

ÖZET

OFDM SİSTEMLERİNDEKİ DÜŞÜK MALİYETLİ RADAR SENSÖRLERİNE YÖNELİK DÜŞÜK ÖRNEKLEME HIZLARI İLE YÜKSEK MENZİL ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ ELDE ETMEYE YÖNELİK YÖNTEM

5

Mevcut buluş, OFDM teknolojisine dayalı kablosuz algılama ve/veya iletişim ağlarında daha düşük dijital-analog dönüştürücü (ADC) örnekleme hızları ve daha az hesaplama karmaşıklığı ile OFDM iletişim sinyallerini kullanarak düşük maliyetli radar sensörlerine yönelik yüksek menzil çözünürlüğü elde etmeye yönelik bir yöntemle ilgilidir.

10

İSTEMLER

1. OFDM teknolojisine dayalı, kablosuz algılama ve/veya iletişim ağlarında analogdan dijitale örnekleme hızı düşürülmüş ve hesaplama karmaşıklığı azaltılmış OFDM iletişim sinyallerini kullanarak düşük maliyetli radar sensörlerine yönelik yüksek bir menzil çözünürlüğü elde etmeye yönelik, yalnızca pilot değerin önceden bilinmesini gerektiren bir yöntem olup, aşağıdaki proses adımlarını içermesi ile karakterize edilmektedir:

- Verici tarafından önceden tanımlanmış bir pilot oran (S_p) ile OFDM çerçevesine yönelik merdiven yapısının uygulanması, burada her bir OFDM sembolü için bir pilot oranı ile aralıklandırılmış, N_p sayısı kadar pilot vardır, burada pilotların konumu, tüm zaman-frekans alanını kapsayacak şekilde bir merdiven şekli için her ardışık OFDM-sembolü için bir alt taşıyıcı tarafından kaydırılmaktadır.

- Modüle edilmiş OFDM çerçevesinin zaman alanına dönüştürülmesi ve iletimden önce bir döngüsel ön ek eklenmesi,

- Radar sensörünün alıcı ucundaki yansıyan OFDM iletişim sinyalinin N_p ile ilgili bir faktör (P) ile eksik örneklenmesi,

- Alıcı ucundaki bir radar sensörü tarafından yansıtılan OFDM iletişim sinyalinin eksik örneklenmesi; burada pilotlar, birbiri üzerine yığılmış veri alt taşıyıcılarının müdahalesinden arındırılmış olarak birbiri üzerine bindirilmiş örtüşen araçlardır,

- Hızlı Fourier Dönüşümü gerçekleştirilerek örtüşen OFDM sinyalinin frekans alanına dönüştürülmesi,

- Hızlı Fourier Dönüşümü gerçekleştirildikten sonra, iletilen çerçevenin tamamının önceden bilinmesini gerektirmeden çerçeveyi demodüle etmek için frekans alanı sinyalinin pilot değerin toplamına bölünmesi,

- Boyutları P tarafından küçültülmüş hedeflerin menzil-Doppler haritasını elde etmek için İki Boyutlu Hızlı Fourier Dönüşümlerinin gerçekleştirilmesi,
- Sinyalin boyutunu ilgili eksik örnekleme faktörü kadar küçültmek için sinyalin eksik örneklenmesi, burada alt taşıyıcı sayısı faktör (P) ile azaltılmaktadır.

5

TARİFNAME

OFDM SİSTEMLERİNDEKİ DÜŞÜK MALİYETLİ RADAR SENSÖRLERİNE YÖNELİK DÜŞÜK ÖRNEKLEME HIZLARI İLE YÜKSEK MENZİL ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ ELDE ETMEYE YÖNELİK YÖNTEM

Teknik Alan

Buluş, düşük maliyetli radar sensörlerine yönelik yüksek menzilli çözünürlük (HRR) elde etmeye yönelik yöntemle ilgilidir.

Buluş özellikle, OFDM teknolojisine dayalı kablosuz algılama ve/veya iletişim ağlarında, yalnızca pilot değerın önceden bilinmesini gerektirirken, düşük analogdan dijitale örnekleme hızlarına ve daha düşük hesaplama karmaşıklığına sahip OFDM iletişim sinyallerini kullanarak düşük maliyetli radar sensörlerine yönelik yüksek bir menzıl çözünürlüğü elde etmeye yönelik yöntem ilgilidir.

Tekniğin Bilinen Durumu

Menzil çözünürlüğü, radar sisteminin Δr ile ayrılmış iki yakın hedefi çözme veya ayırt etme yeteneğidir ve genellikle OFDM tabanlı radarlara yönelik iletim bant genişliği ile belirlenmektedir. Burada OFDM, tek bir taşıyıcı bandın birden fazla ortogonal alt taşıyıcıya bölündüğü, dijital iletişim sistemlerinde kullanılan çok taşıyıcılı bir dalga şekli olarak tanımlanmaktadır. Yüksek menzıl çözünürlük (HRR), OFDM radara yönelik alıcı ve verici uçlarda sırasıyla yüksek hızlı analogdan dijitale dönüştürücülerin (ADC'ler) ve dijitalden analoğa dönüştürücülerin (DAC'ler) varlığına işaret eden bir geniş bant genişliği gerektirmektedir.

Mevcut tekniğin bilinen durumunda, OFDM için azaltılmış örnekleme hızı ile HRR elde edilmesi “Stepped-carrier OFDM-radar processing scheme to retrieve high-resolution range-velocity profile at low sampling rate,” [2]; “Frequency comb OFDM radar system with high range resolution and low sampling rate,” [3]; ve “OFDM radar with subcarrier aliasing—reducing the ADC sampling frequency without losing range resolution,” [4] isimli makalelerde araştırılmıştır. Ancak, makalelerde önerilen teknikler ya örnekleme hızını

düşürmek için donanımı daha karmaşık hale getirmektedir ya da sistemin algılama ve/veya iletişim performansından ödün vermektedir.

5 "High-performance automotive radar: A review of signal processing algorithms and modulation schemes" başlıklı makale, menzil çözünürlüğünün ($\Delta r = \frac{c}{2B}$) mevcut bant genişliği (B) ile ters orantılı olduğunu ve daha büyük bir değerin (B) daha yüksek bir çözünürlük sağladığını açıklamaktadır. Bu da, OFDM'ye yönelik sinyali oluşturmak/yeniden yapılandırmak için sırasıyla alıcı ve verici tarafında yüksek hızlı ADC ve DAC dönüştürücülerini gerektirmektedir [5]. Bu pahalı ve aşırı enerji tüketen cihazlar, özellikle 10 akıllı şehirlere ve çevreye duyarlı otonom robotlara yönelik büyük çaplı uygulamalara yönelik olarak uygun değildir.

"A novel multi-objective artificial bee colony algorithm based on decomposition for feature selection" başlıklı makalede, sürücüsüz araçların araç çevresinde birden fazla radar kullandığı 15 [6], bu nedenle OFDM sinyallerini kullanan birden fazla radar sisteminin entegrasyonunun önemli ölçüde daha maliyetli ve karmaşık hale geldiği açıklanmaktadır.

Yukarıda açıklandığı üzere, mevcut çözümler alıcı ve verici taraflarında frekans taraklarının kullanılmasını, OFDM alt sembollerinin taşıyıcı frekanslarının kademelendirilmesini, ADC 20 örnekleme hızını azaltmak için OFDM'nin örtüşmeye zorlanmasını, iletilen OFDM çerçevesinin tüm bant genişliğinin örneklenmesini ve örnekleme hızını azaltmak için MIMO sistemlerinin kullanılmasını açıklamaktadır. Bununla birlikte, SA-OFDM dışındaki diğer yöntemler örnekleme hızını azaltmak için donanım ve hesaplamanın karmaşıklığını arttırmaktadır, burada:

- 25
- SC-OFDM, taşıyıcı frekanstaki hızlı değişim nedeniyle senkronizasyon için yüksek hızlı PLL gerektirmektedir. Alt sembollerin aralarına koruma bırakılması faz göçüne neden olmaktadır. Son olarak, bu, kesin olmayan hızı azaltmaktadır.
 - 30 - FC-OFDM'de frekans tarağının oluşturulması, sisteme her iki uçta da RF karmaşıklığı eklemektedir. Ayrıca, iletilen sinyali işlemek için mükemmel senkronizasyon gerektirmektedir.

- CS-OFDM, sisteme önemli bir hesaplama karmaşıklığı ekleyen CS algoritmasını kullanmaktadır ve bu da yüksek güçlü hesaplamaları karşılayamayan düşük maliyetli radar sensörleri için uygun değildir.
- 5
- Ayrıca SA-OFDM, SC-OFDM ve CS-OFDM, sırasıyla alıcıda bıraktıkları boş alt taşıyıcılar, alt sembollerin adımlanması ve sembollerin zaman-frekans düzleminde saçılması nedeniyle spektral verimliliği önemli ölçüde azaltmaktadır.
- 10
- Genel olarak, yukarıda bahsedilen tekniklerde karmaşıklık, algılama performansı ve veri hızı arasında bir değiş tokuş söz konusudur.

Mevcut durumdaki teknik sorunlar, HRR algılaması elde etmek için pahalı ve güç tüketen yüksek hızlı ADC örnekleme hızlarına duyulan ihtiyaçtır. Araçtan her şeye (V2X) iletişim gibi birçok uygulamayı mümkün kılmak için 6G'de eşi benzeri görülmemiş şekilde kullanılacak olan düşük maliyetli terminallerin hesaplama karmaşıklığı. Yeşil iletişim projeksiyonlarının hedeflerinden biri olan radar sensörleri için yüksek enerji tüketimi ve donanım maliyeti.

Sonuç olarak, yukarıda belirtilen ihtiyaçları karşılamaya yönelik çözümlerin yetersizliği nedeniyle, ilgili teknik alanda bir geliştirme yapılması gerekmektedir. Bunun için, düşük ADC örnekleme hızları ve azaltılmış hesaplama karmaşıklığı ile düşük maliyetli, düşük güçlü radar sensörleri için HRR elde etmeye yönelik çözüm, 6G'nin en modern görünümünü sağlamaya yönelik bir anahtardır.

25 **Buluşun Amacı**

Buluş, mevcut durumlardan ilham almıştır ve yukarıda bahsedilen dezavantajları çözmeyi amaçlamaktadır.

30 Buluşun ana amacı, geleneksel OFDM radar tabanlı sistemlere göre daha düşük hesaplama ve donanım karmaşıklığına izin verirken ve OFDM'nin iletişim özelliklerini korurken, geleneksel OFDM sinyalinde pilot örtüşmesine dayanan düşük maliyetli radar sensörleri için azaltılmış örnekleme hızına sahip HRR algılaması sağlamaktır. Örnekleme hızı, örtüşme olmadan ve sinyali bozmadan sinyali analogdan dijital örneklere dönüştürmek için gereken

örnekleme frekansıdır. Burada örtüşme, bir sürekli sinyal yüksek frekanslı bileşenlerini yakalamak için yetersiz olan bir hızda örneklendiğinde ortaya çıkan bir olgudur. Bu, genel olarak Nyquist frekansı olarak adlandırılmaktadır.

- 5 Buluşun bir diğer amacı ise, ADC örnekleme hızını pilot hızına bağlı bir faktörle düşürmek ve veri parazitinin olmadığı yerlerde pilotların örtüşmesinden yararlanmaktır. Ayrıca alıcı, iletilen çerçevenin tamamını talep etmek yerine sadece menzil-hız bilgisini elde etmek için pilot değer bilgisine ihtiyaç duymaktadır.
- 10 Buluşun bir başka amacı da örnekleme hızını düşürmek ve takip prosesinin düşük güç, karmaşıklık ve depolama ile çalışmasını sağlamaktır.

Yukarıda bahsedilen amaçlara ulaşmak için, buluş aşağıdaki proses adımlarını içermektedir:

- 15
- Verici tarafından önceden tanımlanmış bir pilot oran (S_p) ile OFDM çerçevesine yönelik merdiven yapısının uygulanması, burada her bir OFDM-sembolü için bir pilot oranı ile aralıklandırılmış, N_p sayısı kadar pilot vardır, burada pilotların konumları, tüm zaman-frekans alanını kapsayacak şekilde bir merdiven şekli oluşturmak için her bir ardışık OFDM-sembolü için bir alt taşıyıcı tarafından kaydırılmaktadır.
- 20
- Modüle edilmiş OFDM çerçevesinin zaman alanına dönüştürülmesi ve iletim öncesinde bir döngüsel ön ek eklenmesi,
- 25
- Radar sensörünün alıcı ucundaki yansıyan OFDM iletişim sinyalinin N_p ile ilgili bir faktör (P) ile eksik örneklenmesi,
- 30
- Alıcı ucundaki bir radar sensörü tarafından yansıtılan OFDM iletişim sinyalinin eksik örneklenmesi; burada pilotlar, birbiri üzerine yığılmış veri alt taşıyıcılarının müdahalesinden arındırılmış olarak birbiri üzerine bindirilmiş örtüşen araçlardır,

- Hızlı Fourier Dönüşümü gerçekleştirilerek örtüşen OFDM sinyalinin frekans alanına dönüştürülmesi,
- Hızlı Fourier Dönüşümü gerçekleştirildikten sonra, iletilen çerçevenin tamamının önceden bilinmesini gerektirmeden çerçeveyi demodüle etmeye yönelik olarak frekans alanı sinyalinin pilot değerinin toplamına bölünmesi,
- Boyutları P tarafından küçültülmüş hedeflerin menzil-Doppler haritasını elde etmek için İki Boyutlu Hızlı Fourier Dönüşümlerinin gerçekleştirilmesi,
- Sinyalin boyutunu ilgili eksik örnekleme faktörü kadar küçültmek için sinyalin eksik örneklenmesi, burada alt taşıyıcı sayısı faktör (P) ile azaltılmaktadır.

Aşağıda verilen şekiller ve bu şekillere atfen yazılan ayrıntılı açıklama sayesinde buluşun yapısal ve karakteristik özellikleri ile tüm avantajları daha net anlaşılacaktır ve bu nedenle değerlendirme bu şekiller ve ayrıntılı açıklama göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Buluşun Ayrıntılı Açıklaması

Buluş, OFDM teknolojisine dayalı kablosuz algılama ve/veya iletişim ağlarında, yalnızca pilot değerinin önceden bilinmesini gerektirirken, azaltılmış ADC örnekleme hızı ve azaltılmış hesaplama karmaşıklığı ile OFDM iletişim sinyallerini kullanarak düşük maliyetli radar sensörlerine yönelik yüksek bir menzil çözünürlüğü elde etmeye yönelik bir yöntemle ilgilidir. Düşük maliyetli radar sensörleri, sınırlı hesaplama yeteneklerine sahip, düşük örnekleme frekanslarında çalışan ve sınırlı güç kısıtlamalarına sahip sensörlerdir. Örneğin, çevredeki hedefin menzilini tahmin etmeye yönelik olarak bir aracın çevresine yerleştirilen sensörler. Genel olarak, veri alt taşıyıcıları, iletilmek istenen bilinmeyen bilgileri ifade etmektedir. Buluş, bu bilinmeyen veri sembollerini çözebilmek için kanal tahmini ve denkleştirme için kullanılan ve "Pilotlar" olarak adlandırılan OFDM alt taşıyıcılarını kullanmaktadır. Burada pilotlar, kablosuz iletişim sinyalleri için kanal tahmini ve eşitlemeye yönelik kullanılan, iletilen OFDM alt taşıyıcıları olarak bilinmektedir. Pilotlar belirli aralıklarla yerleştirilmektedir/kullanılır, bu da kanal bozulmalarını telafi etmeye yönelik pilot oranına karşılık gelmektedir. Pilotların değerleri sırasıyla alıcıdan ve vericiden bilinmektedir.

Buluşa ilişkin yöntem, OFDM teknolojisine dayalı herhangi bir kablosuz algılama ve/veya iletişim ağı için kullanılabilmektedir. Bununla birlikte, 3GPP tabanlı hücresel ve IEEE 802.11 tabanlı Wi-Fi ağları gibi standartlar veya herhangi bir kablosuz ağ, her iki standartta da sağlanan OFDM dalga formlarının desteği nedeniyle buluşla özellikle ilgilidir [8-9]. Bu nedenle, mevcut buluşta açıklanan yöntem, yukarıda belirtilen standartlardan herhangi birini destekleyebilen herhangi bir cihaz, sistem veya ağ üzerinde uygulanabilmektedir, örneğin: Uzun Vadeli Evrim (LTE), LTE Advanced, 5G New Radio (NR), Wi-Fi.

10 Buluşa ilişkin yöntem, en temelde aşağıdaki proses adımlarını içermektedir;

- OFDM çerçevesine, her sembolün bir pilot hızıyla (S_p) ayrılmış sayısı (N_p) kadar eşit aralıklı pilota sahip olduğu merdiven pilot yapısının kabul edilmesi,

15 • Modüle edilmiş OFDM çerçevesinin zaman alanına dönüştürülmesi ve iletimden önce bir döngüsel ön ek (CP) eklenmesi,

- Alıcı uçta yansıyan OFDM iletişim sinyalinin $P \leq N_P$, $[N_P]_P = 0$ ile N_P 'ye bağlı bir faktör P ile eksik örneklenmesi,

20

- N/P-Nokta Hızlı Fourier Dönüşümü gerçekleştirilerek örtüşen OFDM sinyalinin frekans alanına dönüştürülmesi,

25 • Hızlı Fourier Dönüşümü gerçekleştirildikten sonra, iletilen çerçevenin tamamının önceden bilinmesini gerektirmeden çerçeveyi demodüle etmeye yönelik olarak frekans alanı sinyalinin pilot değerin toplamına bölünmesi,

- Boyutları faktör (P) tarafından küçültülmüş hedeflerin menzil-Doppler haritasını elde etmek için İki Boyutlu Hızlı Fourier Dönüşümünün gerçekleştirilmesi,

30

Söz konusu proses adımlarının ayrıntıları aşağıda açıklanmaktadır.

Önerilen tasarımda, her OFDM sembolünün $S_p = N/N_p$ (N ve M sırasıyla bir semboldeki alt taşıyıcı sayısını ve sembol sayısını temsil etmektedir) aralığına sahip N_p eşit aralıklı ardışık pilot alt taşıyıcıları içerdiği merdiven pilot yapısı kabul edilmiştir. Bitişik sembollerdeki pilotların konumu, birbirini izleyen her bir m OFDM sembolünde bir merdiven şekli oluşturmak için bir alt taşıyıcı ile kaydırılmaktadır. Zaman-frekans alanındaki bu dağılım, pilotların her bir S_p sembolü içindeki her bir frekans bileşenini kapsamasına izin vermektedir. Sonuç olarak, pilot ve veri sembolleri $(d_{k,m})$ ile birlikte önerilen OFDM çerçevesi (burada k ve m sırasıyla alt taşıyıcıların ve sembollerin indisleridir: $k \in [0,1,..., N-1]$, $m \in [0,1,..., M-1]$) düzenlemeleri aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$d_{k,m} = \begin{cases} \text{pilot,} & k = [\eta + m]_N, \eta = 0, S_p, \dots, (N_p - 1)S_p \\ \text{veri,} & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

Buluşun alternatif yapılandırmalarında, tarak tipi pilot düzenlemesi de kabul edilebilmektedir ancak merdiven algılama performansı açısından daha iyidir.

Alıcı ucunda, (sürücüsüz araçta bulunan) sensör yansıyan OFDM iletişim sinyalini (aynı araç tarafından iletilen) $P \leq N_p$, $[N_p]_P = 0$ pilot sayısı ile ilişkili bir faktör P ile eksik örnekleme, örnekleme frekansı Nyquist frekansında ($f_s = N\Delta f$) örneklenmek yerine $f_s = N\Delta f/P$ olmaktadır.

Az örnekleme örtüşmeye neden olmaktadır, ancak bizim durumumuzda, pilotların örtüşmesi (birbirinin üzerine eklenmesi), birbirinin üzerine eklenen veri alt taşıyıcılarının müdahalesinden bağımsız olacak şekilde kasıtlıdır, yani (N/P) aralıklı her bir alt taşıyıcı (P), Şekil.1 (b)'de gösterildiği ve aşağıdaki gibi açıklandığı üzere birbirinin üzerine eklenmektedir:

$$\tilde{d}_{k,m} = \sum_{p=1}^P d_{k+\frac{p-1}{P}N,m}$$

Örtüşen OFDM çerçevesi üzerinde FFT gerçekleştirilmesi, formdaki bir sinyal elde edilmesi:

$$Y_{FFT}(k', m) = \bar{h}_l e^{j2\pi \frac{k_l m}{M}} e^{-j2\pi \frac{k' l_l / P}{N/P}}$$

$k' \in [0,1,..., N-1]$, ve $\bar{h}_i$ ile birlikte, alınan sinyale uygulanan farklı genlik zayıflamalarını içermektedir:

$$\bar{h}_i = h_i e^{-j2\pi f_c \tau_i} \frac{\overbrace{\sum_{p=1}^P \tilde{d}_{k' + \frac{p-1}{P} N, m}}^{\text{Örtüşen alt taşıyıcılar}}}{\sum_{i'=1}^P p_{i'}} \sum_{q=0}^{N/P-1} \left(\frac{e^{j2\pi(-q-\kappa_i)} - 1}{\frac{N}{P} e^{j\frac{2\pi}{N/P}(-q-\kappa_i)} - \frac{N}{P}} \right).$$

5

$$\tau_i = \frac{2R_i}{c} = \frac{l_i}{N\Delta f}, \quad \nu_i = \frac{2V_i f_c}{c} = \frac{k_i}{MT}$$

10 l_i , k_i i'nci hedefe karşılık gelen örneklenmiş gecikmeyi ve Doppler kaymalarını göstermektedir.

FFT (Boyutta (N/P)) gerçekleştirildikten sonra, frekans alanı sinyali geleneksel OFDM gibi iletilen çerçevenin tamamına bölünmek yerine pilot değer 'p'nin P toplamına ($\sum (i=1,$
15 $P(P_i)$ 'ye) bölünmektedir. Bu nedenle, sensörün radar bilgisini çıkarmak için her seferinde iletilen çerçeve hakkında önceden bilgi sahibi olması gerekmemektedir.

Son olarak, menzil-Doppler haritasının elde edilmesi için geleneksel OFDM-radar işleme gerçekleştirilmektedir (2 Boyutlu FFT'ler: menzil için IFFT ve hız için FFT). Menzil-Doppler
20 haritası, iki boyutlu grafik şeklinde zaman-frekans düzleminde ve bir radar sisteminden elde edilen sinyal işleme sonuçlarının gösterimidir. IFFT/FFT (Ters/Hızlı Fourier Dönüşümü), azaltılmış hesaplama işlemleriyle bir sayı dizisinin Ayrık Fourier dönüşümünü (DFT) verimli bir şekilde hesaplamaya yönelik kullanılan bir algoritmadır. Burada sistemin hesaplama karmaşıklığı, başka bir deyişle FFT/IFFT boyutları azaltılmaktadır.

25

Sinyalin eksik örneklenmesi alt taşıyıcı sayısının (P) kadar küçülmesine neden olmaktadır, böylece takip prosesi daha az güç tüketimi, depolama ve gerekli FFT boyutu (karmaşık çarpma sayısı) de dâhil olmak üzere daha düşük karmaşıklıkta olacaktır, ayrıntılar aşağıda belirtilmektedir:

30

Yöntem	Karmaşıklık
Geleneksel OFDM	$\mathcal{O}(2MN\log_2(N)) + \mathcal{O}(NM\log_2(M))$
Önerilen Yöntem	$\mathcal{O}\left(2M\frac{N}{P}\log_2\left(\frac{N}{P}\right)\right) + \mathcal{O}\left(\frac{N}{P}M\log_2(M)\right)$

Buluşun mevcut uygulamalara karşı avantajları aşağıda belirtilmektedir:

- 5 - Önerilen tasarım, OFDM tabanlı algılamaya yönelik azaltılmış ADC örnekleme hızı ile bir HRR algılama sağlamaktadır. Aralık hızı çözünürlükleri ve maksimum net hız korunmaktadır.
- 10 - Alıcı kasıtlı olarak alt taşıyıcıların örtüşmesine neden olmaktadır. OFDM çerçevesindeki pilotun tasarımı veri müdahalesinden arındırılmıştır. Frekans alanının örtüşen sinyali, iletilen çerçevenin tamamı yerine yalnızca pilot değere bölünmektedir.
- 15 - RDM, yalnızca pilot değer bilgisi ile oluşturulmuştur. Ayrıca, hem RDM yapısından hem de frekans alanı dönüşümünden kaynaklanan FFT/IFFT boyutları faktör (P) kadar azaltılmaktadır.
- Ekteki bulunan tasarım, OFDM iletişimini destekleyen tüm cihazlar ve sistemler veya ağlar için geçerlidir.

Kaynakça

- [1] K. Wu, J. A. Zhang, X. Huang, ve Y. J. Guo, "Joint communications and sensing employing multi-or single-carrier OFDM communication signals: A tutorial on sensing methods, recent progress and a novel design," *Sensors*, cilt 22, no. 4, ss. 1613, 2022.
- [2] B. Schweizer, C. Knill, D. Schindler, ve C. Waldschmidt, "Stepped-carrier OFDM-radar processing scheme to retrieve high-resolution range-velocity profile at low sampling rate," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, cilt 66, ss. 1610–1618, 3 2018.
- [3] B. Nuss, J. Mayer, S. Marahrens, ve T. Zwick, "Frequency comb OFDM radar system with high range resolution and low sampling rate," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, cilt 68, ss. 3861–3871, 9 2020.
- [4] O. Lang, R. Feger, C. Hofbauer, ve M. Huemer, "OFDM radar with subcarrier aliasing— reducing the ADC sampling frequency without losing range resolution," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, cilt 71, ss. 10 241–10 253, 10 2022. 2013, ss. 1–5.
- [5] M. Hasan, S. Ahmed, M. Y. A. Hashim, ve M. I. Razzak, "High-performance automotive radar: A review of signal processing algorithms and modulation schemes," *IEEE Access*, cilt 7, ss. 18256-18278, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2894308.
- [6] F. Li, S. Jia, C. Zhang ve Y. Li, "A novel multi-objective artificial bee colony algorithm based on decomposition for feature selection," *Expert Systems with Applications*, cilt 156, s. 113816, Ekim. 2020.
- [8] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (EUTRA); Downlink Multiple Input Multiple Output (MIMO) enhancement for LTE-Advanced (Rel11)," Technical Report 36.871, Mayıs. 2011.
- [9] Laurent Cariou (Intel). EHT Proposed PAR, IEEE 802.11-18/1231r6, Mart 2019.