Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 23(5), 573-580, 2017

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

IEEE 802.11 kablosuz LAN kullanarak PROFIBUS segmentlerin genişletilmesi

Extending PROFIBUS segments through IEEE 802.11 wireless LAN

Cüneyt BAYILMIŞ[1], İbrahim ÖZÇELİK[1]*

[1]Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye.
cbayilmis@sakarya.edu.tr, ozcelik@sakarya.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 05.02.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 23.06.2016 doi: 10.5505/pajes.2016.15579
* Yazışılan yazar/Corresponding author
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

PROFIBUS uluslararası standartlar ile tanımlanmış endüstriyel süreç kontrol uygulamalarında yaygın kullanıma sahip bir saha veri yoludur. Diğer saha veri yolu sistemleri gibi PROFIBUS sistemlerin de bağımsız saha veri yolu segmentlerini genişletmek ve diğer ağlar ile haberleşmek olmak üzere iki temel gereksinimi vardır. Bu gereksinimleri karşılamak için en iyi çözüm yüksek veri iletim hızları, maliyet ve hareketlilik gibi avantajları ile kablosuz ağ teknolojilerinden yararlanmaktır. Bu araştırma çalışmasında PROFIBUS segmentleri IEEE 802.11g WLAN aracılığıyla genişletmek için tasarlanan PROFIBUS/IEEE 802.11g WLAN Kablosuz Arabağlaşım Birimi (KAB) sunulmaktadır. Tasarlanan PROFIBUS/IEEE 802.11g WLAN KAB'ın modellemesi ve bilgisayarlı benzetimi ayrık olay simülasyon tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Kablosuz Arabağlaşım Biriminin başarım analizi, PROFIBUS saha veri yolunun kullanım oranı, bağımsız PROFIBUS segmentlerin (uzak) mesajlarının uçtan-uca gecikme ve KAB'ın işlem zamanı parametrelerine göre gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: PROFIBUS, IEEE 802.11g WLAN, Kablosuz arabağlaşım

Abstract

PROFIBUS is defined with international standards is a fieldbus standard with widespread usage in industrial process control applications. PROFIBUS as other Fieldbus systems has two main requirements such as extending independent PROFIBUS segments and communicating with other LANs. To overcome these requirements the best solution is to utilize wireless network technologies due to advantages such as high data rates, cost and mobility etc. In this research work, the designed PROFIBUS/IEEE 802.11g WLAN Wireless Interworking Unit (WIU) is presented to extend PROFIBUS segment through IEEE 802.11 g WLAN. Modeling and computer simulation of the designed WIU are performed using discrete-event simulation technique. Performance evaluation of the Wireless Interworking Unit is carried out according to utilization of PROFIBUS segments, end-to-end message delay of independent PROFIBUS segments (remote) messages and WIU process time parameters.

Keywords: PROFIBUS, IEEE 802.11g WLAN, Wireless interworking

1 Giriş

PROcess Field Bus (PROFIBUS), FIP, IEC/ISA ve CAN gibi saha veri yolları (FieldBus) endüstriyel otomasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sayısal haberleşme hat özelliğine sahip olan saha veri yolları sensörler, eyleyiciler (actuator) ve proses kontrolörlerin arabağlantısı için tasarlanmıştır. Saha veriyolu sistemlerini birbirinden ayıran temel farklar arasında ortam erişim mekanizması ve veri iletim hızı özellikleri sayılabilir [1],[2].

Endüstriyel haberleşme sistemleri genellikle bilgisayarla tümleşik üretim zincirine (Computer Integrated Manufacturing, CIM) göre hiyerarşik bir yapıda gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle değişik seviyelerden oluşan katmanların birbirleri ile haberleşme ihtiyacı bulunmaktadır. CIM mimarisinde üst katmanlarda yer alan bilgisayarlar denetim işlerini yerine getirirken alt katmanlarda yeralan sensör ve süreç kontrol elemanları üst katmandan gelen komutları/görevleri yerine getirirler.

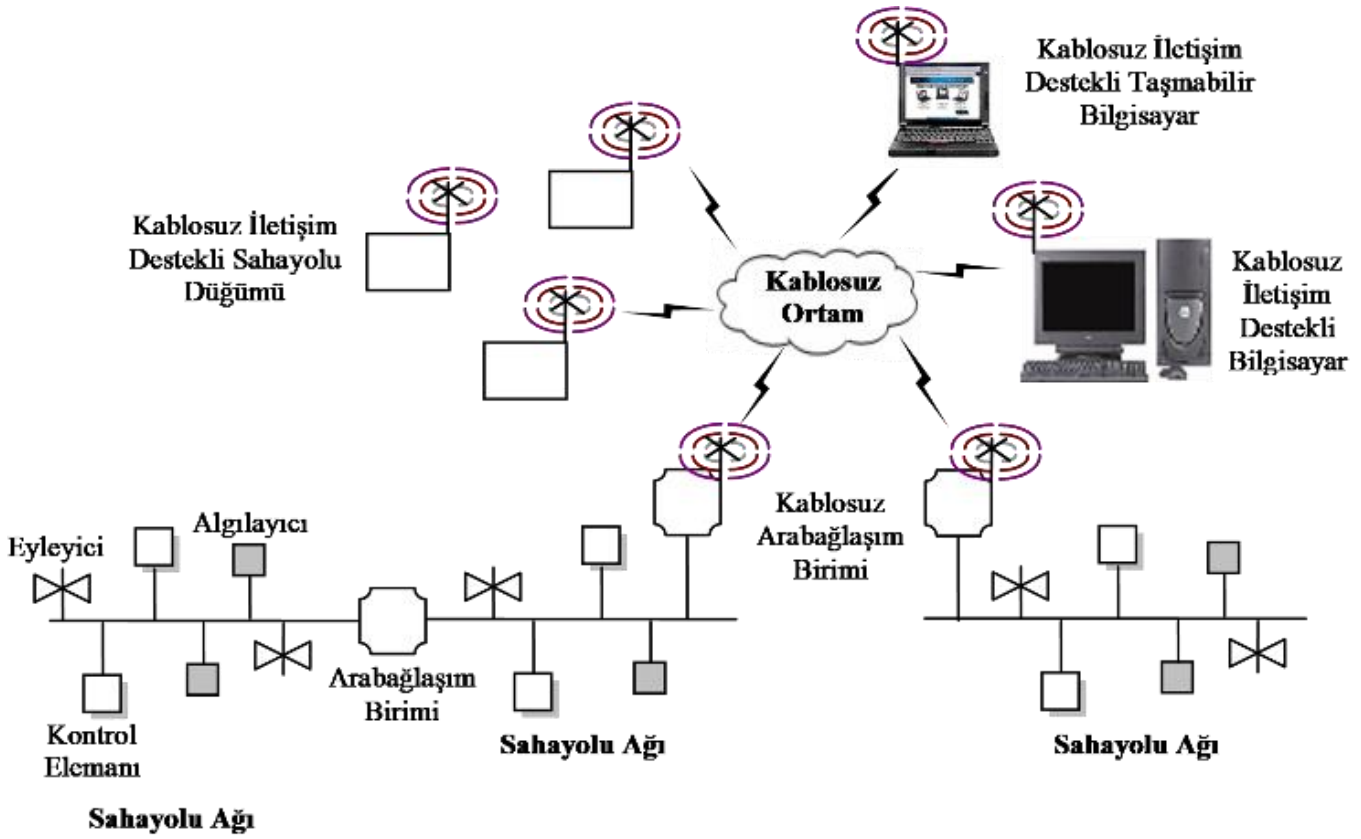
Diğer saha veri yolu sistemlerinin de olduğu gibi PROFIBUS saha veri yolunun da iki temel problemi ve gereksinimi vardır. Birincisi, saha veri yolunun sınırlı uzunluğu ve aynı saha veri yolu (segment) içerisinde bağlantısı yapılabilecek kontrol elemanlarının sayısındaki sınırdır. İkincisi ise saha veri yolu segmentlerinin birbirleri ve diğer yerel alan ağları ile haberleşme ihtiyacıdır.

Bu problemlerin çözümü, mevcut saha veriyollarının bölünmesi ve her bir saha veri yolunun uygun kablolu ya da kablosuz Arabağlaşım Birimi (Interworking Unit) elemanları aracılığıyla bağlanmasıdır. Kablolamanın zorlukları ve maliyeti dikkate alındığında Saha veri yolu ağların arabağlantısında, kurulum, maliyet, hareketlilik ve günümüzdeki yaygın kullanımı gibi avantajları nedeniyle kablosuz ağ teknolojilerinin kullanımı önemli bir çözümdür [2],[4].

Şekil 1'de saha veri yolu sistemlerinin kablosuz ağlar üzerinden birbirleri ve diğer ağlar üzerinden haberleşme mimarisi görülmektedir.

Bu çalışmada en popüler saha veri yolu sistemlerinden olan PROFIBUS segmentlerinin birbirleri ve diğer ağlar ile haberleşme ihtiyacını karşılamak amacıyla IEEE 802.11g WLAN
(Wireless LAN) kablosuz yerel alan ağları üzerinden PROFIBUS segmentlerin haberleşmesini sağlayan bir Kablosuz Arabağlaşım Birimi (KAB) tasarımı ve bilgisayarlı benzetimi sunulmaktadır.

Makalenin organizasyonu şu şekildedir. Bölüm 2'de saha veri yolu sistemlerinin kablosuz ağ teknolojileri ile genişletilmesi üzerine literatür taraması verilmektedir. Bölüm 3'te genel hatları ile PROFIBUS ve IEEE 802.11 g kablosuz yerel ozalan ağları özetlenmektedir. Bölüm 4'te önerilen KAB'ın yapısı açıklanmaktadır. Bölüm 5'te ise önerilen KAB'ın OPNET Modeler yazılımında gerçekleştirilen bilgisayar modeli ve gerçekleştirilen modelin örnek bir ağ yapısı üzerinde başarım analizi sunulmaktadır.



Şekil 1: Saha veri yolu sistemlerinde kablosuz iletişimin kullanımı.

2 İlgili çalışmalar

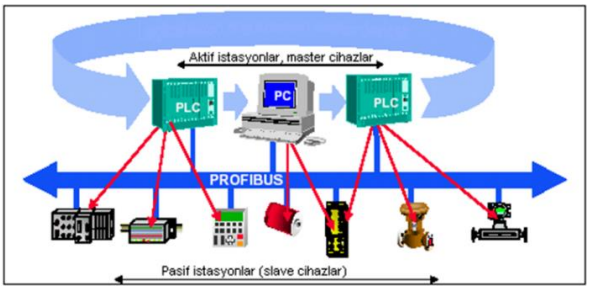
Bluetooth, IEEE 802.11 gibi farklı kablosuz ağ teknolojilerinin CAN, PROFIBUS, ISA gibi farklı endüstriyel ağların genişletilmesi amacıyla kullanımı üzerine literatürde çalışmalar mevcuttur. Bayilmis ve diğ. çalışmalarında denetleyici alan ağlarının (Controller Area Network, CAN) IEEE 802.11b kablosuz yerel alan ağları aracılığıyla haberleşmesini sağlayacak bir köprü geliştirmişlerdir. Yapmış oldukları köprü tasarımını OPNET Modeler yazılımında modellemişler ve başarım değerlendirmesinde IEEE 802.11b WLAN teknolojisinin CAN gereksinimlerini karşıladığını göstermişlerdir [3]. Cavalieri ve Pano, IEC/ISA sahayolu ağları ve CIM mimarisindeki yönetim/hücre seviyesindeki cihazların IEEE 802.11 kablosuz yerel alan ağları üzerinden haberleşmesini sağlayacak bir mimari sunmuşlardır [4]. Erturk [5] CAN mesajlarının kablosuz ATM üzerinden transferine yönelik yeni bir yöntem önermiştir. Ozcelik [6] çalışmasında CAN segmentlerin IEEE 802.16 kablosuz şehirsel alan ağları üzerinden arabağlaşımı için köprü tasarımı gerçekleştirmiştir. Koulamas ve diğ. [7] kablolu ve kablosuz PROFIBUS saha veri yollarında kullanımı için doğrudan geçişli iletim elemanı mimarisi önermişler ve analitik modelini sunmuşlardır. Alves [8] çalışmasında PROFIBUS saha veri yolu sistemleri için hem kablolu hem de kablosuz haberleşme mimarisi önermiştir. Sousa ve Ferreira [9], PROFIBUS segmentlerin kablosuz ağlar üzerinden genişletilmesi için arabağlaşım sistemlerinin kullanıldığı iki yaklaşım önermiş, simülasyon ve analitik modellerinin başarım analizini gerçekleştirmiştir. Kablolu ve kablosuz ağlar arasında iletişimi sağlayan arabağlaşım sisteminin tekrarlayıcı ve köprü olmak üzere iki farklı modda çalışmasını incelemişlerdir. Kjellsson ve diğ. [10] fabrika otomasyon hiyerarşisi içerisinde PROFINET IO ve PROFIBUS alan ağların 802.11b/g kablosuz teknolojileri ile entegrasyonu için WISA isimli bir yapı önermişlerdir. Zhong ve diğ. [11] çalışmalarında hibrit PROFIBUS-DP ağların 802.11 temelli WIA-FA kablosuz endüstriyel ağları üzerinden genişletilmesi için ağ geçidi mimarisi sunmaktadır. Pellegrini ve diğ. [12] çalışmalarında saha seviyesinde kablosuz ağ teknolojilerinin kullanımını incelemişlerdir. Kablosuz ağ teknolojilerinden Bluetooth ve IEEE 802.11 WLAN'ın kullanımını önermişlerdir. Endüstriyel ağların arabağlaşımı için kullanılan kablosuz teknolojiler ve uygulamalarını içeren tarama çalışmaları da literatürde mevcuttur [13].

Bu makalede gerçekleştirilen çalışmayı yukarıda verilen literatürdeki çalışmalardan ayıran özellikler arasında önerilen 802.11g standardının kullanımı, kablosuz arabağlaşım biriminin ayrıntılı tasarımı ve bilgisayarlı modellemesinin sunumu sayılabilir.

3 PROFIBUS ve IEEE 802.11 kablosuz LAN

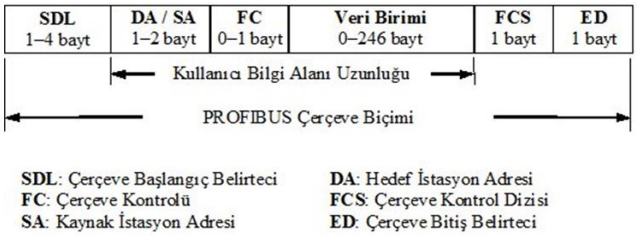
3.1 PROFIBUS

PROFIBUS, CIM mimarisinde saha seviyesinden hücre seviyesine kadar dağıtık sayısal kontrol cihazlarının bir saha veri yolu üzerinden haberleşmesini sağlayan uluslararası standartlarla (IEC 61158, EN 50170) tanımlanmış bir endüstriyel iletişim protokolüdür. Şekil 2'de görüldüğü üzere PROFIBUS farklı işlevlere sahip aktif (master) ve pasif (slave) cihazlardan oluşur [2],[14],[15].



Şekil 2: PROFIBUS ağ yapısı.

Aktif cihazlar, veriyolu üzerindeki veri trafiğini belirleme (jetona sahip olma) kabiliyetine sahipken pasif cihazların ise veriyoluna erişim hakları bulunmamaktadır. PROFIBUS çok yöneticili (multimaster) bir sistemdir ve böylece dağıtık çevre birim cihazlarının aynı anda tek bir veri yolu üzerinden kontrol edilmesi ve izlenmesine imkan tanır. PROFIBUS iletişim profilleri DP (Decentralized Periphery) ve FMS (Fieldbus Message Specification) aynı ortam erişim protokolünü kullanırlar. Şekil 3'te PROFIBUS veri bağı katmanı çerçeve biçimi görülmektedir [2],[14],[15].



Şekil 3: PROFIBUS çerçeve biçimi.

PROFIBUS genel olarak dört farklı veri iletim hizmeti sunar. Bunlar:

- Kabulsüz veri gönder (Send data with no acknowledge, SDN),
- Kabullü veri gönder (Send data with acknowledge, SDA),
- Cevaplı veri gönder ve iste (Send and request data with reply, SRD),
- Çevrimli cevaplı veri gönder ve iste (Cyclic send and request data with reply, CSRD).

Simülasyon modelinde SDN ve SRD veri iletim hizmetlerini destekleyen PROFIBUS DP iletişim profili kullanılmıştır. SDN, bir master istasyondan veriyolu üzerindeki tüm istasyonlara yayın yapmak için kullanılan kabulsüz bir hizmettir. SRD hizmeti, veriyi tek bir mesaj çevrimi içerisinde iletir ve alır. SRD hizmetinde master, çıkış verilerini slave cihazına veya jetona sahip olmayan master cihaza gönderir ve giriş verilerini (eğer slave cihazda varsa) belirli bir zaman içinde alır. Eğer slave bir çıkış cihazı ise, kısa kabul paketi ile cevap verir [2],[14],[15].

3.2 IEEE 802.11 WLAN

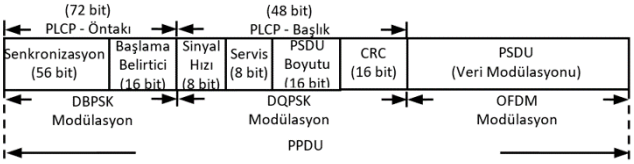
Kablosuz Ethernet ya da WiFi olarak ta adlandırılan IEEE 802.11 kablosuz yerel alan ağları günümüzde en yaygın kablosuz ağ teknolojisidir. 2.4 GHz ISM (Industrial, Scientific Medical) ve 5 GHz U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure) frekans bant seçenekleri, farklı veri iletim hız destekleri ve farklı fiziksel katman seçenekleri ile IEEE 802.11 ailesi 802.11 a/b/g/n/ac gibi adlandırılan birkaç alt standarttan oluşmaktadır.

Bu standartlar arasında 802.11b standardı temel alınarak geliştirilen 2.4 GHz ISM bandında 54 Mbit/s veri iletim hızlarını destekleyen IEEE 802.11g standardı günümüzde yaygın kullanıma sahiptir. 802.11g standardının getirdiği yeni özellikler arasında dört farklı fiziksel katman seçeneği, kısa öntakı tip desteği, ERP (extended rate physicals) ağ özelliği, birlikte çalışmayı ele alan koruma mekanizması sayılabilir [16]-[18].

IEEE 802.11 WLAN merkezi bir düğüm gerektirmeyen çekişme esaslı dağıtık eşgüdüm fonksiyonu (Distributed Coordination Function, DCF) ve merkezi bir düğüm gerektiren çekişmeden bağımsız nokta eşgüdüm fonksiyonu (Point Coordination Function, PCF) ortam erişim mekanizmalarını kullanır. Eşe-eş (adhoc) haberleşmeyi de destekleyen DCF, çarpışmadan kaçınma ile taşıyıcı duyarlı çoklu erişim (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance, CSMA/CA) olarak ta bilinir. 802.11g standardı, WLAN haberleşmesinde eklenen ek yükleri (overhead) azaltmak amacıyla ortam erişim mekanizmasında kullanılan RTS/CTS mekanizmasına alternatif CTS-to-Self mekanizması tanımlamıştır [16].

IEEE 802.11 standardında fiziksel katman, ortam erişim kontrol katmanı ile kablosuz iletişim ortamı arasında arabağlaşım görevi görür. 802.11g standardı DSSS, OFDM ve her ikisini de kullanan dört farklı fiziksel katman seçeneği sunar. Bu fiziksel katmanlar arasındaki fark desteklediği veri iletim hızı ve öntakı ile başlık uzunluklarıdır. Fiziksel katman, Fiziksel Katman Dönüşüm Prosedürü (Physical Layer Convergence Procedure–PLCP) ve Fiziksel Ortam Bağımlı (Physical Medium Dependent-PMD) alt katmanlarından oluşur. PLCP alt katmanı MAC katmanı ile haberleşir ve iletim için MAC protokol veri birimini (MAC Protocol Data Units, MPDUs) hazırlar. PLCP, alıcı ve vericinin ihtiyacı olan veriyi içeren MPDU'ya fiziksel katman seçeneğine özel öntakı (preamble) ve başlık (header) ekler. MPDU aynı zamanda PLCP servis veri birimi (PLCP Service Data Unit, PSDU) olarak da bilinir.

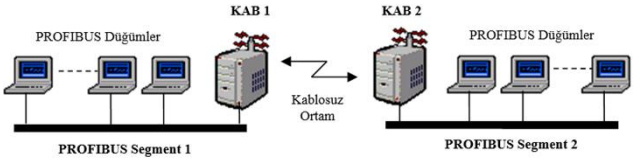
DSSS-OFDM fiziksel katmanında kullanılan veri paketi biçimi Şekil 4'te verilmektedir. PLPC protokol veri birimi (PLCP Protocol Data Unit, PPDU) ise düğümler arası PSDU'nun transferini sağlayan çerçevedir. DSSS-OFDM PPDU, kısa (72bit) ve uzun (144bit) olmak üzere iki farklı öntakı kullanır. PLCP paketi PLCP öntakısı, PLCP başlık ve MAC protokolü veri birimi alanlarını içermektedir [16],[18].



Şekil 4: IEEE 802.11g DSSS-OFDM fiziksel katman PLCP paket biçimi.

4 PROFIBUS/IEEE 802.11 WLAN kablosuz arabağlaşım birimi tasarımı

Bu bölümde PROFIBUS segmentlerin kablosuz yerel alan ağları üzerinden haberleşmesini sağlayan PROFIBUS/IEEE 802.11g WLAN Kablosuz Arabağlaşım Birimi (KAB)'nin tasarımı sunulmaktadır. KAB'ın kullanıldığı örnek bir endüstriyel ağ modeli Şekil 5'te görülmektedir.



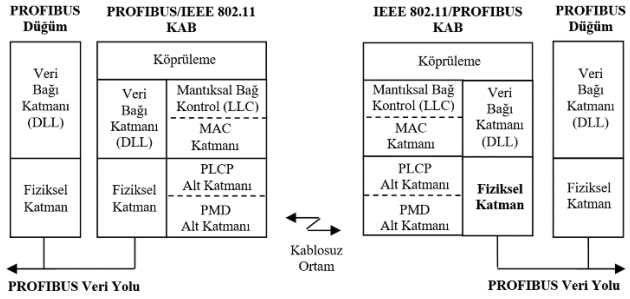
Şekil 5: KAB'ın kullanımına örnek bir ağ modeli.

Benzer ya da farklı ağların iletişimi amacıyla arabağlaşım cihaz kullanımı tercih edilir. Arabağlaşım cihazları, benzer ağlar için doğrudan aktarmalı iletim proseslerini, farkı ağlar için ise hem dönüştürme hem de iletme proseslerini yerine getirir. Farklı ağların ara bağlantısında dönüştürme ve iletme proseslerini yerine getiren kapsüllemeli arabağlaşım elemanları kullanılır. Bu araştırma çalışmasında PROFIBUS segmentleri IEEE 802.11g kablosuz ağları üzerinden birbirine bağlamak için kapsülleme yöntemini kullanan Kablosuz Arabağlaşım Biriminin kullanımı önerilmektedir [4].

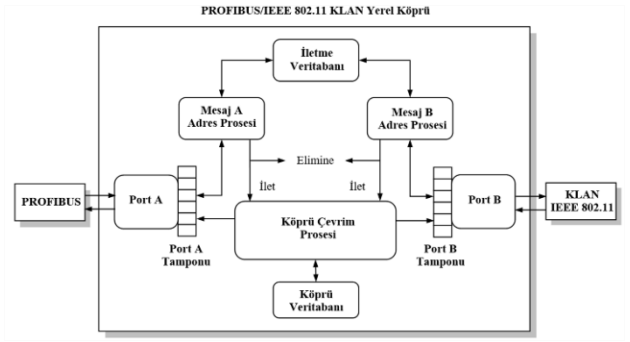
KAB, IEEE 802.11g kullanarak uzak PROFIBUS segmentlerin arabağlantısını sağlayan iki porta sahiptir. İki farklı ağ arasında iletişimi sağlayabilmesi için aşağıdaki özellikleri yerine getirmelidir.

- Çerçeve biçimlerinin ve boyutlarının farklı olması,
- Farklı hücre öncelik mekanizması kullanımları,
- Farklı ortam erişim kontrol tekniklerine ve topolojilerine sahip olmaları,
- Köprünün PROFIBUS tarafındaki portunun fonksiyonu.

Yukarıda özetlenen bu özellikler ancak farklı ağları birbirine bağlayabilen saydam-çevrimli yerel bir köprü ile sağlanabilir. Şekil 6'da KAB'ın genel katmanlı sistem mimarisi ve Şekil 7'de saydam-çevrimli yerel köprünün prosesi görülmektedir.

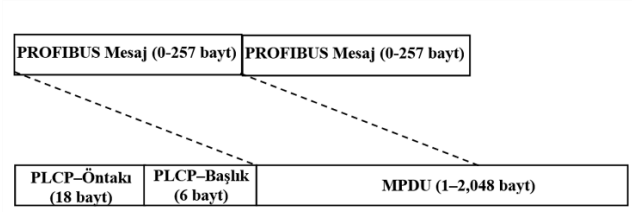


Şekil 6: KAB'ın katmanlı sistem mimarisi.



Şekil 7: Saydam-Çevrimli yerel köprü modeli.

KAB'ın temel fonksiyonu, PROFIBUS mesajları, IEEE 802.11g DSSS-OFDM çerçevelerinin içerisine kapsülleyerek (encapsulation) kablosuz ortam üzerinden iletmektir. PROFIBUS mesajın boyutunun maksimum 256 bayt olmasından dolayı herhangi bir parçalama/birleştirme ya da sıkıştırma/açma işlemine gerek kalmaksızın kolayca IEEE 802.11g DSSS-OFDM çerçevesi içerisindeki PSDU (MPDU) alanında taşınabilir (Şekil 8). Hedef KAB'da IEEE 802.11g çerçevelerinin ön takı ve başlık kısımları atılarak PSDU içerisinden PROFIBUS mesaj çıkartılır (decapsulation).



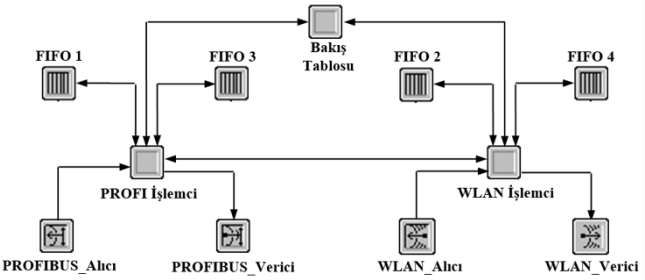
Şekil 8: IEEE 802.11 g çerçevesi içerisine PROFIBUS mesajlarının kapsüllenmesi.

5 PROFIBUS/IEEE 802.11g WLAN kablosuz arabağlaşım biriminin bilgisayarlı modellemesi ve benzetimi

PROFIBUS/IEEE 802.11g WLAN Kablosuz Arabağlaşım Biriminin bilgisayarlı modellemesi ve benzetimi ayrık olaylı simülasyon tekniği kullanarak OPNET Modeler [19] programında gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde PROFIBUS/IEEE 802.11g KAB'ın düğüm ve prosess modelleme süreci ile örnek bir ağ modeli üzerinde başarım değerlendirilmesi sunulmaktadır.

5.1 PROFIBUS/IEEE 802.11g WLAN KAB OPNET modeli

PROFIBUS/IEEE 802.11g KAB'ın OPNET Modeler yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen düğüm modeli Şekil 9'da görülmektedir. KAB düğüm modeli Şekil 7'de verilen saydam-çevrimli yerel köprü proses modelinin tüm işlevlerini yerine getirmektedir.



Şekil 9: PROFIBUS/IEEE 802.11g WLAN KAB düğüm modeli.

Şekilden görüldüğü gibi KAB'ın düğüm modeli aşağıda kısaca açıklanan on bir bölümden oluşmaktadır:

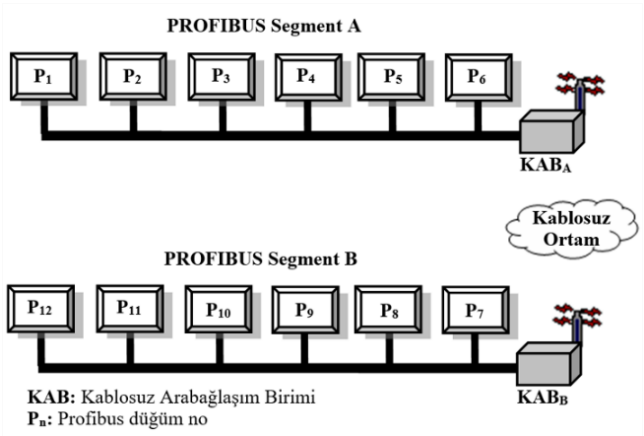
a) PROFIBUS_Alıcı, veri yolu üzerinden PROFIBUS mesajların alımını gerçekleştirir,
b) PROFIBUS_Verici, gönderilecek PROFIBUS mesajları veri yoluna koyar,
c) PROFI İşlemci, alınan mesajların filtrelenmesi, eğer uzak mesajlar ise WLAN çerçeve içerisine kapsüllenmesi vb gibi işlemleri yerine getirir. Genel olarak PROFIBUS protokolünün sağlanmasından sorumludur,
d) FIFO1, veri yolundan alınan köprüye ait olan PROFIBUS veri mesajlarını tutar,
e) FIFO3, kablosuz ortamdan gelen uzak PROFIBUS mesajların tutulduğu tampondur,
f) Bakış Tablosu (BT), KAB'ın en önemli parçasıdır. Hangi PROFIBUS mesajın hangi segmenti hedeflediğini belirten bilgileri tutar,
g) WLAN_Alıcı, kablosuz ortamdan gelen mesajların alımını gerçekleştiren alıcı içerir,
h) WLAN_Verici, WLAN çerçevelerinin kablosuz ortama iletimini gerçekleştirir,

i) WLAN İşlemci, kablosuz ortamdan alınan WLAN çerçevelerin içerisinden PROFIBUS mesajlarının çıkarılması, PROFIBUS'a iletilmek üzere PROFI İşlemci düğümüne gönderilmesi vb. işlemleri yerine getirir. Ayrıca, WLAN protokolünün sağlanmasından sorumludur,
j) FIFO2, PROFI İşlemci'den alınan WLAN içerisine kapsüllenmiş PROFIBUS mesajları tutar,
k) FIFO4, kablosuz ortamdan alınan WLAN çerçevelerinin tutulduğu tampondur.

Tasarlanan Kablosuz Arabağlaşım Biriminin her bir portu farklı çerçeve/mesaj formatı ve alma/iletme mekanizmasına sahip olduğundan her bir portta yürütülen süreçler farklıdır. Düğüm modelinde görüldüğü üzere PROFI İşlemci, PROFIBUS protokolünün çalışmasını sağlarken, WLAN İşlemci, WLAN protokolünün çalışmasını gerçekleştirir.

5.2 PROFIBUS/IEEE 802.11 WLAN KAB başarım analizi

Endüstriyel ağ uygulamaları çok geniş olduğundan başarım değerlendirmesi için genel bir model ya da bir Benchmark bulunmamaktadır. Bununla birlikte bir PROFIBUS ağ örneği, sistem başarımını değerlendirmek için kullanılabilmektedir. Tasarlanılan KAB'ın başarım analizi içinde Şekil 10'daki ağ modeli kullanılmıştır. Şekilden görüldüğü gibi simülasyon modeli her biri altı PROFIBUS düğümü ve bir KAB içeren iki ayrı segmentten oluşmaktadır.



Şekil 10: Simülasyon modeli.

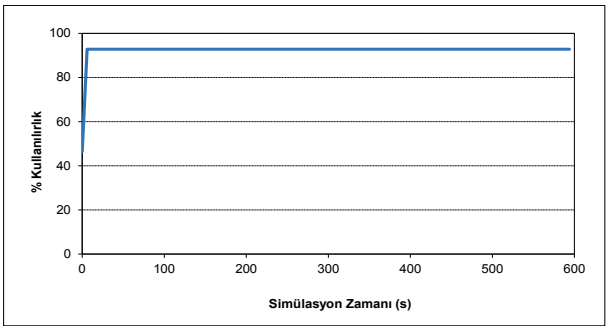
SIEMENS tarafından üretilen SIMATIC master cihazlar [20] kullanılarak oluşturulan simülasyon modelinde PROFIBUS düğümlerin ürettikleri mesajların özellikleri Tablo 1'de verilmektedir. Her segmentteki 6 PROFIBUS master düğümü arasındaki mesajlaşma 12'si yerel ve 3 uzak olmak üzere 15 mesaj ile gerçekleşmektedir. Tablo 2'de simülasyon parametreleri görülmektedir. PROFIBUS ağın veri iletim hızı 1.5 Mbit/s, IEEE 802.11g kablosuz yerel alan ağının veri iletim hızı ise 54 Mbit/s seçilmiştir. Ayrıca, kablosuz ortam kanal (yayılım) modeli olarak Engelsiz Yayılım (Free Space Propagation) modeli kullanılmıştır.

Örnek ağ modelinin başarım değerlendirmesi; PROFIBUS veriyolunun kullanım yüzdesi, yerel ve uzak PROFIBUS mesajlarının uçtan uca gecikme ve PROFIBUS/IEEE 802.11 g WLAN KAB'ın işlem zamanı parametrelerine göre gerçekleştirilmiştir.

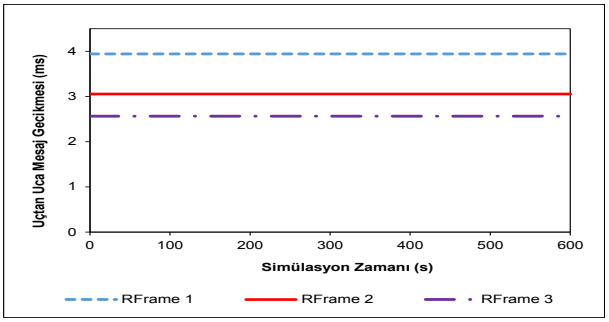
Şekil 11'de simülasyon süresince PROFIBUS SegmentA'nın veri yolu kullanılırlığı görülmektedir. PROFIBUS kullanılırlığı simülasyon süresince veriyolunda transfer edilen mesajların sayısını göstermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere PROFIBUS Segment A'ya ait kullanılırlık oranı %92 civarındadır.

PROFIBUS sistemlerde mesaj zamanları ve mesaj miktarları önceden tanımlanır. PROFIBUS jeton rotasyon zamanı düğümde tanımlanmış mesaj ve mesaj sayılarına bağlıdır. Tablo 1'de simülasyon modelinde kullanılan mesajların, kaynak düğüm, hedef düğüm, servis türü, sahip olduğu veri uzunluğu (data length), toplam çerçeve uzunluğu gibi kullanılan istek ve yanıt mesajların özellikleri verilmektedir.

Geliştirilen KAB'ın etkisini anlayabilmek amacıyla ilk olarak uzak mesajların (Remote Frame, RFrame) uçtan uca gecikmeleri ele alınmıştır. Şekil 12'de simülasyon süresinin bir fonksiyonu olarak uzak mesajların uçtan uca mesaj gecikme değerleri görülmektedir. Uzak mesaj 1 (RFrame1) 3.94 ms, uzak mesaj 2 (RFrame2) 3.05 ms ve uzak mesaj 3 (RFrame3) 2.56 ms uçtan uca mesaj gecikmesi değerlerine sahiptir.

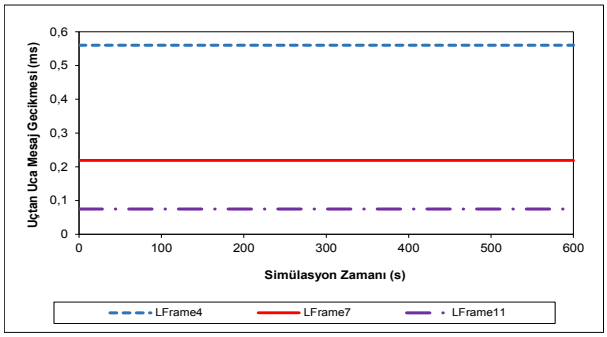


Şekil 11: Simülasyon süresince PROFIBUS segmentA'nın kullanılırlığı.



Şekil 12: Simülasyon süresince uzak PROFIBUS mesajlarının uçtan uca gecikmeleri.

Uzak mesajların uçtan uca gecikmeleri ve geliştirilen KAB'ın gecikmeye olan etkisi üzerine bilgi sahibi olabilmek için simülasyon modelindeki yerel mesajların gecikmelerini incelemekte fayda vardır. Şekil 13'te simülasyon süresinin bir fonksiyonu olarak en uzun (LFrame4), orta (LFrame7) ve en kısa (LFrame11) paket büyüklüğüne sahip yerel mesajların uçtan uca mesaj gecikme değerleri verilmektedir.



Şekil 13: Simülasyon süresince yerel PROFIBUS mesajlarının uçtan uca gecikmeleri.

Tablo 1: Simülasyon modelinde kullanılan PROFIBUS çerçeveleri.

Kaynak Düğüm	Mesaj No	Mesaj Türü	Servis Türü	SD	Veri Uzunluğu (bayt)	Çerçeve Uzunluğu (bayt)	Hedef Düğüm
1	1	RFrame1	SRD	SD3	8	14	R1
		Response		SD3	8	14	
	2	LFrame1	SRD	SD2	88	97	3
		Response		SD2	64	73	
	3	LFrame2	SRD	SD2	64	73	2
		Response		SD2	64	73	
		Token	Token	SD4	–	3	2
		Passing	Ok	SC	–	1	
2	4	LFrame3	SRD	SD2	128	137	6
		Response		SC	–	1	
	5	LFrame4	SRD	SD2	96	105	5
		Response		SC	96	105	
		Token	Token	SD4	–	3	3
		Passing	Ok	SC	–	1	
3	6	LFrame5	SRD	SD1	0	6	2
		Response		SD2	64	73	
	7	RFrame2	SRD	SD2	246	255	R3
		Response		SD2	66	75	
		Token	Token	SD4	–	3	4
		Passing	Ok	SC	–	1	
4	8	LFrame6	SRD	SD2	0	9	6
		Response		SD2	112	121	
	9	LFrame7	SRD	SD2	32	41	1
		Response		SD2	32	41	
		Token	Token	SD4	–	3	5
		Passing	Ok	SC	–	1	
5	10	LFrame8	SRD	SD2	64	73	1
		Response		SC	–	1	
	11	LFrame9	SRD	SD1	0	6	4
		Response		SD2	64	73	
	12	RFrame3	SRD	SD2	80	89	R5
		Response		SC	–	1	
		Token	Token	SD4	–	3	6
		Passing	Ok	SC	–	1	
6	13	LFrame10	SRD	SD2	64	73	3
		Response		SD2	128	137	
	14	LFrame11	SRD	SD3	8	14	4
		Response		SD3	8	14	
	15	LFrame12	SRD	SD2	32	41	5
		Response		SD2	64	73	
		Token	Token	SD4	–	3	1
		Passing	Ok	SC	–	1	

RFrame: Uzak mesaj (diğer segmentteki düğümü hedefleyen), LFrame: Yerel mesaj (aynı segmentteki düğümü hedefleyen), Token: Jeton mesajı, Response: Yanıt mesajı, Passing: Jetonun bir sonraki düğüme geçiş onay mesajı.

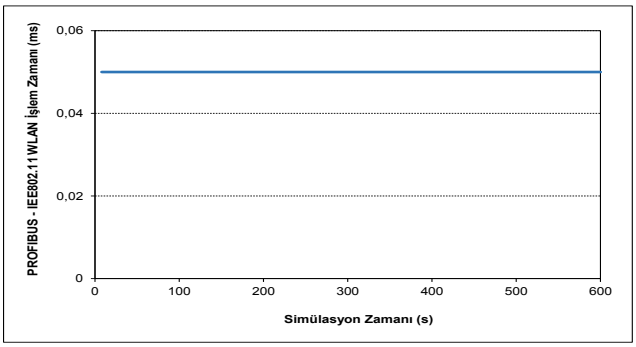
Tablo 2: Simülasyon parametreleri.

PROFIBUS Veri İletim Hızı	1.5 Mbit/s
PROFIBUS Mesaj Sayısı	15 mesaj (12 Yerel, 3 Uzak)
IEEE 802.11g Veri İletim Hızı	54 Mbit/s
Kablosuz Ortam Kanal Modeli	Engelsiz Yayılım (Free Space Propagation)

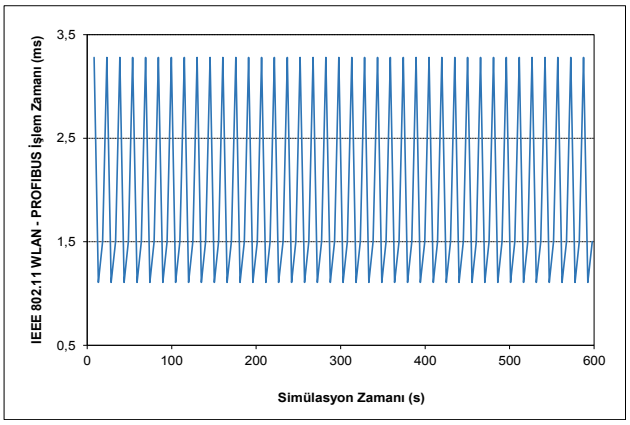
En uzun paket büyüklüğüne sahip yerel mesaj 0.56 ms, orta paket büyüklüğüne sahip yerel mesaj 0.21 ms ve en küçük paket büyüklüğüne sahip yerel mesaj 0.07 ms uçta uca gecikme değerine sahiptir. En düşük uçtan uca gecikmeye sahip uzak mesaj, en yüksek uçtan uca gecikmeye sahip yerel mesajdan yaklaşık 5 kat daha fazladır.

Şekil 14'te PROFIBUS segmentler arasında kablosuz ağ üzerinden mesaj iletimini gerçekleştiren PROFIBUS/IEEE 802.11g WLAN Kablosuz Arabağlaşım Biriminin her iki yöndeki (PROFIBUS'tan WLAN'a ve WLAN'dan PROFIBUS'a) işlem zamanları görülmektedir. Kablosuz arabağlaşım birimindeki işlem zamanı yani bir portundan diğer portuna veri transfer edilinceye kadar geçen süre KAB içerisinde akan mesaj miktarı ile doğrudan ilişkilidir. KAB'ın PROFIBUS veriyoluna bağlı portundan alınan bir mesajın filtreleme (uzak mesaj mı kontrol işlemi), WLAN çerçevesine kapsülleme işlemi ve WLAN portundan iletilme süreci Şekil 14a'da görüldüğü üzere 0.05 ms'dir. KAB'ın WLAN portundan alınan bir WLAN çerçevesi içerisinden PROFIBUS mesajın çıkarılması ve PROFIBUS veri yolundan iletilmesi için geçen süre ise Şekil 14b'den görüldüğü üzere 1.1 ms ile 3.3 ms arasında

değişmektedir. Bu değişim PROFIBUS protokolünün jetonlu halka erişim mekanizmasından kaynaklanmaktadır. PROFIBUS/IEEE 802.11 g WLAN Kablosuz Arabağlaşım Biriminde toplam en yüksek gecikme 3.35 ms ve en düşük gecikme de 1.15 ms olmaktadır.



(a): PROFIBUS-WLAN.



(b): WLAN-PROFIBUS süreçleri işlem zamanı.

Şekil 14: Simülasyon süresince kablosuz arabağlaşım biriminin.

6 Sonuçlar

Bu çalışmada endüstriyel iletişim sistemlerinde yaygın kullanıma sahip PROFIBUS saha veri yolu sistemlerinin genişletilmesi için kablosuz ağların kullanımı önerilmektedir. Bu amaçla PROFIBUS segmentlerin kablosuz yerel alan ağları aracılığıyla haberleşmesini sağlayacak bir PROFIBUS/IEEE 802.11g Kablosuz Arabağlaşım Biriminin tasarımı ve bilgisayar modellemesi sunulmuştur. Kablosuz teknoloji olarak günümüzde en yaygın kullanıma sahip ve özellikle endüstriyel ağlar ile karşılaştırıldığında yüksek veri iletim hızları sunan IEEE 802.11g WLAN teknolojisi tercih edilmiştir. Kablosuz Arabağlaşım Birimi, benzer olmayan ağların arabağlaşımında mesaj dönüşüm işlemleri (kapsülleme) gerçekleştiren saydam-çevrimli yerel köprü modeli baz alınarak geliştirilmiştir.

PROFIBUS ağları WLAN üzerinden genişleten KAB dört farklı temel işlevi yerine getirmektedir. Bunlar;

i) Sahip olduğu portları aracılığıyla PROFIBUS ve WLAN mesajların alımı,
ii) Alınan mesajların iletilip iletilmeyeceğine karar verme (filtreleme),
iii) PROFIBUS mesajların WLAN mesajları içerisine kapsüllenmesi ve WLAN mesajlarından çıkarılması ile,
iv) Mesajların hedef düğümlere iletilmesidir.

En yüksek uçtan uca mesaj gecikmesine sahip RFrame1 (3.95 ms) içerisinde en yüksek KAB işlem süresi (3.35 ms) %84 bir orana sahiptir. Simülasyon modelinde yerel mesajlara ait maksimum gecikme değerinin yaklaşık 0.6 ms olduğu gözönüne alındığında KAB işlem süresi çıkarıldığında simülasyon modelindeki uzak PROFIBUS mesajların gecikme değerlerinin kabul edilebilir olduğu görülmektedir.

7 Kaynaklar

[1] Thomesse JP. "Fieldbus technology in industrial automation". *Proceedings of the IEEE*, 93(6), 1073-1101, 2005.
[2] Ozcelik I, Ekiz H. "Design, implementation and performance analysis of the PROFIBUS/ATM Local Bridge". *Computer Standards & Interface*, 26(4), 329-342, 2004.
[3] Bayilmis C, Erturk I, Ceken C, Ozcelik I. "A CAN/IEEE 802.11b wireless lan local bridge design". *Computer Standards & Interface*, 30(3), 200-212, 2008.
[4] Cavalieri S, Pano D. "A novel solution to interconnect FieldBus systems using IEEE wireless LAN technology". *Computer Standards & Interface*, 20(1), 9-23, 1998.
[5] Erturk I. "A new method for transferring CAN messages using wireless ATM". *Journal of Network and Computer Applications*, 28(3), 45-56, 2005.
[6] Ozcelik I. "Interconnection of CAN segments through IEEE 802.16 wireless MAN". *Journal of Network and Computer Applications*, 31 (4), 879-890, 2008.
[7] Koulamas C, Koubias G, Papadopulos G. "Using cut-through forwarding to retain the real-time properties of profibus over hybrid wired/wireless architectures". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 51(6), 1208-1217, 2004.
[8] Alves F. Real-Time Communications Over Hybrid Wired/Wireless PROFIBUS-Based Networks. Phd Thesis, Porto University, Porto, Portogual, 2003.
[9] Sousa PB, Ferreira LL. "Hybrid Wired/Wireless PROFIBUS architectures: Performance study based on simulation models". *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2010 (1), 1-25, 2010.
[10] Kjellsson J, Vallestad AE, Steigmann R, Dzung D. "Integration of a wireless I/O interface for PROFIBUS and PROFINET for factory automation". *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, 56(10), 4279-4287, 2009.
[11] Zhong L, Liu S, Zhang X, Liang W, Zhou Y. "Interconnection technique between wireless factory automation network and PROFIBUS-DP". *11th World Congress on Intelligent Control and Automation*, Shenyang, China, 29 June - 4 July 2014.
[12] Pellegrini F, Miorandi D, Vitturi S, Zanella A. "On the use of wireless networks at low level of factory automation systems". *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2 (2), 129-143, 2006.
[13] Willig A, Matheus K., Wolisz A. "Wireless technology in industrial networks". *Proceedings of the IEEE*, 93(6), 1130-1151, 2005.
[14] International Electrotechnical Commission. "PROFIBUS Specification". Switzerland, IEC 61158, 2000.
[15] PROFIBUS Nutzerorganisation."PROFIBUS Brochure: PROFIBUS Technology and Application". Karlsruhe, Germany, 4.002, 2002.
[16] Vassis D, Kormentzas A, Rouskas A, Maglogiannis I. "The IEEE 802.11g standard for high data rate WLANs". *IEEE Network,* 19(3), 21-26, 2005.

[17] Vitturi S, Seno F, Tramarin F, Bertocco M. "On the rate adaptation techniques of IEEE 802.11 networks for industrial applications". *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 9(1), 198-208, 2013.

[18] The Institute of Electrical and Electronics Engineers. "IEEE Standards 802.11: Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications". USA, ANSI/IEEE Std 802.11, 2006.

[19] OPNET. "OPNET (Riverbed) Modeler Software". http://www.riverbed.com/products/steelcentral/steelcentral-riverbed-modeler.html (01.02.2016).

[20] SIEMENS. "Siemens Catalog: SIMATIC components for totally integrated automation". Germany, ST-70, 2005.