



## Ethernet Tabanlı I/O Sistemleri ve Mobil Laboratuar Uygulaması

### Ethernet-Based I/O Systems and Mobile Laboratory Application

Galip CANSEVER

Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Müh. Böl., İstanbul  
cansever@yildiz.edu.tr

#### Özet

*Bu çalışma endüstriyel Ethernet tabanlı I/O sistemler üzerine CONET isimli bir projenin altında gerçekleştirilmiştir. CONET, Kooperatif Ağ Eğitimi, Avrupa Birliği tarafından finanse edilen bir projedir. Bu proje ile otomasyon mühendisleri ve bakım mühendisleri ile lisans ve lisansüstü öğrencilerinin otomasyon çözümlerinde geniş bir yer tutan modern kablolu ve kablosuz endüstriyel ağ teknolojileri üzerine eğitimi amaçlanmaktadır. Birçok ülkeyi kapsayan bu proje ile bir bütün olarak düşünüldüğünde endüstriyel otomasyon alanında toplam 7 adet benzer çalışma mevcuttur. Her çalışma için laboratuar haline dönüştürülebilen portatif mobil bir kutu, projenin konseptine uygun olarak tasarlanmıştır. Ethernet tabanlı I/O Sistemler bu çalışmalardan sadece bir tanesidir. Farklı otomasyon firmalarının ürünleri kullanılarak Ethernet ile haberleşebilen endüstriyel cihazlardan oluşan bir ağ sistemi oluşturulmuştur. Bu şekilde eğitim amaçlı çalışmalarda uygulanmak üzere birçok senaryo türetilmiş ve bunlar deneysel olarak gerçekleştirilerek eğitim faaliyetleri yerine getirilmiştir.*

#### 1. Giriş

Ethernet'in etkili ve verimli tasarımı genel amaçlı ofis haberleşmesinde popüler olmasını sağlamıştır. UTP kabloların kullanımı ile gerçekleştirilen yıldız topolojileri hem düşük maliyetli, hem de yeni bağlantıların eklenip çıkarılması konusunda esnek bir yapı oluşturmuştur. Aynı şekilde oluşan problemleri gidermek bu topoloji sebebiyle kolaydır. Ethernet teknolojileri haberleşme alanında yaygınlaştıkça bu konuda eğitilmiş personel miktarı da oldukça artmıştır.

Bu özellikler ve Ethernet donanımının düşük maliyetli olması nedeniyle Ethernet'i endüstriyel ağ uygulamaları için cazip bir seçenek haline getirmiştir. Ayrıca TCP/IP protokolünün kullanımı sayesinde endüstriyel Ethernet ağlarına bir standardizasyon getirmek mümkün olmuştur.

Bu talepleri karşılamak amacıyla "Mobil Laboratuar" kavramı ortaya atılarak, farklı Avrupa ülkeleri üniversiteleri ve kurumları arasında kurulan bir iş birliği sayesinde kabul edilen bir Avrupa Birliği proje başvurusu ile uluslararası büyük bir proje ekibi oluşturulmuştur. Bu kurumlar sırasıyla Belçika'dan Karel de Grote-University College and Limburgs Technologie Centrum, Bulgaristan'dan University of Rousse, Almanya'dan University of Düsseldorf ve Phoenix Contact, Yunanistan'dan

Technological Educational Institute of Crete, Polonya'dan AGH University of Science and Technology, Ülkemizden ise Yıldız Teknik Üniversitesi ve ENOSAD'dır. Bu üniversitelerin ve kurumların bu iş birliği içinde amacı popüler olan endüstriyel haberleşme metod ve protokollerine yönelik mobil eğitim setleri oluşturmak ve bu setlerin kullanıldığı eğitim faaliyetlerini endüstri içinde ihtiyaç duyulan tüm Avrupa ülkelerindeki noktalarda uygulanabilir hale getirmektir.

CONET isimli bu projenin genel amacı, gelecekte ihtiyaç duyulacak Ethernet tabanlı ağ-uzmanlarının yetiştirilmesine katkıda bulunmaktır. Projenin özel amacı, mühendislik öğrencileri, ve Sanayideki mühendisler için Endüstriyel Otomasyon Sistemleri üzerine Ethernet tabanlı mobil eğitim setleri geliştirmektir.

Üniversitemizin bu alandaki katkısı projede 1 numaralı modül olarak adlandırılan "Ethernet tabanlı I/O sistemleri ve MODBUS" için gerekli olan setlerin ve eğitim dokümanlarının oluşturulmasıdır. Bu modülün amacı temel Ethernet ağ bilgisini kazandırmak ve bunu endüstrideki otomasyon sistemleri ağ yapılarına uygulamak ve Office ve Endüstriyel ağlar arasındaki farkı göstererek bu konuda eğitilenleri bilinçlendirmektir.

Modülümüz yapısı içine giren konular olarak Ethernet temelleri, ağ yapılandırılmaları, ağlardaki trafiğin gözlemlenmesi, farklı firmalara ait Ethernet cihazlarının kullanımı, sonrasında mobil laboratuar üzerinde kullanılmakta olan MODBUS protokolü, laboratuar ekipmanlarının tanıtımı, cihazlar arası haberleşme ve PLC ile dağıtık I/O modülleri arasındaki haberleşme paketlerinin incelenmesi ve bu platform üzerinde gerçekleştirilen endüstriyel deneyler şeklinde söylenebilir.

#### 2. Endüstriyel Ethernet

Ethernet ağ sisteminin oluşumu kalbi niteliğinde olan yapı çerçevesidir. Ağ donanımları, bilgisayarlar veya istasyonlar arasında bilgi dolaşımı veya bilgi transferi gibi işlemlerin yapılabilmesi için Ethernet çerçevesi yapısal dinamiklerinden şekilsel olarak istifade edilmektedir. Ethernet çerçevesi içindeki bitler belirli alanlar ve dolayısıyla slotlar içinde yer alarak bir form oluştururlar. Ethernet çerçeve yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Ethernet Çerçevesi.

Temel Ethernet çerçevesi preamble olarak adlandırılan 64 bitlik bir dizi ile başlar. Bu 10 Mbps ile çalışan bir Ethernet sisteminde kullanılan cihazlara bir bilgi paketin ulaştığına dair uyarı vermek ve hazırlanma zamanı tanımak için kullanılmaktadır. Yeni teknolojiler olan 100 Mbps ve 1000 Mbps olan sistemlerde bu kısım kaldırılmıştır.

Bundan sonraki kısımda hedef ve kaynak adresleri yer almaktadır. Bu adreslerin IEEE standartları uyarınca bu standartlar (IEEE-SA) tarafından belirlenmekte olup, ilk 24 bitlik kısmı ağ sağlayıcılarına atanmakta OUI (Organizationally unique identifier), diğer 24-bitlik kısım ise ağ sağlayıcısı tarafından her ürününe farklı olacak şekilde tahsis edilmektedir. Böylece firmalar arasında aynı MAC adrese sahip cihazların üretilmesinin önüne geçilmektedir.

Ethernet tabanlı cihazlar haberleşme esnasında sahip oldukları bu adresleri kullanırlar. Bundan sonraki gelen Type kısmı kullanılan üst seviye protokolünü belirlemektedir (Örneğin TCP/IP). Bundan sonraki kısımda 46-1500 bayt arasında protokol bilgilerini de içeren veri gelmektedir. Sistemdeki diğer cihazların Ethernet çerçevesinden haberdar olabilecekleri yeterli bir sürenin geçebilmesi için bu kısım 46 bayttan kısa olamaz ve veri kısa dahi olsa bu kısım 46 bayt olacak şekilde doldurulur.

Çerçevenin son kısmında 32-bitlik Çerçeve Kontrol Dizisi FCS (Frame Check Sequence) yer alır. Bu kısım Döngüsel Artıklık Denetimi CRC (Cyclic Redundancy Check) diye adlandırılan bir polinomial toplam içermektedir. Hedef cihaz çerçeveyi aldığı anda aynı hesaplamaları yaparak paketin zarar görmeden yolculuğunu tamamladığını doğrular.

Ethernet ev ve ofis ortamında yaygın olarak kullanılan bir ağ çözümüdür. Ethernet en önemli avantajları, kurulumunun hızlı kolay ve ucuz arabirim entegre devreler kullanıyor olmasıdır. Birçok bilgisayar tabanlı platformda dahili Ethernet arabirimi bulunmaktadır. Bunlar endüstriyel kontrol sistemleri üreticilerinin Ethernet haberleşmesini savunmasını başlıca göstergeleridir.

### 3. Modbus Protokolü

Modbus 1979 senesinde Modicon firması tarafından PLC ler arasında haberleşmek amacıyla oluşturulmuştur. Modbus protokolü endüstriyel haberleşme alanında çığır açmıştır. Günümüzde halen yaygın olarak kullanılmasının sebebi ise açık bir yapıya sahip olması, telif ücretsiz sunulması, endüstriyel ağlarda kullanım kolaylığı ve üretici sınırlamaları içermeyen sade veriler ile iletişim kurmasıdır.

Modbus aynı ağ üzerine bağlı birçok cihaz arasında haberleşmeye olanak sağlar. Örneğin nem ölçen bir cihaz, sıcaklık ölçen bir cihaz ve bu verileri toplayan bir bilgisayar Modbus aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir.

Modbus protokolünün farklı versiyonları mevcuttur. Çoğu modbus tabanlı cihaz seri yoldan haberleşmektedir. (EIA-485). Buna karşın Ethernet tabanlı sistemlerde Modbus/TCP kullanılmaktadır.

**Modbus RTU:** Bu protokol seri haberleşmeli sistemlerde kullanılmaktadır. RTU biçiminde komut veya veriyi CRC izler. Böylece verilerin sağlıklı şekilde iletildiği doğrulanır. Paketleri ayırmak için paketler arasında bir boşluğun olması gerekir.

**Modbus TCP / IP veya Modbus TCP:** Bu TCP/IP ağları için kullanılan bir Modbus çeşididir. Modbus ile iletişim kurmak amacıyla her aygıtta benzersiz bir adres verilir. Bir Modbus komutu hedef Modbus cihazının adresini içerir, diğer cihazlar bu komutu alsa dahi sadece ilgili cihaz buna yanıt vermektedir. Merkez birim, hedef cihazlardan birinin çıkış portlarını değiştirebilir, giriş portlarını okuyabilir veya cihaz içindeki bir adresin verisini talep edebilir. Bu işlemler fonksiyon kodları adı verilen bir tabloya göre gerçekleştirilir. Tablo-1 de bazı fonksiyon kodları verilmiştir.

Tablo 1: Modbus TCP Fonksiyon Tablosu.

Modbus TCP Frame Format		
Name	Length	Function
Transaction Identifier	2 bytes	For synchronization between messages of server & client
Protocol Identifier	2 bytes	Zero for MODBUS/TCP
Length Field	2 bytes	Number of remaining bytes in this frame
Unit Identifier	1 byte	Slave Address (255 if not used)
Function code	1 byte	Function codes as in other variants
Data bytes	n bytes	Data as response or commands

## 4. CONET Mobil Laboratuvar

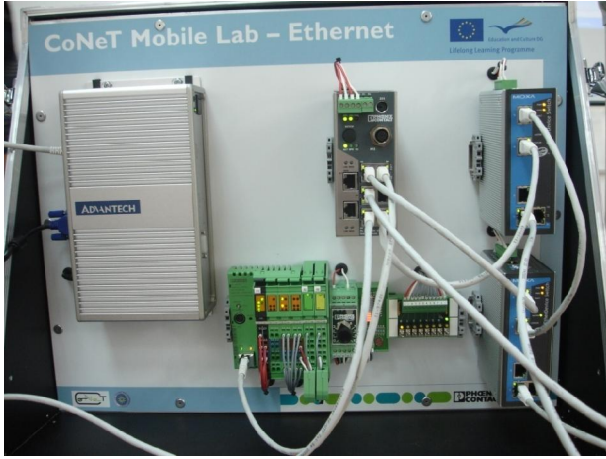
### 4.1 Ana Fikir

CONET mobil laboratuvarın esas amacı endüstriyel Ethernet Tabanlı I / O Sistemleri eğitim sistemini kolayca taşınabilir hale getirmek ve bunu istenilen her yerde kullanarak eğitimleri devam ettirmek ve bu uygulamaları gerçekleştirmek için, laboratuvar içeriğinde birçok endüstriyel cihaz ile birlikte bağlantıları gerçekleştirerek kombine bir hazır deney seti haline getirmektedir.

### 4.2 Mobil Laboratuvar İçeriği

Mobil laboratuvar NAT Router ve iki endüstriyel anahtardan oluşan klasik halka tipi ağ üzerinden haberleşmektedir. Bu kombinasyon farklı ağ yapılarını da oluşturmayı mümkün kılmakta ve modüler bir yapının alt yapısını oluşturmaktadır. Endüstriyel ağlar ile klasik ev/ofis ağları arasındaki farkları göstermek amacıyla ayrıca bir adet ağ anahtarı (Network Switch) bulunmaktadır.

Laboratuvarın başka bir kısmında bir kontrol sistemi oluşturmak amacıyla 3 adet dağıtık I/O modülü ve bir PLC bulunmaktadır. Bu dağıtık I/O modüllerinden biri kontrol edilen sisteme giriş sağlarken, diğer ikisi bu sistemin çıkışını alarak geri beslemeyi sağlamaktadır. Geri besleme yolu üzerinde iki dağıtık I/O aynı sinyalle beslenmesine rağmen, Ethernet ağı üzerinde farklı yollardan haberleşme sağlamaktadırlar. Biri endüstriyel ağ ekipmanlarını kullanırken, diğeri ev/ofis tipi ağ cihazlarını kullanmaktadır. Şekil 2'de halka ağ yapısı görülmektedir.



Şekil 2: Halka Ağ Yapısı

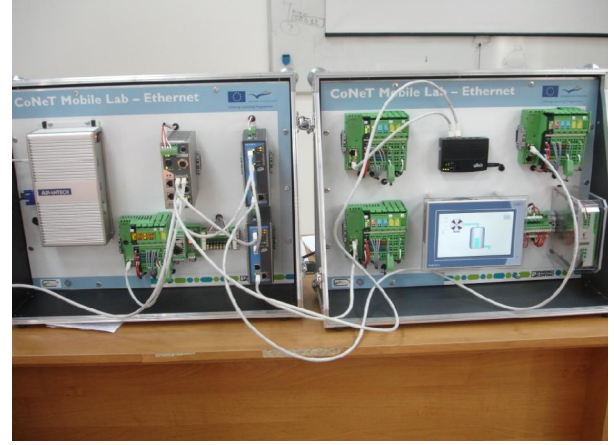
Kontrol edilen sistem dokunmatik ekranlı bir simütatördür. Bir sıvı tank sistemi gibi davranacak şekilde programlanmış olup, ekran üzerinden tank ve içindeki sıvı miktarı izlenebilmektedir. PLC üzerine monte edilen bir potansiyometre ile arzu edilen sıvı seviyesi belirlenmekte ve kontrol sistemi bunu sağlamak için gerekli kontrolü gerçekleştirmektedir.

Ayrıca laboratuvar içeriğinde endüstriyel bir bilgisayar mevcuttur. Böylece laboratuvarın internete bağlanması, paket yakalama, programlama gibi ek fonksiyonlarında gerçekleştirilebilmesi mümkündür.

#### 4.3 Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi

Tüm sistem kapalı çevrim bir kontrol sistemi olarak tasarlanmıştır. Burada PLC ana denetleyici rolünü üstlenmektedir. Simülasyon cihazı kontrol edilen sistem gibi davranmakta, dağıtık I/O modülleri ise sürücü ve algılayıcı görevini üstlenmektedir. Simütatör içinde bulunan sıvı-tank sistemi doğrusal olmayan Nonlinear bir sistemdir. Bunun için çok çeşitli kontrol metotları olmasına karşın burada bir PI denetleyici ile sıvı seviyesi kontrol edilmektedir. Tüm sisteme ait bir görsel Şekil 3'te görülmektedir.

Sistem sıradan bir endüstriyel kontrol sistemi gibi görünse de geri besleme yolu üzerinde farklı bir durum söz konusudur. Sistemde çift geri besleme mevcuttur ve bunlardan biri endüstriyel ağ cihazları üzerinden, diğeri ise normal ağ cihazları üzerinden haberleşmektedir.

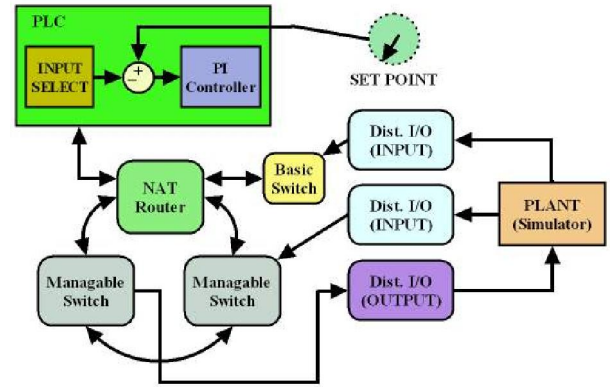


Şekil 3: Tüm Sistem

## 5. Deneysel Tasarım

### 5.1 Hazırlık

Bu mobil laboratuvar ile birçok farklı senaryo oluşturmak mümkündür. Belirli bir düzen içinde tutmak için, ilk adımlar fiziksel olarak ağ ve ağ yapılarının tanıtımıyla yapılabilir. Sonrasında IP adreslemesi ile akıllı ağ anahtarları, NAT Router, halka ağ yapısı ve son olarak işleyen sistemden Ethernet paketlerinin yakalanarak incelenmesi ile uygulamanın tanıtımı ve deneyin yapılması sonlandırılabilir. Deneysel konfigürasyon blok diyagramı Şekil 4'te görülebilir.



Şekil 4: Deneysel Amaçlı Yapılandırmaya Ait Blok Diyagram

### 5.2 Akıllı Ağ Anahtarları

Akıllı ağ anahtarlarının burada tanıtımı yapılarak endüstriyel sistemlerde neden tercih edildiği deneysel olarak gösterilmektedir. Laboratuvar içinde iki adet mevcut olması sayesinde halka ağ yapısı oluşturularak avantajları gösterilebilmektedir. Diğer önemli özelliklerinden biri de üzerlerinde bulunan bağlantı noktalarında oluşabilecek kesintileri algılayarak bunları bildirmesi sayesinde sıradan ağ anahtarlarından farkları kolayca göz önüne konabilmektedir.

### 5.3 NAT Router

Küçük çaplı endüstriyel ağlarda tercih edilmeyen bir cihaz olmasına karşın, Ethernet tabakalarının tanıtımı ve yönlendirme işlevinin gösterilebilmesi için oldukça faydalı bir cihazdır. Ayrıca 1-1 haritalandırma işlemi, WAN ve LAN tarafında oluşan farklılıklar ve cihazın kullanım amacı deneyler esnasında gösterilmektedir.

### 5.3 Ethenet Paketlerinin Yakalanması

Bu laboratuvarın en önemli hedefi Ethernet paketlerinin yakalanmasıdır. Bu sayede teorik olarak verilen eğitimler paketlerin incelenmesiyle gerçek bir uygulamaya dönüşür. Daha da önemlisi sistem aktif olarak çalışırken yakalanan paketler o anda tam olarak ne olduğunu açıklamaktadır. Son olarak NAT Yönlendiricinin fonksiyonları ve MODBUS/TCP paketlerinin içeriği bu şekilde rahatlıkla irdelenebilmektedir.

## 5. Sonuç

Ethernet tabanlı I / O sistemleri için CONET Mobil Laboratuvarının tasarımı ve uygulanması bu çalışmada ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Farklı endüstriyel ağ cihazlarından oluşan mobil laboratuvarın donanım ve yazılım kurulumu tamamlanmıştır. Ayrıca mobil laboratuvarın oluşturulma amacı göz önünde bulundurulduğunda, endüstriyel Ethernet üzerine çok sayıda deney gerçekleştirilmiştir. Ethernet tabanlı I/O sistemleri için oluşturulan bu modül halen endüstriyel ve akademik eğitimler için kullanılmaktadır.