

**UYDU TEMELLİ SEYRÜSEFER SİSTEMLERİNDE
KULLANILAN YENİ MODÜLASYON TEKNİĞİ:
BOC (BINARY OFFSET CARRIER)**

Ahmet Esat SÜZER¹

Hakan OKTAL²

Anadolu Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, ESKİŞEHİR

ÖZET

Günümüzde kullanılmakta olan GPS sisteminin kontrolünün Amerika Birleşik Devletleri, GLONASS'ın ise Rusya'da olması Avrupa Birliği'ni (AB) ve yeni küresel güç olarak Çin'i kendi uydu sistemlerini geliştirmeye yöneltmiştir. Bu kapsamda Avrupa Birliği tamamen sivil amaçlı olarak Galileo sistemini geliştirmeye başlamıştır. 27 operasyonel ve 3 yedek toplam 30 uydudan oluşması planlanan Galileo daha hassas ve doğru konum, zaman, hız gibi bilgilerin yanında mevcut uydulardan farklı olarak Asayiş Servisi (Public Regulated Service, PRS), Arama-Kurtarma Servisi (Search-and-Rescue, SAR) gibi farklı hizmetler de sunmaktadır. Ancak GPS, GLONASS ve Compass gibi küresel uydu sistemlerinin var olması ve RNSS (Radio Navigation Satellite Services) frekans bandının kısıtlı olması, Galileo sisteminde farklı bir modülasyon tekniği gereksinimini ortaya koymuştur. Binary Offset Carrier (BOC) adı verilen bu modülasyon tekniği sayesinde GPS, GLONASS gibi diğer uydu sistemleri ile sinyal girişimini minimum düzeye indirmek, daha iyi uydu takibi sağlamak, yansıma problemini en aza indirmek mümkün olabilmektedir. BOC modülasyonunun Sinüs BOC, Kosinüs BOC, Alternate BOC, Multiplexed BOC, Double BOC gibi birçok farklı uygulaması mevcuttur. BOC'nin avantajlarının fark edilmesinden sonra GPS ve Compass gibi sistemlerde de BOC tekniğini kullanmak için çalışmalar başlatılmıştır. Ayrıca tek alıcı ile tüm uydulardan faydalanmak için küresel uydu sistemleri arasında işbirliği ve uyumluluk programı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada gelecekte uçuşun her aşamasında çok daha etkin olarak kullanılacağı öngörülen küresel konum belirleme sistemlerinde uygulanmaya başlanan yeni modülasyon tekniği BOC'nin genel prensibi, diğer modülasyon tekniklerine göre sağladığı avantajlar ve özellikle Galileo uydu seyrüsefer sisteminde kullanılan farklı BOC uygulamaları incelenmiştir.

GİRİŞ

1990'lı yılların başından itibaren popüler olmaya başlayan uydu sistemleri günümüzde hem sivil hem askeri birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Önceleri sadece askeri amaçlı kullanılan uydu temelli seyrüsefer sistemleri, zaman içerisinde sivil kullanıma da açılmış, tüm ulaşım araçlarında küresel boyutta konum belirleme amaçlı seyrüsefer yardımcısı olarak

¹ Araştırma görevlisi, Havacılık Elektrik-Elektronik Böl., E-posta: ahmetesatsuzer@anadolu.edu.tr

² Doç. Dr., Havacılık Elektrik-Elektronik Böl., E-posta: hoktal@anadolu.edu.tr

kullanılmaya başlamıştır. Bunun yanında arama-kurtarma, araç takibi, bilimsel araştırmalar, sportif faaliyetler gibi birçok farklı alanda da kullanılmaktadır. Uydu sistemlerinin ilk gelişiminin Amerika Birleşik Devletleri ve eski adı ile Sovyetler Birliği arasında yaşanan ekonomik, askeri, savunma gibi birçok alandaki rekabete dayandığı görülmektedir. İlk uydu 1957 yılında Ruslar tarafından uzaya fırlatılmış ve daha sonra ABD kendi uydu sistemini kurmak için çalışmalar yapmaya başlamıştır. Deniz Kuvvetleri tarafından kullanılan ilk uydu seyrüsefer sistemi Transit, 1960 yılında başarıyla test edilmiş ve daha sonraki yıllarda yaşanan teknolojik gelişmelerle beraber bugün bildiğimiz Küresel Konumlandırma Sistemi GPS (Global Positioning System) ve hemen arkasından Rusya tarafından aynı özelliklere sahip GLONASS (Global Navigation Satellite System) geliştirilmiştir [Maini ve Agrawal, 2011].

Günümüzde mevcut olan GPS, GLONASS ve Compass sistemlerine alternatif olarak Avrupa Birliği tarafından tamamen sivil amaçlı olarak kullanılması planlanan Galileo projesi 2003 yılında başlatılmıştır. 2005-2010 yılları arasında uzaya 30 adet uydu fırlatılması öngörülmüş, ancak mali sıkıntılar ve aksaklıklar sebebi ile gerçekleştirilememiştir. Toplam 30 adet uydunun dünya yörüngesine oturtularak hizmet vermesi düşünülen sistemin ilk uydusu 2005 yılında gönderilmiştir. 30 uyduluk Galileo sisteminin (27 operasyonel ve üç yedek uydu) tamamlanması için 2019 yılı öngörülmektedir. Test ve deneme amaçlı olan ilk Galileo uyduları GIOVE-A ve GIOVE-B sırasıyla 2005 ve 2008'de gönderilmiştir. 2011 yılında iki uydu daha fırlatılmış ve aynı yıl yayın yapmaya başlamışlardır. Tüm Galileo uydu sinyalleri 17 Kasım 2011 yılında aktif edilmiştir [Grewal, Andrews ve Bartone, 2013].

Uydu temelli seyrüsefer sistemlerinin en önemli işlevi, kullanıcılarına hassas konum, zaman ve mesafe bilgisi sağlamaktır. Uydu sistemlerinde emniyetli ve ekonomik bir seyrüsefer görevi yerine getirebilmek üzere kullanılan bu bilgileri vericiden göndermek için Genlik ve Frekans Modülasyonu (FM) gibi geleneksel analog tekniklerinden farklı olarak GPS ve GLONASS'ta Binary Phase Shift Keying (BPSK), Compass'ta ise Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) gibi dijital modülasyon teknikleri kullanılmaktadır. Sözü geçen küresel konum belirleme sistemlerinin yanına Avrupa Birliği tarafından geliştirilen Galileo'nun da eklenmesi ile sınırlı RNSS (Radio Navigation Satellite Service) bandını verimli kullanmak, sinyal karışım ve girişimlerini önlemek için önemli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda sözü geçen problemin üstesinden gelebilmek amacı ile Dr. John Betz tarafından geliştirilmiş olan Binary Offset Carrier (BOC) tekniği kullanılmıştır. Galileo, mevcut uydu sistemlerinden farklı olarak yeni modülasyon tekniği BOC'yi kullanan ilk uydu seyrüsefer sistemi olacaktır.

Bu çalışmada BOC'nin uydu seyrüsefer sistemlerinde kullanılan diğer modülasyon tekniklerinden ayrılan yönleri, üstünlükleri ve özellikle Galileo sisteminde kullanılacak olan farklı BOC teknikleri incelenmiştir.

UYDU SEYRÜSEFER SİSTEMLERİNDE KULLANILAN GELENEKSEL MODÜLASYON TEKNİKLERİ

Binary Phase Shift Keying (BPSK)

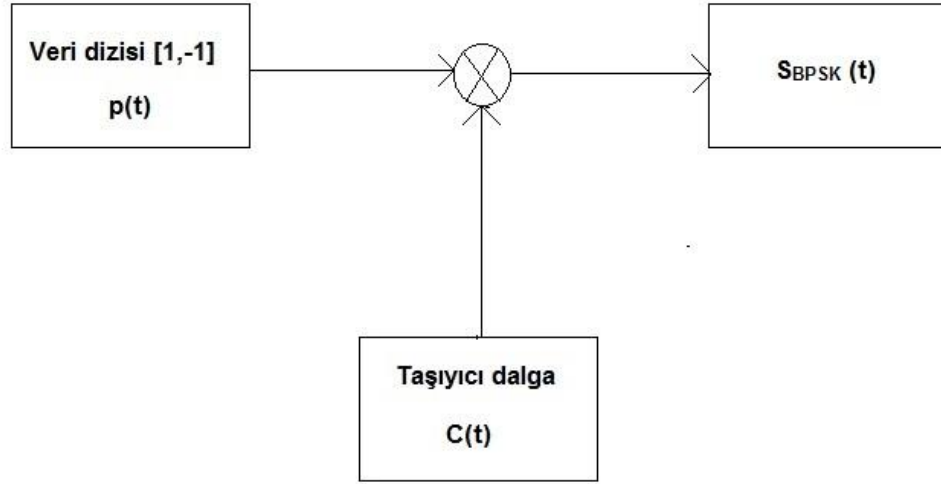
Dijital modülasyon tekniği BPSK şu anda GPS ve GLONASS uydularında kullanılmaktadır. Tek sembolde bir bitlik veri iletim kabiliyetine sahiptir. BPSK matematiksel gösterimi,

$$S_{BPSK}(t) = p(t) \cdot C(t) = p(t) \cdot A_c \cdot \cos(2\pi F_c t) \quad (1)$$

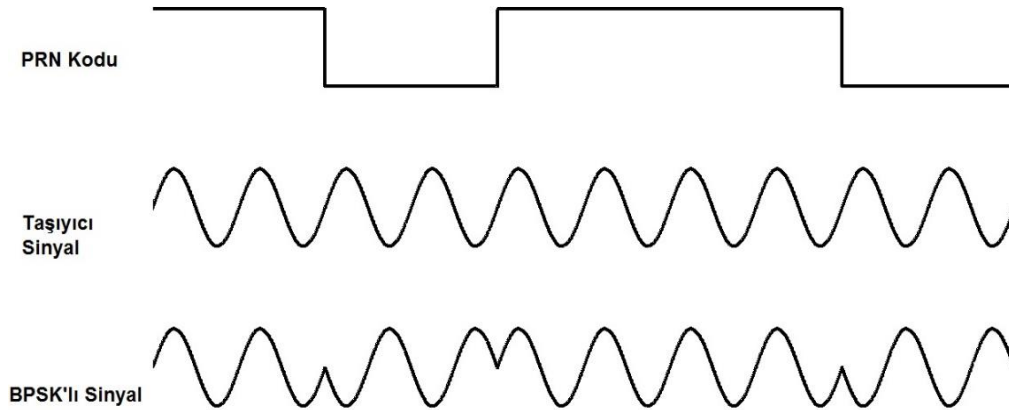
şeklinde dir. Burada, $p(t)$ veri dizisini (1,-1), $C(t)$ taşıyıcı sinyalini, A_c taşıyıcı genliğini ve F_c ise taşıyıcı frekansını ifade etmektedir.

Eşitlik 1'de verilen matematiksel ifade irdelendiğinde, eğer giriş sinyali 1 ise, taşıyıcı fazını değiştirmeyecektir. Ancak giriş sinyali -1 olursa taşıyıcı fazı 180° kayacaktır. Yani, veri dizisi taşıyıcı sinyal üzerinde 0° ve 180° olmak üzere iki farklı faz açısı ile iletilmektedir. Eşitlik 1'de verilen matematiksel ifadenin blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 2 ise BPSK modülasyonunu gerçekleştirme adına verilmiş güzel bir örnektir. Örnekte görüldüğü üzere, veri dizisine (PRN Kodu) bağlı olarak taşıyıcı sinyalinin fazında değişiklik meydana gelmektedir.

Giriş işaretimiz 1 olduğunda taşıyıcı sinyal fazında bir değişim meydana gelmezken, -1 olduğunda taşıyıcı sinyal fazı 180° değişmektedir.



Şekil 1: BPSK blok diyagramı



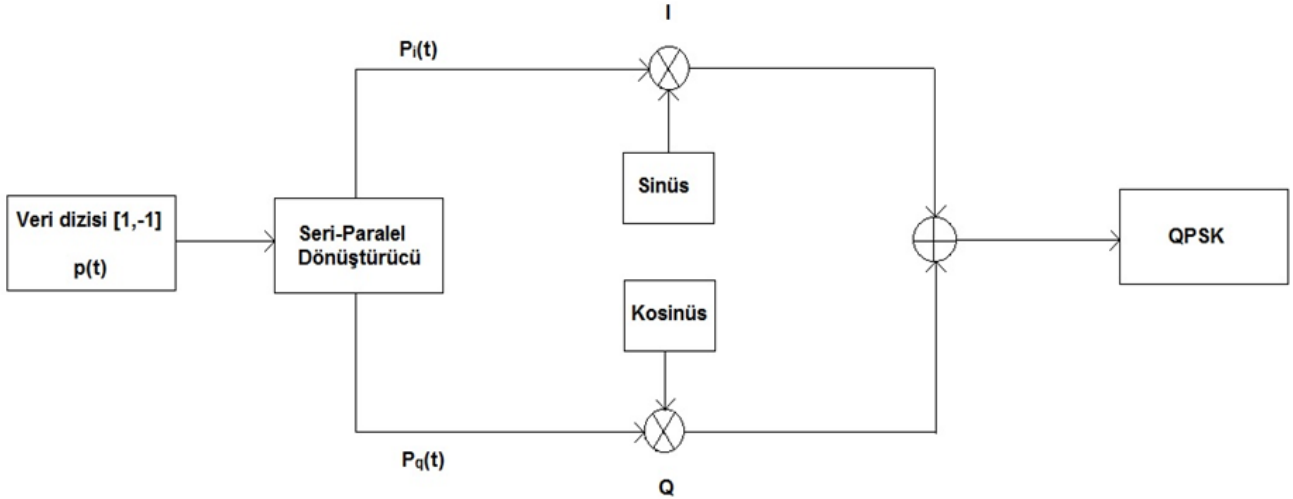
Şekil 2: BPSK modülasyon örneği

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

QPSK modülasyonu BPSK modülasyonunun gelişmiş versiyonu olarak düşünülebilir. QPSK modülasyonunda (00,01,10,11) bilgileri iletildiği için $360/4=90^\circ$ 'lık faz farkları meydana gelmektedir. Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse,

$$s(t) = p(t) \cdot C(t) = p(t) \cdot A \cdot \cos(2\pi \cdot f_c \cdot t + \theta_k) \quad (2)$$

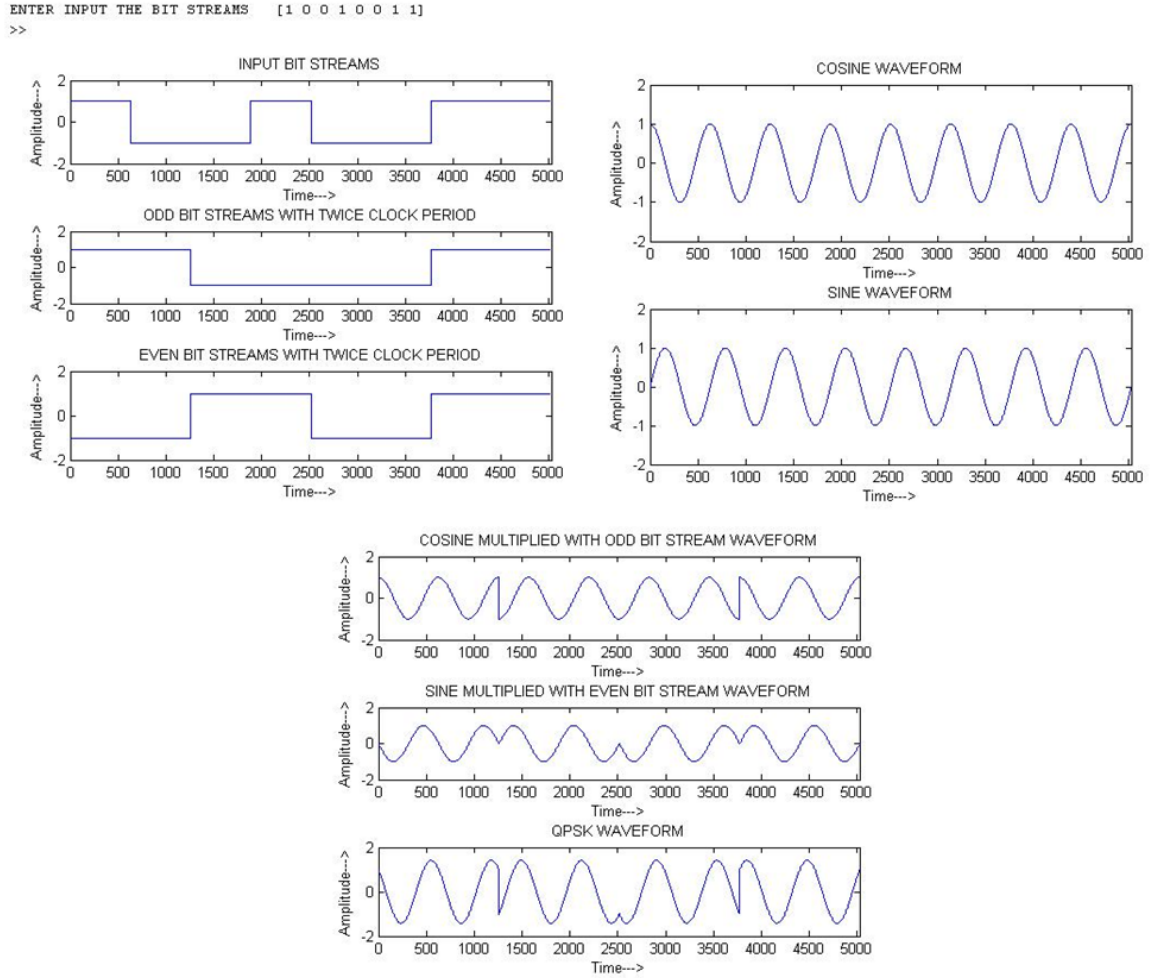
şeklindeir. Burada $p(t)$ veri dizisini, A taşıyıcı genliğini, f_c taşıyıcı frekansını ve θ_k faz açısını simgelemektedir.



Şekil 3: QPSK blok diyagram

Şekil 3'deki blok diyagramında giriş sinyalinin [1 1 -1 1 -1 -1] olarak verildiğini düşünelim. Bu durumda giriş sinyali seri-paralel dönüştürücü bloğunda seri bitleri paralel bitleri çevirecek ve $P_i(t)$ ve $P_q(t)$ oluşacaktır. Dönüşüm sonucu $P_i(t) = [1 -1 -1]$, $P_q(t) = [1 1 -1]$ olarak elde edilecektir. Daha sonra oluşan $P_i(t)$ ve $P_q(t)$ taşıyıcı sinyal ile çarpılacaktır ancak burada dikkat edilecek kısım $P_i(t)$ kosinüs taşıyıcı ile modüle edilirken, $P_q(t)$ sinüs sinyali ile modüle edilmektedir. Burada amaç tek sembolde iki bit iletildiği için giriş bitlerini paralel olarak iletip her iki biti de aynı anda modüle etmektir. Ayrılan $P_i(t)$ ve $P_q(t)$ bitleri kosinüs ve sinüs taşıyıcı sinyali ile modüle edilir. Daha sonra toplama bloğunda birleştirilen sinyaller toplandıktan sonra QPSK sinyali elde edilecektir. BPSK modülasyonunda tek sembolde iletilen bit sayısı bir iken, QPSK modülasyonunda iki bit gönderilir ve bu da veri iletim hızını artırır. Aslında QPSK modülasyonu da BPSK modülasyon tekniğine çok benzemektedir. Yapılan işlemlere bakıldığında QPSK'nın, 90° faz farklı iki BPSK'li sinyalin toplanmış hali olduğu söylenebilir.

Şekil 4 QPSK modülasyonunu daha detaylı biçimde anlatan bir örnektir. Örnekte girişte uygulanan veri dizisi, tek ve çift bitler olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Daha sonra tek bitler kosinüs fazlı taşıyıcı sinyal ile çift bitler sinüs fazlı taşıyıcı sinyal ile çarpıldıktan sonra ilgili iki taşıyıcı sinyal toplanır ve QPSK modülasyonu gerçekleşmiş olur.



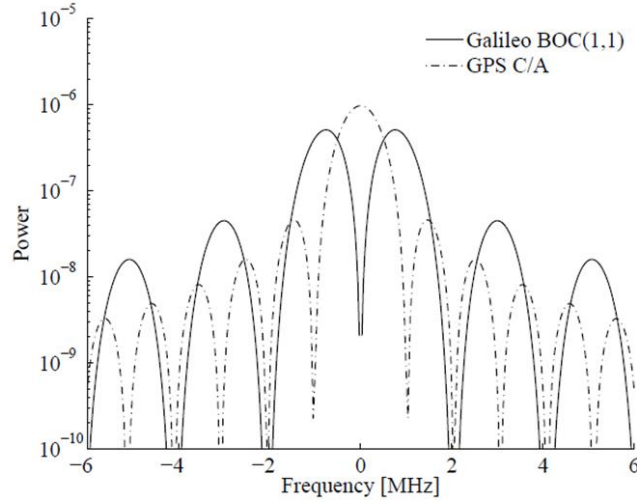
Şekil 4: QPSK modülasyon örneği

Binary Offset Carrier (BOC)

BOC tekniği uydu izleme, girişimi azaltma ve kanal sayısını artırma konusunda önemli üstünlüklere sahiptir. Bu yüzden son yıllarda yukarıda sözü edilen tüm uydu seyrüsefer sistemlerinde yoğun ilgi görmekte ve kullanımı yönünde çalışmalar yapılmaktadır. BOC genel olarak kare alt taşıyıcı üzerine bilgi sinyali modüle edildikten sonra ana taşıyıcı ile iletilme işlemi olarak tanımlanabilir. BOC modülasyonu ana taşıyıcı olarak sinüs dalgası, kare alt taşıyıcı, PRN kodu ve veri dizisinden oluşmaktadır. BOC, ana ve alt olmak üzere iki farklı taşıyıcı kullanması nedeni ile iki modülasyonlu bir teknik olarak da nitelendirilebilir.

Uydu yayınları için kullanılan RNSS frekans bandının sınırlı olması ve her geçen gün artan uydu sayısı mevcut sistem sinyallerinin birbiri ile girişimi riskini ortaya çıkarmaktadır. RNSS bandında yayın yapacak olan Galileo uyduları için sinyal karışımının önlenmesi, yansıma sorununun çözümü ve uydu izleme yeteneklerinin artırılması amacı ile yeni bir modülasyon türüne ihtiyaç duyulmuştur. Çalışmalar sonucunda ortaya çıkan BOC modüli sinyalin frekans spektrumu incelendiğinde, kare alt taşıyıcı sayesinde spektrumun simetrik olarak ikiye ayrıldığı görülmektedir. Bu durum GPS ve diğer GNSS sistemleri ile oluşabilecek sinyal girişimini önemli ölçüde azaltmıştır. Şekil 5'de görüldüğü üzere BPSK modüli GPS sinyalinin f_0 merkez frekansta gücü çok yüksek iken, daha yüksek frekanslarda gücün azaldığı görülebilir. BOC modüli Galileo sinyal gücü ise, GPS merkez frekans değerinde neredeyse sıfıra yakınsamaktadır. GPS sinyalinin gücünün maksimum, Galileo sinyalinin minimum değerde

olması sebebi ile sinyallerin karışmasının önüne geçilmektedir. BOC'nin bir diğer önemli farkı ise modülasyonun frekans spektrumunda simetrik olarak ikiye bölünmesidir. Bu özellik iki yan bantta iki farklı bilginin taşınabilmesine imkân sağlamaktadır.



Şekil 5: Frekans spektrumunda GPS ve Galileo sinyalleri [Borre, Akos, Bertelsen, Rinder ve Jensen, 2007]

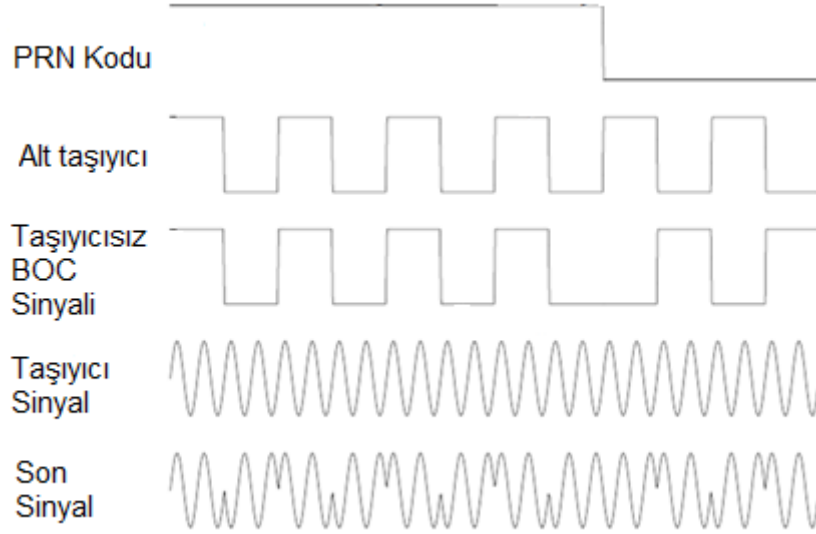
BOC modülasyonu matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$S_{BOC}(t) = s(t) \cdot \text{sign}(\sin(2\pi f_s t)) \quad (3)$$

Burada $S_{BOC}(t)$ BOC modülasyonlu bilgi sinyalini, $s(t)$ +1 ve -1 binary sayılardan oluşan kod dizisini, f_s alt taşıyıcı frekansını ve $\text{sign}(\sin(2\pi f_s t))$ ise signum fonksiyonunu ifade etmektedir. BOC ile modüle edilmiş sinyal sembolik olarak BOC (m, n) veya BOC(f_s, f_c) olarak gösterilir. Burada f_s alt taşıyıcı frekansı ($f_s = m \cdot f_0$), f_c PRN kodu chip oranı ($f_c = n \cdot f_0$) ve f_0 temel frekans olup Galileo için $f_0 = 1.023$ MHz değerindedir. BOC(m, n) ifadesindeki m ve n değerleri, f_0 temel frekansının f_s ve f_c frekanslarını hangi oranda artırdığını gösterir. Örneğin BOC(10,5) modüleli bir sinyal için, $m=10$, $n=5$ olduğu görülmektedir. O halde $f_s = m \cdot f_0$ ve $f_c = n \cdot f_0$ olduğuna göre $f_s = 10.23$ MHz ve $f_c = 5.11$ MHz olarak elde edilir.

Eşitlik 3'de yer alan matematiksel ifade incelendiğinde öncelikle veri dizisi, f_s alt taşıyıcı frekansına sahip bir kare dalga ile modüle edildikten sonra sinüs ana taşıyıcı ile modülasyon işlemine tabi tutulur. Böylelikle istenilen sinyal için BOC modülasyonu Şekil 6'daki gibi gerçekleştirilmiş olur.

BOC tekniğinin, farklı amaçlara hizmet etmek üzere geliştirilmiş farklı türleri bulunmaktadır. Sinüs BOC (SinBOC), Kosinüs BOC (CosBOC), Alternate BOC (AltBOC), Multiplexed BOC (MBOC), Quadrature Multiplexed BOC (QMBOC), Double BOC (DBOC), BOC-AW uydu sistemlerinde kullanılmaya başlanan bazı türleridir. Bu çalışma kapsamında Galileo uydularında ilk defa kullanılan SinBOC, CosBOC, AltBOC ve MBOC uygulamaları incelenecektir.



Şekil 6: BOC modülasyonu [Borre, Akos, Bertelsen, Rinder ve Jensen, 2007]

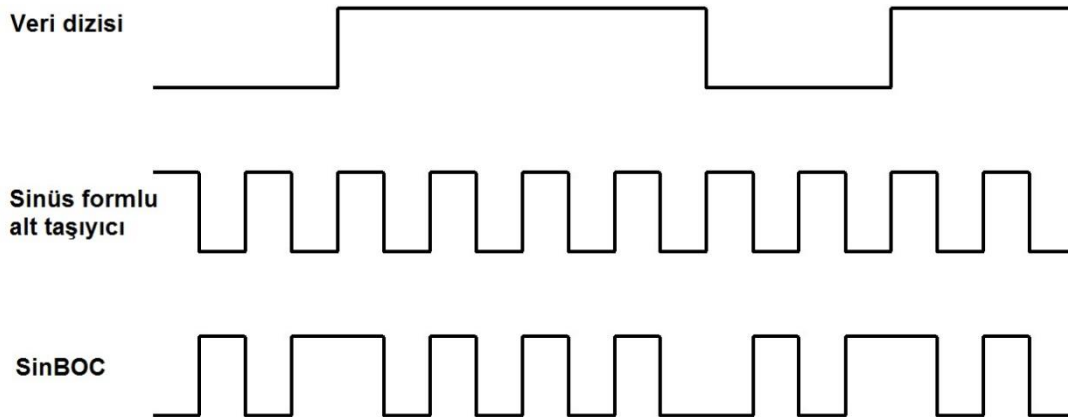
Sinüs Binary Offset Carrier (SinBOC)

SinBOC, veri dizisi (1 veya -1) ile sinüs fazlı kare alt taşıyıcının çarpılması sonucu gerçekleştirilir. Sinüs fazlı kare alt taşıyıcı, signum fonksiyonu yardımı sinüs dalgasından elde edilir. SinBOC matematiksel olarak,

$$\text{SinBOC}(t) = s(t) \cdot \text{sign}(\sin(2\pi f_{sc} t)) \quad (4)$$

olarak ifade edilir. Burada $s(t)$ veri dizisini, f_{sc} alt taşıyıcı frekansını, sign ise signum fonksiyonunu temsil etmektedir.

Şekil 7’de SinBOC’nin gerçekleştirilmesi gösterilmektedir. Girişe uygulanan veri dizisi ile sinüs formulu alt taşıyıcı çarpılır ve SinBOC modülasyonlu sinyal elde edilir.



Şekil 7: SinBOC modülasyonu

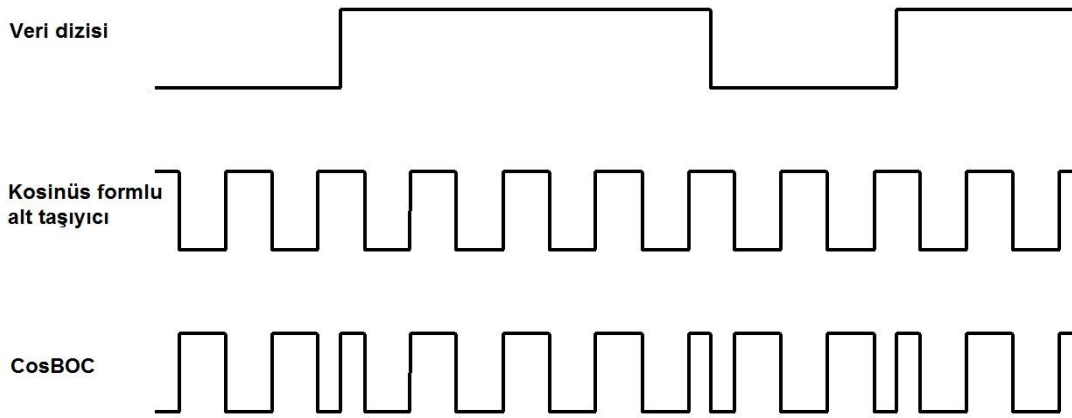
Kosinüs Binary Offset Carrier (CosBOC)

CosBOC, veri dizisi (1 veya -1) ile kosinüs fazlı kare alt taşıyıcının çarpılması sonucu gerçekleştirilir. Kosinüs fazlı kare alt taşıyıcı, signum fonksiyonu yardımı kosinüs dalgasından elde edilir. SinBOC ile CosBOC birbirine çok benzemektedir. Aralarındaki tek fark 90°'lik faz farkıdır. CosBOC matematiksel olarak,

$$\text{CosBOC}(t) = s(t) \cdot \text{sign}(\cos(2\pi f_{sc} t)) \quad (5)$$

olarak ifade edilir. Burada $s(t)$ veri dizisini, f_{sc} alt taşıyıcı frekansını, sign ise signum fonksiyonunu temsil etmektedir.

Şekil 8'de CosBOC'nin gerçekleştirilmesi gösterilmektedir. Girişe uygulanan veri dizisi ile kosinüs formülü alt taşıyıcı çarpılır ve CosBOC modülasyonlu sinyal elde edilir



Şekil 8: CosBOC modülasyonu

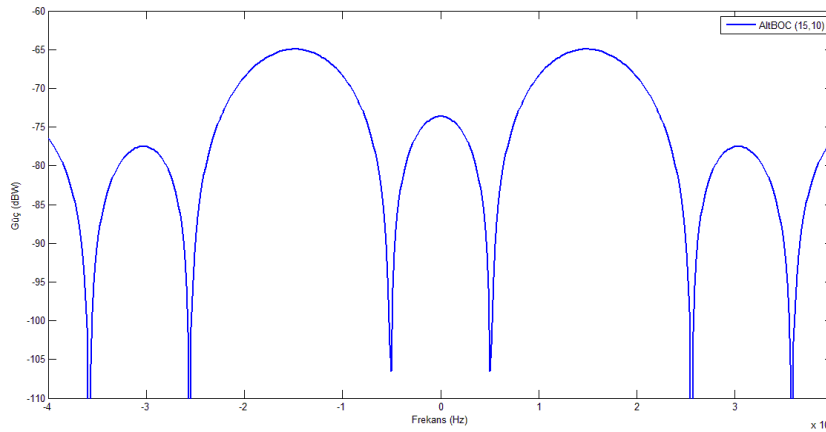
Alternate Binary Offset Carrier (AltBOC)

AltBOC modülasyonunda, kompleks bir alt taşıyıcı kullanılır. Kompleks alt taşıyıcı alt ve üst yan bantlarda farklı bilgi taşınmasını sağlamaktadır. Kompleks alt taşıyıcı sinüs ve kosinüs BOC ile elde edilmektedir. Kompleks alt taşıyıcı = $\text{sign}(\cos(2f_s t)) + j \text{sign}(\sin(2f_s t))$ olarak ifade edilir. AltBOC matematiksel olarak,

$$s(t) = C_a(t) \cdot [\text{sign}(\cos(2\pi f_s t)) + j \text{sign}(\sin(2\pi f_s t))] + C_b(t) \cdot [\text{sign}(\cos(2\pi f_s t)) - j \text{sign}(\sin(2\pi f_s t))] \quad (6)$$

ifade edilmektedir. Burada $C_a(t)$ a kanalı için bilgi sinyali, $C_b(t)$ b kanalı için bilgi sinyali, f_s alt taşıyıcı frekansı olarak sembolize edilmektedir.

Gerçek ve sanal kısım sayesinde alt ve üst yan bantlarda farklı bilgi iletimi söz konusu olabilmektedir. Böyle bir durum kanal tasarrufu, veri iletim hızında artış gibi avantajlar sağlamaktadır. Şekil 9 AltBOC'nin spektral güç yoğunluğunu göstermektedir.



Şekil 9: AltBOC spektral güç yoğunluğu

AltBOC Galileo uydu sisteminde E5 bandında kullanılmaktadır. AltBOC sayesinde E5 bandı E5a alt yan bant ve E5b üst yan bant olarak ikiye ayrılır. Bu da aynı frekans bandında farklı hizmetler vermeye imkân sağlar. E5a bandında Açık Servis (Open Service, OS) ve Ticari Servis (Commercial Service), E5b bandında ise Açık Servis, Ticari Servis ve Yaşam Güvenliği Servisi (Safety-of-Life) hizmetleri sunulmaktadır.

Multiplexed Binary Offset Carrier (MBOC)

Galileo ve GPS'te sivil kullanıma tahsis edilen L1C bandında işbirliği ve uyumluluk sağlamak amacı ile tasarlanmış bir modülasyon tipidir. İki farklı BOC modüli sinyalin birleşiminden oluşur. Bunun sonucunda, sinyal gücünde merkez frekanstan yaklaşık ± 6 MHz ve ± 18 MHz uzaklıkta güç artışı sağlanır. Bu güç sayesinde MBOC sinyali, L1 bandındaki diğer sinyallerle girişimi azaltır ve uydu takibi daha kolay sağlanır. MBOC'nin Galileo'da kullanılan Composite BOC (CBOC), GPS uydularında kullanılan Time Multiplexed BOC (TMBOC) ve Compass sisteminde tercih edilen Quadrature MBOC (QMBOC) olmak üzere farklı uygulamaları mevcuttur. Galileo E1 frekans bandı için ilk olarak BOC tekniği düşünülmesine rağmen, 2006 yılında CBOC tekniği kullanımı konusunda karar kılınmıştır. Sebebi CBOC, BOC tekniği ile kıyaslandığında uydu takibi konusunda daha iyi performans sergilemektedir. CBOC, iki BOC sinyalinin toplamı veya farkından oluşmaktadır.

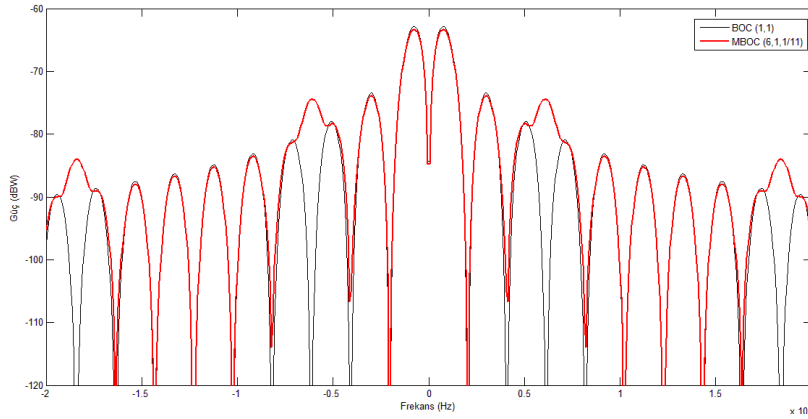
$$CBOC(x, y, \alpha) = \alpha \cdot BOC(x, 1) \pm \beta \cdot BOC(y, 1) \quad (7)$$

olarak ifade edilir. Burada α , toplam güç içerisinde $BOC(x, 1)$ 'in güç oranını, β ise toplam güç içerisinde $BOC(y, 1)$ 'in güç oranını ifade etmektedir. Galileo uydu sisteminde $CBOC(6, 1, 1/11)$ kullanılmaktadır.

$$CBOC(6, 1, 1/11) = 1/11 \cdot BOC(6, 1) + 10/11 \cdot BOC(1, 1) \quad (8)$$

olarak ifade edilir. BOC(6,1) ve BOC(1,1) birleşiminden oluşan CBOC ile BOC(1,1) için verilen Spektral Güç Yoğunluğu (Power Spectrum Density, PSD) grafiği Şekil 10'da gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere, MBOC, BOC(1,1) ile neredeyse aynı spektral güç yoğunluğuna sahiptir. Aralarındaki fark MBOC'nin merkez frekanstan ± 6 MHz ve ± 18 MHz uzaklıkta daha fazla güce sahip olmasıdır.

Galileo E1-L1-E2 bantlarında MBOC ve BOC modülasyon teknikleri kullanılarak Açık Servis, Ticari Servis, Yaşam Güvenliği Servisi ve Asayiş Servisi hizmetleri verilmektedir.



Şekil 10: MBOC spektral güç yoğunluğu

SONUÇ

BOC tekniği günümüzde ilk olarak Galileo uydu sisteminde kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknik Galileo'ya, diğer uydu sistemlerinde olmayan, sadece acil durumlarda kullanılacak olan Arama-Kurtarma, tek frekans bandını alt ve üst yan bant şeklinde iki parçaya bölerek kanal sayısını artırma, diğer uydu sinyalleri ile girişimi engelleme gibi çok büyük avantajlar sağlamaktadır. Galileo sisteminde BOC'nin sağladığı üstünlüklerin fark edilmesinden sonra ABD, Çin ve Rusya da kendi uydu sistemlerine BOC modülasyon tekniğini uygulamak için çalışmalar başlatmıştır. Bu bağlamda 2017'de gönderilmesi planlanan GPS III uydularının L1C frekans bandı için BOC uygulamalarından olan MBOC modülasyonunu kullanılacağı ön görülmektedir. BOC modülasyonunun COMPASS uydularında da kullanılması için çalışmalar sürmektedir.

Uydu sistemleri arasındaki işbirliği ve uyumluluk programı çerçevesinde tüm uydu sistemlerinin BOC tekniğini kullanması ve aynı frekans spektrumuna sahip olması öngörülmektedir. Böylece tek bir alıcı ile tüm var olan uydu temelli küresel konum belirleme sistemlerinden faydalanarak konum, zaman ve mesafe bilgisi elde edilebilecektir. Ayrıca tek alıcıda farklı uydu sistemlerinden gelen sinyaller birleştirilerek konum ve zaman hataları azaltılıp bilgi sinyalinin doğruluğu artırılabilir. Ayrıca bu modülasyon tekniğinin gelecekte farklı alanlarda da kullanılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA:

Borre, K., Akos, M. D., Bertelsen, N., Rinder, P. ve Jensen, H. S., 2007. *A Software-defined GPS and Galileo receiver: A Single-frequency approach*, Birkhäuser, Boston

Grewal, S. M., Andrews, P. A., Bartone, G. C., 2013. *Global navigation satellite systems: Inertial navigation and integration*, John Wiley & Sons, Inc, New Jersey

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E., 2008. *GNSS – Global navigation satellite systems*, Springer-Verlag Wien, Austria

Macchi, F., Petovello, G. M., Lachapelle, G., 2008. Consequences of MBOC approximation by BOC modulation, International technical meeting of the satellite division ION GNSS, Savannah, GA, 16-19 November

Maini, K. A., Agrawal, V., 2011. *Satellite technology principles and applications*, John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom

Richharia, M., Westbrook, D. L., 2010. *Satellite system for personal applications concepts and technology*, John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom

Siddiqui, B. A., 2010. *Simulink-based acquisition unit for Galileo E1 CBOC modulated signals*, Master Of Science Thesis, Degree Program in Information Technology, Department of Communications Engineering, Finland, March