

Prime ve G3-Plc Sistemlerinin Amr Sistemleri İçin Karşılaştırmalı Performans Analizi

Eser BAYRAM, Özgür ERTUĞ
Gazi Üniversitesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara
eser.bayram@gazi.edu.tr, ertug@gazi.edu.tr,

Özet: Mevcut güç kabloları dışında ek kablolama ihtiyacı olmaması nedeniyle ekonomik açıdan avantajlı olan Enerji Hattı İletişim (EHİ) teknolojisi; sayaç okuma, ev içi otomasyon ve sokak aydınlatması gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Hala gelişmekte olan bir teknoloji olması nedeniyle farklı performans değişkenlerine sahip çeşitli protokoller kullanılmakta olup kararlılık ve veri hızlarının artırılması hedeflenmektedir. Bu makalede, Dar Bant Enerji Hattı İletişiminde (DB-EHİ) yaygın olarak kullanılan Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) tabanlı yeni nesil protokollerden G3-PLC ve PRIME standartlarının karşılaştırmalı performans analizi yapılmıştır. Her iki standarda ait enerji hattı ortamındaki performanslarının MATLAB benzetimi Katayama gürültü modeli ile gerçekleştirilmiştir.

Abstract: Power Line Communication (PLC) technology, which is economically advantageous because it does not require additional wiring other than existing power cables, finds use in meter reading, indoor automation and street lighting. As a developing technology, various protocols with different performance variables are used for increasing stability and data rates. In this paper, comparative performance analysis of G3-PLC and PRIME standards, which are among the Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)-based new generation protocols widely used in Narrow Band Power Line Communication (NB-PLC), have been made. MATLAB simulation results of their performances using Katayama noise model in power line environment are presented together.

1. Giriş

Enerji Hattı İletişimi (EHİ); ilave kablo altyapısı kurulumuna ihtiyaç duyulmaksızın, mevcut elektrik şebekesi üzerinden verilerin bir noktadan başka bir noktaya aktarılması olarak tanımlanmaktadır. Elektrik hatları üzerinden iletişim, bu alanda ilk patentlerin sunulduğu 1900'lerin başlarına kadar uzanan eski bir fikirdir [1]. 1897'de, elektrik kabloları üzerinden iletişim kurarak elektrik şebekesi sayaçlarının uzaktan ölçümünü sağlayan bir teknik için ilk patent Edward Davy tarafından alınmıştır [2].

20. yüzyılın başlarından itibaren Ultra Dar Bantlı EHİ sistemleri (UDB EHİ), 90'lı yılların ortalarından itibaren Geniş Bantlı EHİ sistemleri (GB EHİ) ve son yıllarda da, Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (CENELEC) tarafından tanımlanan Dar Bant EHİ sistemlerine (DB EHİ) olan ilgi giderek artmaktadır [3]. DB EHİ sistemlerine olan bu ilgi ile Otomatik Sayaç Okuma (Automatic Meter Reading – AMR) sistemlerinin yaygınlaşması arasında doğru orantı bulunmaktadır. AMR; enerji, gaz ve su ölçüm cihazlarından otomatik olarak veri toplayan ve faturalama amacıyla analiz etmek için merkez birime aktaran bir teknolojidir [4].

2. Enerji Hattı İletişimi

A. EHİ Frekans Bandı

EHİ teknolojisi frekans bant genişlikleri dikkate alınarak 3 grupta incelenmektedir. Geniş Bant EHİ, (2 – 30 MHz) bandında ses ve görüntü sinyallerinin aktarılması, büyük boyutlu veri iletimi gibi uygulamalar için kullanılan yüksek hız ve kapasiteli veri iletişim tekniğidir. Ultra Dar Bant EHİ (30 – 300 Hz) çok düşük frekans veya (0.3 – 3 kHz) düşük frekans aralıklarında tek yönlü iletişim kullanılarak gerçekleştirilmektedir. PRIME ve G3-PLC standartlarının da bulunduğu Dar Bant EHİ (3 – 500 kHz) bant aralığında kullanılmaktadır [5]. CENELEC bu iletim bandını (3 – 148.5 kHz) olarak belirleyerek amaçlarına göre dört alt banda ayırmaktadır.

- CENELEC A : 3 kHz – 95 kHz bant aralığı enerji sağlayıcı şirketlere tahsis edilmiştir.
- CENELEC B : 95 kHz – 125 kHz bant aralığında standart protokol kullanarak işlem yapılabilir.
- CENELEC C : 125 kHz – 140 kHz bant aralığında ev ağı sistemlerinde kullanılmakta ve CDMA/CA protokol kullanıma zorunluluğu bulunmaktadır.
- CENELEC D : 140 kHz – 148.5 kHz bant aralığında alarm ve güvenlik amaçlı kullanılmaktadır.

B. Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) ve EHI

Karşılaştırmasını yaptığımız PRIME ve G3-PLC sistemleri OFDM tabanlı sistemlerdir. OFDM, çok sayıda alt taşıyıcıdan oluşan ve her bir alt taşıyıcının birbirinden bağımsız modüle edilerek veri taşıdığı bir modülasyon yöntemidir. Taşıyıcılar tarafından kullanılan modülasyon tipini değiştirmenin mümkün olması sayesinde modülasyonun iletim hattında bulunan gürültüye uyarlanması ve daha az gürültülü dönemlerde iletim hızlarının artırılabilmesi OFDM'nin avantajlarından. Zorlu kanal koşullarına uyum sağlama yeteneği, çok yönlü yayılmaya karşı dayanıklı olması ve yüksek bit hızı sağlama OFDM'yi EHI ve AMR sistemleri için çekici bir seçim haline getirmektedir [6]. Bununla birlikte bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Sistemin ihtiyaç duyduğu yüksek kapasiteli güç amplifikatörü daha az verimlidir ve daha fazla güç tüketerek daha fazla ısı üretirler. Ayrıca OFDM sistemleri daha karmaşık olduğundan kuplaj devresi, PLC sinyalinin yüksek gerilim ağına bağlamak için kullanılan transformatör, işlemci veya PLC modem için de ek maliyetler gerektirmektedir.

3. Teorik Kıyaslama

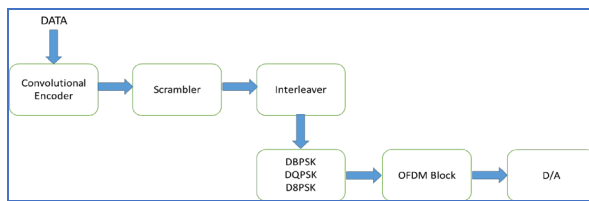
Tablo I. PRIME ve G3-PLC Parametreleri

	PRIME	G3-PLC
Frekans Bandı	42-89 kHz	35-91 kHz
Örnekleme Frekansı	250 kHz	400 kHz
FFT Boyutu	512	256
Taşıyıcı Sayısı	97	36
Alttaşıyıcı Aralığı	488 Hz	1,5625 kHz
Döngüsel Önek Uzunluğu	48	30
Windowing	Hayır	Evet
FEC (İleri Hata Düzeltme)	Convolutional Code	RS Code, Conv. Code Repetition Code
Maks. Veri Hızı	128,6 kbps	33,4 kbps
Modülasyon Tipi	DBPSK, DQPSK, D8PSK	DBPSK, DQPSK

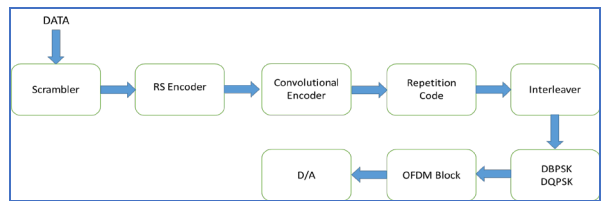
A. PRIME

PRIME sistemi basit blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir. PRIME sistemi çalışma frekansı (42-89 kHz) bant aralığındadır. OFDM sembollerinin her biri, bu bant genişliğine 488 Hz. aralıkla yerleştirilmiş 97 alt taşıyıcıdan oluşur. PRIME; D8PSK, DQPSK ve DBPSK olmak üzere üç tip modülasyon kullanılmaktadır. Örnekleme frekansı 250 kHz ve FFT boyutu $M=512$ 'dir [7]. Kodlama kullanılmadan yapılan veri iletimi ideal şartlar altında daha yüksek veri hızlarına olanak sağlar ancak pratik ortamın ideal şartlardan uzak olması nedeniyle güç hattı kanalının frekans yanıtı kodlanmadan yapılan veri iletimine önemli ölçüde zarar verir.

Evrişimli Kodlayıcı (Convolutional Encoder - CE), kodlanmış bit akışı oluşturmak için kullanılır. $1/2$ oranlı (uzunluk $K = 7$) ve $[001111001, 001011011]$ kod üretici polinomuna sahip bir encoderdir. PRIME sisteminde CE'nin kullanıp kullanılmayacağına MAC katmanı tarafından karar verilir [8]. Sonrasında bit akışı $S(x)=x^7 \oplus x^4 \oplus 1$ üretici polinomuna sahip karıştırıcıya (scrambler) iletilir. Son aşamada ise her OFDM sembolüne serpiştirici (interleaver) uygulanmaktadır. Ara sembol girişimini (Inter Symbol Interference - ISI) önlemek amacıyla OFDM bloğu içerisinde Paralel/Seri dönüşümü öncesinde 48 örneklilik (192 μs) döngüsel önek uzantısı (Cyclic Prefix Extension) eklenir. PRIME ve G3-PLC sistem parametreleri Tablo I'de verilmiştir.



Şekil 1. PRIME sistemi basit blok diyagramı.



Şekil 2. G3-PLC sistemi basit blok diyagramı.

PRIME sinyali; önsöz (Preamble), üst bilgi (Header) ve veri bölümlerinden meydana gelmektedir. PRIME sinyal çerçevesi Tablo II'de gösterilmiştir. Teorik olarak; kodlanmamış D8PSK modülasyonu kullanılarak 128,6 kbps veri hızına ulaşılabilirken, kodlanmış DBPSK kullanılması durumunda ise veri hızı 21,4 kbps'ye düşmektedir. Bununla birlikte Çerçeve Kontrol Başlığı (Frame Control Header - FCH) içerdiği verinin kritikliği nedeniyle her zaman CE ile kodlanmış olarak ve DBPSK modülasyonu kullanılarak iletilir [9].

Tablo II. PRIME Sinyal Çerçevesi

PRIME SİNYAL ÇERÇEVESİ		
ÖNSÖZ (PREAMBLE)	ÜST BİLGİ (HEADER)	VERİ (PAYLOAD)
2048 μs	4480 μs	$M \times 2240 \mu s$
	2 OFDM Symbols	M OFDM Symbols

Tablo III. G3-PLC Sinyal Çerçevesi

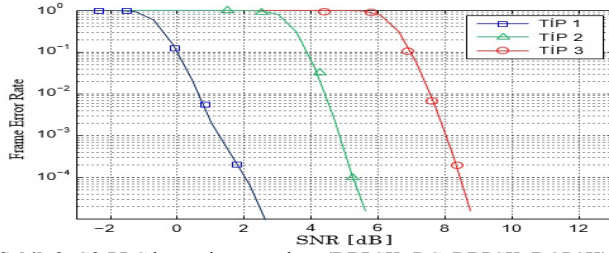
G3-PLC SİNYAL ÇERÇEVESİ		
ÖNSÖZ (PREAMBLE)	ÜST BİLGİ (HEADER)	VERİ (PAYLOAD)
6,08 ms	9,295 ms	$M \times 40,715 ms$
	13 OFDM Symbols	$M \times 4$ OFDM Symbols

B. G3-PLC

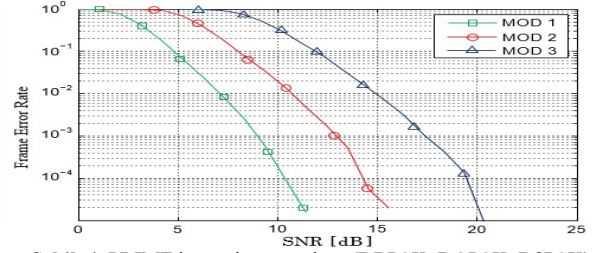
G3-PLC sistemi basit blok diyagramı Şekil 2’de gösterilmiştir. G3-PLC, (35-91 kHz) bandında çalışmakta olup 1562,5 Hz. aralıkla yerleştirilmiş 36 adet alt taşıyıcı kullanılmaktadır. PRIME’den farklı olarak sadece DBPSK ve DQPSK modülasyonlarını desteklemektedir. Örnekleme frekansı 400 kHz ve FFT boyutu $M=256$ ’dır. CE (1/2 oranlı (uzunluk $K = 7$) ve [001111001, 001011011] kod üretici polinomu) ve karıştırıcı ($S(x)=x^7 \oplus x^4 \oplus 1$ üretici polinomu) yapısı PRIME’da kullanılan ile aynıdır. Reed-Solomon (RS) kodlayıcı olarak normal mod için RS ($N=255$, $K=239$, $T=8$) ve Robust mod için RS ($N=255$, $K=247$, $T=4$) kullanılmaktadır. Ayrıca robust modda bitleri 4 kez tekrar eden, Süper Robust modda ise 6 kez tekrar eden tekrarlamaya kodlayıcısı (Repetition Code) kullanılmaktadır. Döngüsel önek uzantısı 30 örnektir (75 μ s). Her OFDM sembolü spektral formunun başlangıç ve sonunda 8 örneklik yükseltilmiş kosinüs ile pencerelenir [9]. G3-PLC sinyal çerçevesi Tablo III’te gösterilmiştir. Teorik olarak; DQPSK modülasyonunda sadece CE ve RS encoder kullanılması ve RC kullanılmaması durumunda 35,4 kbps veri hızına ulaşılabilirken, DBPSK modülasyonunda CE ve RS encoder ile birlikte RC4 kullanılması durumunda veri hızı 3,2 kbps’ye düşmektedir.

5. Deneysel Karşılaştırma ve Sonuç

Benzetim için [10]’da sunulan Eklenir Döngüsel Durağan Gauss Gürültü (ACGN - Additive Cyclostationary Gaussian Noise) modeli kullanılmış olup sistemin genel MATLAB kodlaması özgün olarak yapılmıştır. Farklı kombinasyonlar için çalışılmış olsa da karşılaştırmanın tutarlı olabilmesi amacıyla PRIME için CE kullanılan modlar değerlendirmeye alınmıştır. Şekil 3 ve şekil 4’deki benzetim sonuçlarına göre PRIME uygun koşullarda yüksek veri hızlarına öncelik verirken, G3-PLC robust modu kullanmadan bile olumsuz koşullarda daha iyi güvenilirlik sağlamaktadır. Hem teorik açıdan hem de benzetim sonuçlarına göre, PRIME daha az karmaşık bir sistem olmasına karşın G3-PLC’de uygulanan FEC daha güçlüdür ve G3-PLC, PRIME’a oranla daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Farklı kanal ve gürültü senaryoları kullanarak ileri seviye analizler yapılması mümkündür.



Şekil 3. G3-PLC benzetim sonuçları. (DBPSK+RC, DBPSK, DQPSK)



Şekil 4. PRIME benzetim sonuçları. (DBPSK, DQPSK, D8PSK)

Kaynaklar

- [1]. Galli S., Scaglione A. ve Wang Z., “For the grid and through the grid: The role of power line communications in the smart grid”, Proceedings of the IEEE, cilt 99, no. 6, Haziran 2011.
- [2]. Sharma N., Pande T. ve Shukla M., “Survey of powerline communication”, Proceedings published by International Journal of Computer Applications® (IJCA), CSI-COMNET,2011.
- [3]. Souissi S., “Narrowband PLC channel characterization and modeling: emulation platform design for smart grid applications”, Doktora Tezi, Temmuz 2016.
- [4]. Zaballos A., Vallejo A., Majoral M. ve Selga J.M., “Survey and performance comparison of AMR over PLC standards”, IEEE Transactions On Power Delivery, cilt 24, no. 2, Nisan 2009.
- [5]. Bal G., Gülönü R. ve Nicole R., “Enerji hatları üzerinden elektrik sayacının okunması ve deneysel analizi”, Gazi Üniversitesi Bilim Dergisi, Bölüm C, 4(1):1-11, 2016.
- [6]. Jones K. ve Aslanidis C., “DCSK technology vs. OFDM concepts for PLC smart metering (White Paper)”, Mart 2009. [Çevrimiçi] Erişim adresi: https://yitran.com/wp-content/uploads/2020/05/DCSK-OFDM-White-Paper_R1.0.pdf (Son erişim tarihi 19.02.2021)
- [7]. Draft Standard for Powerline Intelligent Metering Evolution (PRIME), 1.3.6 ed., PRIME Alliance Technical Working Group, Nisan 2020. [Çevrimiçi] Erişim adresi: https://www.prime-alliance.org/wp-content/uploads/2020/04/PRIME-Spec_v1.3.6.pdf (Son erişim tarihi 19.02.2021)
- [8]. Sadowski Z., “Comparison of PLC-PRIME and PLC-G3 protocols”, XII International School on Nonsinusoidal Currents and Compensation, Lagow, Poland, 2015.
- [9]. Hoch M., “Comparison of PLC G3 and PRIME”, IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, 2011.
- [10]. Katayama M., Yamazato T. ve Okada H., “A mathematical model of noise in narrowband power line communication Systems”, IEEE Journal On Selected Areas In Communications, cilt 24, no. 7, Temmuz 2006.