SDR TABANLI GPS DESTEKLİ FREKANS ATLAMALI İLETİŞİM SİSTEMİ TASARIMI

Gökhan KAYA [1]

[1] *Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Ankara, Türkiye.*

[1] *ORCID ID: https://orcid.org/0009-0006-2269-2652*

Özgür ERTUĞ [2]

[2] *Prof.Dr, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Ankara, Türkiye.*

[2] *ORCID ID: https://orcid.org/ 0000-0003-4455-1771*

ÖZET

İletişim ve teknolojinin ilerlemesi, kablosuz iletişim sistemlerinde veri güvenliğinin ve kesintisiz iletişimin sağlanmasını gereğinden fazla önemli hale getirmiştir. Bu çalışmada, GPS destekli bir frekans atlamalı ve konum bazlı başlangıç frekansı belirleyen iletişim sistemi geliştirilmiştir. Yazılım tanımlı radyo (SDR) teknolojisi kullanılarak geliştirilen bu sistem, Türkiye'nin farklı bölgelere ayrılarak birbirlerini etkilemeyecek şekilde frekans atlayan ve bu sayede parazitlerden olabildiğince en az etkilenmesine olanak tanımaktadır. Türkiye haritasını 4, 8 veya 16 gibi eşit parçalara bölerek her bir bölgeye başlangıç frekansı atanmıştır bu sistem sayesinde hav aracı geçiş yaptığı bölgenin başlangıç frekansına göre frekans atlamaya devam etmektedir. Bu sistem sayesinde belirli bir frekans bandını daha verimli ve güvenli bir şekilde kullanılmasına olanak tanınmıştır. Bu çalışmayı oluştururken kablosuz iletişim sisteminde büyük bir rol oynayan SDR ve GPS' lerden yararlanılmıştır. Çalışmada kullanılan HackRF cihazları, GNU Radio ortamı ve GPS' ler yardımıyla iki adet platform, geçiş yapılan bölgeye göre başlangıç frekansını değiştirip birbirleriyle haberleşmede bulunacaklardır. Böyle bir yaklaşım parazitlenmenin en aza indirilmesinden dolayı iletişim kalitesini büyük bir ölçüde arttırır ve aynı frekans bandını Türkiye'nin farklı bölgelerinde daha verimli kullanılmasını sağlar. Ek olarak bu çalışma frekans bandının birçok bölgede parazitlenme minimum olacak şekilde kullanıldığı için spektrum yönetiminde büyük bir ilerleme sağlamaktadır. Bu çalışmadaki sistemin hayatta kalıp özellikle SDR ve GPS kalitesinin arttırılması ile birlikle, iletişim sisteminin neredeyse hiç veya asgari seviyede sekteye uğrayacağı ön görülmektedir. Özellikle askeri iletişimlerde konum ve zaman bağımlı olarak frekans atlayan bir sistem dışarıdan gelecek olan karıştırmalara ve parazitlenmeye karşı daha güvenilir olacaktır. Sivil uygulamalarda ise doğal afet ve sivil havacılıkta önemeli ölçüde katkı sağlayacaktır.bÖzellikle radyo trafiğinin yoğun olduğu alanlarda, frekans parazitinin önlenmesi ve iletişim verimliliğinde bir iyileşme olacaktır.

Anahtar kelimeler: SDR, Frekans atlama, GPS, Konum tabanlı

ABSTRACT

The advancement of communication and technology has made ensuring data security and uninterrupted communication in wireless communication systems more critical than ever. In this study, a GPS-supported frequency-hopping communication system has been developed, which determines the starting frequency based on location. Using Software-Defined Radio (SDR) technology, this system divides Turkey into regions where frequencies hop without interfering with each other, allowing the system to minimize interference. By dividing the map of Turkey into equal parts such as 4, 8, or 16, each region is assigned a starting frequency. As an aircraft moves through these regions, it continues frequency hopping according to the starting frequency of the region it enters. This system enables the efficient and secure use of a specific frequency band. The development of this system has relied on SDR and GPS technologies, which play a crucial role in wireless communication systems. In this study, HackRF devices, along with the GNU Radio environment and GPS modules, are used to allow two platforms to communicate by changing their starting frequencies based on the region they enter. Such an approach

significantly improves communication quality by minimizing interference and ensures more efficient use of the same frequency band in different regions of Turkey. Additionally, this work represents a significant advancement in spectrum management, as the frequency band is used across multiple regions with minimal interference. The system developed in this study is expected to maintain reliable operation, especially with the improvement of SDR and GPS quality, and the communication system is anticipated to experience minimal or no disruptions. In military communications, a frequency-hopping system that depends on location and time will be more secure against external jamming and interference. In civilian applications, this technology will provide significant benefits, particularly in disaster response and civil aviation. In areas with heavy radio traffic, preventing frequency interference and improving communication efficiency will be possible

Keywords:SDR, Frequency Hopping, GPS, Location-based

GİRİŞ

Kablosuz iletişim sistemleri, günümüzde veri aktarımı ve haberleşme açısından kritik bir öneme sahiptir. Hem askeri hem de sivil uygulamalarda, bu sistemler güvenilirlik, esneklik ve güvenlik taleplerini karşılayacak şekilde sürekli olarak evirilmektedir. Özellikle veri güvenliği ve kesintisiz haberleşme ihtiyacı, artan tehditler ve parazitlenmelere karşı korunmak amacıyla daha gelişmiş teknolojilerin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Telekomünikasyon alanında kaydedilen büyük teknolojik ilerlemeler sayesinde, iletişim süreçleri daha hızlı, daha verimli ve güvenilir bir hale gelmiştir. Bu gelişmelerden biri de Yazılım Tanımlı Radyo (SDR) teknolojisinin kullanımıdır[1]. Bu noktada, Yazılım Tanımlı Radyo (SDR) teknolojisi esnekliği ve uyarlanabilir yapısıyla dikkat çekmektedir. Geleneksel radyo donanımlarından farklı olarak, SDR radyo sinyallerini yazılım aracılığıyla işleyerek daha dinamik bir yapı sunar. Bu esneklik, SDR'nin farklı iletişim sistemlerine kolayca entegre edilebilmesini mümkün kılar ve çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılmasına olanak tanır. Başka bir ifadeyle, SDR, sinyalin iletilmesi (modülasyon) veya alınan radyo sinyalinin çözümlenmesi (demodülasyon) gibi işlevlerin, genel amaçlı mikroişlemciler, dijital sinyal işlemciler veya programlanabilir mantık devrelerinde gerçek zamanlı olarak yazılım modülleriyle gerçekleştirildiği bir teknolojiyi ifade eder[2]. SDR, radyo iletişimini esnek bir şekilde yönetmek için donanım yerine işlemlerin çoğunu yazılım aracılığıyla gerçekleştiren bir teknolojidir. Geleneksel radyo sistemlerinde frekanslar ve modülasyon yöntemleri donanımla sabitlenirken, SDR teknolojisi bu işlemleri yazılım üzerinden yönetir. Bu esneklik, radyo frekanslarının hızlı bir şekilde ayarlanmasına ve farklı modülasyon tekniklerinin kullanılmasına olanak tanır. SDR, geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılabilir ve haberleşme sistemlerinde donanım maliyetlerini düşürürken aynı zamanda kullanım esnekliğini artırır. Askeri sistemlerden telsiz haberleşmesine kadar birçok alanda yaygın olarak kullanılan SDR, bu çalışmada da iletişim verimliliğini artırmak amacıyla tercih edilmiştir. SDR tabanlı sistemlerde sıklıkla kullanılan açık kaynaklı yazılım geliştirme platformlarından biri de GNU Radio'dur. GNU Radio, radyo frekansı uygulamaları için güçlü ve esnek bir yazılım geliştirme ortamı sunar. Kullanıcılar, farklı modülasyon tekniklerini, filtreleme yöntemlerini ve sinyal işleme algoritmalarını yazılım tabanlı olarak uygulama imkânına sahiptir. GNU Radio, geniş bir kütüphane sunarak kullanıcıların kendi radyo sinyali işleme bloklarını oluşturmasına olanak tanır ve bu bloklar kullanılarak karmaşık radyo iletişim sistemleri kolayca inşa edilebilir. Bu çalışma kapsamında, FM modülasyonu ve demodülasyonu işlemleri ile birlikte, GPS verilerini kullanarak frekans atlamalı iletişim sistemleri tasarlanmıştır. Sinyal işleme ve telekomünikasyon alanında, frekans modülasyonu, bilgiyi taşıyıcı dalga üzerinde kodlamak amacıyla dalganın anlık frekansını değiştirme yöntemidir. FM radyo yayınında bir ses sinyalini, yani müzik veya konuşmayı iletirken, taşıyıcı frekansın merkez frekansından sapması, modüle eden sinyalin frekansına orantılı olarak gerçekleşir[3].” Ayrıca, FM sinyalleri daha yüksek bant genişliği nedeniyle AM sinyallerine kıyasla parazitlere karşı daha az hassastır. FM alıcısı, modülasyon sinyalini veya radyo dalgalarını ses sinyallerine dönüştüren iletişim sistemlerinden biridir[4].”

Frekans atlama, özellikle parazitlenme ve yetkisiz dinlemelere karşı güvenlik sağlamak amacıyla geliştirilen önemli bir tekniktir. Frekans atlamalı iletişim (Frequency Hopping), sinyalin belirli zaman aralıklarında farklı frekanslar arasında atlamasını sağlayarak izlenmesini ve parazitlenmesini zorlaştırır. Bu sayede sinyalin güvenliği artırılır ve daha temiz bir iletişim hattı elde edilir. Frekans atlama, özellikle

askeri uygulamalarda kritik iletişim hatlarının güvenliğini sağlamak için yaygın olarak tercih edilmektedir. Sinyalin belirlenen bir frekans dizisi üzerinden atlayarak iletilmesi, parazitlenme ve sinyal izleme riskini önemli ölçüde azaltır.

Bu çalışmada, GPS tabanlı bir frekans atlama sistemi geliştirilmiştir. GPS (Global Positioning System) verileri, cihazların coğrafi konumuna göre frekans atlamasını yönlendirmek amacıyla kullanılır. Sistem, farklı coğrafi bölgelerde değişik frekanslar kullanarak, aynı frekans bandının birden fazla bölgede parazitlenme olmadan kullanılmasına imkân tanır. Bu yöntem, geniş coğrafi alanlarda telsiz haberleşme sistemlerinin verimliliğini artırmak ve frekans spektrumunun daha etkin kullanılmasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. GPS verileri ile cihazın bulunduğu bölge belirlenerek, o bölgeye atanmış frekans aralığı üzerinden frekans atlama işlemi gerçekleştirilir.

Çalışma kapsamında geliştirilen sistem, Türkiye haritası üzerinde coğrafi olarak bölgelere ayrılmış bir yapı sunmaktadır. Her bir bölgeye belirli bir frekans aralığı atanmış olup, cihazlar bu bölgelere göre frekans atlamalı iletişim yapmaktadır. Aynı coğrafi bölgede yer alan cihazlar arasındaki frekans çakışmaları en aza indirgenmiş, bölgeler arası parazitlenme önlenmiştir. Örneğin, bir cihaz GPS verilerine göre 1. bölgede yer alıyorsa, bu bölgeye atanmış olan 125 MHz'den başlayarak frekans atlaması yapılırken, diğer bölgelerde farklı frekanslar kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, aynı frekans bandının farklı bölgelerde yeniden kullanımını mümkün kılarak spektrumun daha verimli kullanılmasını sağlar.

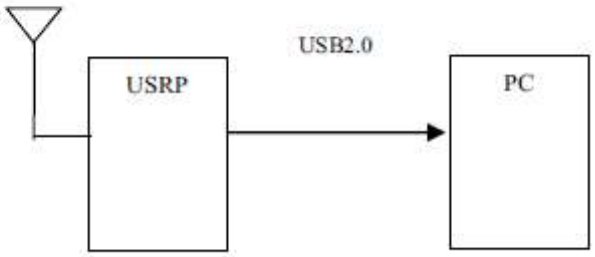
Bu çalışmada, frekans geçişleri sırasında manuel frekans sistemi kullanılmamıştır. Cihazlar manuel olarak istenen bölgenin frekans setine geçiş yapabilmektedir. Bu manuel geçiş yöntemi, kullanıcıların sınır geçişlerinde tam kontrol sağlayarak bölgedeki frekans aralığına hızla uyum sağlamalarını mümkün kılar. Böylece sınır geçişlerinde sinyal kaybı yaşanmadan iletişim sağlanmış olur.

Bu sistem, telsiz haberleşme, askeri iletişim ve kamu güvenliği gibi alanlarda büyük avantajlar sunmaktadır. Özellikle, yoğun radyo trafiği olan bölgelerde parazitlenmeyi en aza indirerek güvenli ve kesintisiz bir iletişim sağlar. Bu çalışmada geliştirilen coğrafi bölge temelli frekans atlama sistemi, mevcut iletişim teknolojilerine yeni bir boyut kazandırarak frekans yönetimini daha verimli hale getirmektedir.

YÖNTEM

Yazılım Tabanlı Radyo (SDR)

Kablosuz iletişim cihazları için bir tasarım modeli olan Yazılım Tanımlı Radyo (SDR), 90'lı yılların başında Joseph Mitola tarafından geliştirilmiş ve tanıtılmıştır. Mitola, SDR'yi yazılım aracılığıyla yeniden programlanabilen ve yapılandırılabilen radyo sistemleri olarak tanımlamıştır[5]. Bu çalışmada, Yazılım Tanımlı Radyo (SDR) teknolojisi, geleneksel donanımsal radyo alıcı-verici sistemlerinin esnek ve yazılım tabanlı bir yaklaşımla değiştirilmesi amacıyla kullanılmıştır. SDR, frekans, modülasyon türleri ve iletim gücü gibi parametrelerin dinamik olarak ayarlanmasına olanak tanıyarak, iletişim sistemlerine büyük bir esneklik kazandırır. Çalışma kapsamında, SDR kullanılarak frekans atlamalı bir haberleşme sistemi geliştirilmiştir. SDR teknolojisinin sunduğu esneklik sayesinde, coğrafi bölgeler arasında geçiş yapılırken frekans değişiklikleri hızlı ve sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilebilmiştir. Bu çalışmada kullanılan SDR cihazları, HackRF One donanım platformlarıdır. HackRF One, 1 MHz ile 6 GHz arasında geniş bir frekans aralığında çalışabilen ve hem alıcı hem de verici olarak kullanılabilen bir SDR platformudur. Çalışmanın ileri aşamalarında, daha yüksek performans ve kapasite sunan ETTUS firmasının USRP x310 model SDR cihazı da kullanılacaktır. " Universal Software Radio Peripheral (USRP), piyasada SDR (Yazılım Tanımlı Radyo) uygulamaları için ticari olarak sunulan donanım platformlarından biridir. Ettus Research tarafından geliştirilmiştir ve esas olarak DC'den 6 GHz'e kadar olan yazılım tabanlı RF (Radyo Frekansı) uygulamaları için tasarlanmıştır. Bu uygulamalar arasında radyo ağları, bilişsel radyo, uydu navigasyonu ve amatör radyo bulunmaktadır"[6]. Şekil 1'de de görüldüğü gibi SDR cihazları PC ile doğrudan bağlanılarak GNU radio daki blokları anlamlandırıp uygun anten ile yayın yapabilmektedir.



Şekil 1: USRP a bir PC bağlantısı

USRP, geniş bir SDR uygulama alanına olanak sağlayan basit bir RF cihazıdır. Ancak, USRP tek başına bir SDR işlevi görmediği için sinyal işleme işlemlerinin USB 2.0 bağlantısı üzerinden başka bir ana cihazda gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Şekil 1, USRP'nin bir ana cihaz ile etkileşim kurarak bir SDR sistemi oluşturma sürecini genel hatlarıyla göstermektedir[7]. Bu cihazlar, GNU Radio platformu üzerinden kontrol edilmiş ve sinyal işleme blokları kullanılarak iletim ve alım işlemleri gerçekleştirilmiştir. SDR cihazlarıyla iletişim kurmak ve sinyal işleme algoritmalarını uygulamak için GNU Radio kullanılmıştır. GNU Radio'nun sunduğu bloklar, basit matematiksel işlemlerden gelişmiş dijital filtreleme, kanal kodlama ve çeşitli iletişim uygulamalarına kadar geniş bir yelpazede kullanılabilmektedir. Grafiksel ara yüzü sayesinde, GNU Radio blok tabanlı programlama imkanı sunarak frekans atlamalı sistemlerin kolayca tasarlanmasını sağlamıştır. Bu çalışmada kullanılan başlıca bloklar şunlardır:

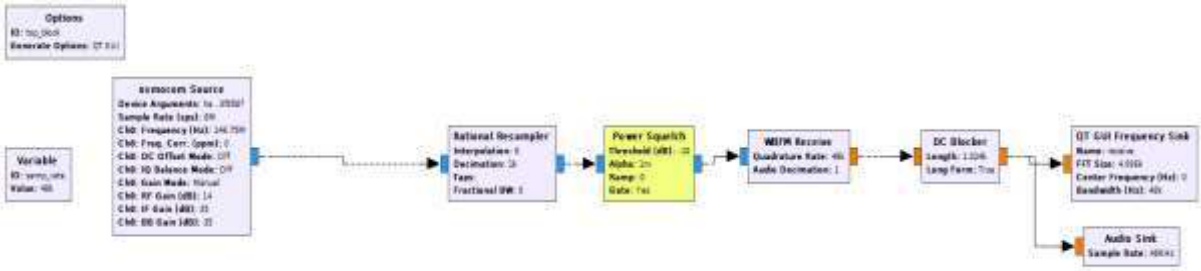
Osmocom Source ve Sink Blokları: HackRF cihazlarının giriş ve çıkışlarını kontrol eden bu bloklar, verici HackRF'nin frekans ayarlarını Osmocom source bloğu ile yaparken, sink bloğu alıcı HackRF'nin ayarlarını düzenler.

WBFM Transmit/Receive Blokları: Bu bloklar, verici ve alıcı tarafında geniş bant FM modülasyonu için kullanılmıştır.

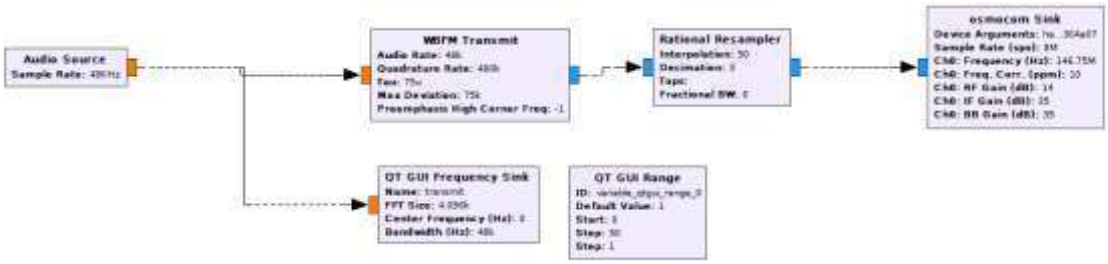
Bu yapı, frekans atlamalı sistemin sorunsuz bir şekilde çalışmasını ve iletişim süreçlerinin verimli yönetilmesini sağlamıştır.

FM demodülasyon bloğu, de-vurgulama özelliği ile tanımlanmış olup, aynı zamanda ses sinyallerini filtreleme işlevine sahiptir. Bu blok, karmaşık şekilde aşağı dönüştürülmüş sinyal frekansını orijinal taban bant sinyaline demodüle eder. Gerektiğinde de-vurgulama işlemi uygulanır ve sonrasında Alçak Geçiş filtresiyle sonuç sinyali filtrelenir[8]. Frekans atlaması sırasında kesintisiz iletişim sağlanması adına bu modülasyon türü tercih edilmiştir.

Şekil 2 ve Şekil 3' te GNU radio da oluşturulan FM modülasyon ve FM demodülasyon blokları verilmiştir. Rational Resampler Blokları: Verinin örnekleme oranlarını SDR cihazıyla uyumlu hale getirmek için kullanılan bu bloklar, hem verici hem de alıcı tarafında bulunmuştur. Bu bloklar, GNU Radio'nun sunduğu esnek yapı sayesinde kullanıcı tarafından kolayca düzenlenebilmiştir. Çalışma kapsamında, GNU Radio'da blokların frekans atlaması yapacak şekilde dinamik olarak ayarlandığı bir yapı kurulmuştur. Verici tarafında frekans atlaması, GPS verilerine dayalı olarak belirlenmiştir ve her coğrafi bölgeye göre bir frekans tahsis edilmiştir.



Şekil 2: GNU Radio FM Demodülasyon Blokları



Şekil 3: GNU Radio FM Modülasyon Blokları

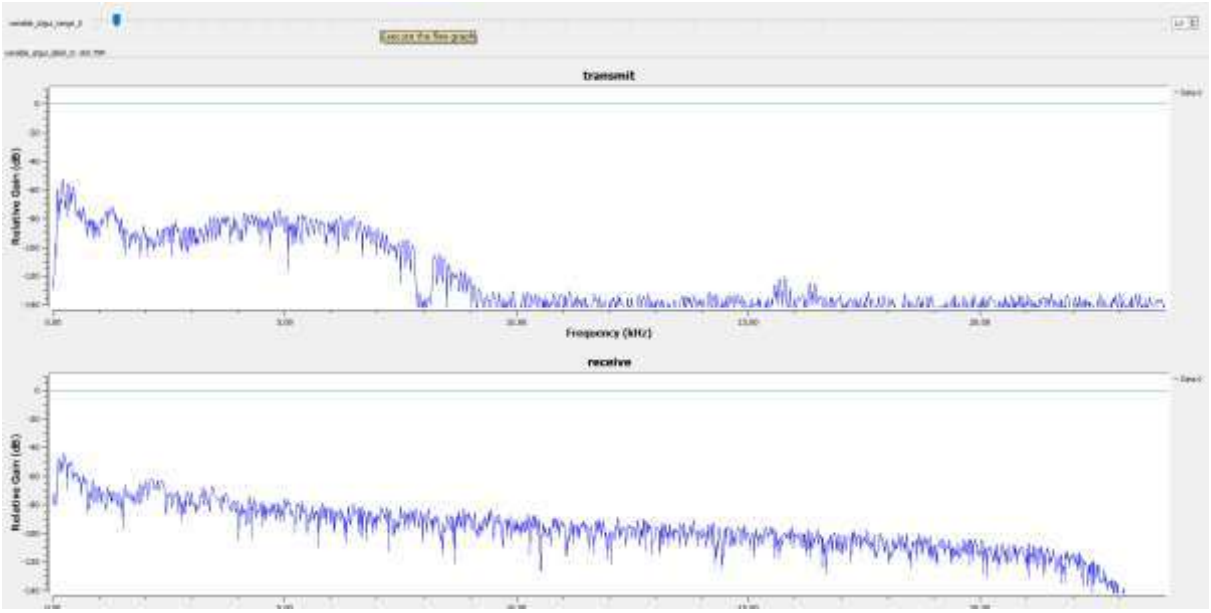
Frekans Atlamalı Haberleşme

Frekans atlaması (FH), birçok farklı iletişim sisteminde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Diğer taraftan, yazılım tabanlı radyo (SDR), modern iletişim sistemlerinin hayata geçirilmesinde giderek daha çok tercih edilen bir teknoloji haline gelmiştir[9]. Bu çalışmada, frekans atlamalı haberleşme tekniği, güvenli ve kararlı iletişim sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Frekans atlamalı haberleşme (Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS), sinyalin sabit bir frekansta kalmak yerine belirli bir aralıkta rastgele veya önceden belirlenmiş bir sırayla atlayarak iletilmesini sağlar. Bu teknik, özellikle askeri ve sivil haberleşme sistemlerinde güvenlik ve parazitlenmeye karşı dayanıklılık sağlamak için tercih edilmektedir. FM modülasyon ve FM Demodülasyon süreçlerinde gerçekleşecek olan frekans atlama formülleri (1) ve (2) 'de gösterilmektedir.

$$m(t) = \frac{1}{k \cdot f} \cdot \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(2\pi f_{\mathrm{hop}}(t)t + 2\pi k_f \int_0^t m(t)\,\mathrm{d}t\right) \quad (1)$$

$$m(t) = \frac{1}{k_f} \cdot \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\phi(t) \quad (2)$$

Çalışma kapsamında, SDR cihazları ve GNU Radio kullanılarak frekans atlamalı bir sistem kurulmuştur. Şekil 4'te oluşturulan sistemin çıktısı bulunmaktadır. Veriable_qtgui_lebel_0 :165.75M olarak verilen değer sistemin anlık olarak geçtiği frekansı göstermektedir. Sistemin alıcı ve verici tarafı ayrı ayrı GPS'ten aynı zaman bilgisini alıp aynı anda frekans atlamaktadır.



Şekil 4: Frekans Atlama Gösterimi

Haberleşme sistemi, coğrafi bölgelere göre dinamik olarak değişen frekans aralıklarını kullanarak güvenli ve kesintisiz veri iletimi sağlamayı amaçlamaktadır. Frekans atlama işlemi, GPS verilerine dayalı olarak her coğrafi bölgeye özgü farklı bir frekans setinin atanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Türkiye haritası, çalışma kapsamında 8 ve 16 ayrı coğrafi bölgeye bölünmüş olup, her bölgeye bir GPS koordinatı atanmıştır. Böylece, her bölgeye özgü frekans atlaması uygulanmış ve o bölgedeki verici ve alıcılar, belirlenen frekans aralığında haberleşme sağlamıştır. Örneğin, 1. bölge 125 MHz ile iletişime başlarken, 2. bölge aynı GPS saatiyle 135 MHz frekansında çalışmaya başlamıştır. Bu yöntem sayesinde her bölge, kendisine tahsis edilen frekans ile başlayarak çakışmaları önlemektedir. Frekans atlamalı haberleşme, sabit frekanslı iletişim sistemlerine kıyasla birçok avantaj sunmaktadır:

Güvenlik: Sinyal sürekli frekans değiştirdiği için izinsiz erişim ve dinlemeye karşı daha güvenlidir. Frekans değiştirme algoritması yalnızca verici ve alıcı tarafından bilindiğinden, dış saldırıların önlenmesine yardımcı olur.

Parazit Önleme: FHSS, dar bantlı parazitlerin sinyale etkisini en aza indirir. Bir frekansta meydana gelen parazit, bir sonraki frekans atlamasında devre dışı bırakılarak temiz bir sinyal iletimi sağlanır.

Spektrum Kullanımı: Coğrafi bölgelere tahsis edilen frekanslar, aynı spektrumun farklı bölgelerde yeniden kullanılmasına olanak tanır ve böylece spektrum kaynaklarının daha verimli kullanılması sağlanır.

Çalışma kapsamında, sinyalin serbest uzayda yayılımına ilişkin kayıplar hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, sinyalin yayılım mesafesi arttıkça serbest uzay kaybı (Free Space Path Loss) formülü kullanılarak yapılmıştır. Serbest uzay kaybı formülü ise şu şekildedir:

$$L = 20\log(d) + 20\log(f) + 20\log(4\pi/c) \quad (3)$$

Bu formül, her bir bölgedeki GPS koordinatlarına dayalı olarak iki verici/alıcı arasındaki mesafeyi kullanarak hesaplanmıştır. Bölge bazlı frekans atlama yapıldığında, sinyal kaybı minimize edilmiştir çünkü kısa mesafeli bölgesel frekanslar kullanılarak daha az enerji kaybı meydana gelmiştir.

Çalışmada, her bir frekans atlaması, GPS'den alınan konum bilgilerine dayalı olarak dinamik bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Her bölgeye girildiğinde sistem, o bölgeye tahsis edilen frekans bandını kullanmaya başlamıştır. İletim esnasında GPS'den alınan zaman ve konum bilgisi ile frekans atlaması yapılmış ve her coğrafi bölgeye özgü frekanslar kullanılarak çakışmalar önlenmiştir.

GPS Destekli Frekans Atlama

Bu bölümde, çalışmanın en kritik bileşenlerinden biri olan GPS destekli frekans atlama sistemi ele alınmaktadır. Sistemin temel amacı, Türkiye'nin coğrafi olarak farklı bölgelere ayrılmasıyla frekans

atlamalı sistemin performansını analiz etmektir. İlk aşamada, Türkiye genelinde herhangi bir bölme yapılmadan frekans atlaması uygulanmıştır. Bu yaklaşım, geniş bir frekans bandı üzerinden iletişim sağlarken, parazitlenme risklerinin daha yüksek olduğu bir yapı ortaya koymuştur.

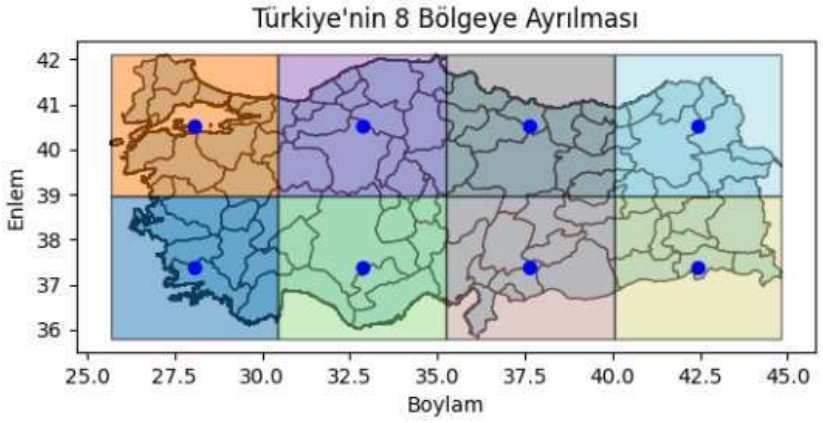
Sonraki aşamada ise, ülke 4, 8 ve 16 bölgeye ayrılmış, her bölge için ayrı ayrı analizler yapılmış ve frekans atlama sisteminin etkinliği değerlendirilmiştir. İlk analizde, Türkiye'nin coğrafi bölgelere ayrılmadan, tek bir frekans bandı üzerinde çalıştırılması ele alınmıştır. Bu durumda, frekans atlaması 50 MHz genişliğinde bir bant üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ancak bölme yapılmadığı için frekans çakışmaları ve parazitlenme riskleri gözlemlenmiştir. Özellikle cihazların birbirine yakın olduğu senaryolarda, sinyal karışmaları nedeniyle iletişimde aksamalar meydana gelmiştir.

Türkiye coğrafi olarak bölgelere ayrıldığında ise her bölgeye farklı bir başlangıç frekansı atanmış ve frekans atlaması bu başlangıç frekanslarına göre yapılmıştır. Aynı 50 MHz'lik bant genişliği kullanılsa da, farklı başlangıç frekansları sayesinde parazitlenme büyük oranda azaltılmıştır. Yapılan analizler, bölgesel frekans kullanımının sinyal kalitesini artırdığını ve cihazlar arası parazitlenmenin minimum seviyeye indirildiğini göstermiştir.

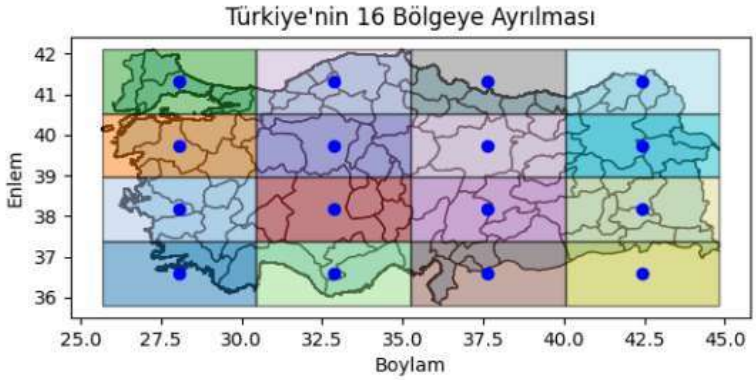
Çalışma kapsamında, Şekil 2 ve Şekil 3'te de görüldüğü gibi, Türkiye 8 ve 16 farklı coğrafi bölgeye ayrılmış ve her bölgeye özgü başlangıç frekansları atanmıştır. Her bölge aynı 50 MHz'lik bant genişliğini kullanmasına rağmen, GPS konum bilgisi sayesinde her bölge farklı bir başlangıç frekansı ile frekans atlamaya başlamaktadır.1. Bölge: 125 MHz'den başlayarak 50 MHz'lik bir bant genişliğinde frekans atlaması yapar.

2. Bölge: 135 MHz'den başlayarak aynı bant genişliğinde frekans atlaması gerçekleştirir.

3. Bölge: 145 MHz'den başlar ve benzer şekilde devam eder.



Şekil 4: Bölgenin 8 eşit parçaya ayrılması



Şekil 5: Bölgenin 16 eşit parçaya ayrılması

Bu yapı, tüm bölgelerin aynı frekans bandını kullanmasına rağmen bölgesel ayrımlarla parazitlenmeyi önlemeyi amaçlar. GPS modülleri, cihazların konumunu belirleyerek hangi bölgeye ait olduklarını tespit eder ve buna göre başlangıç frekansını seçerek frekans atlamasını başlatır. Bu yenilikçi yöntem, hem sivil hem de askeri uygulamalarda daha güvenli ve verimli bir iletişim sistemi sunar. Bir bölgeden diğerine geçişlerde iletişimin kesintiye uğramaması için tüm bölgelere ait frekans setleri yazılımda yüklü olacaktır. Özellikle uçaklar ve yüksek hızlı araçlar gibi hareketli sistemlerde, sınır bölgelerinde kullanıcılar manuel olarak istedikleri frekans setine geçiş yapabileceklerdir. Cihazlar, sınır bölgesine ulaştıklarında mevcut bölgenin frekansını kullanmaya devam ederken, kullanıcılar manuel olarak yeni bölgenin frekans setini seçebilirler. Bu sistem, sınır bölgelerinde çakışmaları önlemek için kullanıcıların manuel müdahale ile frekanslarını bölgeye göre ayarlamasına imkan tanır. Böylece cihazlar, frekans geçişlerinde sinyal kesintisi yaşamadan iletişimi sürdürebilir.

GPS destekli bu sistemin sağladığı avantajlar şunlardır:

Parazitlenmenin Önlenmesi: Coğrafi bölgelere göre yapılan frekans atlaması, aynı bant genişliğinin birden fazla bölgede kullanılmasına rağmen parazitlenme riskini en aza indirir.

Daha Geniş Kapsama Alanı: Coğrafi bölgelere göre frekans tahsisi, daha geniş alanlarda etkili frekans yönetimi sağlayarak sistemin genel verimliliğini artırır.

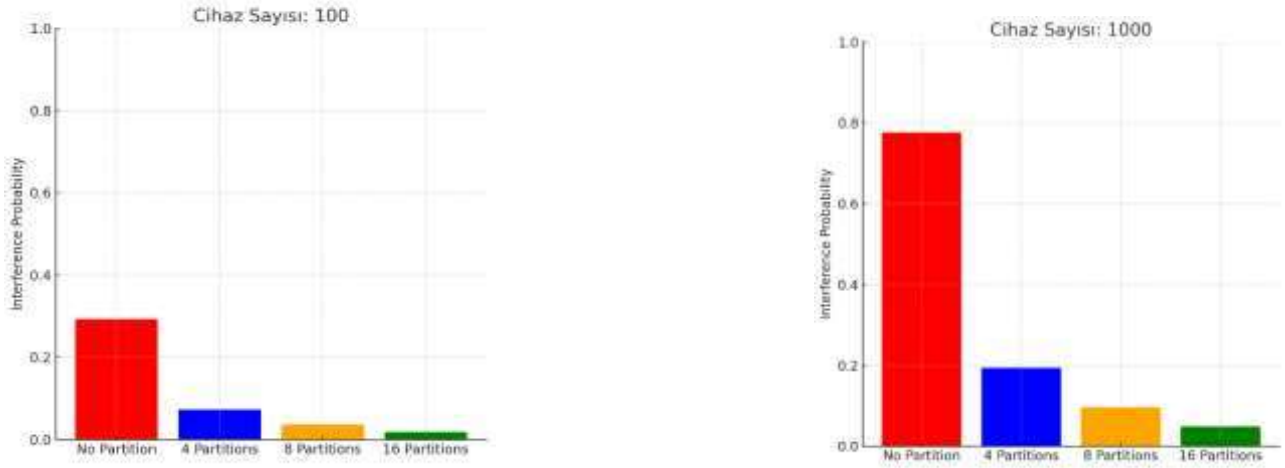
Kesintisiz İletişim: Sınır geçişlerinde manuel frekans ayarı, özellikle yüksek hızdaki geçişlerde cihazların iletişimde kopma yaşamadan devam etmesini sağlar.

Bu yöntemle, GPS konum bilgileriyle desteklenen bölge bazlı frekans atlaması, daha güvenli ve verimli bir haberleşme altyapısı sunar ve zorlu koşullarda bile iletişimin kesintisiz devam etmesini mümkün kılar.

BULGULAR

Bu çalışmada, Türkiye genelindeki uçaklar ve yüksek hızlı cihazlar için frekans atlamalı bir iletişim sistemi geliştirilmiştir. Sistemin temel amacı, belirli coğrafi bölgelerde farklı başlangıç frekansları kullanarak frekans atlama algoritmalarıyla frekans çakışmalarını en aza indirmek ve frekans bant genişliğini daha verimli kullanmaktır. Sistem, GNU Radio yazılımı ve HackRF donanımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve GPS verileri aracılığıyla cihazların bulundukları bölgelere göre frekans atlama noktaları dinamik olarak ayarlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, bölgesel frekans atlama yönteminin, bölmesiz sistemlere kıyasla frekans çakışmalarını ve parazitlenmeyi önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur. Bulgular, aşağıda detaylı şekilde sunulmuştur.

Parazite Karşı Koruma



Şekil 6: 100 ve 1000 Platform ile Parazit Karşılaştırması

Parazite karşı koruma grafiklerinde temel olarak (4) numaralı formülde belirtilmiştir. Bu formüller FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum) sistemlerinde kullanılan bir çakışma olasılığı modeline dayanır. Bölge sayısı arttıkça her bölgeye düşen cihaz sayısı azalacağından dolayı çakışma olasılığı daha az çıkacaktır.

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{Nfrekans}\right)^{Ncihaz-1} \quad (4)$$

Sistemin parazitlenmeye karşı performansını değerlendirmek için cihaz sayısı arttıkça parazitlenme olasılıkları incelenmiştir. Yapılan simülasyonlarda, bölmesiz ve bölmeli sistemler arasındaki farklar gözlemlenmiştir:

Cihaz Sayısı 100 Olan Sistem (Şekil 6 Soldaki Grafik):

Bölmesiz sistemde: Aynı frekans bandını paylaşan 100 cihazın birbirine parazit yapma olasılığı oldukça yüksektir. Simülasyon sonuçlarına göre, bölmesiz sist $\eta = 1 - p$emde parazitlenme olasılığı yaklaşık %25 civarındadır. Bu, frekans çakışmalarının sıkça meydana geldiğini ve iletişim kalitesinin olumsuz etkilendiğini göstermektedir.

4, 8 ve 16 bölmeli sistemlerde: Her bölgenin farklı bir başlangıç frekansı ile frekans atlaması yapması sayesinde parazitlenme olasılığı önemli ölçüde azalmıştır. 4 bölmeli sistemde parazitlenme olasılığı %8'e, 16 bölmeli sistemde ise %2'ye kadar düşmüştür. Bu, cihazlar arasında frekans paylaşımının daha verimli hale geldiğini ve parazitlenmenin büyük ölçüde önlendiğini göstermektedir.

Cihaz Sayısı 1000 Olan Sistem (Şekil 6 Sağdaki Grafik):

Bölmesiz sistemde: Cihaz sayısının artmasıyla birlikte parazitlenme olasılığı ciddi şekilde yükselmiştir. 1000 cihazın aynı frekans bandını paylaştığı durumda, parazitlenme olasılığı %80'e kadar çıkmıştır. Bu, frekans çakışmalarının büyük bir sorun olduğunu ve bölgesel ayrımlar yapılmadığında iletişim kalitesinin önemli ölçüde düştüğünü göstermektedir.

4, 8 ve 16 bölmeli sistemlerde: Bölme sayısının artırılmasıyla parazitlenme olasılığı önemli ölçüde azalmıştır. 4 bölmeli sistemde parazitlenme olasılığı %20'nin altına düşerken, 16 bölmeli sistemde bu oran %5'in altına kadar inmiştir. Bu sonuçlar, bölmeli sistemlerin yüksek cihaz yoğunluğu olan ortamlarda parazitlenmeye karşı çok daha dirençli olduğunu ortaya koymaktadır.

Bölgesel Frekans Atlama

Bölgesel frekans atlama stratejisi Şekil 5'te de görüldüğü üzere frekans çakışmalarını önleyerek bant genişliğinin verimli kullanılmasını sağlar. Simülasyonlar, dört farklı bölgenin aynı anda aynı frekansa sahip olmadığı ve frekans çakışmasının minimize edildiğini göstermiştir.



Şekil 7: Bölgesel Frekans Atlama

Simülasyon Sonuçları:

Bölge 1: 125 MHz'den başlayarak 175 MHz'e kadar atlamış ve ardından tekrar 125 MHz'e dönmüştür.

Bölge 2: 135 MHz'den başlayarak aynı frekans döngüsünü takip etmiştir.

Bölge 3: 145 MHz'den başlayarak, Bölge 4 ise 155 MHz'den başlayarak 50 MHz'lik bant genişliğini kullanmıştır.

Dört bölgenin frekans atlamaları incelendiğinde, 60 saniyelik simülasyon süresince hiçbir anda dört bölge aynı frekansı kullanmamıştır. Bu, frekans çakışmasının sıfıra indirildiğini ve her bölgenin verimli bir şekilde frekans kullandığını kanıtlar.

Frekans Çakışma Olasılığı: Bölmesiz bir sistemde çakışma olasılığı yaklaşık %25-30 iken, bölgesel frekans atlamasında bu oran sıfıra inmiştir.

Enerji Verimliliği: Çakışma olmadığı için, cihazlar parazitlenmeden iletişim kurarak %15-20 arasında daha az enerji tüketmiştir.

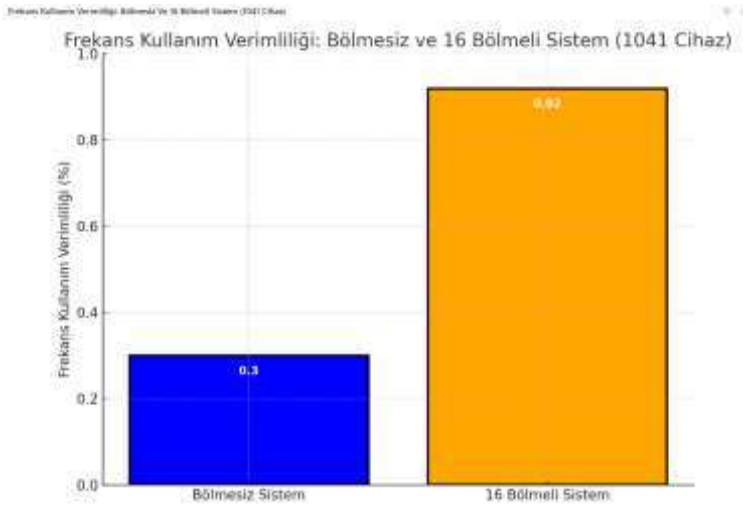
Frekans Kullanım Verimliliği

Bölgesel frekans atlama stratejisinin frekans kullanım verimliliğini nasıl artırdığını görmek amacıyla, Şekil 6'da bölmesiz ve 16 bölmeli sistemler arasındaki farklar karşılaştırılmıştır. Frekans kullanımı genellikle spektrum verimliliği üzerinden değerlendirilir ve Shannon Kapasitesi (5) gibi modellerle çalışır.

$$\eta = 1 - P \tag{5}$$

Grafiğin temeli daha önce elde ettiğimiz Pçakışma formülünden elde ettiğimiz P değerinin kullanılması ile oluşmaktadır. Bu analizde, maksimum 1041 cihazın 50 MHz frekans bandında nasıl çalıştığını inceledik. Bölmesiz sistemde, tüm cihazlar aynı frekans bandını paylaştığı için frekans çakışmaları oldukça yüksektir ve bu durum sistemin genel verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Simülasyon sonuçlarına göre, bölmesiz sistemde frekans kullanım verimliliği %30 olarak hesaplanmıştır.

16 bölmeli sistemde ise cihazlar 16 farklı bölgeye dağıtılarak her bölgeye özgü frekans atlaması uygulanmıştır. Bu yaklaşım, frekans çakışmalarını en aza indirerek frekans kullanım verimliliğini büyük ölçüde artırmıştır. Simülasyon sonucunda, 16 bölmeli sistemde frekans kullanım verimliliği %92 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, bölmeli sistemin çok daha verimli bir frekans kullanımı sağladığını ve çakışmaların minimum seviyeye indirildiğini açıkça göstermektedir. Aşağıdaki grafik, bölmesiz ve 16 bölmeli sistemler arasındaki verimlilik farkını ortaya koymaktadır.



Şekil 8: Frekans Kullanım Verimliliği

Serbest Uzay Kayıpları

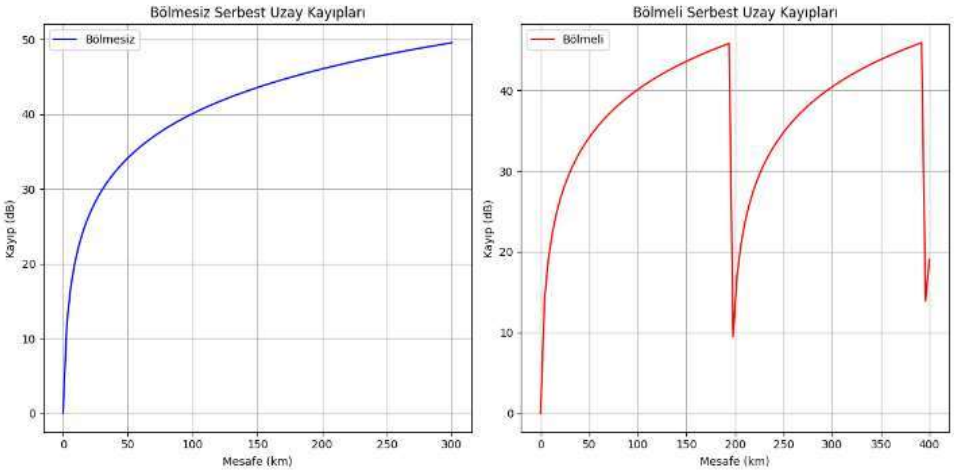
Şekil 9'daki iki grafik, telsiz sinyallerinin serbest uzay kayıplarını karşılaştırmalı olarak incelemekte ve bölmesiz ile bölmeli frekans kullanımının etkilerini göstermektedir. Bölmesiz sistemde, telsiz 300 km'ye kadar tek bir frekans seti ile çalışmakta olup, sinyal kaybı mesafe arttıkça logaritmik olarak artmaktadır.

Örneğin, 50 km mesafede kayıp yaklaşık 10 dB seviyesindeyken, 300 km mesafede bu kayıp 50 dB'ye ulaşmaktadır. Bu da sinyalin mesafe arttıkça hızla zayıfladığını ve kayıpların dramatik bir şekilde yükseldiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, bölmesiz kullanımda uzun mesafelerde sinyal kalitesinin ciddi şekilde düştüğünü göstermektedir. Şekil 9 daki grafik oluşturulurken (6) numaralı formülden yararlanılmıştır.

$$L_{FS} = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(\frac{4\pi}{c}) \quad (6)$$

Buna karşın, bölmeli sistemde Türkiye 16 bölgeye ayrılmış ve her bölgenin yaklaşık 196 km'lik bir kenar uzunluğu belirlenmiştir. Bu sistemde, telsiz her 196 km'lik mesafede frekans setini değiştirir, böylece frekans değişim noktalarında sinyal kaybı optimize edilerek minimuma indirilir. Her bölgenin sonunda sinyal kaybı neredeyse sıfıra çekilir ve sonraki bölgeye geçiş yapıldığında kayıplar yeniden artmaya başlar. Bu mekanizma sayesinde uzun mesafeli iletimlerde sinyal kaybı önemli ölçüde azaltılır ve sinyalin daha verimli bir şekilde iletilmesi sağlanır.

Bölmeli sistem, her bölgede sinyal kaybını minimize ettiği için uzun mesafelerde bile sinyalin güçlü ve güvenilir kalmasına olanak tanır. Sonuç olarak, bölmeli frekans kullanımı, telsiz sinyallerinin uzun mesafelerdeki serbest uzay kayıplarını en aza indiren daha verimli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 9: Bölmeli ve Bölmesiz harita Serbest Uzay Kayıpları

SONUÇ

Sonuç olarak, bu çalışmada telsiz sinyallerinin serbest uzay kayıplarına yönelik yapılan analiz, bölmeli frekans kullanımının sinyal kayıplarını minimize etmek için ne kadar etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. Frekans setlerinin bölgesel olarak değiştirilmesi, sinyalin daha geniş mesafelere daha güçlü ve güvenilir bir şekilde iletilmesine olanak tanımıştır. Çalışmanın ilerleyen safhalarında, sistemin daha dinamik bir yapıya kavuşturulması amaçlanmaktadır. Özellikle, GPS verileri kullanılarak Python üzerinden farklı bölgelerin koordinatlarına göre otomatik frekans seti değişikliklerinin sağlanması planlanmaktadır. Bu sayede, telsiz iletişimi yapan bir cihaz, bulunduğu coğrafi bölgeye göre en uygun frekans setine geçiş yapacak ve bu da sinyal kayıplarını daha da azaltarak iletişim verimliliğini artıracaktır. Gerçek zamanlı GPS entegrasyonu ile telsiz kapsama alanının daha geniş ve sorunsuz olacağı öngörülmektedir. Bu geliştirme, özellikle büyük ölçekli telsiz iletişim ağlarında sinyal kalitesini iyileştirecek ve frekans çakışmalarını önleyecektir. Sonuç olarak, hem teorik analizler hem de pratik uygulamalar, frekans seti kullanımıyla sinyal kayıplarının etkin bir şekilde yönetilebileceğini ve telsiz sistemlerinin daha verimli hale getirilebileceğini ortaya koymaktadır.

KAYNALAR

[1] O. N. Samijayani, P. Gitomojati, D. Astharini, S. Rahmatia and N. I. H. Pratama, "Implementation of SDR for video transmission using GNU radio and USRP B200," 2017 5th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM), Denpasar, Indonesia, 2017, pp. 1-4

[2] A. L. Garcia Reis, A. F. Barros, K. Gusso Lenzi, L. G. Pedroso Meloni and S. E. Barbin, "Introduction to the Software-defined Radio Approach," in IEEE Latin America Transactions, vol. 10, no. 1, pp. 1156-1161, Jan. 2012, doi: 10.1109/TLA.2012.6142453.

[3] D. Kushnure, M. Jiniyawala, S. Molawade, and S. Patil, "Implementation of FM Transceiver using Software Defined Radio (SDR)," International Journal of Engineering Development and Research (IJEDR), vol. 5, no. 2, pp. 225-233, Aug. 2018. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/327339105. [Accessed: Sep. 18, 2024].

[4] B. B. Harianto, M. Rifai, A. Irfansyah, and Y. Suprapto, "Design Indoor FM Communication Based on SDR and GNU Radio Using Validated Spectrum Analyzer," Journal of Physics: Conference Series, vol. 1845, no. 1, Art. no. 012078, Mar. 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1845/1/012078.

[5] R. W. Stewart et al., "A low-cost desktop software defined radio design environment using MATLAB, simulink, and the RTL-SDR," in IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 9, pp. 64-71, September 2015

[6] J. Muslimin, A. L. Asnawi, A. F. Ismail, and A. Z. Jusoh, "SDR-Based Transceiver of Digital Communication System Using USRP and GNU Radio," Proceedings of the 6th International Conference on Computer and Communication Engineering: Innovative Technologies to Serve Humanity (ICCCE), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Dec. 2016, pp. 449–453, doi: 10.1109/ICCCE.2016.100.

[7] *W. Song, "Configure Cognitive Radio using GNU Radio and USRP," in Proc. RFM 2004 Conference, IEEE, 2009, pp. 1-6.*

[8] *Meshram, S., & Kolhare, N. (2019). The advent software defined radio: FM receiver with RTL SDR and GNU radio. In Proceedings of the Second International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT) (pp. 230-235).*

[9] M. Ibrahim and I. Galal, “Improved SDR frequency tuning algorithm for frequency hopping systems,” *ETRI J.*, vol. 38, no. 3, pp. 455–462, Jun. 2016, doi: 10.4218/etrij.16.0115.0565.