



**SAKARYA
UYGULAMALI BİLİMLER
ÜNİVERSİTESİ**

**MAKİNE VE METAL TEKNOLOJİLERİ
İMALAT YÜRÜTME SİSTEMLERİ OPERATÖRLÜĞÜ PR.
MES SİSTEM MİMARİSİ VE YAPILANDIRMA**

Profibus - Profilnet

Muhammed Arda Sarı 24231401016

Emirhan Şenel 24231401030

MES Sistemlerinde İletişim Mimarisi ve PROFIBUS Protokolünün Tarihçesi

MES Sistemlerinde İletişim Mimarisi

İmalat Yürütme Sistemleri (Manufacturing Execution Systems – MES), üretim süreçleri ile kurumsal düzeydeki planlama sistemleri (örneğin ERP – Enterprise Resource Planning) arasında ara bir katman işlevi gören entegre yazılım çözümleridir. MES sistemleri, üretim sahasındaki operasyonların gerçek zamanlı izlenmesini, kontrolünü ve optimize edilmesini sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Bu bağlamda, MES sistemlerinin etkinliği büyük ölçüde iletişim mimarisine bağlıdır.

MES iletişim mimarisi; makine kontrol sistemleri, sensörler, aktüatörler, programlanabilir mantıksal denetleyiciler (PLC'ler), SCADA sistemleri ve ERP sistemleri arasında çift yönlü veri alışverişini mümkün kılan, çok katmanlı ve çoğu zaman heterojen yapılardan oluşur. Bu mimari yapı, üretim hattında meydana gelen olayların üst sistemlere doğru zamanında iletilmesini ve buna karşılık alınan talimatların sahadaki ekipmanlara gecikmesiz ve doğru biçimde ulaştırılmasını sağlar.

Etkin bir iletişim mimarisi; üretim planlaması, kalite yönetimi, stok takibi, bakım faaliyetleri ve iş gücü yönetimi gibi fonksiyonların bütünleşik biçimde çalışmasına olanak tanır. Bu nedenle iletişim protokollerinin seçimi ve uygulanması, MES sisteminin başarısını doğrudan etkileyen stratejik bir karardır.

PROFIBUS İletişim Protokolünün Tarihçesi ve Gelişimi

PROFIBUS (Process Field Bus), endüstriyel otomasyon alanında yaygın olarak kullanılan, sahadan üst düzeye veri aktarımını sağlayan bir haberleşme protokolüdür. Almanya merkezli bir endüstriyel araştırma girişimi olarak 1987 yılında Deutsche Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT – Alman Federal Araştırma ve Teknoloji Bakanlığı) sponsorluğunda başlatılmıştır. Siemens başta olmak üzere çeşitli sanayi kuruluşlarının katkılarıyla geliştirilen PROFIBUS, ilk kez 1989 yılında resmi olarak tanıtılmıştır.

PROFIBUS'un temel amacı, farklı üretici firmalara ait cihazların ortak bir ağ üzerinden uyumlu biçimde haberleşmesini sağlamak ve otomasyon sistemlerinin modülerliğini artırmaktır.

PROFIBUS Protokolünün Yapısı ve Veri İletim Yöntemi

1. Protokolün Yapısı ve Veri İletim Yöntemi

PROFIBUS, OSI modelinin fiziksel, veri bağlantı ve uygulama katmanlarında çalışır. İletişim, **master-slave** yapısına dayanır; bir master, bağlı slave cihazlarla sırayla haberleşir. Çoklu master durumunda **token passing** mekanizması kullanılır. Veri iletimi, hem **döngüsel (cyclic)** olarak sürekli bilgi akışı hem de **anlık (acyclic)** işlemler için gerçekleştirilir. Veri çerçeveleri; adres, kontrol, veri ve hata denetimi alanlarından oluşur.

2. Kullanılan Altyapılar (Donanım/Yazılım)

Donanım:

- **Master cihazlar:** PLC, DCS, endüstriyel bilgisayarlar
- **Slave cihazlar:** Sensörler, aktüatörler, sürücüler
- **İletim ortamı:** RS-485 temelli bükümlü çift kablo; alternatif olarak fiber optik veya MBP (PROFIBUS-PA)
- **Diğer:** Repeater, terminator, PROFIBUS haberleşme modülleri

Yazılım:

- **Konfigürasyon:** Siemens TIA Portal, Step 7
- **Sürücüler:** PROFIBUS uyumlu donanım sürücüleri
- **Tanılama:** ProfiTrace, Softing Diagnostic Suite gibi analiz araçları

3. Veri Güvenliği, Hız ve Bağlantı Tipi

PROFIBUS, veri bütünlüğünü **CRC (Cyclic Redundancy Check)** ile sağlar. Hatalı iletilen veri otomatik olarak yeniden gönderilir.

İletim hızı, mesafeye bağlı olarak **9.6 kbit/s ile 12 Mbit/s** arasında değişir.

Bağlantı tipi, **asenchron seri iletişim** olup, zamanlama sinyali gerektirmeden, başlatma ve durdurma bitleriyle veri alışverişi yapılır. Bu, sistem genelinde esneklik ve geniş uyumluluk sağlar.

PROFIBUS: MES Entegrasyonu ve Kullanım Senaryoları

1. MES Yazılımlarıyla Entegrasyon Şekli

PROFIBUS, sahadaki cihazlarla (sensör, aktüatör, PLC vb.) gerçek zamanlı veri alışverişi sağlayarak MES (Manufacturing Execution System) yazılımlarına doğrudan veya dolaylı şekilde entegre olur. Bu entegrasyon genellikle şu yollarla sağlanır:

- **PLC üzerinden veri aktarımı:** PROFIBUS ağına bağlı PLC, saha verilerini toplar ve OPC, MQTT, REST API gibi üst katman protokolleri ile MES'e iletir.
- **Gateway cihazları:** PROFIBUS ile MES arasında veri dönüşümünü sağlayan arayüzler kullanılır.
- **SCADA veya DCS üzerinden köprüleme:** SCADA sistemleri hem PROFIBUS verilerini işler hem de MES'e veri aktarır.

Bu yapı sayesinde MES sistemleri üretim süreçlerini gerçek zamanlı izleyebilir, planlama, izlenebilirlik ve kalite yönetimini destekler.

2. Kullanım Senaryoları

- **Üretim Hattı Kontrolü:** PROFIBUS, motor sürücüleri, robotlar ve otomatik makinalar arasında hızlı ve güvenilir iletişim sağlar.
- **Veri Toplama:** Sıcaklık, basınç, hız gibi proses verileri sürekli toplanarak MES sistemine aktarılır.
- **Kalite Kontrol:** Ölçüm cihazlarından alınan veriler anlık olarak analiz edilerek kalite sapmaları hızlıca tespit edilir.
- **Enerji İzleme:** Enerji tüketim bilgileri sensörler üzerinden toplanarak MES üzerinden raporlanabilir.
- **Bakım Yönetimi:** PROFIBUS üzerinden gelen arıza veya durum bilgileri MES sistemine aktarılarak kestirimci bakım planlaması yapılır.

PROFIBUS'un Avantajları ve Dezavantajları

Avantajlar:

- **Yaygın kullanım:** Endüstride uzun süredir kullanıldığından geniş cihaz ve yazılım desteği vardır.
- **Gerçek zamanlı iletişim:** Döngüsel veri iletimi sayesinde zaman kritik uygulamalarda etkilidir.
- **Modüler yapı:** Farklı cihaz tipleri kolayca entegre edilebilir.
- **Gelişmiş tanılama:** Hata tespiti ve teşhisi için detaylı tanı bilgileri sunar.

Dezavantajlar:

- **Kablo uzunluğuna bağlı hız kaybı:** Mesafe arttıkça iletişim hızı düşer.
- **Yeni teknolojilere kıyasla sınırlı bant genişliği:** PROFINET gibi Ethernet tabanlı protokollere göre daha düşük veri kapasitesine sahiptir.
- **Asenkron yapı:** Senkron protokollere göre zaman hassasiyetinde sınırlamalar olabilir.

Gerçek Dünya Uygulama Örneği

1. Çok Üreticili VFD Entegrasyonu

Romanya’da bir üniversitede, Siemens, SEW ve Lenze markalarına ait üç farklı VFD, Siemens PLC ve HMI ile PROFIBUS-DP ağı üzerinden entegre edilmiştir. Çalışma, farklı cihazların tek bir PROFIBUS ağı üzerinde uyumla çalışabileceğini göstermektedir.

2. Spuntech Industries’de Ağ İzleme

Spuntech Industries tesisindeki 350 düğümlü PROFIBUS ağı, zaman zaman iletişim sorunları yaşamıştır. Softing tanılama araçlarıyla sorunlar tespit edilip giderilmiş, böylece ağ güvenilirliği artırılmıştır.

3. Güney Afrika Platin Madeni Ağ Yeniden Yapılandırması

Güney Afrika’daki platin madeninde PROFIBUS ağı çökmüş, Industrial Data Xchange tarafından yapılan denetim ve yeniden yapılandırma ile ağın güvenilirliği yükseltilmiştir.

4. Alpha Grainger’de Sorun Giderme

Alpha Grainger tesisinde, Softing PROFIBUS Tester 5 cihazıyla kablo ve konnektör problemleri hızlıca tespit edilip, üretim hattı kısa sürede normale döndürülmüştür.

5. Jülich-Münih Standardı ile Nötron Saçılma Otomasyonu

Almanya’daki Forschungszentrum Jülich ve Münih Teknik Üniversitesi’nde, Siemens S7 PLC ve PROFIBUS DP kullanılarak nötron saçılma spektrometresi otomasyonu sağlanmıştır. Sistem, hareket kontrol ve veri toplama cihazlarının entegrasyonunu mümkün kılarak akademik araştırmalarda endüstriyel otomasyon uygulamasını göstermektedir

Gelecekteki Eğilimler: Endüstri 4.0 ve IoT Bağlamında PROFIBUS

PROFIBUS, uzun yıllardır saha iletişiminde güvenilir bir protokol olarak kullanılmıştır. Ancak Endüstri 4.0 ve Nesnelerin İnterneti (IoT) paradigmasının yükselişiyle birlikte, **daha esnek, yüksek bant genişlikli ve IP tabanlı protokollere ihtiyaç artmaktadır.**

PROFIBUS'un sınırlı bant genişliği ve kablo tabanlı yapısı, **gerçek zamanlı büyük veri aktarımı ve bulut entegrasyonu gerektiren modern uygulamalarda zorluk yaratmaktadır**. Bu nedenle, **PROFINET** gibi Ethernet tabanlı protokoller Endüstri 4.0'ın gereksinimlerine daha uygun görülmektedir.

Buna rağmen, PROFIBUS mevcut saha cihazları ve altyapısı nedeniyle **geçiş sürecinde kritik bir köprü görevi** üstlenmektedir. Ayrıca, bazı hibrit çözümler ve protokol geçiş araçları ile PROFIBUS, IoT ekosistemine adapte edilmeye çalışılmaktadır.

Sonuç ve Öneriler

PROFIBUS, endüstride uzun süredir güvenilir bir iletişim protokolü olarak kullanılıyor. Gerçek zamanlı veri iletimi ve geniş cihaz desteği önemli avantajlar sağlıyor. Ancak Endüstri 4.0 ve IoT için daha hızlı ve esnek protokoller gerekiyor. Bu yüzden yeni projelerde PROFINET tercih edilebilir. Yine de mevcut PROFIBUS altyapısının korunup, IoT'ye uyumlu hale getirilmesi faydalı olacaktır. Böylece hem güvenilirlik hem de teknolojik gelişmeler dengelenmiş olur.

PROFINET Protokolünün Tarihçesi

ProfilNet İletişim Protokolünün Tarihçesi ve Gelişimi

ProfilNet, Siemens tarafından geliştirilen ve ilk kez 2001 yılında tanıtılan bir endüstriyel Ethernet standardıdır. PROFIBUS Organization tarafından desteklenmektedir ve zaman içinde Endüstri 4.0 ile uyumlu hâle getirilerek özellikle otomasyon sistemlerinde geniş yer bulmuştur. ProfilNet, özellikle gerçek zamanlı veri iletimi gerektiren uygulamalarda PROFIBUS'un yerini alacak şekilde geliştirilmiştir. PROFINET, Ethernet TCP/IP protokol yapısı üzerine inşa edilmiştir ancak aynı zamanda gerçek zamanlı (Real-Time - RT) ve istenirse deterministik ultra gerçek zamanlı (Isochronous Real-Time - IRT) iletişimi de destekler. Bu sayede hem bilgi teknolojileri (IT) hem de operasyonel teknolojiler (OT) arasında köprü kurar.

ProfilNet Protokolünün Yapısı ve Veri İletim Yöntemi

PROFINET üç iletişim tipi sunar:

- **Non-real-time (NRT):** TCP/IP tabanlı, bakım ve konfigürasyon için.
- **Real-time (RT):** Kontrol uygulamaları için hızlı, ancak deterministik değil.
- **Isochronous Real-time (IRT):** Senkron ve deterministik, hareket kontrolü için ideal.

Veri iletimi Ethernet çerçeveleri ile yapılır ve OSI modelinin 1-4. katmanlarında çalışır. Üst katmanlarda kendi protokolleri kullanılır.

Altyapı:

Standart Ethernet donanımıyla uyumlu, ancak yüksek hız için özel ASIC/FPGA kartları tercih edilir. Yazılımda gömülü sistemlerde özel sürücüler kullanılır. Cihazlar GSDML dosyalarıyla tanımlanır.

Güvenlik, Hız ve Bağlantı:

VLAN, SNMP, IGMP gibi protokollerle veri güvenliği sağlanır. Kimlik doğrulama ve şifreleme özellikleri geliştirilmekte. Bağlantılar genelde asenkron, ancak IRT modunda senkron zamanlama mümkündür. Hız 100 Mbit/s'den Gigabit seviyesine kadar çıkabilir.

PROFINET: MES Entegrasyonu ve Kullanım Senaryoları

MES Yazılımlarıyla Olan Entegrasyon Şekli

PROFINET, MES sistemlerine doğrudan veri sağlayan katman olan SCADA ve PLC sistemlerine entegre edilerek veri toplama görevini üstlenir. PROFINET ile haberleşen cihazlar, üretimden gerçek zamanlı verileri (üretim sayısı, makine durumu, kalite verisi) anlık olarak MES sistemlerine iletir. Bu, üretim takibi, performans izleme ve hata yönetimi gibi işlevleri kolaylaştırır.

Kullanım Senaryoları

- **Üretim Hattı Kontrolü:** PROFINET, üretim hücreleri ve robotik sistemler arasında senkron veri alışverişi sağlar.
- **Veri Toplama:** Makine sensörlerinden sıcaklık, titreşim, hız gibi veriler toplanarak MES'e iletilir.
- **Kalite Kontrol:** Gerçek zamanlı ölçüm sistemleri ile elde edilen kalite verileri, doğrudan analiz edilerek üretimin kalitesini artırır.

PROFINET'in Avantajları ve Dezavantajları

Avantajlar:

Gerçek zamanlı ve senkron veri iletimi

Ethernet altyapısı ile kolay entegrasyon

Yüksek esneklik ve geniş cihaz uyumluluğu

Endüstri 4.0 ile uyumlu mimari

Dezavantajlar:

Yüksek hızlı senkron uygulamalar için özel donanım ihtiyacı

Gelişmiş güvenlik önlemleri için ek yazılımsal yatırımlar gerekebilir

Kurulum ve yapılandırma süreçleri karmaşık olabilir

Alternatif Protokollerle Kıyaslama

Gelecekteki Eğilimler: Endüstri 4.0 ve IoT Bağlamında PROFINET

1. SSAB Çelik Tesisinde PROFINET Uygulaması

SSAB firması, yeni kurduğu çelik fabrikasında PC tabanlı Proview kontrol sistemine entegre edilmiş Softing PROFINET yazılımını kullanarak 650'den fazla saha cihazını yönetmektedir. Bu yapı, gerçek zamanlı veri iletimi (8–32 ms döngü süresi) ile üretim süreçlerinde yüksek performans sağlamıştır.

2. Büyük Ölçekli Otomasyon Ağlarında PROFINET

Bu çalışma, çok sayıda cihaz içeren büyük bir otomasyon ağında PROFINET IO RT'nin performansını incelemiştir. Elde edilen veriler, PROFINET'in düşük gecikme ve yüksek güvenilirlik sağladığını ve geniş ağlarda etkili çalışabildiğini göstermektedir.

3. Nötron Araştırmalarında PROFINET Kullanımı

Jülich Nötron Merkezi'nde, Siemens PLC sistemleriyle entegre PROFINET IO protokolü kullanılarak, nötron saçılma cihazlarının veri iletişimi ve kontrolü sağlanmıştır. Sistem, güvenilirlik ve entegrasyon kolaylığı açısından başarıyla uygulanmıştır.

4. Kablosuz PROFINET ile Esnek Üretim

Celona tarafından geliştirilen bir çözümle PROFINET, 5G üzerinden kablosuz çalıştırılmıştır. Bu yapı, özellikle mobil üretim ekipmanlarında esneklik sağlamış ve kablosuz süreç otomasyonunun yolunu açmıştır.

5. Dolum ve Paketleme Makinelerinde PROFINET Tanılama

Bir dolum ve şişeleme makineleri üreticisi, PROFINET protokolünü Ethernet anahtarlarıyla entegre ederek sistem tanılamaı geliştirmiştir. Bu, arıza süresini azaltmış ve pazara sunma süresini kısaltmıştır.

Gelecekteki Eğilimler: Endüstri 4.0 ve IoT Bağlamında PROFINET

Endüstri 4.0 ve Nesnelerin İnterneti (IoT), üretim sistemlerini daha otonom ve veri odaklı hale getiriyor. PROFINET, bu yeni paradigma ile tam uyumlu çalışarak, bulut bilişim sistemlerine veri sağlayabilir. Edge computing cihazları ile birlikte çalışarak yerel veri işleme yeteneklerini de destekler. PROFINET'in TSN (Time Sensitive Networking) protokolü ile birlikte kullanılması, gelecekteki deterministik Ethernet uygulamalarına temel oluşturacaktır.

Sonuç ve Öneriler

PROFINET, modern üretim sistemlerinin ihtiyaç duyduğu esnek, hızlı ve güvenilir iletişim altyapısını sağlamada önemli bir rol üstlenmektedir. MES sistemleriyle olan yüksek uyumu sayesinde gerçek zamanlı üretim takibi, veri analitiği ve kalite kontrol süreçlerini desteklemektedir. Bununla birlikte, uygulama öncesi altyapı planlaması, donanım

gereksinimleri ve güvenlik önlemleri titizlikle ele alınmalıdır. PROFINET'in Endüstri 4.0 vizyonuna uyumlu yapısı sayesinde, gelecekte üretim hatlarının daha akıllı ve otonom hale gelmesi beklenmektedir.

Özet ve Sonuç

Profibus ve Profinet, endüstriyel otomasyon dünyasında veri iletişimi alanında önemli ve tamamlayıcı roller üstlenen iki temel protokoldür. Profibus, uzun yıllar boyunca saha cihazları ile kontrol sistemleri arasında güvenilir, kararlı ve yaygın olarak kullanılan seri iletişim standardı olarak işlev görmüştür. Buna karşılık Profinet, modern Ethernet tabanlı altyapısı sayesinde yüksek hız, gerçek zamanlı veri iletimi, esneklik ve daha geniş ağ ölçeklendirme imkânları sunar. Günümüzde, endüstriyel tesislerde bu iki protokolün birlikte kullanımı yaygınlaşmakta olup, bu sayede hem mevcut Profibus altyapılarının korunması hem de Profinet'in sunduğu gelişmiş teknolojilerin entegrasyonu mümkün olmaktadır. Bu entegrasyon, üretim süreçlerinin daha verimli, kesintisiz ve güvenilir şekilde yönetilmesini sağlar. Ayrıca, Profinet'in sunduğu deterministik veri iletimi ve yüksek bant genişliği, özellikle karmaşık ve yüksek hız gerektiren otomasyon uygulamalarında büyük avantajlar yaratır. Sonuç olarak, Profibus ve Profinet'in birbirini tamamlayan özellikleri, endüstriyel otomasyonda hem geleneksel saha iletişiminin sürekliliğini sağlar hem de dijitalleşme ve Endüstri 4.0 hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynar. Bu nedenle, her iki protokolün doğru şekilde anlaşılması ve kullanılması, modern üretim sistemlerinin sürdürülebilirliği ve rekabet gücü açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Rață, M., Graur, A., & Rață, G. (2022). Case Study of a PROFIBUS Network. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 20(4), 135–138.
 - Softing Industrial. (2014). Case Study: Profibus Monitoring at Spuntech Industries. Erişim: industrial.softing.com
 - IDX. (2023). Case Study: Leveraging the Anybus ProfiHub B5R to Reduce Network Faults. Erişim: blog.idx.co.za
 - Softing Industrial. (2018). Case Study: PROFIBUS Troubleshooting at Alpha Grainger. Erişim: industrial.softing.com
- Kleines, H. ve ark. (2002). Implementation of the control and data acquisition system for a small angle neutron scattering spectrometer according to the "Juelich-Munich standard". *arXiv:cond-mat/0210423*. <https://arxiv.org/abs/cond-mat/0210423>
PROFİLBUS
 - Softing Inc. (2013, June 20). Softing's PROFINET software helps control steel plant. *Automation.com*. <https://www.automation.com/en-us/articles/2013-2/softings-profinet-software-helps-control-steel-pla>
- Ferrari, P., Flammini, A., Rinaldi, S., & Sisinni, E. (2012). Large PROFINET IO RT networks for factory automation: A case study. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 8(2), 337–346. <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2172451>
- Kleines, H., Ackens, A., & Suxdorf, F. (2018). Application of PROFINET IO in neutron scattering instruments. *arXiv preprint arXiv:1806.09229*. <https://arxiv.org/abs/1806.09229>
 - Celona. (2023). Wireless Process Automation with PROFINET. https://pages.celona.io/hubfs/Act-on%20Media%20Files/Celona%20-%20Solution%20Brief%20-%20Profinet_05%20v1.6.4.4.pdf