

ODTÜ Öğretim Üyesi PROF. DR. ECE GÜRAN SCHMIDT:

GELECEĞİN ARACI, YAZILIM VE VERİYLE YOLA ÇIKACAK



"ELEKTRONİK MİMARİLER, OTOMOTİVİN KALBİNE YERLEŞTİ; GELECEĞİN ARAÇLARINDA TEK PROTOKOL DEĞİL, ÇOK KATMANLI VE ESNEK HABERLEŞME ÇÖZÜMLERİ BELİRLEYİCİ OLACAK" DİYEN ODTÜ ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ÖĞRETİM ÜYESİ PROF. DR. ECE GÜRAN SCHMIDT, OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİNDE DİJİTALLEŞME, HABERLEŞME PROTOKOLLERİ, GÖMÜLÜ SİSTEMLER VE YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİNİN DÖNÜŞTÜRÜCÜ ETKİSİNİ DEĞERLENDİRİYOR.

Otomotiv endüstrisinde araç içi haberleşme sistemlerinin evrimi nasıl bir yol izledi? Geleneksel protokollerden yeni nesil çözümlere geçişte neler öne çıkıyor?

Araç içi haberleşme sistemlerinin evrimi, bilgisayar ağlarının gelişim süreciyle benzerlik gösterir; ihtiyaçlar, teknolojik çözümleri şekillendiren temel unsurlar olmuştur. İlk nesil sistemlerde analog sin-

yaller ve basit uçtan uca kablo bağlantıları yeterli görülürken, araçlardaki bileşen sayısının artmasıyla birlikte 1980'lerde Bosch tarafından geliştirilen CAN (Controller Area Network) protokolüne geçiş sağlandı. CAN, 1 Mbps'e kadar hızda, her pakette 8 bayta kadar veri taşıyabilir. Ancak günümüzde yüzden fazla elektronik kontrol ünitesi (ECU) ve milyonlarca satır yazılımla çalışan araç uygulamaları, çok daha yüksek veri kapasitesi, hız ve zaman hassasiyeti gerektiriyor. Bu ihtiyaçlara cevap verebilmek adına ethernet tabanlı çözümler devreye girerken, aynı zamanda CAN mimarisini güncelleyen CAN FD ve CAN XL teknolojileri de öne çıkıyor. Bu yeni nesil sistemler, 10 Mbps veri hızına ve paket başına 2 KByte veri taşıma kapasitesine ulaşabiliyor.

FlexRay, CAN, AFDX gibi haberleşme protokollerinin modern araçlardaki uygulama alanlarını nasıl değerlendiriyorsunuz? Otonom ve bağlantılı araçlar için yeterlilikleri ne düzeyde?

FlexRay, yüksek güvenlik gerektiren X-by-Wire sistemlerde deterministik iletişim sağlayan, BMW kaynaklı bir standarttır. Karmaşık yapısı ve yüksek maliyeti nedeniyle daha çok BMW ve Audi gibi markaların belirli modelleriyle sınırlı kalmıştır. Havaçılık sektöründe kullanılan AFDX, aviyonik sistemler için gerçek zamanlı, yüksek hızlı ethernet haberleşmesi sunarken; otomotiv tarafında benzer işlevi Time-Sensitive Networking (TSN) protokol ailesi üstlenir. Elektrikli araçlarda ağ yapısı sıfırdan tasarlandığı için geçmiş sistemlerle uyumluluk zorunluluğu bulunmaz. Bu sayede otonom sürüş sistemleri, kameralar ve bilgi-eğlence uygulamaları için ethernet omurgası tercih edilirken; gövde elektroniği, şasi kontrolü ve batarya yönetimi gibi kritik fonksiyonlar

için ana veri yolu olarak CAN FD öne çıkar. Bu mimari, aynı zamanda yüksek seviyede kablosuz güncelleme (OTA) desteği sunar. Buna karşılık, üst segment içten yanmalı motorlu (ICE) araçlar hâlâ klasik CAN'ın yanı sıra FlexRay ve MOST gibi daha geleneksel haberleşme protokollerini barındıran daha karmaşık bir ağ yapısını korur.

Gömülü sistemlerin ve gerçek zamanlı veri iletiminin, özellikle sürüş güvenliği açısından otomotiv sektöründe nasıl bir rolü bulunuyor?

Araçlardaki elektronik bileşenler, uygulama ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş gömülü sistemler olarak tasarlanır. ABS, ESP, AEB ve motor kontrol sistemleri gibi güvenlik-kritik uygulamalar, gerçek zamanlı çalışmayı gerektirir. Örneğin fren sisteminin 5 milisaniye içinde yanıt vermemesi, olası bir kazanın önlenememesine yol açabilir. Bu kısa süre içinde sistemdeki tüm bileşenlerin hem sinyal iletişimini tamamlaması hem de gerekli hesaplamaları gerçekleştirmesi beklenir. Bu nedenle elektronik donanım, gömülü yazılım ve haberleşme altyapısı; gerçek zamanlılık, hız ve güvenilirlik gereksinimlerine uygun şekilde tasarlanmalıdır.

Dijitalleşme otomotiv mühendisliğinde nasıl bir değişim yarattı? Donanım mı yazılım mı daha baskın hale geldi sizce?

Günümüzde otonom, bağlantılı ve elektrikli araçların pazar değerinin yaklaşık %50'si; üst segment içten yanmalı motorlu (ICE) araçların ise %35'i elektronik mimarilerine dayanmaktadır. Dijitalleşme, araçların daha verimli ve güvenli hale gelmesini sağlarken, otomotiv mühendisliğinde elektronik ve bilgisayar alanlarının önemini belirgin şekilde artırmıştır. Bilgisayar sistemlerinin evriminde olduğu gibi otomotivde de kullanıcı ihtiyaçları, uygulamaların kapsamını, gömülü yazılımın içeriğini ve buna uygun donanım yapılarını belirler. Donanım ve yazılım alanındaki ilerlemeler ise yeni kullanıcı beklentilerinin karşılanmasına imkân tanır. Bu süreçte kullanıcı ihtiyaçları, uygulamalar, yazılım ve donanım arasında sürekli etkileşim içinde olan bir döngü oluşur.

Yapay zekâ ve makine öğrenmesinin araç içi sistemlerde kullanımı üzerine yürütülen araştırmalarda dikkat çeken başlıklar neler?

Otonom sürüş ve gelişmiş sürücü destek sistemlerinde yapay zekâ (YZ) ve makine öğrenmesi teknolojileri; nesne tanıma, sürücü davranış analizi ve çevresel haritalama gibi görevlerde etkin şekilde kullanılır. Son



dönemde, hafifletilmiş derin öğrenme modelleri (edge AI) ile otonom sürüşe yönelik güvenli karar alma algoritmaları öne çıkmaktadır. Bu sistemlerin gömülü platformlar üzerinde çalışabilmesi için, yazılım ve donanım düzeyinde kapsamlı optimizasyonlar gerekir. Performans, enerji verimliliği ve gerçek zamanlılık gibi kriterler, mimari tasarımlarda belirleyici rol oynar.

Araçlarda siber güvenlik konusu, bağlanabilirlik arttıkça daha da önemli hale geliyor. Bu konuda üniversite-sanayi iş birliği nasıl şekilleniyor?

Kullanıcıların talep ettiği kablosuz güncelleme (OTA) ve uzaktan servis uygulamaları, araçların ağ üzerinden erişilebilir olmasını sağlayarak siber saldırılara açık hale gelmesine neden olur. Bu riskleri azaltmak amacıyla araç içi sistemlerde ISO/SAE 21434 gibi siber güvenlik standartları geliştiriliyor. Üniversitelerin, güvenli ağ protokolleri, anomali tespiti ve şifreleme mekanizmalarının tasarımı gibi konularda sanayi ile iş birliği yapması, sadece güvenlik çözümlerine değil; aynı zamanda nitelikli insan kaynağı yetiştirilmesine ve test altyapılarının gelişmesine de önemli katkılar sunar.

Araç içi haberleşme sistemlerinde önümüzdeki yıllarda hangi protokoller ya da teknolojiler daha yaygın hale gelecek? Ethernet tabanlı çözümler daha mı ön planda olacak?

Önümüzdeki yıllarda araç içi haberleşme sistemlerinde ethernet tabanlı çözümlerin giderek daha baskın hale gelmesi bekleniyor. Özellikle TSN (Time-Sensitive Networking) destekli otomotiv ethernet, otonom ve bağlantılı araçlarda (OBA) gelişmiş sürücü destek sistemleri (ADAS), çevresel algılama ve V2X haberleşme gibi yüksek bant genişliği ve deterministik zamanlama gerektiren uygulamalar için önemli bir potansiyel sunuyor. Ethernetin IP tabanlı altyapılarla doğal uyumu, yüksek veri hızları ve zaman senkronizasyonu gibi avantajlarıyla öne çıkarken, TSN'in konfigürasyonu oldukça karmaşık bir süreç gerektiriyor. Bu alanda, algoritmik yöntemler ve kullanıcı dostu yazılım araçlarına duyulan ihtiyaç hâlen karşılanmış değil.

Diğer yandan, kontrol döngüleri, gövde elektroniği ve şasi işlevleri gibi orta seviye zaman hassasiyeti gerektiren uygulamalarda, klasik CAN protokolünün yerini CAN FD ve özellikle CAN XL'in alması öngörülmüyor. CAN XL, ethernet ile birlikte çalışabilirliği sayesinde hibrit mimariye kolayca entegre olabiliyor. Gelecekte araç içi haberleşme mimari-

sinin tek protokollü yapılardan uzaklaşıp, uygulama ihtiyaçlarına göre şekillenen çok protokollü ve çok katmanlı bir yapıya evrilmesi bekleniyor. Ethernet-TSN, CAN XL ve 10BASE-T1S gibi teknolojilerin birlikte kullanılması sayesinde performans ve maliyet dengesi gözetilerek optimize edilmiş sistemler ortaya çıkacaktır.

Araçların birbirleriyle (V2V) ve altyapıyla (V2X) haberleştiği sistemler, sizce şehir içi ulaşımı nasıl dönüştürecek?

Trafik sıkışıklığı, kaza oranları ve emisyon seviyeleri, yeni nesil haberleşme teknolojileri sayesinde önemli ölçüde azaltılabilir; aynı zamanda yaya güvenliği de artırılabilir. Örneğin, bir aracın ani fren yapması durumunda, V2V (Vehicle-to-Vehicle) iletişim yoluyla bu bilgi milisaniyeler içinde arkadaki araçlara aktarılır ve olası zincirleme kazaların önüne geçilir. V2X (Vehicle-to-Everything) teknolojisi sayesinde ise araçlar trafik ışıklarıyla iletişim kurarak dur-kalk sürelerini azaltır, yakıt verimliliğini artırır ve karbon salımını optimize eder. Ancak bu sistemlerin yaygınlaşabilmesi için düşük gecikmeli 5G/6G altyapılarının devreye girmesi, iletişim standartlarının netleşmesi ve araçlar arasında bu teknolojilerin kullanım oranının artması kritik önem taşır.

Türkiye'de otomotiv teknolojileri alanında üniversitelerin ve araştırma merkezlerinin daha aktif rol oynaması için neler yapılmalı?

2025 itibarıyla Türkiye'de toplam 16 adet otomotiv mühendisliği lisans programı bulunuyor. Ancak araştırma-geliştirme çıktıları açısından değerlendirildiğinde, elektrik veya makine mühendisliği lisans eğitiminin ardından otomotiv odaklı yüksek lisans programlarının daha fazla katma değer üretebileceği kanaatindeyim. Bu kapsamda, sanayi destekli doktora tezlerinin teşvik edilmesi büyük önem taşıyor. Uluslararası iş birliklerinin artırılması da kritik bir ihtiyaçtır. Horizon Europe ve EU-REKA gibi programlara daha fazla kurumun ve araştırmacının dâhil olması sağlanmalı; patent üretimi ile ticarileştirme süreçleri aktif olarak desteklenmelidir. Bunun yanı sıra, ortak test ve simülasyon altyapılarının kurulması, Ar-Ge süreçlerinin hızlandırılmasına katkı sunacaktır. Özellikle hardware-in-the-loop (HIL) gibi gelişmiş platformlar üzerinden çalışan test altyapıları, hem akademi hem sanayi için ortak kullanım alanları yaratmalıdır. Bu alanda aktif katkı sunduğum bazı örnek yapılar arasında, Okan Üniversitesi OPINA Platformu, ODTÜ OTEST ve DTX merkezleri sayılabilir. Bu tür örneklerin yaygınlaştırılması, Türkiye'nin otomotiv teknolojilerinde rekabet gücünü artıracaktır.