Uydu Haberleşme Sistemlerinde ve Navigasyon Sistemlerinde FPGA Kullanılarak Veri İletiminin Analizi

Mehmet Sönmez[1], Ayhan Akbal[1]

[1] Fırat Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ

msonmeztr@gmail.com, ayhanakbal@gmail.com

Özet: Uydu haberleşme sistemleri ve navigasyon sistemleri günümüzde önemini artıran yüksek kapasiteli veri iletimi sağlayan sistemlerdir. Kullanılacak olan sistemlerin talepleri karşılayabilmesi için yüksek kapasitede veri iletimi ancak yüksek hızlı donanımsal cihazlarla gerçekleştirilmektedir. Kablolu iletişimde kullanılan fiberoptik haberleşme sistemleri oldukça yüksek bir performans sağlamalarına rağmen kablosuz olarak çalışan navigasyon sistemleri, mobil haberleşme sistemleri, uydu haberleşme sistemleri gibi iletişimde yüksek hızla birlikte yüksek kapasitede veri iletimini amaç edinen sistemlerde sıkıntılar yaşanmaktadır. Bu gibi haberleşme sistemlerinde donanım olarak FPGA (Field Programmable Gate Array: Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri) cihazlarının kullanılmasıyla istenilen hızlara erişim amaç edinilmektedir. Kullanılacak olan modülasyon tipi ve işlenecek olan veri sayısına bağlı olarak donanımın yapacağı işlem yükü artmaktadır. Bu nedenle FPGA, yüksek hızlar için oluşturulacak algoritmaların daha hızlı veri işlemesine olanak sağlamaktadır.

Anahtar Sözcükler: FPGA, Uydu Haberleşmesi, Navigasyon Sistemleri

1. Giriş

Son yıllarda haberleşme sistemlerinde meydana gelen yüksek hızlı veri iletişiminde ki gelişmelere bağlı olarak uydu haberleşmesi, uzaktan algılama, mobil haberleşme, sayısal mobil TV ve daha birçok alanda uygulamalarda artmaktadır[1]. Uydu haberleşmesi ve geleneksel kablosuz haberleşme arasında; yüksek güç sınırlandırılması, düşük BER (Bit Error Rate: Bit Hata Oranı), Doppler kayması, çok yollu sönümleme gibi çok büyük farklar bulunmaktadır[1]. Ayrıca, kullanımı son yıllarda artan Uydu haberleşeme sistemlerini kullanan Uydu Navigasyon sistemlerinin de gelişmesine bağlı olarak bu sistemlerin bütün hava koşullarına elverişli olması ve yüksek taşıma kapasitesinin bulunması avantajlarının arasında yer alırken kullanıcı cihazının gürültüye karşı olan toleransının yüksek ve bakım ve maliyetinin oldukça pahalı olması da dezavantajlarının arasındadır [2].

Uydu haberleşmelerinde kullanılacak olan modülasyon tekniği elbette ki saniyede iletilen bit sayısını etkileyen en önemli etkenlerden birisidir. Modülasyon tekniğinin yanında kullanılacak olan çoğullama tekniği veri iletim oranını daha da artırmaktadır. Haberleşme sisteminin kullandığı frekans ise kullanılacak olan donanımın yapacağı işlem yükünü etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Çünkü frekansın yükselmesi işlenecek olan veri boyutunun artmasına neden olurken donanım üzerinde kullanılan mantıksal devrelerin kullanım oranını da artırmaktadır.

Bu kapsamda literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde; QPSK ve OQPSK modülasyonları kullanılarak gerçekleştirilen bir çalışmada bant genişliliği verimliliğini artırmaya yönelik yöntemler sunulmuştur. Ayrıca sunulan yöntemler kuvvetlendirici girişindeki ortalama gücü azaltmaya yönelik olmuştur [3].

Başka bir çalışmada, askeri uydu haberleşme sistemlerinde kullanılabilecek bir tasarım örneği gerçekleştirilmiştir. Önerilen tasarımda 16-QAM ve 16-APSK (Amplitude Phase Shift Keying: Genlik Faz Kaydırmalı Anahtarlama) modülasyon teknikleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmada QPSK ve 16-QAM arasındaki veri iletim oranları karşılaştırılmıştır [4].

Yapılan diğer bir çalışmada FPGA (Field Programmable Gate Array: Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri) tabanlı uydu haberleşmesinde kullanılabilecek alıcı önerilmiştir. Çalışmada DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum: Doğrudan Dizilerle Yayılı Spektrum) sistemi üzerinden MSK modülasyonu kullanılarak modülatör tasarımı gerçekleştirilmiştir [5].

Uydu haberleşmesi ile ilgili geçmişten günümüze birçok çalışma yapılmıştır. Çalışmaların birçoğunun amacı yüksek hızda veri iletiminin gerçekleştirilmesi olmuştur. Yapılan bir çalışmada uydu haberleşme sistemleri için bir modem tasarımı olmuştur. Çalışmada kullanılan modülasyon tekniği QAM (Qadrature Amplitude Modulation: Dördün Genlik Modülasyonu) olup veri iletimini daha hızlı bir şekilde yapabilmek için kullanılan çoğullama tekniği de OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing: Dikgen Frekans Bölüşümlü Çoğullama) tekniği olmuştur [6].

Uydu haberleşmesi için M-PSK modülatörünün FPGA üzerinde gerçekleştirilmesiyle ilgi donanımsal ve yazılımsal tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada QPSK ve 8-PSK modülasyon teknikleri DDFS (Direct Digital Frequency Synthesis: Doğrusan Sayısal Frekans Sentezi) kullanılarak gerçekleştirilerek donanımsal ihtiyaçlarla ilgili olarak karşılaştırmalar yapılmıştır [7].

Bu yayında, uydu haberleşmesi için mevcut modülasyon tekniklerinin FPGA üzerinde uygulanabilirliği ile ilgili bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Quartus II 9.2 student versiyonu kullanılarak benzetim sonuçları izlenmiştir.

2. Uydu Haberleşmesinde Kullanılan Modülasyon teknikleri

Uydu haberleşme sistemlerinde çok çeşitli haberleşme alt sistemleri bulunmaktadır. Özel bir sistemin gereksinimlerine bağlı olarak uydu haberleşmesinde kullanılmak üzere farklı modülasyon teknikleri tercih edilmektedir [7]. Bant genişliği ve güç verimliliği için M-PSK kullanılırken yan bantları engellemek ve alıcıdaki bit hata oranını azaltmak için MSK kullanılmaktadır [5,7].

Uydu haberleşme sistemlerinde ayrıca BPSK, QPSK, OQPSK gibi modülasyon teknikleri kullanılmaktadır [4,5,7]. Günümüzde BPSK modülasyonu uzaktan kumanda ve telemetri sistemlerinde kullanılırken OQPSK ve QPSK modülasyon teknikleri uydunun işlevini görebilmesi için gerekli tüm donanımı içeren faydalı yük (payload) sistemleri için kullanır [7].

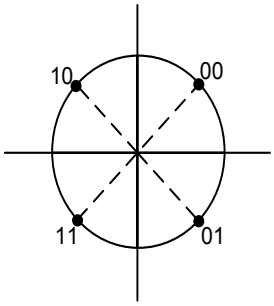
Kullanılan diğer modülasyon teknikleri ise 16-QAM ve 16-APSK olmuştur. ACI'lı (Adjacent Channel Interference: Komşu Kanal Girişimi) lineer olmayan uydu kanallarında 16-APSK daha iyi bir performans vermektedir. Kullanılan 16-QAM modülasyonu QPSK, OQPSK ve BPSK gibi modülasyon tekniklerinden daha yüksek bir veri iletimi sunmaktadır [4] ancak bit hata oranında 16-QAM daha kötü bir performans sunmaktadır.

Modülasyon tekniklerinin yanı sıra veri iletimini artırmak için kullanılan bazı çoğullama teknikleri bulunmaktadır. Bu çoğullama teknikleri OFDM, TDMA (Time-Division-Multiplexed: Zaman Bölüşümlü Çoğullama), FDMA (Frequency-Division

Multiple Access: Frekans Bölüşümlü Çoklu Erişim) ve TMUX (Digital transmultiplexer: Sayısal Çoğullayıcı) olarak sıralanabilir [6,8]. Ayrıca belirli bir modülasyon tekniğiyle birlikte kullanılan CDMA (Code Division Multiple Access: Kod Bölüşümlü Çoklu Erişim) veri hızını artırmaya yönelik kullanılan diğer bir sistemdir [9]. Ka bandında kişisel çoklu ortam rastgele erişim uydu haberleşmesi için değişken hızlarda CDMA sistemi kullanılmaktadır [9].

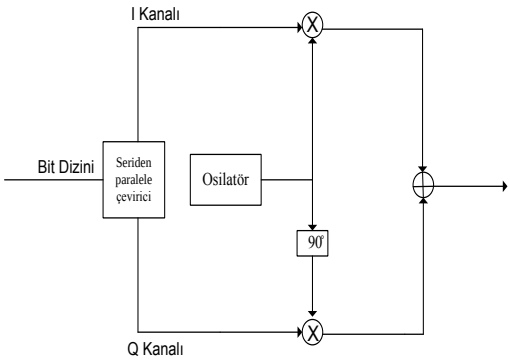
3.1 QPSK Modülasyonu

QPSK modülasyonu isminden de görüldüğü gibi dört bitin durumuna göre işaret fazının değiştiği bir modülasyon şeklidir. QPSK modülasyonu UMTS sistemlerinden uydu haberleşmesine kadar geniş bantta iletişim sağlayan haberleşme sistemlerinde kullanılmaktadır. QPSK modülasyonu için yıldız diyagramı Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. QPSK Yıldız Diyagramı

Şekil 1'de görülen yıldız diyagramında ikili semboller gray koduna göre oluşturulmuştur. Bunun nedeni herhangi bir hatanın oluşması durumunda birden fazla bitin hatalı olmasını engellemektir. Diyagramdan da görüldüğü gibi ikili kodlanmış arka arkaya gelen gray kodları bir bitlik bir değişim göstermektedir. Şekil 2'de QPSK modülatörünün blok diyagramı görülmektedir.

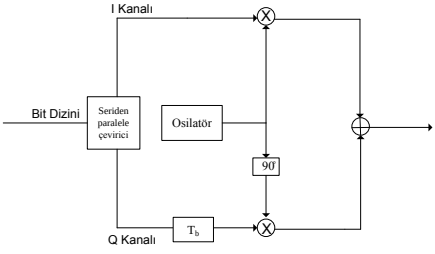


Şekil 2. QPSK Blok Diyagramı

Şekil 2'deki blok diyagramdan da görüldüğü gibi üstteki kanal I kanalı alttaki kanal da Q kanalı olarak adlandırılmaktadır. Osilatör tarafından üretilen taşıyıcı frekansı I kanalında doğrudan çarpım devresine girerken Q kanalında 90 derece geciktirilmiş hali çarpım devresinden geçmektedir [10].

3.2 OQPSK Modülasyonu

Uydu haberleşmesinde kullanılan bir diğer modülasyon tekniği de OQPSK modülasyonudur. OQPSK modülasyonu QPSK modülasyonunda Q kanalının yarım sembol periyodu kadar geciktirilerek oluşturulan bir iletim tekniğidir. OQPSK modülasyon tekniğinin blok diyagramı Şekil 3'te görüldüğü gibidir.



Şekil 3. OQPSK Blok Diyagramı

3.3 QAM Modülasyonu

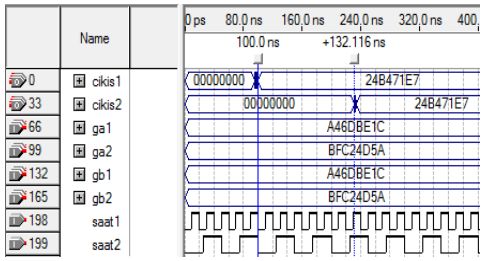
Navigasyon haberleşmelerinde kullanılan bir diğer modülasyon tekniği QAM

modülasyonudur. Kullanılan bu teknik QPSK modülasyonundan bir farkla ayrılır. QAM modülasyonunda semboller hem farklı fazlarda hem de farklı genliklerde dağılırken QPSK modülasyonunda sembollerin genlikleri aynı kalırken sadece fazları değişmektedir [11]. Bu yüzden dört fazlı QPSK yerine daha fazla sayıda hem faz hem de genlik değeri olan QAM ile bitlerin iletilmesi sağlanabilir. Bu şekilde QAM modülasyonun 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM çeşitlerine göre de farklı oranlarda bit iletimi yapılabilmektedir [11].

4. FPGA

FPGA cihazları genellikle işaretleşme hızının çok yüksek olduğu yerlerde tercih edilen mantıksal devrelerden oluşan yüksek hızlı programlanabilir cihazlardır. FPGA içerisinde birçok mantıksal blok bulunmaktadır. Bu bloklar sayesinde FPGA üzerinde çarpım dört işlemden veri depolamaya kadar istenilen mantıksal işlemler gerçekleştirilmektedir. Bu işlemlerin çoğu FPGA üzerinde kullanılan bir saat darbesi yardımıyla gerçekleştirilir. Çoğu blok için kullanılması gereken saat darbesi vardır. Bir çarpım bloğu en az beş saat darbesiyle çalıştırılabiliyorken toplama bloğu en az yedi saat darbesi süresince çalışmaktadır. Kayan noktalı sayılar üzerinde yapılan dört işlemin zorluğu nedeniyle FPGA üzerindeki mantıksal elemanlar işlemleri gerçekleştirebilmek için belirli saat darbeleri sürelerine ihtiyaç duyarlar [12].

Her bir FPGA için mantıksal blok kapasitesi farklılık göstermektedir. Ayrıca FPGA'lar arasında farklılık gösteren bir diğer önemli konu da kullanılan saat darbesinin frekansıdır. Saat darbesi frekansı FPGA'nın gerçekleştireceği işlemin süresine doğrudan etki etmektedir. Şekil 4'te örnek olarak iki ayrı saat darbesi frekansı için elde edilen sonuçların arasındaki zaman farkı görülmektedir.



Şekil 4. Farklı Zaman Darbeli Benzetim Sonucu

Şekil 4'te iki floating point sayısının çarpım sonuçları görülmektedir. Şekilde ga1 ve ga2 birinci çarpım bloğunun girişleri olup cikis1 ise çarpım sonucunun hex karşılığını göstermekte; gb1 ve gb2 ikinci çarpım bloğunun girişleri olup cikis2 ise çarpımın sonucunu göstermektedir. Şekil 4'te de görüldüğü gibi saat1 darbesi 50 MHz frekansında olup saat2 darbesi 20 MHz frekansındadır. 50 MHz frekanslı saat darbesini kullanan çarpım bloğu daha erken sonuç verirken, aynı saat darbesi sayısında çalışan 20 MHz saat darbesini kullanan ikinci çarpım bloğu daha geç sonuç vermektedir.

Uydu haberleşmesi ve navigasyon sistemlerinde kullanılan FPGA donanımlarında yüksek hızda en düşük hata oranına sahip veri iletimini gerçekleştirmek öncelikli amaçlardan birisidir. Bu yüzden kullanılacak FPGA'nın saat darbe frekansının yüksek hızlarda iletimin öncelikli olduğu yerlerde daha yüksek olması tercih sebebi olmuştur. FPGA üzerinde kullanılan saat darbelerinin frekanslarının yetersiz kalması durumunda kullanılacak olan PLL (Phase-Locked Loop: Faz Kilitlemeli Çevrim) devreleri saat darbelerinin frekanslarını artırmaktadır [13].

4.1 FPGA Programlamak İçin Kullanılan Yazılım Dilleri

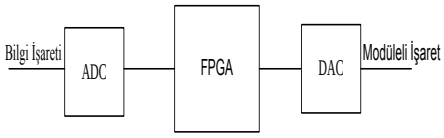
PIC, Mikroişlemci, DSP gibi donanımsal yapıları programlamak için kullanılan bir

yazılım programı olduğu gibi FPGA cihazını da programlamak için yazılımsal bir programa ihtiyaç vardır. FPGA programlamak için genelde kullanılan iki dil vardır. Bunlar VHDL ve Verilog programlama dilleridir. Bir proje oluşturmak için en önemli olan konulardan birisi, proje içerisinde işleme tabi tutulan blokların ne zaman çalışıp ne zaman devre dışı kalacağını belirleyen bir kontrol bloğu oluşturmaktır. Oluşturulacak olan kontrol bloğunun programlama dillerinden birisinin kullanılmasıyla oluşturulması gerekmektedir. Bu yüzden programlama dillerinin kullanılması çok büyük önem arz etmektedir.

Bir programlama dilinin kullanılmasının en önemli avantajlarından birisi de donanım üzerinden daha az mantıksal eleman çalıştırarak oluşturulacak olan projenin daha kısa bir sürede gerçekleştirilmesidir. Bazen de tasarım programında kullanılan blokların yetersizliği FPGA programlama dillerinden birisini kullanmaya zorlamaktadır. Örneğin bulanık mantık tabanlı veya yapay sinir ağları tabanlı bir projenin oluşturulmasında kullanılacak olan programlama dili gerçekleştirilecek projenin daha kolay elde edilmesini sağlamaktadır [14,15].

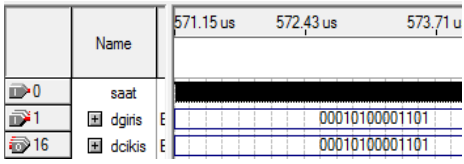
5. Uydu Haberleşmesi için FPGA Tabanlı Modülatör ve Demodülatör Tasarımı

Yazılımın ve donanımın uygun bir şekilde çalışması için dikkat edilmesi gereken çok önemli konular vardır. Bunlardan birisi kullanılacak olan donanımsal elemanların hızlarının uyumunu kontrol etmektir. FPGA tabanlı çok basit bir modülatör kapsamında gelen analog işareti sayısala dönüştüren ADC (Analog to Digital Converter: Analog-Sayısal Dönüştürücü) ve FPGA çıkışında sayısal işareti analog işarete dönüştüren bir DAC (Digital to Analog Converter: Sayısal-Analog Dönüştürücü) kullanılır. Bu yüzden ADC ve DAC kaynaklı veri kaybı olmaması için ADC-FPGA-DAC uyumunun sağlanması oldukça önemli bir konudur. Şekil 5'te basit bir modülatör blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 5. Basit bir Modülatör

Şekil 5'te kullanılan ADC ve DAC'nin 150 MHz saat darbesinde çalıştığını göz önünde bulundurursak veri kaybını önlemek için FPGA üzerinde yapılacak olan işlemlerin ADC ve DAC saat darbelerini referans alarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Şekil 6 uydu haberleşmesinde kullanılan bir modülasyon tekniği için bir FPGA üzerinde senkronize edilmiş modulator ve demodulator uygulaması sonucunu göstermektedir. Bilgi bitleri ile demodüle edilmiş (modüleli işaretten tekrar bilgi bitinin oluşması) bitlerin birbiriyle aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Bilgi bitleri ve demodüleli bitler

Şekil 6'da saat, PLL kullanılarak üretilen saat darbesini (100 MHz frekansında), "**dgiris"** bilgi bitlerini, "**dcikis"** ise demodüleli (modüleli işaretten elde edilen bilgi bitleri) bitleri ifade etmektedir.

6. Sonuçlar

Görüldüğü gibi uydu haberleşmesi ve navigasyon sistemleri için gerçekleştirilen bir modülatörün ve demodülatörün senkronize edilebileceği ve yüksek frekanslarda saat darbesi kullanılarak iletim hızında artış sağlanabileceği analiz edilmiştir. Yapılan analizde 100 MHz frekansındaki bir saat darbesinin kullanılmasıyla 50 MHz

frekansındaki bir saat darbesinin kullanılması arasındaki hız farkı incelenmiştir. 100MHz frekansındaki saat darbesinin yaklaşık 2 kat daha hızlı veri iletimi sağladığı görülmüştür. Ayrıca FPGA'nın uydu haberleşmesi ve navigasyon sistemleri için oldukça elverişli bir yapısının olduğu da görülmüştür. Kullanılacak olan modülasyonun tipine göre iletim hızında oluşacak değişiklikler incelenmiştir. İleride yapılacak olan çalışmalarda QPSK, OQPSK, MSK, QAM ve APSK gibi uydu haberleşmesinde tercih edilen öncelikli modülasyon tiplerinde daha hızlı ve daha düşük veri bit oranları için uygun algoritmalar üretip bunların FPGA donanımı üzerinde gerçekleştirilmesi üzerine olabilir.

5. Kaynaklar

[1] Tianjun, L., Wenrui, D., "Typical Channel Coding and Modulation Scheme for Satellite Communication Systems", **Antennas, Propagation and EM Theory, 2008. ISAPE 2008. 8th International Symposium on,** pp. 1427-1430, 2-5 Nov. 2008

[2] V., Kuzmin, E., "Development and experimental investigation of digital MSK-signal receiver", **Control and Communications (SIBCON), 2011 International Siberian Conference on,** pp. 67-70 15-16 Sept. 2011

[3] Ambroze, A., :Tomlinson, M., Wade, G., "Magnitude Modulation for Small Satellite Earth Terminals using QPSK and OQPSK", **IEEE International Conference on Communications, ICC 03**, pp. 2099-2103, vol. 3, 2003

[4] Balasubramanian, R., Miller, M., "Pre-distortion techniques and bandwidth efficient modulation for military satellite communications", **2004 IEEE Military Communications Conference**, pp. 1028-1033, vol. 2, 31 Oct. - 03 Nov. 2004

[5] Maghawry, A., Eldiwany, E., "FPGA-Based MSK DS-SS Modulator for Digital Satellite Communications", **26t National Radio Science Conference (NRSC2009)**, pp. 1-9, 2009

[6] Izumı, T., Okada, M., Masakı, T., "An FPGA Implementation of 200Mbps CI/OFDM Modem for Satellite Communication Systems", **in Proc. of World Automation Congress (WAC2010), IFMIP 530,** pp. 1-6, 19-23 Sept. 2010

[7] Sharma, S. Kulkarn, S., Pujari, V., Vanitha, M., Lakshminarsimhan, P., "FPGA Implementation of M-PSK Modulators for Satellite Communication**", Advances in Recent Technologies in Communication and Computing (ARTCom), 2010 International Conference on,** pp. 136-139, 2010

[8] Majeed, R.M., McLane, P.J., "Modulation Techniques for On-Board Processing Satellite Communications", **Communications, IEEE Transactions on,** pp. 1508-1512, 1997

[9] Ikegami, T., Takahashi, T., Tanaka, M., Wakana, H., "A Study Of Multimedia CDMA System For Personal Satellite Communication", **Vehicular Technology Conference, 1998. VTC 98. 48th IEEE,** vol. 1, pp. 76-80, 1998

[10] Ertürk, S., "Sayısal Haberleşme", Birsen Yayınevi, 2005

[11] Rogers, J.,Plett, C., "Radio Frequency Integrated Circuit Design", **Artech House Microwave Library**, 2004

[12] Ho, C., Yu, C., Luk, W.,Wilton, S., "Floating-Point FPGA: Architecture and Modeling", Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, IEEE Transactions on, Vol. 17, pp. 1709-1718, 2009

[13] Dilek, S.M., Bayram, I., Safak, M.E., Ceylan, O., Yagci, H.B., "Desıgn Of Gmsk Modulated Software Defıned Radıo For Nano-Satellıtes", **Signal Processing and Communications Applications (SIU), 2011 IEEE 19th Conference on, pp.** 869-872, 20-22 April 2011.

[14] Gomperts, A., Ukil, A., Zurfluh, F., "Development and Implementation of Parameterized FPGA-Based General Purpose Neural Networks for Online Applications**", Industrial Informatics, IEEE Transactions on**, vol. 7, pp. 78-89, 2011

[15] Taeed, F., Salam, Z., Ayob, S., M., "FPGA Implementation of a Single-Input Fuzzy Logic Controller for Boost converter With the Absence of an External Analog-to-Digital Converter**", Industrial Electronics IEEE Transactions on**, Vol. 59, pp. 1208-1217, 2012