệu tốc độ cao qua toàn bộ xe
- 2 Công nghệ FPD-Link**  
Liên kết màn hình phẳng (FPD-Link) tổ chức, hợp lý hóa dữ liệu từ các đầu vào của camera với dữ liệu không nén, theo thời gian thực.
- 3 Giao thức bus CAN**  
Mạng vùng điều khiển (CAN) ưu tiên dữ liệu từ nhiều bộ điều khiển điện tử (ECU).
- 4 Công nghệ PCIe**  
Kết nối nội thành phần ngoại vi nhanh (PCIe) đáp ứng các yêu cầu về hiệu năng băng thông cao, độ trễ cực thấp.

## Giới thiệu

Các linh kiện điện trong phương tiện được giới thiệu lần đầu vào năm 1915, khi Ford Motor Co. giới thiệu đèn điện và còi điện cho xe ô tô mẫu T. Kể từ đó, sự phụ thuộc vào các hệ thống điện và điện tử trong ô tô đã tăng lên đều đặn. Các hệ thống ban đầu thường có tính cục bộ và độc lập – một công tắc điều khiển đèn pha kết nối trực tiếp với pin, hay một bộ loa đơn điệu được điều khiển bằng rơ-le.

Cùng với sự tiến bộ của kiến trúc, các cơ chế truyền thông của các hệ thống phụ trong xe cũng phát triển theo.

Chẳng hạn, nếu phát hiện ra ánh sáng xung quanh bên ngoài xe giảm đi, xe có thể tự động bật đèn pha, nhưng đây chưa phải là tất cả. Xe còn có thể điều chỉnh độ sáng trên tất cả màn hình, điều chỉnh cân bằng trắng của tất cả camera, tăng khoảng cách duy trì đối với xe phía trước và nhấn mạnh mô-đun phanh, tất cả để tạo nên một trải nghiệm lái xe an toàn hơn.

Cùng với công cuộc theo đuổi sự phát triển của xe tự lái, trách nhiệm của truyền thông an toàn, bảo mật và sát với thời gian thực càng trở nên lớn hơn. Thách thức này chỉ trở nên nghiêm trọng hơn bởi thực tế là số lượng dữ liệu được truyền và nhận không còn ở mức trăm kilobit mỗi giây, nhưng ở mức hàng chục gigabit mỗi giây.

Trong tài liệu này phân tích bốn giao thức truyền thông ô tô: Ethernet, công nghệ FPD-Link™ (một giao thức nối tiếp hóa/song song hóa (SerDes) cho ô tô độc quyền), bus CAN và bus PCIe, nêu bật các điểm khác biệt cốt lõi của mỗi công nghệ và cung cấp các ví dụ và tính năng mà ở đó các công nghệ này hỗ trợ kiến trúc hệ thống hỗ trợ người lái ô tô (ADAS) hiện đại như được minh họa trong

### Hình 1.



**Số liệu 1.** Công nghệ giao thức truyền thông được nhấn mạnh trong phương tiện.

## Ethernet

Ethernet là một trong những giao diện tốc độ cao phổ biến nhất trong nhà và văn phòng, và hiện đang trở thành một giao thức truyền thông nổi trội cho phương tiện. Một số xe sử dụng Ethernet để truyền tải nhiều dạng dữ liệu tốc độ cao; các ứng dụng ô tô như các mô-đun radar và lidar sử dụng công nghệ Ethernet một cặp. Ethernet một cặp sử dụng tiêu chuẩn Ethernet, nhưng dữ liệu được truyền qua một cặp dây dẫn xoắn, cho phép giảm trọng lượng và chi phí dành cho cáp của phương tiện.

Ethernet là một hệ thống được gói hóa, trong đó các gói nằm giữa các nút trên các phần khác nhau của thông tin truyền tải của mạng. Cũng giống như bus CAN, Ethernet có hai chiều và tốc độ khả thi trên các liên kết riêng lẻ giảm xuống khi số lượng nút trên hệ thống tăng lên. Đối với Ethernet một cặp, tốc độ trên một liên kết riêng lẻ bị giới hạn ở một tốc độ cụ thể (10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps) và không xuất hiện thay đổi linh động về tốc độ nào trên liên kết. Tuy nhiên, Ethernet một cặp có thể truyền dữ liệu qua một liên kết nhanh hơn đến 1.000 lần so với bus CAN. Việc thay đổi sang Ethernet một cặp sẽ tối ưu hóa tốc độ truyền dữ liệu hơn bus CAN, nhưng do chi phí trên mỗi nút của Ethernet cao hơn, công nghệ có thể sẽ không thay thế – nhưng sẽ bổ sung – cho bus CAN.

Ngày nay, một số xe sử dụng Ethernet một cặp cho các yêu cầu đòi hỏi cao về dữ liệu như camera sao lưu và radar. Ví dụ: **DP83TC812S-Q1** và **DP83TG720S-Q1** từ Texas Instruments (TI) là các lớp vật lý (PHYs) Ethernet một cặp, được sàng lọc đến Automotive Electronics Council-Q100 cấp 1 và 2, và bao gồm chế độ kiểm tra vòng lặp để tạo điều kiện giúp chẩn đoán hệ thống tuân thủ các tiêu chuẩn ô tô 802.3bw và 802.3bp của Viện các kỹ sư điện và điện tử (IEEE). Để truyền video qua mạng Ethernet, ngay cả khi chỉ có một kênh video được truyền tải, video phải được nén tại nguồn và sau đó được giải nén tại đích để tránh vượt quá giới hạn băng thông Ethernet, khác với công nghệ FPD-Link™ cho phép truyền dữ liệu video không nén. Đối với ứng dụng như camera dự

phòng, cần có bộ xử lý công suất tương đối cao trong camera để nén hình ảnh đủ để đưa vào mạng Ethernet.

Nhu cầu về một bộ xử lý công suất cao có nghĩa là camera sẽ có kích thước lớn hơn và đắt tiền hơn. Camera sẽ có công suất tiêu tán cao hơn so với cách tiếp cận không đòi hỏi phải xử lý hình ảnh nhiều. Một bất lợi khác của giải pháp này là quá trình nén và giải nén video sẽ thêm độ trễ vào liên kết. Nếu nhiều camera hoặc các nguồn video khác cùng chia sẻ một mạng Ethernet, sẽ có sự đánh đổi giữa mức độ nén (và tương ứng là chất lượng video) và số lượng kênh video được hỗ trợ. Có thể giảm thiểu giới hạn này bằng cách thiết lập nhiều mạng trong xe hơi theo cấu hình phân cấp. Có thể có một mạng chỉ xử lý điều khiển và chẩn đoán động cơ, mạng thứ hai xử lý các thông tin giải trí ở ghế sau và hệ thống âm thanh, và một mạng khác xử lý các chức năng hỗ trợ người lái như camera cải thiện tầm nhìn. Cuối cùng, Ethernet một cặp cung cấp dung lượng cao hơn bus CAN để truyền tải dữ liệu như radar và lidar, đánh đổi bằng tính phức tạp của hệ thống, nhưng vẫn gặp khó khăn trong việc xử lý các ứng dụng băng thông cao nhất như video.

## Công nghệ FPD-Link

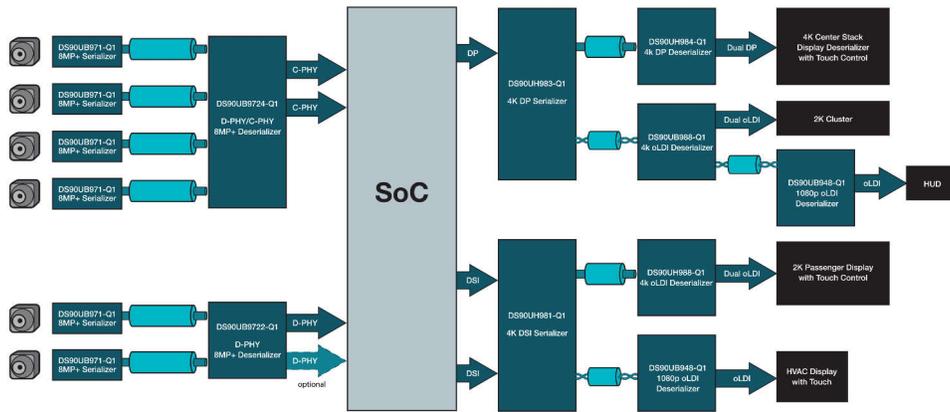
FPD-Link là công nghệ SerDes ô tô độc quyền được phát triển để truyền tải dữ liệu băng thông cao không nén và theo thời gian thực. Cụ thể hơn, FPD-Link được phát triển để truyền dữ liệu video trong ô tô, cho phép phân tích và xử lý dữ liệu nâng cao trong các ứng dụng hỗ trợ người lái. Ví dụ: công nghệ này có thể được sử dụng để gửi video không nén đến một màn hình trong khi kênh trở lại gửi thông tin từ một camera hướng ra ngoài đến bộ xử lý. Bộ xử lý này sử dụng các thuật toán và xử lý hình ảnh để gửi tín hiệu lệnh trở lại ô tô hoặc mạch lái, chẳng hạn để phanh tự động. Lớp vật lý cho FPD-Link là một cặp xoắn đôi hoặc cáp đồng trục. Dây dẫn được dành riêng, vì vậy khi sử dụng FPD-Link cho camera dự phòng, một cáp sẽ đi từ camera đến bộ xử lý và cáp thứ hai sẽ đi từ bộ xử lý đến màn hình trong cabin. Ưu điểm lớn của việc sử dụng FPD-Link trong ứng dụng này là cả camera và màn hình

đều có thể là các mạch đơn giản hơn nhiều vì không cần phải nén và giải nén.

Thêm vào đó, vì các liên kết được dành riêng nên chất lượng hình ảnh của một hệ thống video không phụ thuộc vào những điều khác đang diễn ra trên xe. FPD-Link có băng thông kênh chuyên tiếp là 25 Gbps+ và một kênh trở lại tốc độ thấp đồng thời. Có thể sử dụng kênh trở lại để truyền một bus I2C ở 400 kbps hoặc kênh này có thể điều khiển các tuyến GPIO ở tốc độ lên đến 1 Mbps. Có thể sử dụng kênh trở lại để cấu hình camera, điều khiển ống kính thu phóng hoặc gửi thông tin màn hình cảm ứng trở lại bộ điều khiển mà không làm gián đoạn luồng dữ liệu video trên kênh phía trước. Đối với các phương tiện điều khiển tự động, một yếu tố quan trọng khác là độ trễ của liên kết. Quy trình xử lý cần thiết để nén và giải nén hình ảnh sẽ tăng thêm độ trễ này. Đối với ứng dụng như giải trí tại ghế sau, độ trễ trong việc đọc dữ liệu từ DVD và hình ảnh hiển thị trên màn hình là không quan trọng. Tuy nhiên, nếu hình ảnh được vận chuyển là từ camera phát hiện người đi bộ xuất hiện ở hành trình phía trước xe, độ trễ này có dẫn đến hậu quả nghiêm trọng. FPD-Link là lựa chọn hoàn hảo

cho các liên kết mà ở đó băng thông cao và độ trễ thấp là những yếu tố quan trọng nhất. Ngoài ra, khả năng hỗ trợ một kênh và nguồn trở lại qua kết nối cáp xoắn đôi hoặc cáp đồng trục đơn giản hóa việc đi dây và có thể giúp giảm độ phức tạp tổng thể của thiết kế hệ thống.

**Hình 1** hiển thị bộ xử lý video OMAP™ được kết nối với hai camera khác nhau và một màn hình với một cáp xoắn đôi đi đến từng thiết bị ngoại vi. Cáp xoắn đôi này hỗ trợ dữ liệu video của camera và dữ liệu thiết lập của camera hoặc màn hình cảm ứng. Cáp cũng có thể cấp nguồn cho màn hình hoặc camera. Vì mỗi liên kết được dành riêng cho một thiết bị ngoại vi, điều này loại bỏ nguy cơ nhiễu tín hiệu giữa hai camera, cải thiện tính toàn vẹn dữ liệu để xử lý và phân tích, khiến các tính năng ADAS trở nên đáng tin cậy và chính xác hơn. Khả năng truyền dữ liệu từ nhiều camera đặc biệt có lợi cho các ứng dụng quan sát toàn cảnh như đỗ xe tự động, trong đó tầm nhìn 360 độ của môi trường xung quanh xe có thể cung cấp cho người lái thông tin quan trọng để có trải nghiệm lái xe an toàn hơn. Tìm hiểu thêm về nền tảng của FPD-Link bằng cách xem [FPD-Link là gì?](#)



**Số liệu 2.** Hệ thống nhiều camera với FPD-Link.

## Giao thức bus CAN

Giao tiếp CAN đã phát triển rất nhiều kể từ khi được Robert Bosch GmbH phát triển vào những năm 1980. Giao thức mạng đa điểm thả (multidrop) giảm đáng kể việc đi dây cáp cần thiết trong phương tiện, đồng thời cho phép hệ thống giao tiếp phân xử cung cấp quyền truy cập bus đến nút có mức ưu tiên cao nhất trên bus. Giao thức CAN và lớp vật lý ban đầu được chuẩn hóa vào đầu thập niên 1990 cho tốc độ dữ liệu lên đến 1 Mbps. Ngày nay, giao tiếp CAN đã được nâng cao để tăng tốc lên đến 10 Mbps, lấp đầy khoảng cách giữa công nghệ CAN cổ điển của những năm 1990 và Ethernet ở tốc độ thấp như 10Base-T.

CAN là bus nối tiếp đa bộ điều khiển. Nói cách khác, các nút không được điều khiển bởi các bộ điều khiển đơn lẻ khi các nút riêng lẻ có thể đọc và ghi vào bus CAN. Mỗi khung thông điệp chứa một mã định danh thiết lập mức ưu tiên của thông điệp CAN. Nếu nhiều nút cố gắng truyền tới bus CAN cùng một lúc, nút có mức ưu tiên cao nhất (hoặc ID phân xử thấp nhất) sẽ có quyền kiểm soát bus. Giao tiếp CAN đáng tin cậy trong các môi trường khắc nghiệt và cho phép các ECU giao tiếp chỉ với một cặp dây dẫn.

Khi CAN được phát triển ban đầu vào những năm 1980, số lượng ECU trong phương tiện tương đối thấp. Ngày nay, các phương tiện hành khách giờ đây có thể chứa hơn 100 ECU, kiểm soát các chức năng từ hệ thống trợ lực tay lái thiết yếu cho đến các tính năng xa xỉ như bộ phận massage ở ghế và hệ thống sưởi tay lái. Với sự gia tăng của ECU và nhu cầu đối với các tính năng an toàn tiên tiến hơn trong phương tiện của hành khách, giao tiếp CAN cũng đã được cải tiến.

**Bảng 1** liệt kê thêm thông tin về mạng giao tiếp CAN, bao gồm các tiêu chuẩn mới chẳng hạn như CAN FD Light, CAN Signal Improvement Capability (SIC) và CAN Extra Long (XL). Tìm hiểu thêm về CAN bằng cách đọc [Giới thiệu về mạng vùng điều khiển \(CAN\)](#).

Giao thức	Tốc độ bit	Tiêu chuẩn	Mô tả
CAN XL	10 Mbps +	CiA 610-1	CAN XL tăng payload tối đa lên 2 kB để cho phép tốc độ bit càng cao hơn, từ đó lấp khoảng cách giữa CAN và Ethernet tốc độ thấp
CAN FD SIC	< 8 Mbps	CiA 601-4	Khả năng cải thiện tín hiệu làm giảm dao động ringing trên cạnh trội-đến-lặn (dominant-to-recessive) nhằm cho phép các tổ-pô phức tạp hơn
CAN FD Light	≤ 5 Mbps	CiA 604-1	Kiến trúc bộ điều khiển – bộ phân hồi hai dây với sự bền chắc của lớp vật lý CAN FD
CAN FD	< 5 Mbps	ISO 11898	Tốc độ dữ liệu linh hoạt làm tăng payload tối đa từ 64 byte để cho phép tốc độ bit cao hơn
CAN	≤ 1 Mbps	ISO 11898	Bus nối tiếp đa bộ điều khiển hai dây có payload tối đa 8 byte
Mạng liên kết cục bộ (lin)	1 – 20 kbps	ISO 17987	Kiến trúc bộ điều khiển – bộ phân hồi một dây

**Bảng 1.** Sự phát triển của CAN.

## Công nghệ PCIe

PCIe là một chuẩn giao tiếp dành cho các bus nối tiếp tốc độ cao hai chiều đáp ứng các yêu cầu hiệu năng gò độ trễ cực thấp và băng thông cao. Được sử dụng phổ biến hơn trong ứng dụng công nghiệp, giờ đây PCIe đang nổi lên trong lĩnh vực sử dụng ô tô khi các nhà sản xuất bắt đầu suy nghĩ về việc định hình lại kiến trúc xương sống của dữ liệu để hỗ trợ các hệ thống băng thông cao và độ trễ thấp xử lý sự gia tăng theo hàm mũ của dữ liệu cảm biến cũng như thông tin người dùng yêu cầu xử lý thời gian thực.

Để giải quyết thách thức này, một nút điện toán tập trung hỗ trợ nhiều loại miền khác nhau (ADAS, thông tin giải trí, truyền động). Hộp điện toán tập trung này thường bao gồm nhiều mô-đun hỗ trợ các chức năng khác nhau của xe, giúp các nhà sản xuất ô tô mở rộng và giảm quy mô cũng như tùy chỉnh các tính năng của xe một cách linh hoạt mà không cần thiết kế lại hoàn toàn bộ điều khiển miền. Vì PCIe hỗ trợ một bộ xử lý trung tâm (CPU) hoặc phức hợp gốc đến nhiều điểm cuối hoặc bộ thu, việc PCIe có một thiết kế tập trung ở dạng mô-đun có thể giảm đáng kể tổng số lượng các ECU và cáp cần thiết trong xe.

Khi ngành ô tô bắt đầu yêu cầu xử lý đồng thời và dự phòng xuyên suốt phần xương sống của hệ thống dữ liệu, PCIe ngày càng trở nên thu hút vì nhiều CPU có giao diện PCIe được tích hợp sẵn và không yêu cầu phải chuyển đổi giao diện bổ sung ở mặt sau. PCIe có một hệ sinh thái không lồ với các tài nguyên phần mềm mở và đã tăng gấp đôi băng thông một cách ổn định giữa các thế hệ, sở hữu băng thông có tính mở rộng rất cao. Do đó, có thể giao thức PCIe có thể bắt kịp với lượng băng thông yêu cầu bởi sự tăng trưởng theo hàm mũ của xử lý dữ liệu trong ô tô.

Khi thiết kế một đường dẫn tín hiệu dữ liệu tốc độ cao, việc giảm chất lượng tín hiệu có thể trở thành một thách thức lớn. Có thể cần có một bộ điều hòa tín hiệu như mạch lái lại hoặc bộ tái định thời để khôi phục và bù cho suy hao chèn và nhiễu từ vật liệu băng mạch in, các via, đầu nối hoặc qua các cáp. Cả mạch lái lại và bộ tái định thời đều có lịch sử lâu dài và đáng tin cậy trong hệ sinh thái PCIe, cải thiện tính toàn vẹn tổng thể của tín hiệu để truyền dữ liệu qua giao thức PCIe. **Bảng 2** liệt kê sự khác biệt giữa mạch lái lại và bộ tái định thời. Tìm hiểu thêm về các yếu tố tạo nên đường dẫn tín hiệu PCIe bằng cách xem video **Giải quyết các thách thức về tính toàn vẹn của tín hiệu PCIe**.

Mạch lái lại tuyến tính PCIe	Bộ tái định thời PCIe
Công suất tiêu thụ thấp (không cần bộ tản nhiệt)	Công suất tiêu thụ cao (hầu hết các trường hợp đều yêu cầu bộ tản nhiệt)
Độ trễ cực thấp (100 ps)	Độ trễ trung bình ( $\leq 64$ ns dựa trên yêu cầu thông số kỹ thuật PCIe 4.0)
Không tham gia link training nhưng minh bạch trong việc đàm phán giữa phức hợp gốc (CPU) và thiết bị đầu cuối (EP) (không biết về giao thức – protocol-agnostic)	Tham gia đầy đủ vào link training với phức hợp gốc (CPU) và thiết bị cuối (EP) (nhận biết được giao thức – protocol-aware)
Không yêu cầu xung clock tham chiếu 100 MHz	Yêu cầu có xung clock tham chiếu 100 MHz
Hỗ trợ đối với suy hao chèn	Hỗ trợ đối với suy hao chèn, lệch jitter, xuyên âm, phản hồi và độ xiên giữa các tuyến

Mạch lái lại tuyến tính PCIe	Bộ tái định thời PCIe
CTLE là mạch cân bằng được sử dụng điển hình	CTLE, DFE và FIR của bộ phát là các mạch cân bằng được sử dụng điển hình
Tổng chi phí giải pháp là khoảng 1X	Tổng chi phí giải pháp là khoảng 1,3 – 1,5X

**Bảng 2.** So sánh mạch lái lại và bộ tái định thời PCIe.

## Kết luận

Giao diện nào tốt nhất đối với truyền thông ô tô? Tất cả đều tốt, nhưng mỗi giao diện đáp ứng từng mục đích riêng. Khi các yêu cầu về băng thông tăng lên, chẳng hạn như truyền dữ liệu cho radar và LIDAR, Ethernet hỗ trợ các yêu cầu về băng thông cần thiết. Khi cần mức băng thông cao nhất và liên kết có độ trễ thấp nhất, chẳng hạn như cho hệ thống camera vòm cung cấp thông tin đầu vào cho xe tự lái, FPD-Link sẵn sàng để đáp ứng thách thức này. Bus CAN tiếp tục cung cấp hỗ trợ ADAS cho các ứng dụng kiểm soát tốc độ thấp, trong đó chi phí là một yếu tố thúc đẩy, chẳng hạn như ưu tiên dữ liệu, triển khai túi khí, v.v. PCIe có thể đáp ứng nhu cầu di chuyển lượng dữ liệu cảm biến và thông tin người dùng cần xử lý theo thời gian thực ngày càng tăng. Cùng nhau, bốn giao thức giao tiếp ô tô quan trọng này xây dựng nên một phương tiện tích hợp, gắn kết, hỗ trợ cho sự an toàn của người lái theo thời gian thực và đáp ứng các yêu cầu ngày càng tăng của kiến trúc ADAS. Tìm hiểu thêm về cách những công nghệ giao tiếp tiên tiến của chúng tôi cải thiện độ tin cậy cho các ứng dụng hỗ trợ trình điều khiển mà tại đó tính an toàn là vô cùng quan trọng tại **Sensor fusion** (Tổng hợp dữ liệu cảm biến).

## Tham khảo

1. **FPD-Link là gì?**
2. Texas Instruments: ***Giới thiệu về Mạng vùng điều khiển (CAN)***
3. **Giải quyết các thách thức về tính toàn vẹn của tín hiệu PCIe**

**Thông báo quan trọng:** Các sản phẩm và dịch vụ của Texas Instruments Incorporated và các công ty con được mô tả trong tài liệu này được bán theo các điều khoản và điều kiện tiêu chuẩn của TI. Chúng tôi khuyến khích khách hàng nên thu thập thông tin mới và đầy đủ nhất về các sản phẩm và dịch vụ của TI trước khi đặt hàng. TI không chịu bất kỳ trách nhiệm pháp lý nào đối với việc hỗ trợ ứng dụng, ứng dụng hoặc thiết kế sản phẩm của khách hàng, hiệu suất phần mềm hoặc vi phạm bằng sáng chế. Việc công bố thông tin liên quan đến sản phẩm hoặc dịch vụ của bất kỳ công ty nào khác không cấu thành sự phê duyệt, bảo hành hoặc chứng thực của TI.

FPD-Link™ and OMAP™ are trademarks of Texas Instruments. All trademarks are the property of their respective owners.

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated