



**T.C. İSTANBUL T CARET
ÜNİVERSİTESİ**

FEN B LİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRONİK KARIŞTIRICILAR İÇİN S NYAL GÜCÜNE DAYALI
UYARLANABİLİR GPS S NYALI SIKIŞMA ÖNLEME ALGORİTMASI**

Esat ELEZİ

**Danışman
Doç. Dr. Serhan YARKAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İSTANBUL - 2020**

KABUL VE ONAY SAYFASI

Esat ELEZİ tarafından hazırlanan “**Elektronik Karıştırıcılar için Sinyal Gücüne Dayalı Uyarlanabilir GPS Sinyali Sıkışma Önleme Algoritması**” adlı tez çalışması 07/12/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde başarı ile savunularak, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Doç. Dr. Serhan YARKAN İstanbul Ticaret Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Ali BOYACI İstanbul Ticaret Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Muhamed Ali AYDIN İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa	

Onay Tarihi: 11/12/2020

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsünün 11.12.2020 tarih ve 2020/298 numaralı Yönetim Kurulu Kararının 1. maddesi gereğince, ders yüklerini ve tez yükümlülüğünü yerine getirdiği belirlenen Esat ELEZİ (TC: 99556524252) adlı öğrencinin mezun olmasına oy birliği ile karar verilmiştir.

Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK
Enstitü Müdürü

AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

11/12/2020

Esat ELEZİ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER.....	vi
ÇİZELGELER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Motivasyon	1
1.2. Amaç.....	1
1.3. Yapı.....	2
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1. GPS'e Genel Bakış.....	3
2.2. GPS Bölümleri.....	4
2.2.1. Uzay segmenti	4
2.2.2. Kontrol segmenti.....	5
2.2.3. Kullanıcı segmenti	5
2.3. GPS: Türleri	6
2.4. GPS: Temel fikir	6
3. ELEKTRONİK KARIŞTIRICILAR.....	7
3.1. Radyo Karıştırıcılarına Giriş.....	7
3.2. Elektronik Karıştırıcı Türleri.....	8
3.2.1. Pulse sıkışması.....	8
3.2.2. Spot sıkışması.....	8
3.2.3. Barrage sıkışması.....	9
3.2.4. Sweep sıkışması	9
4. GPS SİNYALİ YAPISI	11
4.1. GPS Sinyali	11
4.2. GPS Sinyal Şeması	12
4.3. Sistem Modeli	15
4.4. Simulink.....	16
5. ELEKTRONİK KARIŞTIRICILARIN ETKİSİ	18
5.1. Sıkışma Sonuçları.....	18
5.1.1. Pulse sıkışması sonuçları.....	18
5.1.2. Spot sıkışması sonuçları.....	19
5.1.3. Barrage sıkışması sonuçları.....	20
5.1.4. Sweep sıkışması sonuçları.....	20
5.2. Karşılaştırmalı Analiz.....	22
6. EK TESPİTİ VE TANIMLANMASI.....	23
6.1. Sıkışma Aralıkları.....	24
6.1.1. GPS sinyali	24
6.1.2. Sweep sıkışması	24
6.1.3. Barrage sıkışması.....	26
6.1.4. Pulse sıkışması.....	26
6.1.5. Spot sıkışması.....	26
6.2. Karşılaştırmalı Analiz.....	27
7. ANTİ-KARIŞTIRMA.....	29

7.1. Genel Bakış.....	29
7.2. Literatür İncelemesi.....	29
7.3. Önerilen Çözüm	31
7.4. Turbo Kodların Prensipleri.....	32
7.5. Turbo Kodlamanın Uygulanması	34
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	36
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ.....	40

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRONİK KARIŞTIRICILAR İÇİN SİNYAL GÜCÜNE DAYALI UYARLANABİLİR GPS SİNYALİ SIKIŞMA ÖNLEME ALGORİTMASI

Esat ELEZİ

İstanbul Ticaret Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Serhan YARKAN

2020, 40 sayfa

Global Positioning System (GPS), günlük hayatımızın birçok alanında geniş uygulama alanı bulmuştur. Ancak sinyalin çok zayıf olması nedeniyle sinyal bozma veya sızdırma gibi harici saldırılara karşı savunmasızdır. Sıkışma, GPS'in konum sinyallerini almasını engelleyerek işlevsiz hale getiren bir tekniktir. Dolandırıcılık sinyali bozarak GPS alıcısının yanlış veri almasına neden olur. Bu çalışmada, elektronik sıkışma yöntemleri olarak adlandırılan özel karıştırıcılar analiz edilmiş ve özel olarak karıştırılmıştır. Elektronik karıştırma, sinyal bozucuların bir düşmanın radarına müdahale eden sinyaller yaydığı ve alıcıyı yüksek yoğunluklu enerji sinyalleri ile bloke ettiği bir elektronik savaş türüdür. İki ana teknik stil gürültü teknikleri ve tekrarlayıcı tekniklerdir. Gürültü teknikleri, Radarı bozan tekniklerdir ve tekrarlama teknikleri, GPS Sinyallerindeki sahtekarlığa benzer şekilde yanlış veri gönderir. Dört tür gürültü sıkışması, Spot Sıkışması (SS), Sweep Sıkışması (SWS), Pulse Sıkışması (PS), and Barrage Sıkışması (BS). Bu çalışmanın toplam üç aşaması vardır. İlk aşama, hangisinin GPS alıcısı üzerinde en çok parazitlenme etkisine sahip olduğunu gözlemlemek için aralarında bir karşılaştırma yapmak ve çalışmaktır. İkinci aşama, GPS sinyalini etkileyen sinyal bozucu tipini doğru bir şekilde tanımlayabilmektir, böylece sinyalin güvenliğini sağlamak için uygun savunma önlemleri uygulanabilir. Son aşama, GPS Sinyali sıkışmasının etkisine karşı koymak için uygun bir yöntem tasarlamakla ilgilidir. Turbo kodları pratik olarak uygulanabilir yüksek performanslı kodlardır, bu nedenle çalışmamızdaki sıkışma etkisine karşı koymak için seçilmiştir. Tüm sinyaller ve üzerlerindeki işlemler Matlab üzerinden yapılır.

Anahtar kelimeler: Barrage sıkışması (BK), bit hata oranları (BHO), elektronik karıştırıcı (EK), Global positioning system (GPS), pulse sıkışması (PK), spot sıkışması (SK), sweep sıkışması (SWS), turbo kodu

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ADAPTIVE GPS SIGNAL ANTI-JAMMING ALGORITHM BASED ON SIGNAL POWER FOR ELECTRONIC JAMMERS

Esat ELEZİ

**Istanbul Commerce University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Electronics and Communication Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Serhan YARKAN

2020, 40 pages

Global Positioning System (GPS) has found wide application in many areas of our daily life. However, it has a very weak signal making it vulnerable to external attacks like jamming or spoofing. Jamming is a technique that blocks the GPS from receiving location signals making it nonfunctional. Whereas spoofing corrupts the signal, making the GPS receiver receive false data. In this work jamming is analyzed and specific jammers called Electronic Jamming methods. Electronic jamming is a form of electronic warfare where jammers radiate interfering signals toward an enemy's radar, blocking the receiver with highly concentrated energy signals. The two main technique styles are noise techniques and repeater techniques. Noise techniques are the ones that jam the Radar and repeater techniques send false data, similar to spoofing in GPS Signals. The four types of noise jamming are Spot Jamming (SJ), Sweep Jamming (SWJ), Pulse Jamming (PJ) and Barrage Noise Jamming (BNJ). This study has three phases in total. The first phase was to study and do a comparison between them to observe which of them has the most jamming effect on the GPS receiver. The second phase was to properly be able to identify the type of jammer affecting the GPS signal so that proper defensive measures can be applied. This was achieved by measuring the power of the signal in order to achieve a threshold/interval to be able to identify the type of jammer. The last phase is about devising a method suitable to counter the effect of GPS Signal jamming. Lastly since Turbo codes are practically implementable high performance codes, they are chosen to counter the jamming effect in our work. All the signals and the operations on them are done through Matlab.

Keywords: Barrage noise jamming (BNJ), bit error rate (BER), electronic jammers, Global positioning system (GPS), pulse jamming (PJ), spot jamming (SJ), sweep jamming (SWJ), turbo code

TEŞEKKÜR

Tüm hamd, âlemlerin Rabbi olan Allah'a mahsustur. En merhametli ve en merhametli. Bana sağlık ve bu araştırmayı tamamlamak için gerekli olan yeteneği veren odur.

Yurt dışı eğitimimde büyük katkısı olan Hüdayi Vakfı'na ve özellikle Şuayib BAŞHAN Abi'ye teşekkür etmek istiyorum.

Akademik kariyerimin ilk adımından beri benimle birlikte olan lise öğretmenim Evans DRİSHTİ'ye ayrıca teşekkür etmek istiyorum.

Son olarak, hayatımın bu zorlu döneminde hiç bitmeyen sevgileri, sürekli destekleri ve anlayışları için aileme sonsuz minnettarım.

Esat ELEZİ
İSTANBUL, 2020

ŞEKİLLER

	Sayfa
Şekil 2-1: GPS uydu takımı yıldızı.....	3
Şekil 2-2: GPS bölümleri.....	4
Şekil 2-3: GPS trilateration.....	5
Şekil 4-1: Uydularda GPS sinyallerinin oluşturulması.....	12
Şekil 4-2: L1 sinyal bileşenleri.....	14
Şekil 4-3: a) C/A kod örnekleri b) Navigasyon kodu örneği.....	15
Şekil 4-4: Simulink'te GPS sinyal üretici.....	16
Şekil 4-5: C/A kod sayacı çıkışı. (a) Kodun tüm dizinlerinde tam bir döngü. (b) Sayaç çıktısının ilk örnekleri.....	17
Şekil 4-6: C/A kodunun ilk örnekleri.....	17
Şekil 5-1: Pulse sıkışmasının GPS sinyali üzerindeki etkisi.....	19
Şekil 5-2: Spot sıkışmasının GPS sinyali üzerindeki etkisi.....	20
Şekil 5-3: Barrage sıkışmasının GPS sinyali üzerindeki etkisi.....	21
Şekil 5-4: Sweep sıkışmasının GPS sinyali üzerindeki etkisi.....	21
Şekil 6-1: Önerilen yöntem.....	23
Şekil 6-2: Önerilen yöntem.....	24
Şekil 6-3: GPS sinyali güç spektrumu tahmini.....	25
Şekil 6-4: Sweep sıkışması noise jamming güç spektrumu tahmini.....	25
Şekil 6-5: Barrage sıkışması güç spektrumu tahmini.....	26
Şekil 6-6: Pulse sıkışması güç spektrumu tahmini.....	27
Şekil 6-7: Spot sıkışması güç spektrumu tahmini.....	27
Şekil 7-1: Turbo kodlamayı kullanarak önerilen karışma önleme şeması.....	31
Şekil 7-2: Klasik Turbo Kodu.....	32
Şekil 7-3: Barrage sıkışması önleme ile ve olmadan sıkışma.....	34
Şekil 7-4: Spot sıkışması önleme ile ve olmadan sıkışma.....	35

ÇİZELGELER

	Sayfa
Çizelge 4-1: a) Özel OR işleminin çıktısı b) Sıradan çarpmanın çıktısı.....	13
Çizelge 5-1: IHO'da sıkışma türlerinin karşılaştırılması.	22
Çizelge 6-1: Sıkışma sinyalleri için güç aralıkları.....	28

SİMGELER VE KISALTMALAR

AF	Anlık Frekans
AKi	Ana Kontrol İstasyonu
AR	Autoregressive
ATF	Adaptive Temporal Filters
BHO	Bit Hata Oranları
BS	Barrage Sıkışması
BSS	Blind Source Separation
C/A –Kode	Coarse Acquisition
CCTL	Code/Carrier Tracking Loops
DEGF	Dijital Eksizyon Geçici Filtresi
DKD	Gecikme Kilidi Döngüsü
DRFM	Digital Radio Frequency Memory
DS	Doğrudan Sıralı
DSYS	Doğrudan Sıralı Yayılı Spektrum
DTF	Darbe Tekrarlama Frekansı
EK	Elektronik Karıştırıcı
GPS	Global Positioning System
GS	Güç Spektrum Analizörü
İFKA	İkili Faz Kayması Anahtarlama
İHKK	İleri Hata Kontrol Kodlaması
İPY	İlk Operasyonel Yetenek
MK	Mekanik Karıştırma
MPCMA	Multiple Parallel Constant Modulation Array
OTBGG	Ortalamalı Toplamsal Beyaz Gauss Gürültüsü
P-Kodu	Precision
PO	Posterior Olasılık
PRN	Pseudo-Random Noise
PS	Pulse Sıkışması
SaB	Savunma Bakanlığı
SK	Sinyal Karışım
SKH	Standart Konumlandırma Hizmeti
SS	Spot Sıkışması
SWS	Sweep Sıkışması
UYF	Ultra Yüksek Frekans
VY	Varış Yönlerinden

1. GİRİŞ

1.1. Motivasyon

GPS, 1970'lerin başında ABD Savunma Bakanlığı (SaB) tarafından geliştirilen uydu tabanlı bir navigasyon sistemidir. Başlangıçta GPS, ABD askeri ihtiyaçlarını karşılamak için askeri bir sistem olarak geliştirildi. Ancak, daha sonra sivillerin kullanımına sunuldu ve şimdi hem askeri hem de sivil kullanıcılar tarafından erişilebilen çift kullanımlı bir sistemdir (U.S. Federal Radionavigation Plan, 1999). GPS, sürekli konumlandırma sağlar ve herhangi bir hava koşulunda dünyanın herhangi bir yerinde zamanlama bilgileri. GPS, sınırsız sayıda kullanıcıya hizmet vermesinin yanı sıra güvenlik nedenleriyle de kullanıldığından, tek yönlü (pasif) bir sistemdir (Langley, 1990). Bununla birlikte, Dünya yüzeyine ulaşan GPS sinyal gücü yaklaşık 160dBw'dir. Bu, kabaca, Los Angeles, California'dan Japonya'daki 25 Watt'lık bir ampulü görmeye denktir (Warner, 2003). Bu kadar zayıf bir güce sahip bir sinyal, çevresel koşullar tarafından savunmasız hale gelir. Ayrıca kötü niyetli olaylar da GPS Sinyalinin tamamen kaybolmasına veya kasıtlı olarak yanlış olmasına neden olabilir. Genel olarak, iki tür kötü amaçlı olay vardır. Birine sıkışma, diğeri sahtecilik denir. Sıkışma, uydu sinyalini bastırmak için aynı frekansta yeterince iletilen gürültüyü sağlayarak GPS sinyal alımında bir kayba neden olmayı amaçlar. Adres sahteciliği, kötü niyetli veya kopyalanmış bir GPS sinyali iletir (O'Neil, 2014).

1.2. Amaç

Bu araştırmada, Elektronik Karıştırıcılar (EK) adı verilen bir karıştırıcı kategorisi incelenmiştir. Eserin kendisinin üç ana aşaması vardır. İlki, farklı Sinyal Karıştırma oranı için Bit Hata Oranlarını (BHO) gözlemleyerek, tüm EK türlerinin GPS sinyal alıcısı üzerindeki etkisini analiz etmektir. İkincisi, sinyal bozuculardan hangisinin sinyali etkilediğini belirlemek için bir yöntem tasarlamak ve son aşama, sinyali karıştırıcılardan korumak için bir yol bulmaktır. Tüm simülasyonlar ve ölçümler MATLAB Yazılımı ile yapılmıştır.

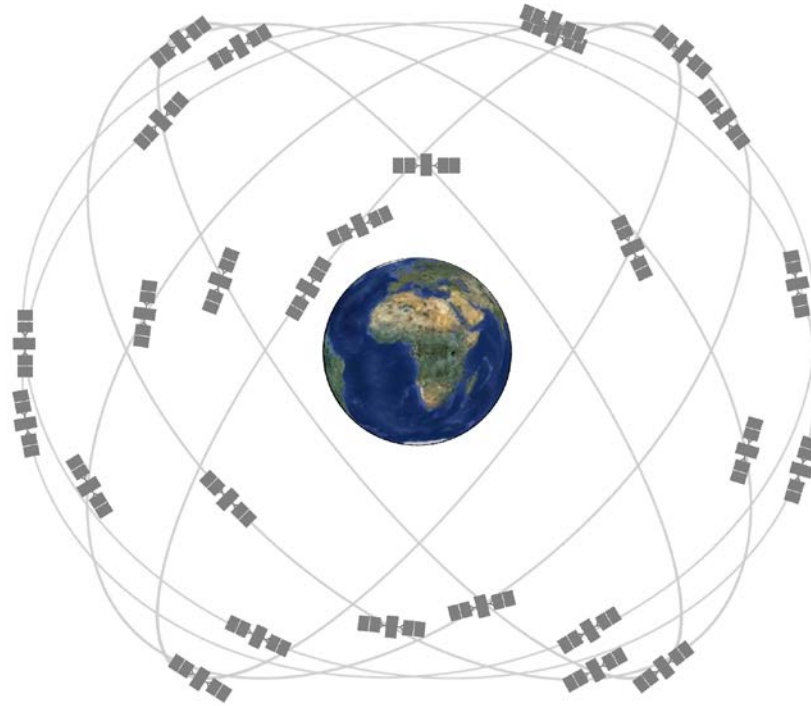
1.3. Yapı

İşin geri kalanı bu şekilde düzenlenir. Bölüm 2, GPS'in nasıl çalıştığına bir giriş verir. Bölüm 3, EK türleri ve matematiksel gösterimlerinden bahseder. Aşağıdaki bölümde GPS sinyal yapısı açıklanmış ve çalışmamızda kullanılan sinyalin nasıl modelleneceği anlatılmıştır. Bölüm 5, elektronik karıştırıcıların GPS sinyalini nasıl etkilediğiyle ilgili araştırmamızın ilk bölümünü gösterir. Bölüm 6, sinyal bozucular için aralıkları nasıl belirlediğimiz ikinci aşamayı açıklar ve son bölümde 7 sıkışma önlemeyi açıklar ve nihai sonuçları gösterir. Sonunda, sonuç ve gelecekteki olası çalışma için bir bölüm var.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. GPS'e Genel Bakış

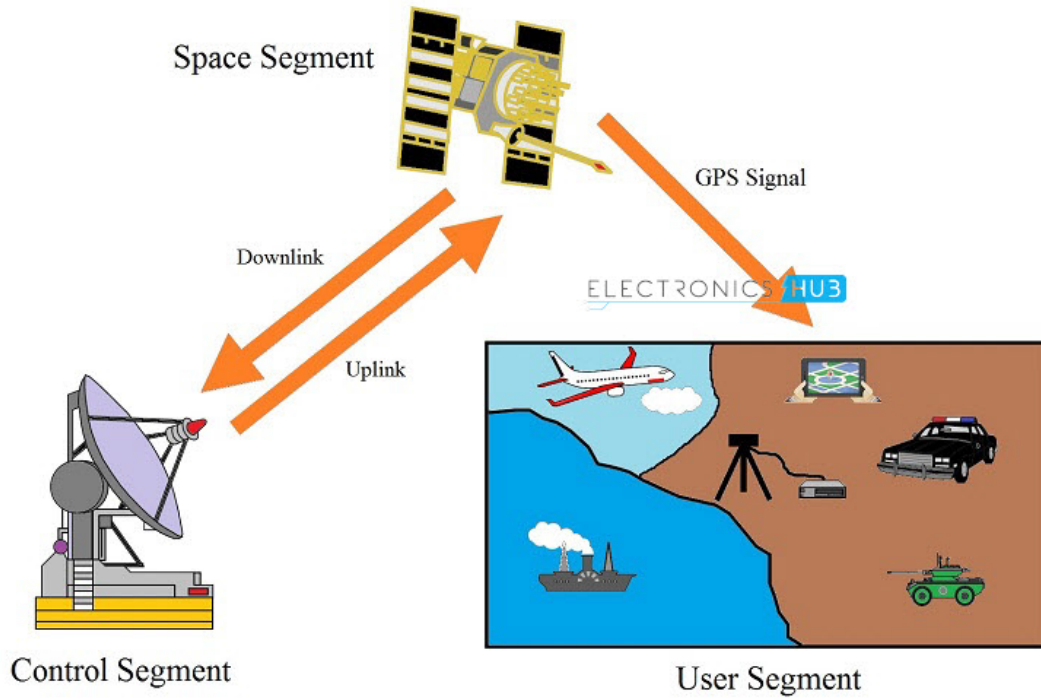
GPS, sözde 24 operasyonel uydunun bir takımyıldızından oluşur. İlk Operasyonel Yetenek (İPY) olarak bilinen bu takımyıldız, Temmuz 1993'te tamamlandı (Wellenhof 1994). Dünya çapında kesintisiz kapsama sağlamak için GPS uyduları, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi altı yörünge düzleminin her birine dört uydu yerleştirilecek şekilde düzenlenmiştir. Bu takımyıldız geometrisi ile, 10° 'luk bir yükseklik açısı dikkate alınırsa, dünyanın herhangi bir yerinde dört ila on GPS uydusu görülebilecektir. GPS uydu yörüngeleri, ekvatora yaklaşık 55° 'lik bir eğimle neredeyse daireseldir. GPS yörüngesinin yarı ana eksenini yaklaşık 26.560 km'dir (yani, dünya yüzeyinin yaklaşık 20.200 km üzerindeki uydu yüksekliği). İlgili GPS yörünge periyodu yaklaşık 12 yıldız saatidir (11 saat, 58 dakika) (Langley, 1991).



Şekil 2-1: GPS uydu takımyıldızı.

2.2. GPS Bölümleri

GPS üç bölümden oluşur: uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcı bölümü (Şekil 2.2) (Wells, 1987).



Şekil 2-2: GPS bölümleri.

2.2.1. Uzay segmenti

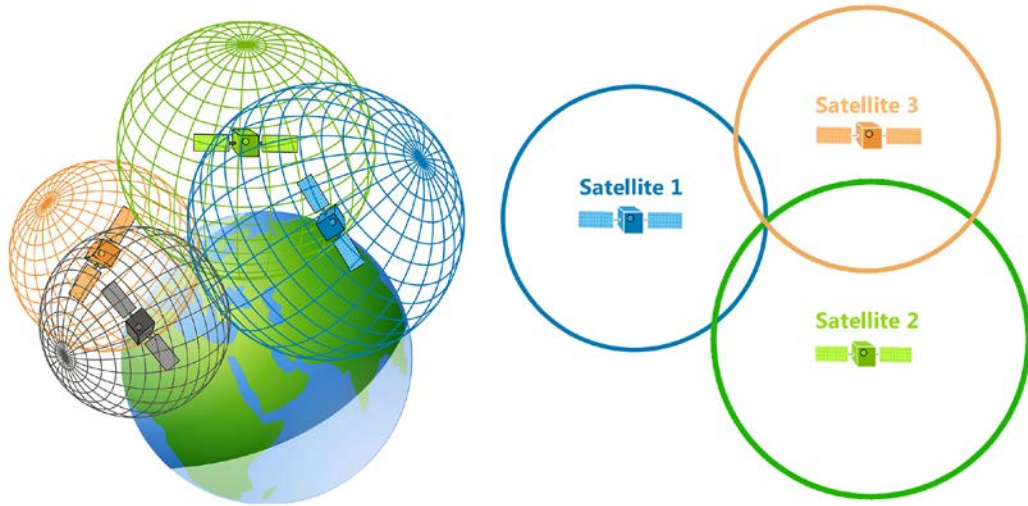
Uzay bölümü 24 uydu takımyıldızından oluşur. Her GPS uydusu, bir dizi bileşene sahip bir sinyal iletir: iki sinüs dalgası (taşıyıcı frekansları olarak da bilinir), iki dijital kod ve bir navigasyon mesajı. Kodlar ve navigasyon mesajı, taşıyıcılara İkili Faz Kayması Anahtarlama (İFKA) modülasyonları olarak eklenir (Wells, 1987). Taşıyıcılar ve kodlar, esas olarak kullanıcının alıcısından GPS uydularına olan mesafeyi belirlemek için kullanılır. Navigasyon mesajı, diğer bilgilerle birlikte, zamanın bir fonksiyonu olarak uyduların koordinatlarını (konumu) içerir. İletilen sinyaller, uydulardaki yüksek doğrulukta atomik saatler tarafından kontrol edilir.

2.2.2. Kontrol segmenti

GPS sisteminin kontrol bölümü, ABD'de Colorado Springs, Colorado'da bulunan bir Ana Kontrol İstasyonu (AKİ) ile dünya çapında bir izleme istasyonları ağından oluşur. Operasyonel kontrol segmentinin birincil görevi, uydu konumlarını, sistem bütünlüğünü, uydu atomik saatlerinin davranışını, atmosferik verileri, uydu almanağı ve diğer hususları belirlemek ve tahmin etmek için GPS uydularını izlemektir. Bu bilgiler daha sonra paketlenir ve S-bandı bağlantısı aracılığıyla GPS uydularına yüklenir.

2.2.3. Kullanıcı segmenti

Kullanıcı segmenti tüm askeri ve sivil kullanıcıları içerir. Bir GPS antenine bağlı bir GPS alıcısı ile, bir kullanıcı, dünyanın herhangi bir yerinde konumunu belirlemek için kullanılabilen GPS sinyallerini alabilir. GPS şu anda dünya çapındaki tüm kullanıcılar tarafından doğrudan ücretsiz olarak kullanılabilir.



Şekil 2-3: GPS trilateration.

2.3. GPS: Türleri

Ticari GPS alıcıları, alma yeteneklerine göre dört türe ayrılabilir. Bunlar:

- Tek frekanslı kod alıcıları
- Tek frekanslı taşıyıcıyla düzleştirilmiş kod alıcıları
- Tek frekanslı kod ve taşıyıcı alıcılar
- Çift frekanslı alıcılardır

Tek frekanslı alıcılar yalnızca L1 frekansına erişirken, çift frekanslı alıcılar hem L1 hem de L2 frekanslarına erişir. GPS alıcıları, 1 ila 12 kanal arasında değişen izleme kanallarının sayısına göre de kategorize edilebilir. İyi bir GPS alıcısı, her bir kanalın belirli bir uyduyu sürekli olarak izlemeye adanmış olduğu çok kanallı olacaktır. Şu anda, çoğu GPS alıcısının 9 ila 12 bağımsız (veya paralel) kanalı vardır. Bir GPS alıcısı seçerken maliyet, kullanım kolaylığı, güç tüketimi, boyut ve ağırlık, dahili ve / veya harici veri depolama yetenekleri, arayüz oluşturma yetenekleri ve çoklu yol gösterme gibi özellikler dikkate alınmalıdır.

2.4. GPS: Temel fikir

GPS'in arkasındaki fikir oldukça basit. Uydu konumları ile birlikte Dünya üzerindeki bir noktadan (bir GPS alıcısı) üç GPS uydusuna olan mesafeler biliniyorsa, noktanın (veya alıcının) konumu, basitçe bilinen bir rezeksiyon kavramı uygulanarak belirlenebilir (Langley,1991). Uydulara olan mesafeyi elde etmek için, her GPS uydusu sürekli olarak iki taşıyıcı, iki kod ve bir navigasyon mesajından oluşan bir mikrodalga radyo sinyali iletir. Bir GPS alıcısı açıldığında, GPS sinyalini alıcı anteninden alacaktır. Alıcı GPS sinyalini aldığı anda, yerleşik yazılımını kullanarak onu işleyecektir. Sinyal işlemenin kısmi sonucu, dijital kodlar (sahte sıralar olarak bilinir) aracılığıyla GPS uydularına olan mesafelerden ve navigasyon mesajı yoluyla uydu koordinatlarından oluşur. Teorik olarak, aynı anda izlenen üç uyduya sadece üç mesafe gereklidir. Bu durumda alıcı, üç kürenin kesişme noktasına yerleştirilecektir; her biri bir alıcı-uydu mesafesi yarıçapına sahiptir ve bu belirli uydu üzerinde merkezlenmiştir (Şekil 2.3). Bununla birlikte, pratik açıdan, alıcının saat sapmasını hesaba katmak için dördüncü bir uyduya ihtiyaç vardır (Kaplan, 1990).

3. ELEKTRONİK KARIŞTIRICILAR

Günümüzde sinyal bozucular mağazalardan ve çevrimiçi sitelerden kolayca satın alınmaktadır. ABD ve Avustralya gibi birçok ülkede sinyal bozucuların yasaklanmasının nedeni budur. Bu bakış açısına dayanarak, sinyal bozucu sinyallerin sinyal özelliklerini incelemek ve etkilerini azaltmak için birkaç çalışma yapılmıştır (Mitch 2011, Bauernfeind, 2011). Şu anda kullanılan tekniklerden bazıları Blind Source Separation (BSS) (Liao 2011), Multiple Parallel Constant Modulation Array (MPCMA) (Zhao 2008), Adaptive Temporal Filters (ATF) (Capozza 1999), Code/Carrier Tracking Loops (CCTL) (Luo, 2011).

3.1. Radyo Karıştırıcılarına Giriş

Radyo bozucu, belirli bir arenada yetkili kablosuz iletişimi kasıtlı olarak engelleyen, sıkışan veya bunlara müdahale eden etkili bir cihazdır. Bazı durumlarda sinyal bozucular, sinyal-gürültü oranını düşürerek devam eden iletişimi bozan radyo sinyallerinin iletimi ile çalışır. Kavram sonunda kablosuz ağlarda bilgi akışını kesintiye uğratmak için kullanılabilir. Bazı ülkelerde yabancı radyo istasyonlarının ve ulusun sınır bölgelerindeki gözetleme erişim noktalarının anavatanına ulaşmasını engellemek için kullanılan yaygın bir sansür şeklidir. Sıkışma genellikle, cihazın arızalanması veya diğer kazara meydana gelen durumlar nedeniyle meydana gelebilecek (normalde yanlış olan) girişimden ayırt edilir. Radar bozucu, iki tür radar karıştırma olarak sınıflandırılabilir: Mekanik Karıştırma (MK) ve Elektronik Karıştırıcı (EK) (Chouhan 2017). Mekanik sıkışma, yanlış bir hedef oluşturmak için radar enerjisini radara geri yansıtan veya yeniden yansıtan elektronik cihazlardan kaynaklanır. Elektronik karıştırma, sinyal bozucuların bir düşmanın radarına müdahale eden sinyaller yaydığı ve alıcıyı iletişimi engelleyen yüksek yoğunluklu enerji sinyalleri ile bloke eden bir elektronik savaş biçimidir. İkinci tip karıştırıcılar, çalışmalarımızda kullanılanlardır.

3.2. Elektronik Karıştırıcı Türleri

Birkaç tür EK vardır. GPS Karıştırıcılarında kullanılan aynı sınıflandırma, EK'da da kullanılır. Bazıları sinyali bozarken bazıları sinyali değiştirir. Bunlardan en önemlileri; Spot Sıkışması, Sweep Sıkışması, Barrage Sıkışması, Base Sıkışması, Pulse Jamming, Cover Sıkışması Jamming, ve Digital Radio Frequency Memory (DRFM) veya Repeater Sıkışması. Barrage Jamming ve Base Jamming büyük benzerlikler içerdiğinden, sadece Barrage Sıkışması dikkate alınır. Aynı şey Pulse Sıkışması ve Cover Pulse Sıkışması için de geçerli olduğundan, yalnızca Pulse Sıkışması analiz edilir. Tekrarlayıcı Karıştırma, GPS alıcılarını yanıltmak için kullanılabilir, bu nedenle çalışmamızda analiz edilmemiştir.

3.2.1. Pulse sıkışması

Pulse Sıkışması için matematiksel model (3.1) ile tanımlanmıştır. Sinyalin frekansı L1 (1575: 42 MHz) tarafından kullanılanla eşleşecek ve Darbe Tekrarlama Frekansı (DTF) 10 kHz olacaktır. Sinyalin görev döngüsü 50% ve 80% olacaktır. DTF seçimi, modem radarın [15] PRF'si ile eşleşecek şekilde yapılmıştır.

$$y(t) = \begin{cases} A, & \text{if } \frac{-nT}{2} \leq t \leq \frac{nT}{2} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.1)$$

Burada n 1'den küçüktür ve görev döngüsüne göre değişir, bizim durumumuzda 50%. T, DTF'nin tersi olan dalga'nın periyodudur.

3.2.2. Spot sıkışması

Bu sinyal, tüm gücünü bir sinyal frekansına odaklar ve tek bir frekansa sahip (L1 frekansı ile aynı) sürekli bir sinyalden oluşur. Matematiksel modeli sadece bir sabittir ve SK oranı, sinyalin genliğinin değeriyle tanımlanır (Richards, 2010).

$$y(t) = (2A) \cos(2\pi ft) \quad (3.2)$$

burada A istenen SK oranıyla değişir.

3.2.3. Barrage sıkışması

Bu sinyal, farklı bir frekans aralığında çalışır. Avantajı, aynı anda birden fazla frekansı karıştırabilmesidir, ancak diğer yandan, gücünün birkaç frekansa dağıtılması, karıştırma etkisinde bir kayıp anlamına gelir. Çalışmamızda, 0.1 MHz GPS sinyal bant genişliğinin tamamında birden fazla frekansı sıkıştırabiliriz, yani GPS taşıyıcı frekansı civarında 10% frekans anlamına gelir (Purwar, 2016).

$$\begin{aligned} y(t) = & (2A) \cos(2\pi(f_1)t) \\ & + (2A) \cos(2\pi(f_2)t) \\ & + (2A) \cos(2\pi(f_3)t) \end{aligned} \quad (3.3)$$

nerede f_1 ; f_2 ; f_3 , GPS alıcı frekansı da dahil olmak üzere sıkışacak frekanslardır ve A, istenen SK oranına göre değiştirilir.

3.2.4. Sweep sıkışması

Bu tür bir karıştırıcı, Barrage Sıkışması ve Pulse Sıkışması'ne benzer. Barrage Sıkışması ile benzerliği, aynı anda birden fazla frekansı bozabileceği gerçeğine dayanır. Pulse Sıkışması yöntemlerine benzerlik, farklı zaman sıkışma yuvaları nedeniyle görev döngüleri ile Pulse Sıkışması gibi davranması gerçeğidir. L1 taşıyıcısının kendi frekansı olduğundan ve tarama sıkışma birkaç frekans üzerinde çalıştığından, iki senaryo analiz edilecektir. Biri iki frekansı ve diğeri dört frekansı sıkıştırdığı yerde.

$$f(t) = f_0 + kT, \quad k = \frac{f_1 - f_0}{T} \quad (3.4)$$

burada k cıvıltı oranını, f_1 başlangıç frekansını, f_0 son frekansı ve T süpürme tarama periyodunu temsil eder. Sırasıyla f_0 'dan f_1 'e sweep için gereken tarama süresi (Choi,2016).

4. GPS SİNYALİ YAPISI

Yazılım tanımlı tek frekanslı bir GPS alıcısı tasarlamak için, GPS uydularından iletilen ve GPS alıcı anteni tarafından alınan sinyal ve verilerin özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Bu bölümde, GPS sinyal üretim şemasına genel bir bakış ve çeşitli sinyal ve verilerin en önemli özellikleri sunulmaktadır.

4.1. GPS Sinyali

GPS sinyalleri, Ultra Yüksek Frekans (UYF) bandında iki radyo frekansı üzerinden iletilir. UYF bandı, 500 MHz'den 3 GHz'e kadar olan frekans bandını kapsar. Bu frekanslar L1 ve L2 olarak adlandırılır ve ortak bir frekanstan türetilir, $f_0 = 10.23\text{MHz}$:

$$f_{L1} = 154 \cdot f_0 = 1575.42 \text{ MHz} \quad (4.1)$$

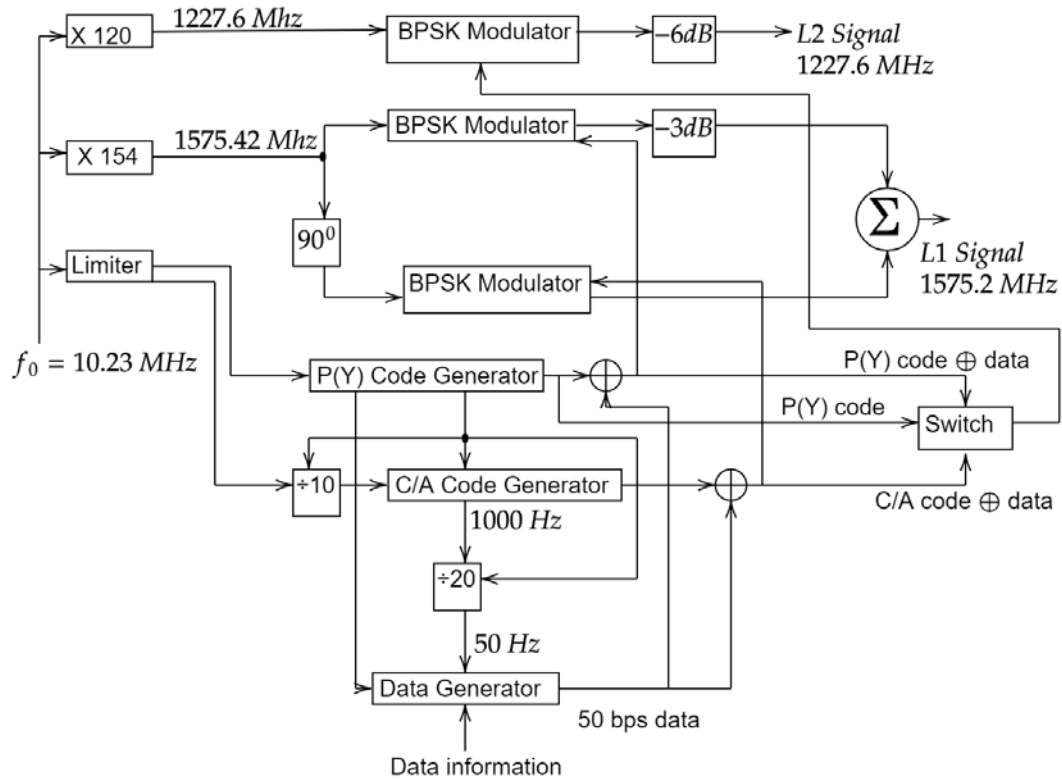
$$f_{L2} = 120 \cdot f_0 = 1227.60 \text{ MHz} \quad (4.2)$$

Sinyaller aşağıdaki üç bölümden oluşur (Borre):

- Taşıyıcı: f_{L1} veya f_{L2} frekanslı taşıyıcı dalga
- Navigasyon verileri: Navigasyon verileri, uydu yörüngeleri ile ilgili bilgileri içerir. Bu bilgiler GPS Kontrol Segmentindeki yer istasyonlarından tüm uydulara yüklenir. Navigasyon verilerinin bit hızı 50 bps'dir.
- Yayılma sırası: Her uydunun iki benzersiz yayılma dizisi veya kodu vardır. Coarse Acquisition (C/A-kodu), diğeri ise şifrelenmiş Precision (P-kodu). C/A kodu, 1023 yongadan oluşan bir dizidir. (Bir çip, bir bite karşılık gelir). Kod, her ms'de tekrarlanarak 1.023 MHz'lik bir yongalama hızı verir. P-kodu, 10.23 MHz yongalama hızına sahip daha uzun bir koddur. Cumartesi/Pazar gece yarısı olan GPS haftasının başlangıcından başlayarak her hafta kendini tekrar eder. C/A kodu yalnızca L1 taşıyıcısında modüle edilirken, P-kodu hem L1 hem de L2 taşıyıcısına modüle edilir.

4.2. GPS Sinyal Şeması

Aşağıda, sinyal üretiminin ayrıntılı bir açıklaması verilmektedir. Şekil 4.1, sinyal üretimini açıklayan bir blok diyagramdır (Kaplan ve Hegarty,2006).



Şekil 4-1: Uydularda GPS sinyallerinin oluşturulması.

Blok diyagram soldan sağa okunmalıdır. En solda, ana saat sinyali kalan bloklara verilir. Saat sinyalinin frekansı 10.23MHz'dir. Gerçekte, tam frekans 10.22999999543 MHz'dir ve göreliliklere göre ayarlamak için Dünya'daki kullanıcıdan görülen 10.23 MHz'lik bir frekans verir. 154 ve 120 ile çarpıldığında, sırasıyla L1 ve L2 taşıyıcı sinyallerini üretir. Sol alt köşede, saat sinyalini P ve C/A kod oluşturuculara sağlamadan önce stabilize etmek için bir sınırlayıcı kullanılır. En altta, veri oluşturucu navigasyon verilerini oluşturur. Kod üreteçleri ve veri oluşturucu, P-kod üretici tarafından sağlanan X1 sinyali aracılığıyla senkronize edilir. Kod oluşturulduktan sonra kodlar, modulo-2 toplayıcıları aracılığıyla navigasyon verileri ile birleştirilir. Özel OR işlemi, 0'lar

ve 1'ler ile temsil edilen ikili dizilerde kullanılır ve özellikleri Tablo 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4-1: a) Özel OR işleminin çıktısı

Input	Input	Output
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

b) Sıradan çarpmanın çıktısı

Input	Input	Output
-1	-1	1
-1	1	-1
1	-1	-1
1	1	1

İkili diziler kutupsal sıfıra dönüşsüz gösterimle, yani 1'ler ve -1'ler ile temsil edilmişse, bunun yerine sıradan çarpma kullanılabilir. Sıfıra dönmeyen iki ikili dizi ile çarpmanın karşılık gelen özellikleri Tablo 4.2'de gösterilmektedir.

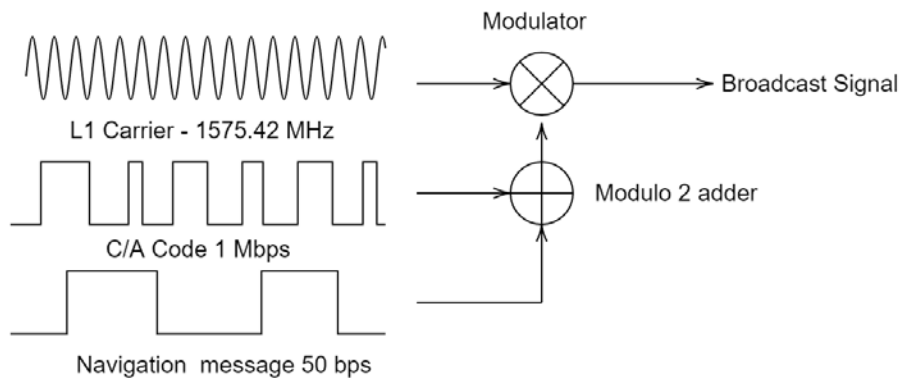
C/A kodu $\oplus$ verileri ve P-kodu $\oplus$ veri sinyalleri, L1 frekansı için iki modülatöre sağlanır. Burada sinyaller, İFKA yöntemi kullanılarak taşıyıcı sinyale modüle edilir. İki kod faz içi modüle edildiğinden ve L1'de birbiriyle kareleme olduğundan, iki kod arasında 900 faz kayması vardır. P-kısmı 3 dB zayıflatıldıktan sonra, bu iki L1 sinyali, elde edilen L1 sinyalini oluşturmak için eklenir. Sözde Standart Konumlandırma Hizmeti (SKH), yalnızca C/A kod sinyallerine dayanır. K uydusundan iletilen sinyal şu şekilde tanımlanabilir:

$$\begin{aligned}
 s^k(t) = & \sqrt{2P_c} \left(C^k(t) \oplus D^k(t) \right) \cos(2\pi f_{L1}t) \\
 & + \sqrt{2P_{PL1} (P^k(t) \oplus D^k(t) \sin 2\pi f_{L1}t} \\
 & + \sqrt{2P_{PL2} (P^k(t) \oplus D^k(t) \sin 2\pi f_{L2}t}
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

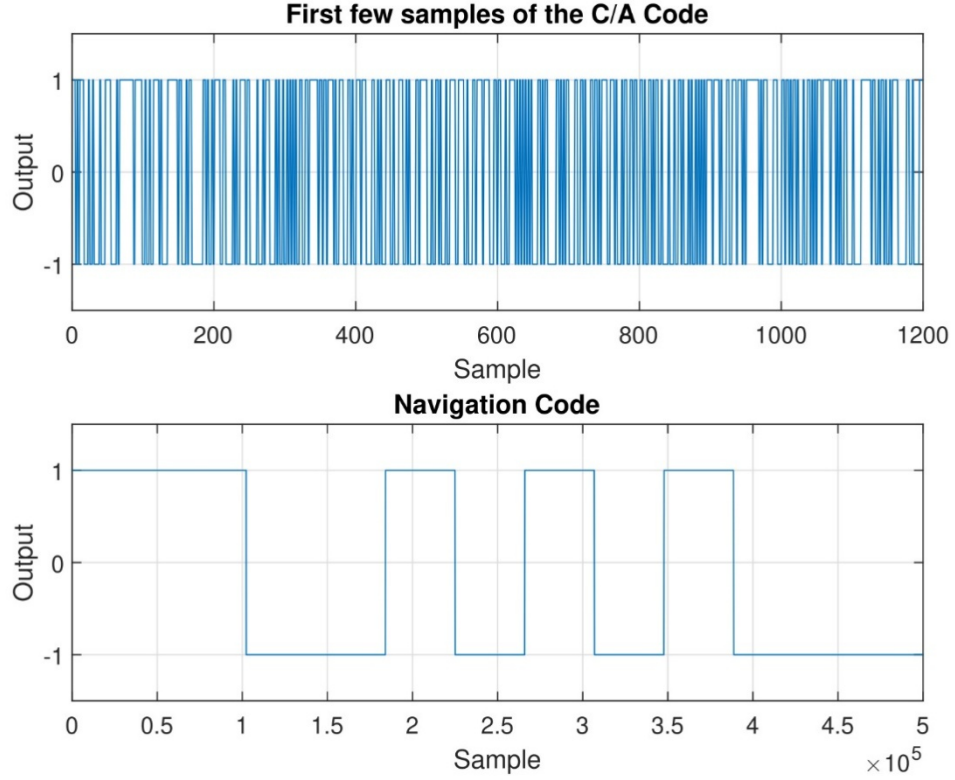
nerede P_c ; P_{PL1} ; ve P_{PL2} , C/A veya P-kodlu sinyallerin güçleridir. C^k , k uydusuna atanan C/A kod dizisidir. P^k , k uydusuna atanan P kodu dizisidir. D^k , seyrüsefer veri dizisidir ve f_{L1} ve f_{L2} , sırasıyla L1 ve L2'nin taşıyıcı frekanslarıdır. nerede P_c ; P_{PL1} ; ve P_{PL2} , C/A veya P kodlu sinyallerin güçleridir. C_k , k uydusuna atanan C/A kod dizisidir. P_k , k uydusuna atanan P kodu dizisidir. D_k , seyrüsefer veri dizisidir ve f_{L1} ve f_{L2} ,

sırasıyla L1 ve L2'nin taşıyıcı frekanslarıdır. Şekil 4.2, L1 frekansındaki sinyali oluşturan üç parçayı göstermektedir. C/A kodu her msn'de kendini tekrar eder ve bir navigasyon biti 20 ms sürer. Bu nedenle, her gezinme biti, sinyal 20 tam C/A kodu içerir.

Özetle: GPS için kod uzunluğu 1023 çip, 1.023MHz yongalama hızı (1 ms dönem süresi), 50 Hz veri hızı (veri biti başına 20 kod dönemi), 2 MHz bant genişliği içindeki sinyal gücünün - 90%'ıdır.



Şekil 4-2: L1 sinyal bileşenleri



Şekil 4-3: a) C/A kod örnekleri b) Navigasyon kodu örneği

4.3. Sistem Modeli

C/A ve Navigasyon verilerini aldıktan sonra, sistem modelimiz karmaşıklık adına daha basitleştirilecektir. Tüm veriler MATLAB aracılığıyla oluşturulup işleneceğinden ve odak noktamız alıcı tarafında olduğundan, iletilen GPS sinyalinin modeli aşağıdaki gibi olacaktır (Chien, 2014):

$$s(t) = \sqrt{2P_s} D(t) C(t) \cos(2\pi f_{L1} t + \theta) \quad (4.4)$$

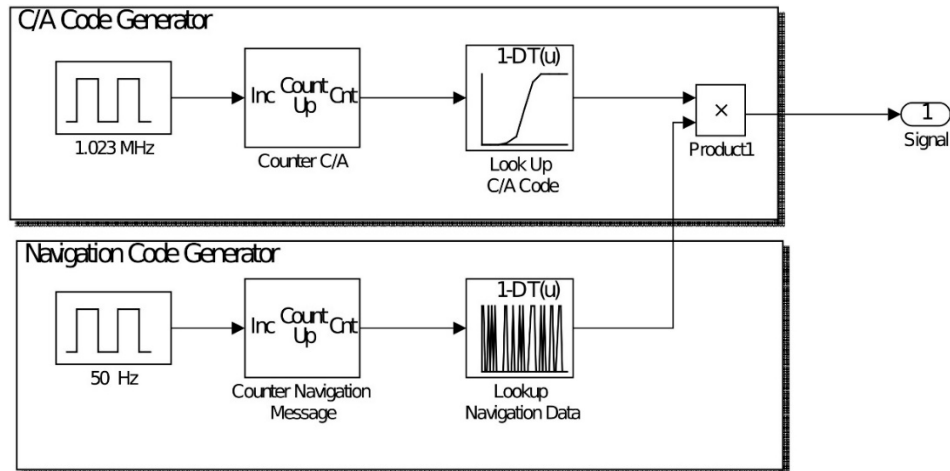
burada P_s ; $C(t)$; $D(t)$; ; f_{L1} , sırasıyla sinyal gücünü, C/A kodunu, navigasyon verilerini, faz gecikmesini ve L1 bandının frekansını belirtir. C/A kodu için çip oranı, önceki bölümde belirtildiği gibi $R_c = 1575: 42\text{MHz}$ 'dir. Sıkıştırma modelleri Bölüm 3.2'de açıklanmıştır. Alıcı ucunda sinyal şu şekildedir:

$$\tilde{r}(t) = h x s'(t) + w(t) + j(t) \quad (4.5)$$

h , bizim durumumuzda bir Flat Fading Kanalı olan kanal katsayısıdır, $s(t) = \sqrt{2P_s}D(t - \tau)C(t - \tau) \cos(2\pi f' t + \theta)$; $f' = f_d + f_{IF}$; f_d ve θ , sırasıyla Doppler frekansı ve faz kaymasıdır. f_{IF} , 4.092MHz olan ara frekanstır; L , uydunun iletim kanalı tarafından getirilen gecikmedir. Son olarak, $w(t)$, iki taraflı güç spektral yoğunluğu $N_0 = 2$ olan sıfır Ortalamalı Toplamsal Beyaz Gauss Gürültüsü (OTBGG) ve $j(t)$, sıkışma sinyalinin türüdür. Analiz edilen, alınan sinyalin tamamını oluşturan tüm bileşenleri içeren $\tilde{r}(t)$ 'dir; GPS sinyali, gürültü ve sinyal bozucu.

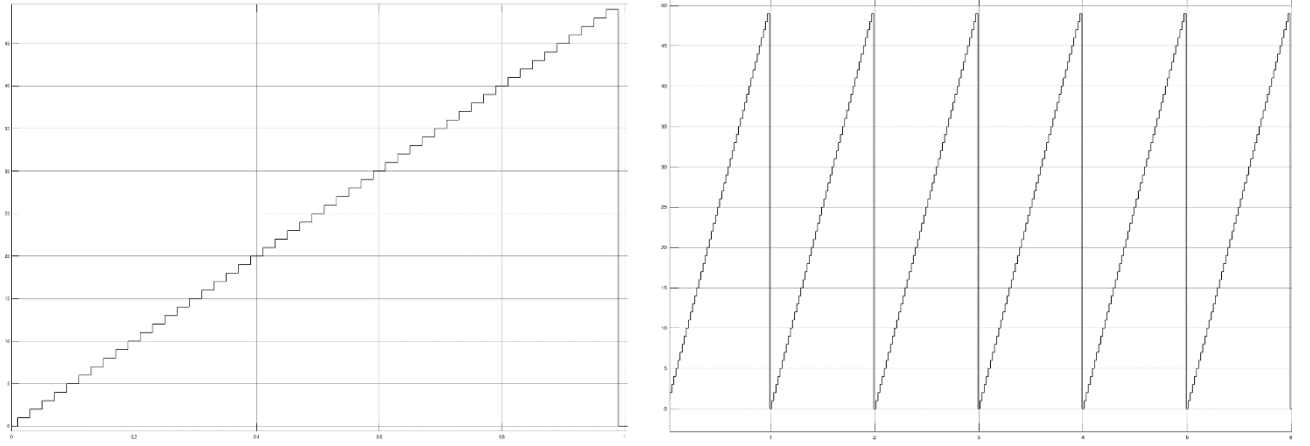
4.4. Simulink

GPS Sinyali, Şekil 4.4'te gösterildiği gibi Simulink grafik programlama ortamında simüle edilir.

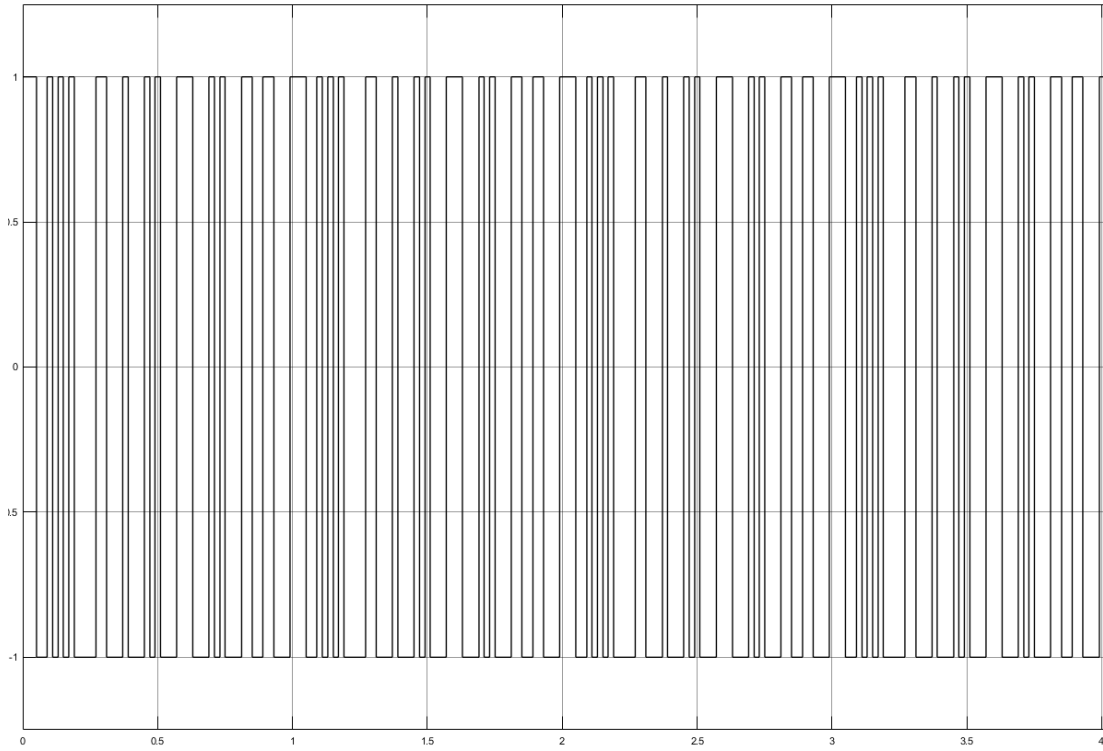


Şekil 4-4: Simulink'te GPS sinyal üretici.

Üst kısım, C/A değişen kodu üretir. Alt bölüm, 50Hz frekansta ve 1500 bit uzunluğunda Navigasyon Verilerinin oluşturulmasından sorumludur. Arama bileşeni, kullanılacak uyduya bağlı olarak Pseudo-Random Noise (PRN) kodunun üretilmesinden ve ayrıca C/A aralık kodundan 1023 yonganın hangi kısmının kullanılacağına karar vermekten sorumludur. Daha sonra Navigasyon verileri C/A koduyla birleştirilir ve her ikisi de bir taşıyıcı üzerinde modüle edilir. İFKA, GPS sinyalinin modülasyonunu yapmak için kullanılır. Taşıyıcı frekansı 1575.42MHz'dir. Hesaplama sınırlaması nedeniyle, GPS sinyalinin yalnızca 1 saniyesi işlenir ve Navigasyon kodunun yalnızca ilk biti dikkate alınır.



Şekil 4-5: C/A kod sayacı çıkışı. (a) Kodun tüm dizinlerinde tam bir döngü.
(b) Sayaç çıktısının ilk örnekleri.



Şekil 4-6: C/A kodunun ilk örnekleri.

5. ELEKTRONİK KARIŞTIRICILARIN ETKİSİ

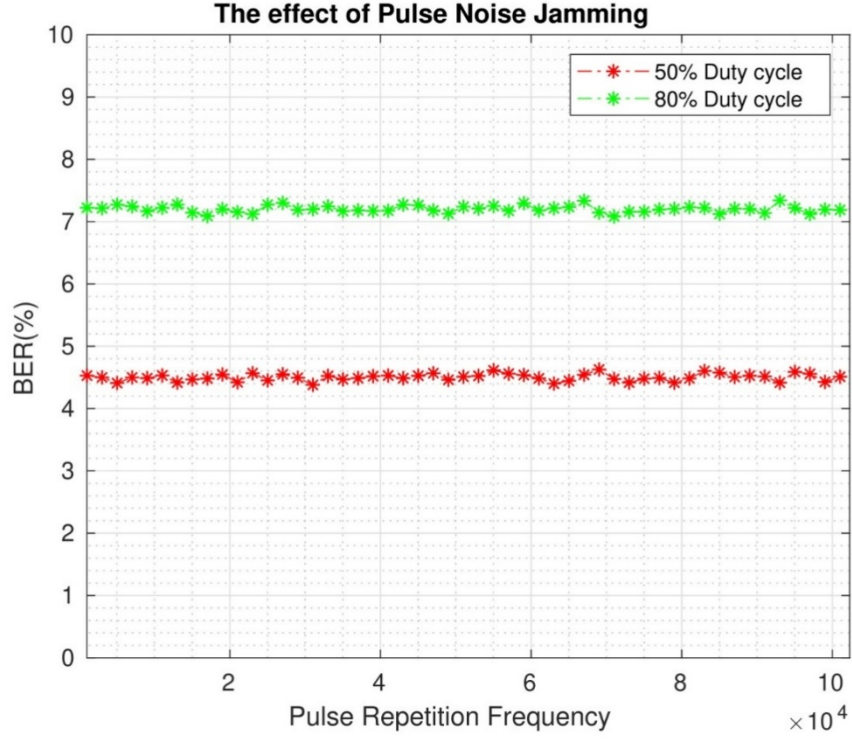
Çalışmanın ilk kısmı, GPS Sinyali Simülasyonu ve BHO gözlemlenerek sıkışma nedeniyle GPS Sinyali doğruluğundaki kayıpların değerlendirilmesine odaklanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan GPS Sinyali ve Sıkışma sinyalleri MATLAB üzerinde üretilir ve ardından elde edilen sinyalin farklı SK oranları için BHO'ı gözlemlenir.

$$BHO = \frac{N_{error}}{N_{bites}} \quad (5.1)$$

5.1. Sıkışma Sonuçları

5.1.1. Pulse sıkışması sonuçları

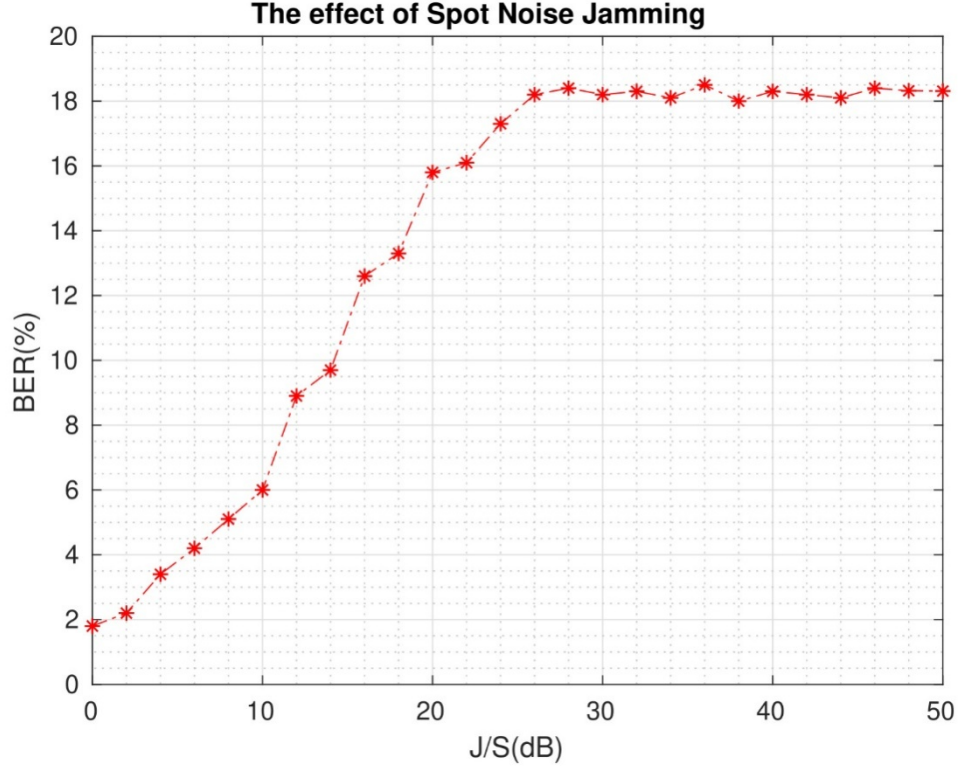
Pulse Sıkışması ile ilgili simülasyon sonuçları 1.023 kHz'den 102.3 kHz'e kadar değişen bir frekansta yapılmıştır. Bu aralıkların seçilmesinin nedeni, C/A aralık kodu için kullanılan 1023 yongadır. Görüldüğü gibi DTF 'ye hangi değeri atadığımız önemli değil çünkü IHO yüzdesi her frekans için hemen hemen aynı. IHO'in değerini etkileyen faktör, Şekil 5.1'de görülebileceği gibi Görev Döngüsüdür. Ne kadar yüksekse, sıkışma o kadar verimli olur.



Şekil 5-1: Pulse sıkışmasının GPS sinyali üzerindeki etkisi.

5.1.2. Spot sıkışması sonuçları

SK oranı değerleri 0 ila 50 dB arasında değişir. Başlangıçta 2 dB'den 27 dB'ye kadar bir artış fark edilir. Daha sonra doyurur. Şekil 5.2'den görülebileceği gibi, SK'nin artışı IHO'de bir artışa neden olur. Ancak bu, belirli bir dB'ye kadar mümkündür. Daha sonra IHO, 50 dB'nin yaklaşık yarısını doyurur.



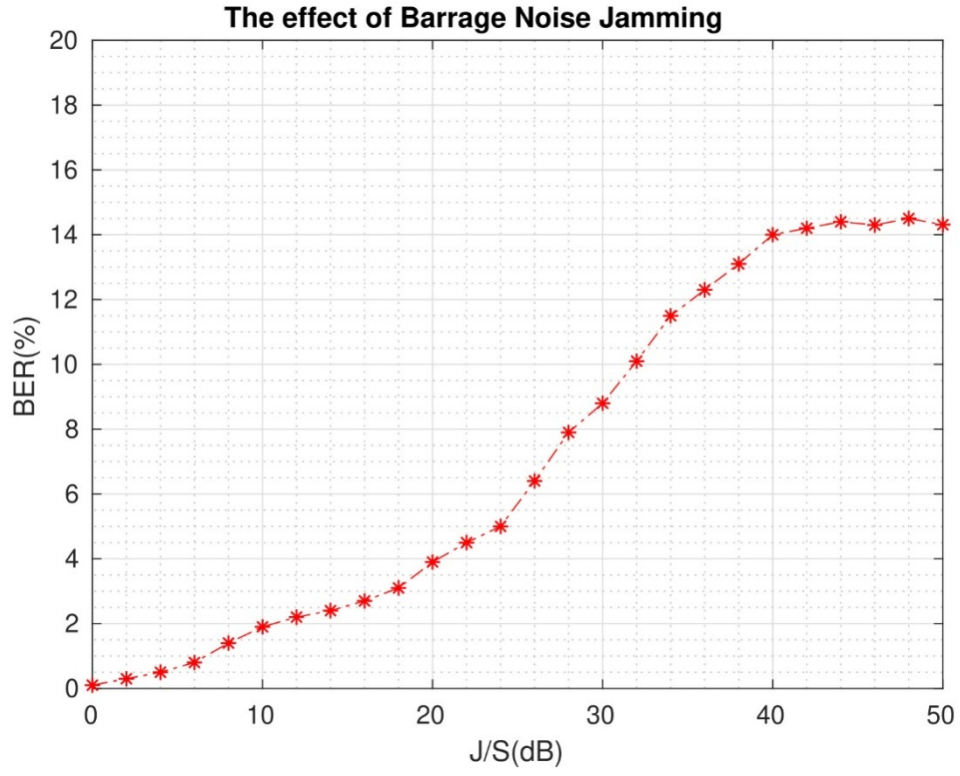
Şekil 5-2: Spot sıkışmasının GPS sinyali üzerindeki etkisi

5.1.3. Barrage sıkışması sonuçları

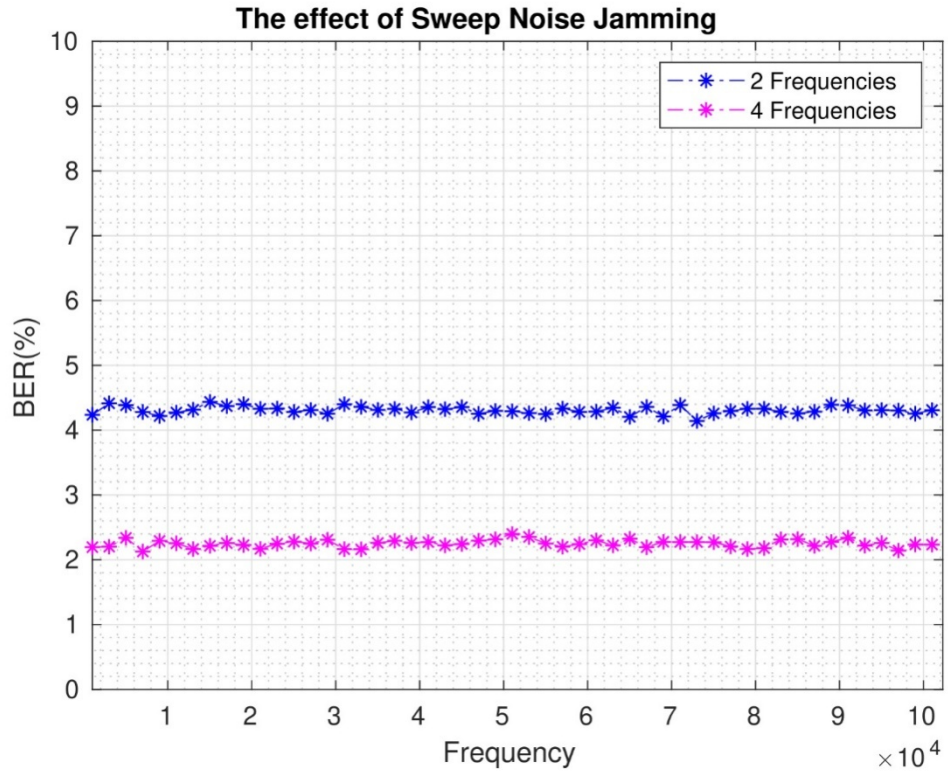
Şekil 5.3'den görülebileceği gibi IHO, 14% değerine ulaşana kadar sürekli artmaktadır. Daha sonra tekrar doygunluk gözlenir.

5.1.4. Sweep sıkışması sonuçları

Sweep Sıkışması simüle edilirken, iki senaryo dikkate alınmıştır. Biri 2 frekans kullanıyor, diğeri 4. Sıkışmayı uyguladığımız frekans, Şekil 5.4'ten görülebileceği gibi, IHO oranını etkilemiyor. Sadece frekans sayısında bir artış veya azalma yapıldığında, IHO oranında bir fark gözlemliyoruz.



Şekil 5-3: Barrage sıkışmasının GPS sinyali üzerindeki etkisi



Şekil 5-4: Sweep sıkışmasının GPS sinyali üzerindeki etkisi

5.2. Karşılaştırmalı Analiz

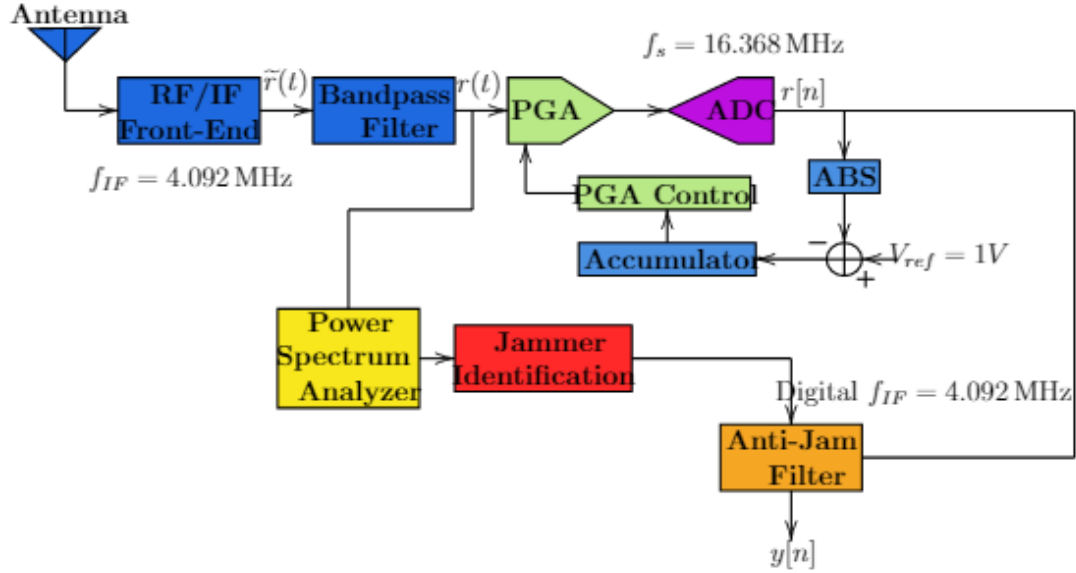
Tablo 5.1'de gösterilen sonuçlara göre, karıştırıcıların etkinliklerine göre sıralaması şu şekildedir: Spot Sıkışması (18%), Barrage Sıkışması (14%), Pulse Sıkışması (4-8%) ve son olarak Sweep Sıkışması (maksimum 8%). Spot Sıkışması, sıkışma sinyalinin gücünün tek bir frekansta optimum şekilde kullanılması nedeniyle en yüksek sıkışma etkisine sahiptir.

Çizelge 5-1: IHO'da sıkışma türlerinin karşılaştırılması.

Jamming Tipleri	IHO (%)
Pulse Sıkışması	4% - 8%
Spot Sıkışması	18%
Barrage Sıkışması	14%
Sweep Sıkışması	2% - 4%

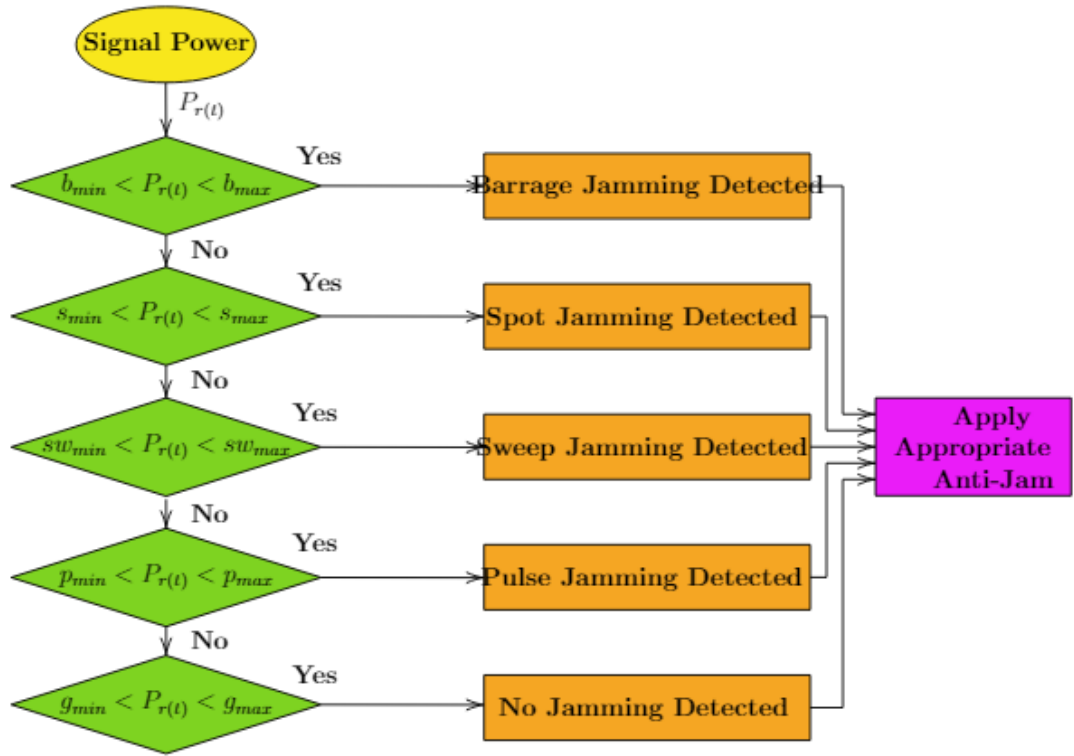
6. EK TESPİTİ VE TANIMLANMASI

İkinci aşamanın odak noktası, Şekil 6.1'de gösterilen akış şemasında gösterilen kırmızı kutudadır.



Şekil 6-1: Önerilen yöntem

Şekil 6.2'de bir genişlemesi gösterilmektedir. Sinyali aldıktan ve bir bant geçiren filtre uyguladıktan sonra, alınan sinyalin sinyal gücü bir Güç Spektrum Analizörü (GSA) aracılığıyla hesaplanır. Ardından sinyal gücünün hangi kategoriye düştüğünü tespit etmek için bir kontrol yapılır. Alınan sinyalin, g_{min} ve g_{max} 'ın minimum ve maksimum değerler olduğu normal sinyal güç aralığı $(g_{min}(t) < P_r(t) < g_{max})$ arasında olması durumunda, bu, GPS sinyalinin sinyal bozucu etkisi altında olmadığı anlamına gelir. $P_r(t)$ alınan sinyalin gücüdür. Bu kategoriye girmiyorsa diğer aralıklar kontrol edilir. b_{min} ve b_{max} , Barrage Sıkışması için aralık değerleridir, s_{min} ve s_{max} , Spot Sıkışması için, sw_{min} ve sw_{max} , Sweep Sıkışması içindir ve son olarak p_{min} ve p_{max} , Pulse Sıkışması içindir. Bu aralık değerlerini bulmak, işimizin odaklandığı yerdir. Bu aralıkları belirleyerek, sıkışma türünün türünü kolayca sınıflandırabilir ve ardından uygun Sıkışma Önleme tekniğini uygulayabiliriz.



Şekil 6-2: Önerilen yöntem

6.1. Sıkışma Aralıkları

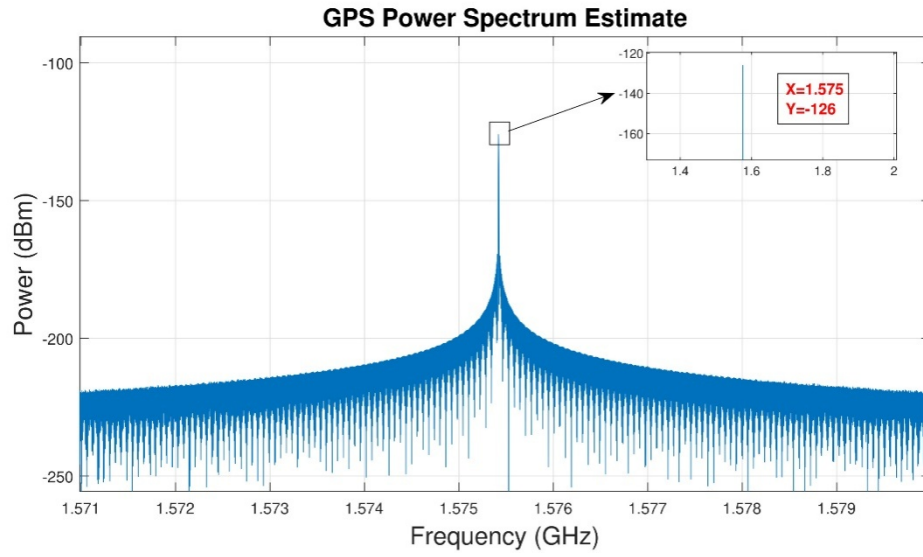
6.1.1. GPS sinyali

Yayınlanan GPS sinyali, -125 dBm ile -130 dBm aralığında bir güce sahiptir. Modern tipte sinyal bozucular aynı zamanda Dolandırıcılık için de kullanılır, yani boş ışınlama ile ilgili parazit önleme tekniklerinden kaçınmak için parazit sinyalinin gücünü uyarlama yeteneğine sahiptirler. Bu nedenle simülasyonlarımızda, sinyal bozucu sinyalin gücü GPS sinyalinin gerçek gücüne yakın olacak şekilde seçilmiştir. Şekil 6.3'te, alınan GPS sinyalinin kendisine herhangi bir sıkışma uygulanmamış Güç Spektrumu gösterilmektedir.

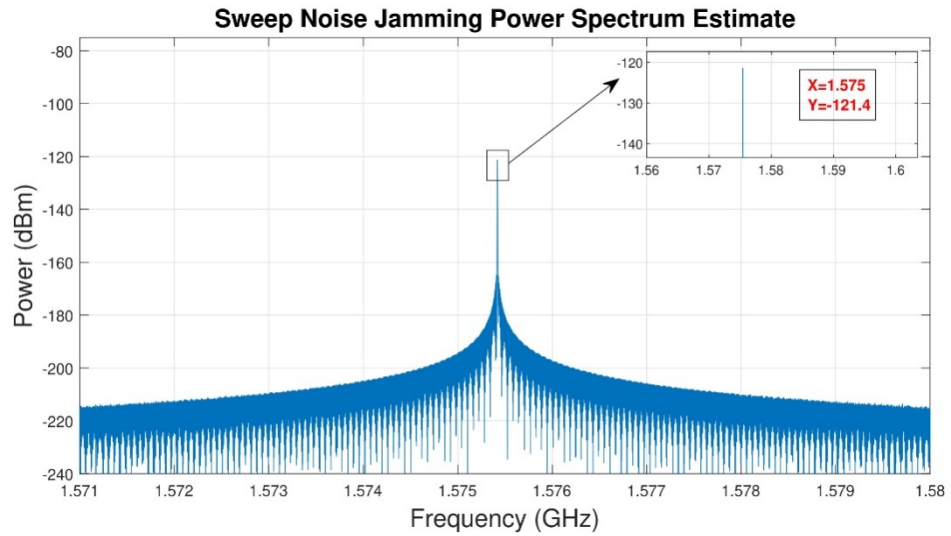
6.1.2. Sweep sıkışması

Sweep Sıkışması için tahmini güç aralığı, değişmesine neden olabilecek bazı faktörlere bağlıdır. Sweep Sıkışması, aynı güce sahip ancak farklı zaman aralıklarında birkaç frekansı karıştırır. Sıkışan frekansların sayısına bağlı olarak

algılama aralığı değişebilir. Senaryomuzda 4 frekansı aynı anda karıştırıyoruz. Şekil 6.4'te Sweep Sıkışması sıkışma değerlerinin -125 dBm ile -120 dBm arasında değiştiği görülmektedir. Bu güç aralığı, GPS sinyalinin gücünün -125 dBm ve -130 dBm olarak tahsis edilebildiği aralığa çok yakındır. GPS alıcısı tarafından alınan sinyalin anlamlı veri içermemesi durumunda, bu, GPS alıcımıza Sweep Sıkışması'nın uygulandığı anlamına gelir, bu nedenle sinyali bir Sweep Sıkışması sinyali tarafından sıkışmış olarak sınıflandırır.



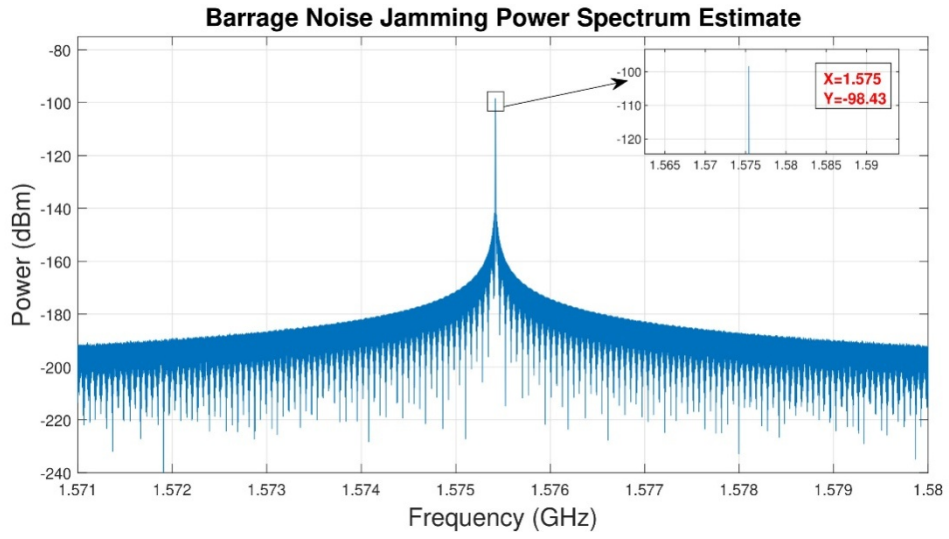
Şekil 6-3: GPS sinyali güç spektrumu tahmini.



Şekil 6-4: Sweep sıkışması noise jamming güç spektrumu tahmini.

6.1.3. Barrage sıkışması

Sweep Sıkışması ile aynı şekilde, Barrage Sıkışması için tahmini güç aralığı, değişmesine neden olabilecek bazı faktörlere bağlıdır. Barrage Sıkışması'nın aynı anda sıkıştığı frekans sayısına bağlı olarak, sinyalin gücü azalabilir veya artabilir. Senaryomuzda 3 farklı frekansı sıkıştırdık. Daha sonra Şekil 6.5'te görülebileceği gibi, Barrage Sıkışması değer aralığı -100 dBm ile -95 dBm arasındadır.



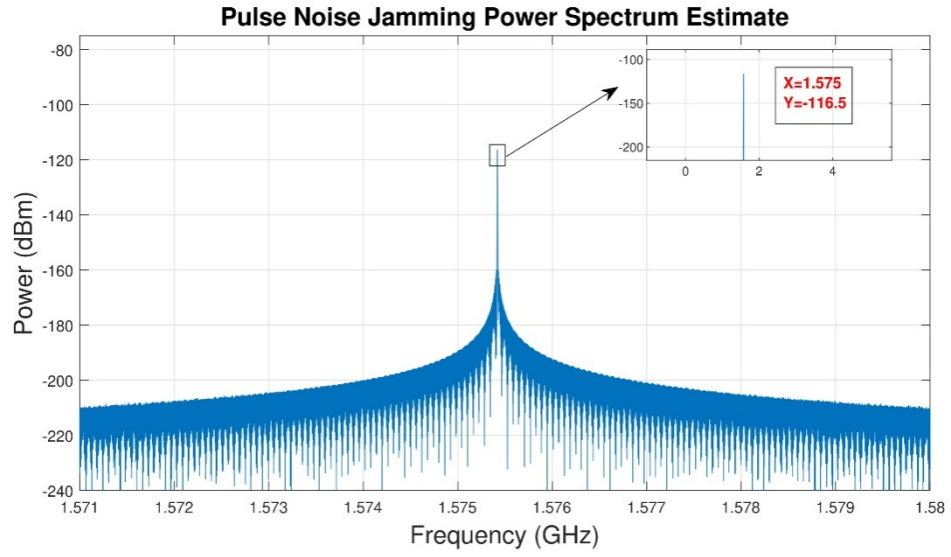
Şekil 6-5: Barrage sıkışması güç spektrumu tahmini.

6.1.4. Pulse sıkışması

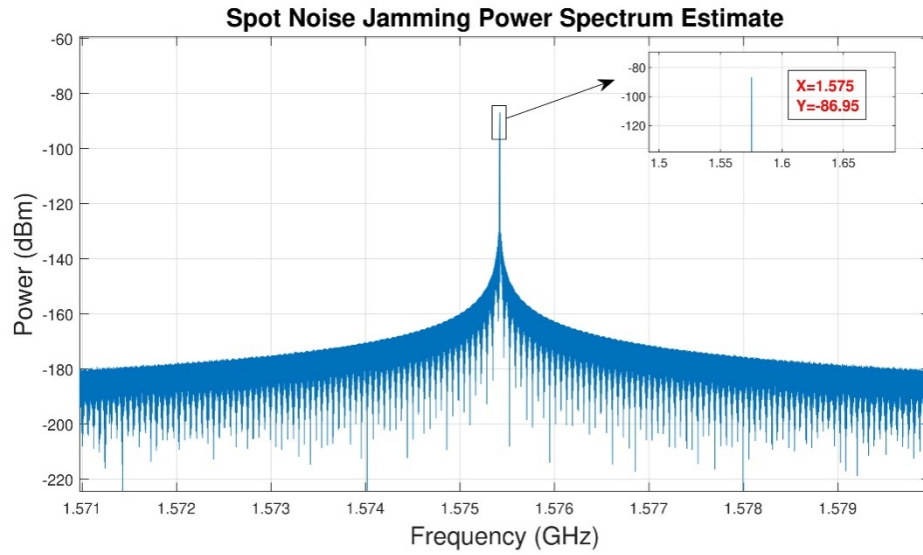
Pulse Sıkışması sinyali türümüzün özelliklerinden Bölüm 5.1.1'de bahsedilmiştir. Simülasyonlarımızın sonuçları Şekil 6.6'da gösterilmektedir. Pulse Sıkışması aralığı -120 dBm ile -115 dBm arasındadır.

6.1.5. Spot sıkışması

Önceki çalışmamızda gösterdiğimiz gibi, Spot Sıkışması en yüksek IHO'a sahipti, dolayısıyla Jammer'in gücü de diğer EK tipine kıyasla en yüksek seviyede idi. Şekil 6.7'de Spot Sıkışması ile sıkıştıktan sonra alınan sinyalin gücü görülebilir. Bu tür karıştırıcı için aralık -87 dBm ile -82 dBm arasındadır.



Şekil 6-6: Pulse sıkışması güç spektrumu tahmini.



Şekil 6-7: Spot sıkışması güç spektrumu tahmini.

6.2. Karşılaştırmalı Analiz

Simülasyon Sonuçlarına göre, bazı EK türleri için Güç Aralığını etkileyen birkaç faktör olduğu gözlemlenmiştir; aynı anda sıkışan frekansların sayısı ve görev döngüsü. Bununla birlikte, GPS sinyaline hangi tip karıştırma sinyalinin saldırdığını tespit etmek için kullanılabilen tüm sıkışma türleri için bazı güç aralıkları tahmin edilmektedir. Spot Sıkışması, diğer karıştırıcılarla karşılaştırıldığında en yüksek sinyal gücüne sahipti, ardından Barrage Sıkışması,

Pulse Noise Sıkışması ve Sweep Sıkışması izledi. Nihai sonuçlar Tablo 6.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 6-1: Sıkışma sinyalleri için güç aralıkları

Sıkışması Tipi	Güç İntervalı
Pulse Sıkışması	– 120 dBm ve – 115 dBm
Spot Sıkışması	– 87 dBm ve – 82 dBm
Barrage Sıkışması	– 100 dBm ve – 95 dBm
Sweep Sıkışması	– 125 dBm ve – 120 dBm

7. ANTİ-KARIŞTIRMA

7.1. Genel Bakış

Askeri ve ticari iletişim sistemleri tasarımcıları, hem kasıtsız hem de kasıtlı müdahalelere karşı koymak için yıllar boyunca çok sayıda parazit önleme tekniği geliştirdiler. Bu teknikler parazit giderme ve azaltma için etkili hale geldikçe, sinyal bozucuların kendileri daha akıllı ve daha karmaşık hale geldi ve mücadele etmesi zor sinyaller üretiyor. GPS sinyalleri Doğrudan Sıralı (DS) yayılmış spektrum sinyalleridir ve bu nedenle kasıtlı veya kasıtsız karıştırıcılara karşı belirli bir derece koruma sağlar. Orijinal uydu sinyali, alınan sinyalin yayılmasının ardından taşıyıcı frekansı etrafında dar bir bant genişliğinde yoğunlaşırken, parazit sinyalinin uydu bilgisini kodlayan sözde rastgele kodla korelasyonunun olmaması, parazitleme sinyalinin yayılmasına neden olur. GPS sinyali izleme, yalnızca SK oranı yayma kodunun işleme kazancının altındaysa kararlı olabilir, çünkü yayılan sıkışma sinyalinin bir kısmı hala uydu sinyali ile izleme döngüsü için frekans bandı içinde kalır. Bu nedenle, sinyal bozucu gücü GPS sinyalinden çok daha yüksek olduğunda, yayılma kazancı yararlı verileri güvenilir bir şekilde çözmek için yetersiz olabilir (Laster, 1997). Bu nedenle, alıcı uçta GPS sinyal doğruluğunu korumak için sağlam parazit önleme teknikleri acil bir gerekliliktir. Doğrudan Sıralı Yayılı Spektrum (DSYS) iletişimlerinde girişim bastırma için önerilen birkaç yöntem vardır (Wang ve Milstein, 1996). Ancak bu yöntemlerin hiçbiri GPS sinyallerini bozulmadan korumayı garanti etmez.

7.2. Literatür İncelemesi

Sıkışmanın GPS sinyalleri üzerindeki etkilerine karşı koymanın birkaç yolu vardır. Bu tekniklerden bazıları Anlık Frekans (AF) tahminine, sabit olmayan girişim eksizyonlarına (Fathallah), Akıllı Antenlere , Filtreleme Tekniklerine (Dijital Eksizyon Geçici Filtresi (DEGF)) dayanmaktadır. GPS Sıkışma önleme teknikleri genel olarak aşağıdaki kategorilere ayrılır:

- Zaman alanı filtreleme (Ketchum,1982)
- Frekans alanı filtreleme (Badke,2002)
- Uzamsal filtreleme (Fante R,2000)
- Zaman frekansı filtreleme (Amin)

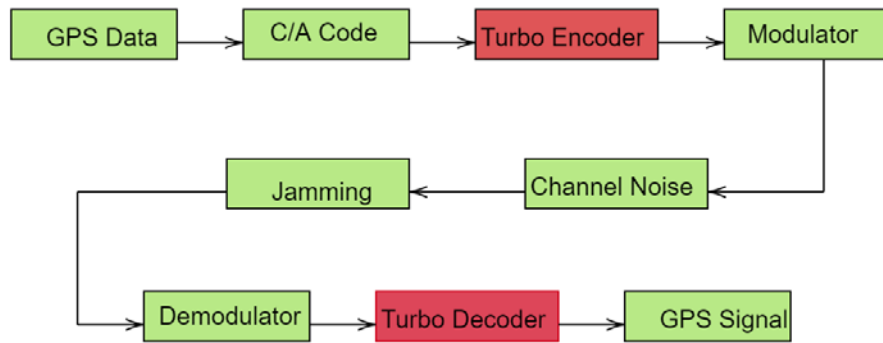
İlk iki tür filtreleme gelenekseldir. Üçüncü tip, bir anten elemanları dizisi olan uyarlanabilir bir sıfırlama anteni kullanır. Uyarlanabilir sıfırlama antenine sahip farklı Varış Yönlerinden (VY) gelen sinyaller için farklı yükseltme oranlarına sahip uzamsal filtreler, istenen GPS sinyalini vurgulayabilir ve karıştırma sinyallerinin ve uydu sinyallerinin farklı VY'ya sahip olduğunu varsayarak karıştırma sinyallerini reddedebilir (Fante ,2000).

Bu teknik, hem dar bantlı hem de geniş bantlı karıştırma sinyalleri için etkilidir. Ancak, uyarlanabilir anten, sinyallerin çok yollu yayılımı ve boyutu ve güç tüketimi ile ilişkili kısıtlamalar nedeniyle tek başına sıkışmaya karşı koyamaz (Myrick,2001). Dördüncü tip (zaman-frekans filtresi), GPS sinyalinin ve karıştırma sinyallerinin farklı zaman-frekans imzalarına sahip olduğu varsayımına dayanır. Zamanla değişen çentik filtresi (Iltis,1990) veya alt uzay projeksiyonu (Kim,2002), alınan sinyalden sıkışma sinyalinin anlık frekansları tahmin ediliyorsa, sıkışmaya karşı koymak için kullanılabilir. Ancak zaman-frekans filtresi, sinyallerin sıkıştığı frekansları bloke eder ve böylece bu frekanslardaki uydu sinyalinin gücünü alınan sinyalin toplam gücünden çıkarır. Sinyal spektrumunun önemli bir bant genişliği sinyalleri karıştırarak işgal edilirse, filtrelenmiş GPS sinyali önemli distorsiyona sahip olacaktır. Dolayısıyla, bu yöntem dar bantlı sıkışmaya karşı koymak için daha etkilidir (Sandberg,1995). Geleneksel kod izleme döngüsü bir Gecikme Kilidi Döngüsü (DKD) kullanır, ancak sıkışmaya ve çok yola karşı çok az korumaya sahiptir. DKD'nin sağlamlığı, DKD'de jammer sinyali ve çoklu yol için modeller (örneğin, Autoregressive (AR) modeli) dahil edilerek artırılabilir. Elde edilen DLL, uyarlanabilir algoritmalar kullanarak kod gecikmesini tahmin edebilir, örneğin Kalman filtreleri ve / veya partikül filtreleri (Kim,2002). Açıkça, farklı zamanlarda araştırmacılar tarafından anti-parazit için farklı teknikler önerilmiştir, ancak hiçbir teknik GPS sinyalinde parazitlenmeye ve ardından

bozulmaya karşı tam korumayı garanti edemez. GPS sinyali yalnızca sinyal karışması nedeniyle bozulmaz, aynı zamanda iletim sırasında atmosferden kaynaklanan parazitlere de maruz kalır. Bu nedenle, alınan GPS sinyalinin düzeltilmesi, GPS tabanlı sistemlerin doğruluğunu sürdürmek için en uygun yöntemlerden biridir.

7.3. Önerilen Çözüm

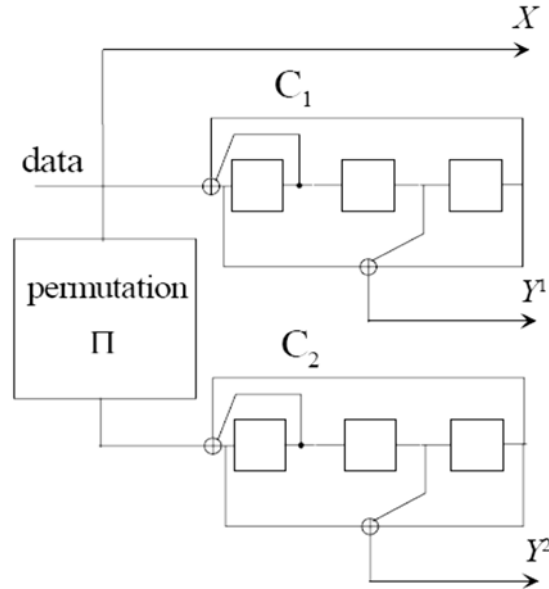
İHKK, hataları tespit edip düzelterek GPS sinyalini düzeltebilme özelliğine sahiptir. Blok kodları ve evrişim kodları gibi geleneksel İHO kodu Shannon Limitine ulaşamadı, ancak 1993'te geliştirilen Turbo kodları Shannon sınırının 0.7 dB'sine ulaşabilir (Berrou,1993). Turbo kodları ilk olarak pratik olarak uygulanabilir yüksek performanslı kodlardır, bu nedenle çalışmamızda karşı karıştırma için Turbo Kodlama seçilmiştir. Olası metodolojinin blok diyagramı Şekil 7.1'de gösterilmektedir. Uydu bilgilerini taşıyan orijinal GPS verileri kodlanır ve alınan GPS sinyalinde hem gürültü hem de parazit bulunur. Vericideki Turbo kodlayıcı sinyali kodlar ve ardından sinyal modüle edilerek gürültülü bir kanal üzerinden geçirilir. Alıcı, bozulmuş GPS sinyalini demodüle eder ve ardından Turbo Dekoder, GPS sinyalini almak için demodüle edilmiş sinyalin kodunu çözer.



Şekil 7-1: Turbo kodlamayı kullanarak önerilen karışma önleme şeması.

7.4. Turbo Kodların Prensipleri

Klasik Turbo Kodu Şekil 1'de gösterilmiştir ve bir permütasyon (serpiştirici) Π ile ayrılmış iki ikili Özyinelemeli Sistematik Evrişimli (ÖSE) kodunun C^1 ve C^2 'nin paralel olarak birleştirilmesinden oluşur. Seri birleştirme de mümkündür. ÖSE kodları, Turbo Kodların önemli bir bileşenidir. Doğrusal Geri Besleme Kaydırma Kayıtlarına (GBKK) dayanırlar ve sözde rasgele karıştırıcılar olarak işlev görürler. ÖSE kodları, klasik yinelemeli olmayan sistemik olmayan evrişimli kodlara kıyasla çeşitli avantajlar sunar. İlk önce benziyorlar rastgele kodlar ve Shannon'ın öncü çalışmasından tesadüfi benzeri kodların kapasiteye yaklaşmanın anahtarı olduğu bilinmektedir. Ayrıca düşük sinyal/gürültü oranlarında klasik evrişimli kodlardan daha iyi performans gösterirler. Son olarak, ÖSE kodları, sonlu ağırlık bilgi dizilerinin yalnızca küçük bir kısmının kodlayıcının çıkışında sonlu ağırlıklı ("düşük artıklık") kodlanmış diziler vermesi gibi ilginç bir özelliğe sahiptir. Bu belirli dizilere literatürde Sıfıra Dönüş (SD) dizileri adı verilir ve Turbo Kodun asimptotik performansında temel bir rol oynar.



Şekil 7-2: Klasik Turbo Kodu.

Dikkate alınması gereken çok sayıda durum nedeniyle, genel Turbo Kodun optimum kod çözme işlemi pratikte mümkün değildir. Bunun yerine, alıcı

tarafında yönetilebilir karmaşıklığa ve optimum performansa yakın performansa sahip akıllı bir böl ve yönet stratejisi uygulanır. Turbo kod çözme, iki Yumuşak Giriş Yumuşak Çıkış (YGYÇ) kod çözücüsü arasında olasılıklı mesaj alışverişine dayanır. Genellikle olasılık bilgileri, Log Olabilirlik Oranı (LOO) biçiminde ifade edilir. $\Pr\{d = 1\}$ ile ifade edilerek, kod çözme işleminin belirli bir aşamasında, bir ikili verinin d mantıksal değeri "1" olması olasılığını belirtirken, LOO $L(d)$ d yaklaşık olarak verilir:

$$L(d) = \ln \left(\frac{\Pr\{d = 1\}}{1 - \Pr\{d = 1\}} \right) \quad (7.1)$$

$L(d)$ 'nin işareti d hakkında zor karar verirken $|L(d)|$ büyüklüğü bu kararın güvenilirliğini ölçer. Bir YGYÇ kod çözücünün rolü, iletilen bitler hakkında girdi LOO tahminlerinin alınmasından ve dikkate alınan bileşen kodunun yerel fazlalığını kullanarak bu tahminleri iyileştirmeye çalışmaktan oluşur. YGYÇ kod çözücüsü tarafından sağlanan çıktı LOO şu şekilde yazılabilir:

$$L_{output}(d) = L_{input}(d) + z(d) \quad (7.2)$$

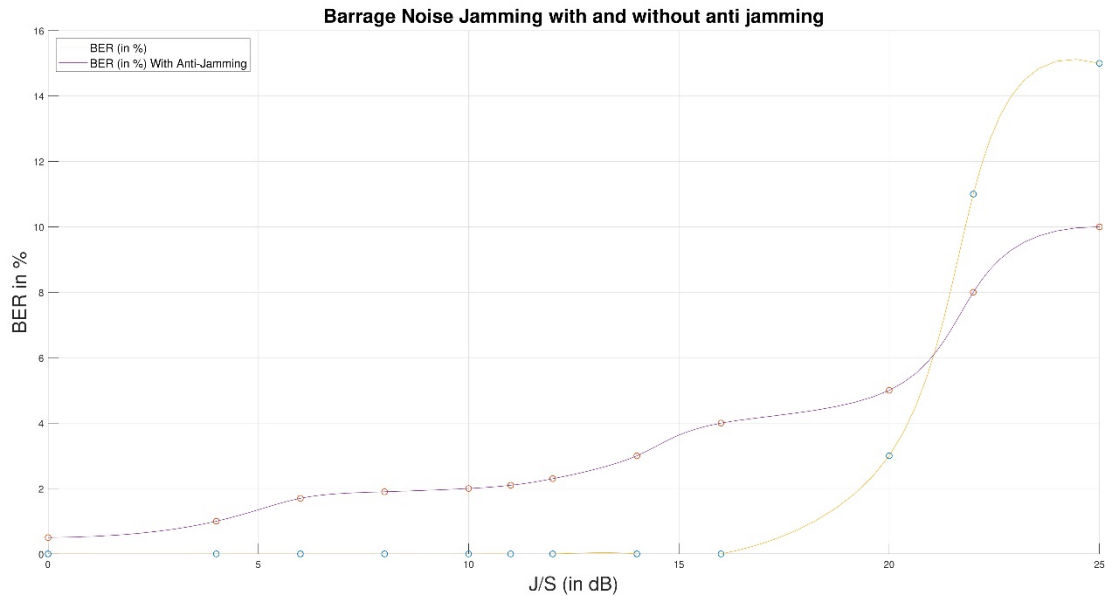
Olasılıklı büyüklük $z(d)$, d biti hakkında dış bilgi olarak adlandırılır. Bu, kod çözücünün d tahmininin sonucudur, ancak kendi girdisini hesaba katmaz. Kod çözme işlemi sırasında iki YGYÇ kod çözücüsü arasında yinelemeli olarak değiş tokuş edilen tam da bu dış bilgidir. Kod çözücünün girişinin çıkışından çıkarılması, kod çözücünün pozitif bir geri besleme amplifikatörü olarak hareket etmesini engeller ve geri besleme sürecinde kararlılık sağlar. Genellikle, belirli sayıda yinelemeden sonra, iki kod çözücünün d için kararlı bir nihai karara doğru birleştiği gözlemlenir. Uygulamada ve YGYÇ kod çözücünün doğasına bağlı olarak, az sayıda yineleme içinde yakınsamayı sağlamak için dış bilgilere ince ayar işlemleri (ölçekleme, kırpma) uygulanabilir.

7.5. Turbo Kodlamanın Uygulanması

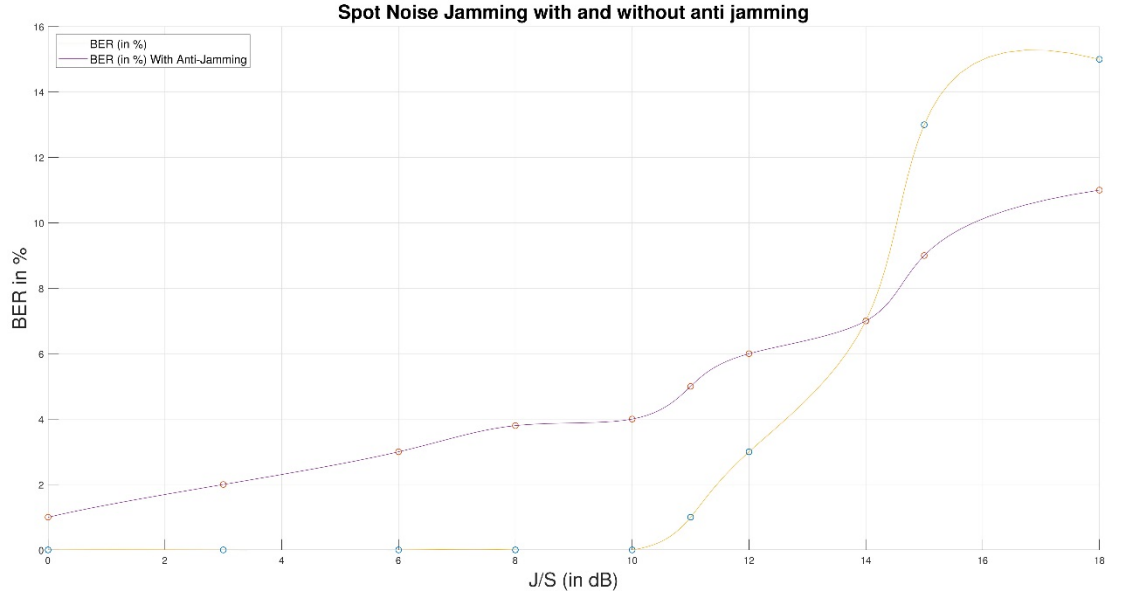
MATLAB'da ikinci kodlayıcı uygulanmadan önce bir blok serpiştiriciye sahip iki yarı oranlı özyinelemeli sistematik evrişimli kodlayıcıdan oluşan bir turbo kodlayıcı. Kod çözme için, blok serpiştiricili ve iki serpiştiricili Posterior Olasılık (PO) kod çözücü kullanılmıştır.

- Barrage Sıkışması: Bu durumda, turbo kodlama ve kod çözme, Şekil 7.2'de gösterildiği gibi, SK için İHO'ya etkili bir şekilde 21 dB'ye kadar düşürür, bunun ötesinde etkili değildir.
- Spot Sıkışması: Bu durumda, turbo kodlama ve kod çözme, Şekil 7.3'te gösterildiği gibi, SK için İHO'ya etkili bir şekilde 15 dB'ye kadar düşürür, bunun ötesinde etkili değildir.

Turbo kodlamanın, sırasıyla 18 dB ve 10 dB SK'ye kadar hem baraj gürültüsü bozucu hem de nokta gürültü bozucu için İHO'ya ortadan kaldırmaya yardımcı olması, GPS sinyali anti-parazitlemeye uygunluğunu kanıtlaması dikkate değerdir.



Şekil 7-3: Barrage sıkışması önleme ile ve olmadan sıkışma.



Şekil 7-4: Spot sıkışması önleme ile ve olmadan sıkışma.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçek zamanlı laboratuvar deneyleri için GPS sinyal simülasyonu, yoğun kaynak gerektirir. Bu çalışma sayesinde, GPS sinyalinin simülasyonu için basit ama etkili bir yöntem başarıyla tasarlandı. GPS Sinyalinin düşük gücü, onu sıkışmaya duyarlı hale getirir ve ardından gelen bozulma, GPS tabanlı sistemlerin doğruluğunu engelleyebilir. Farklı sıkışma senaryolarının teorik analizi, demodüle edilmiş GPS sinyalinde 10%'dan fazla İHO bulunduğunu göstermektedir. Farklı sıkışma senaryolarının nicel bir karşılaştırması, Spot Sıkışması GPS sinyalinin en şiddetli sıkışmasına neden olduğunu ve ardından Barrage Sıkışması geldiğini göstermektedir. Bu perspektifte, GPS sinyal sıkışmasını azaltmak için farklı teknikler karşılaştırılmış ve İHO'ye belirli bir SK oranına kadar etkili bir şekilde düşürdüğü ve böylece etkinliğini sağladığı bulunan Turbo kodlama uygulanmıştır. Yakın gelecekte, Turbo kodlarının VHDL uygulaması ve ardından donanım uygulaması, gelecekteki çalışma olarak bir GPS sinyali parazit önleme sistemi gerçekleştirmek için gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Amin, M.G., 1999. Interference Mitigation in Spread-Spectrum Communication Sys- Tems Using Time-Frequency Distributions.
- Amin, M.G., Ramineni, R.S., Lindsey, A.R., 1999. Suppression of FM Interferences in DSSS Communications Using Projection Techniques.
- Badke, B., Spanias., A., 2002. Partial Band Interference Excisions for GPS Using Frequency-Domain Exponents, Proc. of IEEE Conf Acoustics, Speech, and Signal Processing.
- Bauernfeind, R., 201.. Car jammers. Interference Analysis. GPS World.
- Bonebrake, C., O'Neil, L.R., 2014. Attacks on GPS Time Reliability, Pacific Northwest National Laboratory.
- Borre, K., 2010. A Software-Defined GPS and Galileo Receiver. A Single Frequency Approach, Birkhauser.
- Capozza, P. T., 1999. Measured Effects of a Narrowband Interference Suppressor on GPS Receivers ION 55th Annual Meeting, Cambridge MA.
- Capozza, P.T., Holland, B.J., Hopkinson, T.M., Landrau, R.L., 2000. A Single-Chip Narrow-Band Frequency-Domain Excisor for A GPS Receiver.
- Chien, Y.R., 2014. Impact of Jamming Excisor on the Tracking loops for GPS Receivers, SICE Annual Conference, Japan.
- Chouhan, S., 2017. Jammers: A Case Study, International Journal of Engineering Science and Computing.
- Dong-Yeol Ch., Won-Kyung K., Jae-Hyun K., Huirae Ch., 2016. Performance of Analog and Digital Modulation Schemes Under Sweep Jamming, Republic of Korea.
- Fante R, Vaccaro, J.J, 2000. Wideband Cancellation of Interference in a GPS Receiver Array.
- Fathallah, H., Rusch, L. A., 2010. A Subspace Approach to Adaptive Narrow-Band Inter-Ference Suppression in DSSS, IEEE.
- FRP, 1999. U.S. Federal Radionavigation Plan.
- GPS Jammers Band. Erişim Tarihi: 03.03.2020:
<https://www.findlaw.com.au/news/4602/gpsjammers-banned.aspx>
- Hoffmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger, J. Collins., 1994. Global Positioning System: Theory and Practice.

- IEEE Trans. Comm., 1990. 38, 1677-1685.
- Iltis, R.A., 2010. Joint Estimation of PN Code Delay and multipath Using The Extended Kalman Filters.
- Kaplan, Hegarty., 2006., Understanding GPS Principles and Applications.
- Kaplan, E., 1990. Understanding GPS: Principles and Applications, Norwood, MA: Artech House.
- Ketchum, J.W., Proakis, J.G., 1982. Adaptive Algorithms for Estimating and Suppressing Narrow-Band Interference in PN Spread-Spectrum Systems.
- Kim, S.J., Iltis, R.A., 2002. Performance Comparison of Particle and Extended Kalman fi Algorithms for GPS C/A Code Tracking and Interference Rejection.
- Langley, R. B., 1990. Why is the GPS Signal so Complex?
- Langley, R. B., 1991. The Orbits of GPS Satellites, GPS World.
- Langley, R. B., 1991. The Mathematics of GPS, GPS World.
- Lashley, M. 2009. Performance Analysis of Vector Tracking Algorithms for Weak GPS Signals in High Dynamics, IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing.
- Laster, J. D., Reed, J. H., 1996. Interference Rejection in Digital Wireless Communications, IEEE Signal Processing.
- Liao, X., 2011. A Novel Method for GPS Anti-jamming Based on Blind Source Separation. 7th International Symposium on Computational Intelligence and Design, 208-2011.
- Luo, P., 2011. Collaborative Tracking of Weak GPS Signals Using an Open- Loop Structure, Proceedings of the 2011 International Technical Meeting of The Institute of Navigation, San Diego, CA.
- Meng Zh., Ling W., Shaobo X., 2011. GPS Signal Anti-jamming Based on Dual-polarized Antenna Array Wang School of Electronics and In- formation Northwestern Polytechnical University Xi'an, China.
- Milstein, L.B., 1988. Interference Rejection Techniques in Spread Spectrum Communications.
- Mitch, R. H., 2011. Signal Characteristics of civil GPS jammers, in Proc. of the 24th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS), Portland, OR.

- Myrick, W.L., Goldstein, J.S., Zoltowski, M.D., 2001. Low Complexity Anti-Jam Space- Time Processing for GPS.
- NovAtel White Paper, 2012. Mitigating the Threat of GPS Jamming, Erişim Tarihi: 03.06.2020: www.intel.com/multiple-antenna-technology
- Purwar, A., Joshi, D., Chaubey, V. K., 2016. GPS signal jamming and anti-jamming strategy — A theoretical analysis., IEEE Annual India Conference (INDI-CON).
- Richards, M. A., Scheer, J. A., Holm, W. A., 2010. Principles of Modern Radar. Basic Principles, SciTech.
- Rusch, L. A. Poor, H., 1995. Multiuser Detection Techniques for Narrow-Band in- Terference Suppression in Spread Spectrum Communications.
- Sandberg, S., 1995. Adapted Demodulation for Spread-Spectrum Receivers which Em-Ploy Transform-Domain Interference Excision, 2502-2510.
- Spectrum Jamming. Erişim Tarihi: 06.05.2020: <https://www.gps.gov/spectrum/jamming/>
- Wang, J., Milstein, L. B., 1996. Adaptive LMS Nitters for Cellular CDMA Overlay, IEEE J. Select. Areas Communications.
- Warner, J. S., 2003. A Simple Demonstration that the Global Positioning System (GPS) is Vulnerable to Spoofing, The Journal of Security Administration.
- Wells, D. E., 1987. Guide to GPS Positioning, Fredericton, New Brunswick: Canadian GPS Associates.
- Yuteng, X., Jihang, Y., Honggang, Q., Hongsheng, Y., Gang, H., 2017. MVDR Algorithm Based on Estimated Diagonal Loading for Beamforming, Mathematical Problems in Engineering.
- Zhao, X., 2008. Blind GPS Anti-jamming Based on the Multiple Parallel CM Array. International Workshop on Education Technology and Training & International Workshop on Geoscience and Remote Sensing, 228-231.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Esat ELEZİ
Doğum Yeri ve Yılı : İşkodra, Arnavutluk, 1995
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : esat.elezi@istanbulticaret.edu.tr



Eğitim Durumu

Lise : Haxhi Sheh Shamia, 2014
Lisans : İstanbul Şehir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 2018
Yüksek Lisans : İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, 2020

Yayınları

Elezi, E., Cankaya, G., Boyacı, A., Yarkan, S., 2019. The Effect of Electronic Jammers on GPS Signals. 16th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD), Istanbul
Elezi, E., Cankaya, G., Boyacı, A., Yarkan, S., 2019., A Detection and Identification Method Based on Signal Power for Different Types of Electronic Jamming Attacks on GPS Signals., 30th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Istanbul