

## ÖZET

### GEÇİKME-DOPPLER DARBE TABANLI ALGILAMA VE İLETİŞİM YÖNTEMİ

- 5 Mevcut buluş, darbe kanalı tahmini yoluyla yüksek çözünürlüklü aralık-hız profilleri elde edebilen sistem gibi dar bant eklem algılama ve iletişim (JSAC) ortogonal zaman frekans alanı (OTFS) sistemi için gecikme-doppler darbe bazlı algılama ve iletişim yöntemi ile ilgilidir.

## İSTEMLER

1. Kablosuz ortogonal zaman-frekans uzay kanallarını kullanan dar bantlı bir ortak

algılama ve iletişim sistemi için bir alıcı cihaz ile bir verici cihaz arasında bir iletim yöntemi olup, aşağıdaki adımları içermektedir;

Pilot darbe sinyali olarak bir OTFS taşıyıcısı ile bir gecikme-Doppler ızgarasının oluşturulması ve pilot ile veri sembolleri arasındaki girişimi önlemek için pilotu çevreleyen veri ve koruma sembollerinin oluşturulması,

Gecikme-Doppler ızgarasının zaman alanı sinyaline dönüştürülmesi,

Dönüştürülen gecikme-Doppler ızgarasının alıcıya gönderilmesi.

2. İstem 1'e göre bir yöntem olup, gecikme-Doppler ızgarasının aşağıdaki formüle göre doldurulması ile karakterize edilmektedir

$$X(k,l) = \begin{cases} X_p, & l = l_p, k = k_p \\ 0, & l_p - l_\tau \leq l \leq l_p + l_\tau \\ & \text{or } k_p - 2k_v \leq k \leq k_p + 2k_v \\ X_d(l,k), & \text{otherwise} \end{cases}$$

burada  $X_p$ , darbe pilotunun ızgaradaki konumudur,  $l_p$  ve  $k_p$ , sırasıyla darbe pilotunun ızgaradaki gecikme ve Doppler konumudur,  $l_\tau$  ve  $k_v$ , darbe pilotu ile veri veya koruma sembolleri arasındaki mesafedir,  $X_d$ , DD-alanındaki bir veri konumudur.

3. Kablosuz ortogonal zaman-frekans uzay kanallarını kullanan dar bantlı bir ortak algılama ve iletişim sistemi için bir alıcı cihaz ile bir verici cihaz arasında bir alma yöntemi olup, aşağıdaki adımları içermektedir;

İstem 1'e göre alıcının tarafında gecikme-Doppler ızgarasının ayrık zaman alanında alınması ve gecikme-Doppler alanına dönüştürülmesi,

Kanal üzerinden geçtikten sonra alınan pilot sinyali olan  $Y_p$  sinyalini elde etmek için darbe pilotuna denk gelen kutuların seçilmesi.

4. İstem 3'e göre bir yöntem olup, ayrıca aşağıdaki adımları içermesi ile karakterize edilmektedir;

Alınan sinyalin zaman alanına dönüştürülmesi ve kesirli gecikme, gecikme Doppler alanındaki gecikmelerin tam sayısı haline gelinceye kadar modüle edilmesi,  
Alınan sinyalin frekans alanına dönüştürülmesi ve kesirli Doppler kaymaları, gecikme Doppler alanında tamsayı Doppler kaymaları haline gelinceye kadar modüle edilmesi.

5

5. İstem 3'e göre bir yöntem olup, gecikme-Doppler ızgarasının aşağıdaki formüle göre doldurulması ile karakterize edilmektedir

$$Y(k,l) = \begin{cases} Y_p(k,l), & l_p - l_\tau \leq l \leq l_p + l_\tau \\ & \text{or } k_p - 2k_v \leq k \leq k_p + 2k_v, \\ Y_d(k,l), & \text{otherwise} \end{cases}$$

10

burada  $Y_p$ , ızgaradaki darbe pilotuna karşılık gelen kutuların konumudur,  $l_p$  ve  $k_p$  sırasıyla ızgaradaki kutuların gecikme ve Doppler konumudur,  $l_\tau$  ve  $k_v$  kanalın veya koruma sembollerinin maksimum gecikmesine ve Doppler yayılımına dayalı olarak tasarlanmış korumalardır ve  $Y_d$  alınan sinyalin DD alanında veri konumudur.

15

6. İstemler 3 ila 5'ten herhangi birine göre bir yöntem olup, aşağıdakiler ile karakterize edilmektedir;

gecikme ve Doppler'de alınan gecikme-Doppler ızgarasının alıcı tarafından kayma miktarının belirlenmesi,

20

gecikme ve Doppler kaymalarının miktarının sırasıyla verici tarafından iletilen gecikme-Doppler ızgarasını yansıtan bir hedefin menzili ve hızıyla orantılanması.

7. İstem 6'ya göre bir yöntem olup, iletilen gecikme-Doppler ızgarasını yansıtan bir hedefin aralığının ve hızının aşağıdaki adımlarla belirlenmesi ile karakterize edilmektedir:

25

$y_p$ 'yi kesirli kompleks sinüzoidal  $e^{\frac{j2\pi k_f n}{MN}}$  ile çarparak kesirli Doppler  $k_f$  'i ekleme,

burada  $k_f \in [0, \frac{1}{\epsilon}, \frac{2}{\epsilon}, \dots, 1]$  ve  $\epsilon \in N$  toplam ayırıklaştırma sayısıdır,

ilk  $y_p$ 'yi frekans alanına dönüştürerek  $l_f$  kesirli gecikmelerini  $Y_p$ 'ye ekleme,

Frekans alanı sinyalin bir kesirli karmaşık sinüzoidal  $e^{\frac{j2\pi l_f n}{MN}}$  ile çarpma, burada

30

$l_f \in [0, \frac{1}{\epsilon}, \frac{2}{\epsilon}, \dots, 1]$ ,

$y_p'(n) = F^{-1} \left\{ F \left\{ y_p(n) e^{\frac{j2\pi k_f n}{MN}} \right\} e^{\frac{j2\pi l_f n}{MN}} \right\}$  zaman sinyalinin gecikme Doppler alanına dönüştürme ve  $Y_p'(k, l)$ 'yi analiz etme,

5  $Y(k, l)$ 'de meydana gelen kesirli gecikmeler veya Doppler olan sızıntı, gecikme-Doppler alanında kaybolana ve  $Y_p'(k', l')$  'de yalnızca tamsayı kaymaları olana kadar ilk üç adımı farklı  $k_f$  ve  $l_f$  için tekrarlama,

Aşağıdaki formüle göre gecikme ve Doppler kaymalarını belirleme

$$\begin{aligned} k_{real} &= k' - k_f \\ l_{real} &= l' - l_f \end{aligned}$$

10

burada  $k_{real}$  gecikme kayması ve  $l_{real}$  Doppler kaymasıdır ve

aşağıdaki formül ile iletilen gecikme-Doppler ızgarasını yansıtan hedefin aralığını ve hızını belirlenme

15

$$\begin{aligned} R &= \frac{l_{real} c}{2B} \\ V &= \frac{k_{real} c}{2f_c T_{frame}} \end{aligned}$$

burada  $T_{frame}$  çerçeve süresidir ve R aralıktır ve V hızdır ve  $l_{real} c$  hedefe karşılık gelen gecikmedir ve  $k_{real} c$ : Hedefe karşılık gelen Dopplerdir ve  $k_{real} c$  bir taşıyıcı frekanstır.

20

8. Kablosuz ortogonal zaman-frekans uzay kanallarını kullanan dar bantlı bir ortak algılama ve iletişim sistemi için bir alıcı cihaz ile bir verici cihaz arasında bir iletişim ve algılama yöntemi olup, aşağıdaki adımları içermektedir;

25 OTFS taşıyıcısını kullanarak bir pilot darbe sinyali olarak gecikme-Doppler ızgarasının oluşturulması ve pilot ile veri sembolleri arasındaki karışıklığı önlemek için veri ve koruma sembollerinin pilotu çevrelemesi,

gecikme-Doppler ızgarasının zaman alanı sinyaline dönüştürülmesi,

Dönüştürülen gecikme-Doppler ızgarasının alıcıya gönderilmesi,

alıcı tarafında ayrık zaman alanında gecikme-Doppler ızgarasının alınması ve gecikme-Doppler alanına dönüştürülmesi,

5 Kanaldan geçtikten sonra DD alanında alınan pilot olan  $Y_p$  sinyalini elde etmek için darbe pilotuna karşılık gelen kutuların seçilmesi,

gecikme ve Doppler'de alıcı tarafından alınan gecikme-Doppler ızgarasının kayma miktarının belirlenmesi,

10 Gecikme ve Doppler kaymalarının miktarının sırasıyla verici tarafından iletilen gecikme-Doppler ızgarasını yansıtan bir hedefin bir menzili ve bir hızıyla orantılanması.

9. İstem 8'e göre yöntemin adımlarını gerçekleştirmeye yönelik araçlar içeren bir veri işleme cihazı.

15

10. Program bir veri işleme cihazı tarafından yürütüldüğünde, veri işleme cihazının İstem 8'e göre yöntemin adımlarını gerçekleştirmesini sağlayan talimatları içeren bir bilgisayar programı.

20 11. Bir bilgisayar tarafından yürütüldüğünde bilgisayarın İstem 8'e göre yöntemin adımlarını gerçekleştirmesini sağlayan talimatları içeren bilgisayar tarafından okunabilir bir ortam.

modülasyonu destekleyememekte; ortogonal dar bant taşıyıcıları kullanan ortogonal frekans bölmeli çoğullama (OFDM) gibi bir dalga formu, veri hızı iletimini artırır ve dalga formunu kanal etkilerine karşı daha sağlam hale getirmektedir, ancak bu durum diğer taraftan OFDM zaman frekansı kısıtlamasından dolayı aralık ve hız çözümlemelerinin gevşemesine yol açmaktadır.

Gecikme Doppler (DD) alanındaki seyrek kanal gösterimi nedeniyle son zamanlarda JSAC uygulamalarına aday olarak tanıtılan başka bir dalga biçimi OTFS'dir [4]. Bununla birlikte, OTFS yalnızca geniş bant sinyallerini kullanarak umut verici bir algılama yeteneği göstermiştir, bu da uygulamalarını sınırlamakta ve veri iletimi üzerindeki kanal etkileri yüksek frekanslarda daha şiddetli olduğundan iletişim performansını düşürmektedir. Yukarıda belirtilen sınırlamaları gidermek için, OTFS sistemlerinde yüksek çözünürlüklü aralık-hız profili için dar bantlı kısa süreli darbe tabanlı bir JSAC önerilmiştir. Mevcut sistemlerin JSAC teknolojisini benimseme yeteneğinin sınırlamalarını ele almak için bu alanda çok sayıda araştırma yapılmıştır [5]-[13].

OFDM pilot taşıyıcılarının kanalı tahmin etmek için kullanımı, [5] tarafından optimize edilmiş iletişim ve algılama için pilot ve veri tahsislerini araştırılmasıyla tanıtılmıştır. Bu çalışma, dinamik pilot tahsisi kullanılarak incelenen çoklu hedefli menzil sistemi ile devam etmiştir [6]. Son zamanlarda [7] numaralı çalışmadaki yazarlar, hedef parametre tahminini elde etmek için 5G yeni radyoda konuşlandırılan OFDM dalga formunu kullanmıştır. Çalışmalarını çoklu ışın tasarımı ve optimal alt model ataması üzerine kurmuşlardır. Bununla birlikte, bir JSAC dalga biçimi olarak OFDM üzerinde yapılan tüm kapsamlı çalışmalar, Doppler yayılımının neden olduğu diklik kaybı nedeniyle iletişim performansında büyük bir bozulmaya maruz kalmaktadır.

OTFS'nin çalışması aynı zamanda, OTFS'nin otomotiv radarı için etkinliği, alınan yankılardan algılama parametrelerini tahmin etmek için eşleştirilmiş filtreleme temelli bir maksimum olabilirlik (ML) parametre tahmin şeması önerilerek gösterilen ve menzil ve hız için Cramer-Rao alt sınırı (CRLB) türetilen [8] numaralı çalışmada ele alınmıştır.

[9] numaralı çalışmada, yazarlar, OTFS kullanarak bir ışın uzayı MIMO sistemi sunmuş ve hedef keşfi için çoklu hedef olasılık oranı detektörü ve takip sırasında kesirli radar parametre

tahmini için ML tabanlı bir şema önermişlerdir. Ek olarak, DD-alanındaki kanalın yapısal seyrekliğinden yararlanan bir Bayes öğrenme şeması [10] numaralı çalışmada önerilmiştir. Ayrıca, [11] numaralı çalışma, kanal etkilerini tahmin etmek ve önceden eşitlemek ve yansıtılan yankılara dayalı olarak araçların hareket parametrelerini tahmin etmek için yol kenarı birimleri (RSU'lar) birimlerini kullanan, koruma alanı içermeyen sembol yerleştirme şemasına dayalı bir çerçeve sunmaktadır. Son olarak, [12] numaralı çalışmada, yazarlar hem radar algılama hem de iletişim için etkili bir model geliştirmek amacıyla mekansal yayma/geri çıkarmaya olanak tanıyan açışal alanın ayrıştırılmasını kullanarak mekansal olarak yayılmış OTFS (SS-OTFS) temelli bir JSAC iletim çerçevesi önermektedir.

10

Daha önce önerilen şemaların dezavantajları şu şekilde özetlenmiştir:

- Doppler yayılımının OFDM taşıyıcıları arasındaki diklik kaybı nedeniyle OFDM iletişim performansında önemli bozulmalarla karşılaşmaktadır.
- 15 – Yukarıda bahsedilen yöntemler, alıcının genel karmaşıklığını ve maliyetini artıran oldukça karmaşık teknikler önermektedir.
- Daha fazla algılama çözünürlüğü elde etmek için geniş bantlı sinyaller kullanma ihtiyacı, iletişim sisteminin büyük performans düşüşü yaşadığı daha yüksek merkezi frekans kullanımını gerektirmektedir.
- 20 – Çok geniş bant genişliği iletimi, yüksek güç ve proses yetenekleri gerektiren daha yüksek örnekleme frekansıyla sonuçlanmaktadır.
- Bu tekniklerin uygulanması karmaşık ve pahalı olduğundan, düşük karmaşıklıkta cihazlar gibi pratik senaryolarda sınırlı faydaya yol açmaktadır.
- 25 Sonuç olarak yukarıda bahsedilen sorunların tümü ilgili alanda bir yenilik sağlanmasını zorunlu hale getirmiştir.

### **Buluşun Kısa Açıklaması ve Amaçları**

- 30 Bu buluşun temel amacı, uzun süreli geniş bant sinyaller gerektirmeyen, tek OTFS taşıyıcısını bir pilot sinyali olarak kullanarak yüksek çözünürlüklü menzil ve hız profillerini tahmin etme yöntemi oluşturmak ve aynı zamanda doğru kanal tahminini gerçekleştirerek iletişim sisteminin güvenilirliğini artırmaktadır.

Geleneksel geniş bant sinyallerle ilgili dezavantajların üstesinden gelmek için önerilen yöntem benzersiz bir yaklaşım kullanmaktadır. Bu hem kesirli gecikmeyi hem de Doppler kaymalarını tahmin etmek için bir referans sinyal olarak "pulsone" adı verilen tek bir OTFS taşıyıcısını kullanmaktadır. Bu durum, zaman gecikmelerine ve Doppler kaymalarına maruz kaldığında bile pulsone'un şeklini korumasına olanak tanıyan, pulsone'un Fourier dönüşümünün öz-dualite özelliğinden faydalanılmasıyla mümkün olmaktadır. Önerilen yaklaşım, bu özelliklerden yararlanarak, geleneksel geniş bant sinyallerinde karşılaşılan sınırlamaları etkili bir şekilde ele almaktadır. Bu buluş, dar bantlı ve kısa süreli algılamayı desteklediği için herhangi bir kablosuz iletişim cihazında, hatta en düşük seviyedeki basit cihazlarda bile kullanılabilir. Açıklanan buluş iletişim, algılama veya hem iletişim hem algılamayı gerektiren tüm uygulamalarda kullanılabilir.

Açıklanan buluş ayrıca aşağıdaki çözümleri sağlamayı da amaçlamaktadır:

15

Buluş, OTFS dalga biçimini temel alacak yeni nesil JSAC sistemi senaryolarında kullanılabilecek, dar bant sinyalleri kullanarak yüksek çözünürlüklü aralık-hız profilleri elde edebilen, düşük karmaşıklığa sahip bir radar sistemi sunmaktadır.

20

Önerilen teknik, menzil ve hızda yüksek çözünürlük elde etmek için geniş bant sinyallerinin kullanılmasına ilişkin sıkı kısıtlamayı ortadan kaldırmaktadır.

25

Önerilen JSAC şeması, düşük seviye cihazların radar bilgilerini elde etmesine esneklik sağlamakta, bu da önümüzdeki nesillerde JSAC sistemlerinin daha yaygın bir şekilde kullanılmasına yol açmaktadır.

Önerilen buluşun diğer avantajları aşağıdaki şekilde özetlenmektedir:

30

- Alıcıdaki sinyal prosesi oldukça basittir ve algılama prosesinin hesaplama karmaşıklığı esnektir ve gerekli radar algılama doğruluğuna ve cihazın yeteneklerine göre ayarlanabilmektedir.
- Teknik, alınan OTFS pilot sinyalini, kesirli kaymalar DD alanında tam sayılar haline gelene kadar kesirli tonlarla hem zaman hem de frekans alanlarında modüle etmektedir.



- Önerilen tahminci, bir önyargılı tahmincinin en düşük varyanslı tahminini vermektedir ve tüm önyargısız yöntemler arasında en düşük kök ortalama karesel hata (RMSE) performansını elde etmektedir, bu nedenle neredeyse Cramer-Rao sınırına (CRLB) yakınsar ve bu nedenle neredeyse optimumdur.

5

### **Şekillerin Kısa Açıklaması**

Buluş konusunun daha iyi anlaşılabilmesi için gerekli şekiller ve ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

10

**Şekil 1.** Verici tarafındaki pilot ve veri sembollerinin yapısı.

**Şekil 2.** Gecikme Doppler alanındaki pilot darbenin fiziksel şekli.

**Şekil 3a.** Prosesten önce alınan pilot sinyal.

**Şekil 3b.** Prosesten sonra alınan pilot sinyal.

15 **Şekil 4a.** Tahmini aralığın SNRp'ye karşı RMMSE performansı ( $N=M=64$ ,  $f_c = 77\text{GHz}$ ,  $B = 50\text{MHz}$ )

**Şekil 4b.** Tahmini hızın SNRp'ye karşı RMMSE performansı ( $N=M=64$ ,  $f_c = 77\text{GHz}$ ,  $B = 50\text{MHz}$ )

### **20 Buluşun Detaylı Açıklaması**

Açıklanan yöntem, darbe kanalı tahmini aracılığıyla yüksek çözünürlüklü menzil-hız profillerine ulaşabilen JSAC OTFS sistemi önererek düşük karmaşıklıkta bir JSAC sistemi tasarlamak için yeni bir yaklaşım sunmaktadır.

25

OFDM, modern iletişim sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir modülasyon tekniğidir. Yüksek hızlı bir veri akışını birden fazla düşük hızlı alt akışa bölmekte ve bunları bir dizi ortogonal alt taşıyıcı üzerinden paralel olarak eşzamanlı olarak iletmektedir. Her alt taşıyıcı, mevcut bant genişliğinin verimli kullanımına olanak tanıyan dar bantlı bir sinyal kullanılarak

30 modüle edilmektedir.

OTFS, kablosuz iletişim sistemlerinde spektral verimliliği artırmak ve sönümlü kanallar üzerinden veri iletiminin sağlamlığını geliştirmek için kullanılan bir modülasyon tekniğidir.

Veri sembollerinin zaman-frekans alanında iki boyutlu bir ızgaraya eşlenmesi, birden fazla sembolün aynı anda iletilmesine izin verilmesi ve böylece veri hızının artırılması konseptine dayanmaktadır.

- 5 JSAC, algılama ve iletişim işlevlerinin tek bir sistem veya cihazda entegrasyonunu ifade etmektedir. Çevresel bilgi toplamak ve diğer cihaz veya sistemlerle veri veya mesaj alışverişi yapmak için kaynakların ve tekniklerin eş zamanlı kullanımını içermektedir.

10 Açıklanan yöntem, geleneksel geniş bant sinyalinin sınırlamalarını gidermek için Fourier dönüşümünün öz-dualite özelliğinden ve zaman gecikmeleri ve Doppler kaymaları altında şekli koruma yeteneğinden yararlanarak hem menzili hem de hızı tahmin etmek için pilot olarak adlandırılan tek bir OTFS taşıyıcısını kullanmaktadır.

15 Bir kanal bant genişliği ve bir  $f_c$  taşıyıcı frekansı üzerinden JSAC parametre tahminini düşünün. Verici, iletişim amacıyla alıcıya bir mesaj gönderirken, radar parametrelerinin tahmini, yansıyan geri saçılan yankılar kullanılarak yapılmaktadır. Gecikme Doppler alanındaki iletilen çerçeve  $X(k, l)$ , kanaldan geçerken pilot ve veri sembolleri arasındaki girişimi önlemek için bir pilotun koruma sembolleriyle çevrelenmiş gecikme-Doppler ızgarasına yerleştirildiği Şekil 1'dekine benzer bir düzenlemeye sahiptir. Daha sonra, 20 vericideki gecikme-Doppler ızgarası aşağıdaki gibi doldurulmaktadır:

$$X(k, l) = \begin{cases} X_p, & l = l_p, k = k_p \\ 0, & l_p - l_\tau \leq l \leq l_p + l_\tau \\ & \text{or } k_p - 2k_v \leq k \leq k_p + 2k_v \\ X_d(l, k), & \text{otherwise} \end{cases}$$

25 Dikdörtgen darbe şekillendirme kullanıldığında, darbe pilotunun enerji dağılımının Şekil 2'de tasvir edildiğine dikkat edin. Sıfırdan-geçişler nedeniyle birçok darbeyi dik olarak çoğaltabileceğimizi unutmayın. Gecikme Doppler darbe pilotunun (taşıyıcı) üç ana özelliği vardır:

- Özellik 1: Zaman ve Frekans Alanları Arasındaki Öz-Dualite
- Özellik 2: OTFS dalga formunun taşıyıcısının, gecikme-Doppler ızgarasında yarı periyodik olarak uzandığı zaman gecikmesi ve Doppler kaymaları işlemleri altında

şeklini koruduğu Zaman Gecikmesi ve Doppler Kaymaları Altında Şekil Değişmezliği.

- Özellik 3: OTFS dalga formunun taşıyıcısı, zaman gecikmesi ve Doppler kaymaları işlemleri altında şeklini korur ve burada gecikme Doppler ızgarasında yarı periyodik olarak uzandığı Zaman Gecikmesi ve Doppler Kaymaları Altında Şekil Değişmezliği.

RX'te zaman alanı sinyali  $y(n)$  a sinyalini aldıktan sonra, sinyal gecikme-Doppler alanına dönüştürülmekte ve ardından  $Y_p(k, l)$ 'i elde etmek için yalnızca pilota karşılık gelen kutular seçilmektedir.

$$Y(k, l) = \begin{cases} Y_p(k, l), & l_p - l_\tau \leq l \leq l_p + l_\tau \\ & \text{or } k_p - 2k_v \leq k \leq k_p + 2k_v, \\ Y_d(k, l), & \text{otherwise} \end{cases}$$

Kanal etkileri, yani gecikmeler ve Doppler'ler (aralıklar ve hızlar) nedeniyle hem eksen gecikmesinde hem de Doppler'de gecikme alanı darbesi kayar ve kayma miktarı, sinyali yansıtan hedefin aralığı ve hızıyla orantılıdır. Bir alınan pilot sinyalinin bir örneği Şekil 3 (a)'da gösterilmiştir, burada enerjinin komşu gecikme ve Doppler kutularına sızdığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, Şekil 2'de gösterilen darbenin kaymasıdır.

Bu nedenle, gecikme ve Doppler alanlarındaki kaymaların miktarını bulmak bize sırasıyla hedefin tam menzilini ve hızını verecektir.

Bunu yapmak için  $Y_p(k, l)$  tekrar zamana dönüştürülmekte ve  $y_p(n)$  sinyali alınmaktadır.

1,2 ve 3 özelliği kullanılarak, alınan  $Y_p(k, l)$  pilot sinyaline kesirli Gecikmeler ve Doppler'ler aşağıdaki gibi eklenebilmektedir:

Adım 1: Özellik 2'yi kullanarak,  $y_p(n)$  'yi kesirli kompleks sinüzoidal  $e^{\frac{j2\pi k_f n}{MN}}$  ile çarparak kesirli Doppler  $k_f$ 'yi eklemekteyiz; burada  $k_f \in [0, \frac{1}{\epsilon}, \frac{2}{\epsilon}, \dots, 1]$  ve  $\epsilon \in N$  toplam ayırıklaştırma sayısıdır.

Adım 2: Özellik 1'i kullanarak, ilk  $y_p(n)$ 'yi frekans alanına dönüştürerek  $l_f$  kesirli gecikmelerini  $Y_p(n)$  'ye eklemekteyiz. Özellik 1 kullanılarak, frekans sunumu kesirli karmaşık sinüzoidal  $e^{\frac{j2\pi l_f n}{MN}}$  ile çarpılmakta ve daha sonra bu sinyal, zaman alanına dönüştürülmektedir, burada  $l_f \in [0, \frac{1}{\epsilon}, \frac{2}{\epsilon}, \dots, 1]$ .

5

Adım 3:  $y'_p(n) = F^{-1} \left\{ F \left\{ y_p(n) e^{\frac{j2\pi k_f n}{MN}} \right\} e^{\frac{j2\pi l_f n}{MN}} \right\}$  zaman sinyalini gecikme-Doppler alanına dönüştürüyoruz ve  $Y'_p(k, l)$ 'yi analiz etmekteyiz.

Adım 4: Kesirli gecikmeler veya Doppler olan sızıntılar gecikme-Doppler alanında kaybolana ve  $Y'_p(k', l')$ 'de yalnızca Şekil 3(b)'de gösterildiği gibi tamsayı kaymaları olana kadar farklı  $k_f$  ve  $l_f$  için Adım 1, 2 ve 3'ü tekrarlamaktayız.

Adım 5:  $k'$  ve  $l'$ 'nin yeni tam sayı kaymasını elde ettikten sonra gerçek gecikme ve Doppler kaymasını kolayca aşağıdaki gibi bulmaktayız:

15

$$\begin{aligned} k_{real} &= k' - k_f \\ l_{real} &= l' - l_f \end{aligned}$$

Adım 6: Menzil ve hız sırasıyla aşağıdaki gibi tahmin edilebilmektedir:

$$\begin{aligned} R &= \frac{l_{real} c}{2B} \\ V &= \frac{k_{real} c}{2f_c T_{frame}} \end{aligned}$$

20 Burada  $T_{frame}$  çerçeve süresidir.

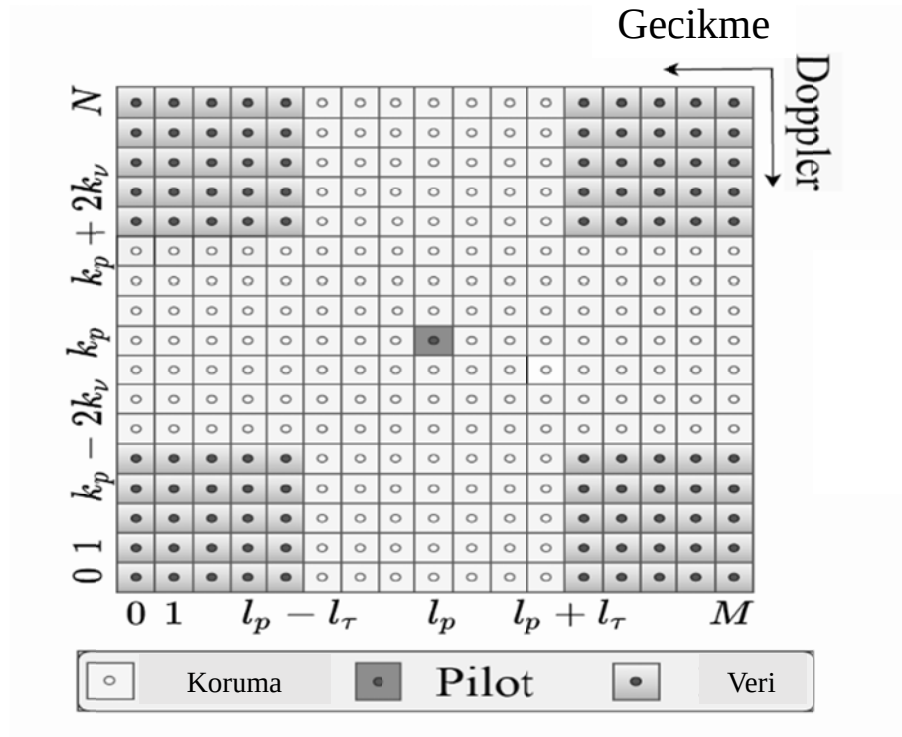
Şekiller 4a ve 4b, SNRp'ye karşı tahmini menzil ve hıza ilişkin buluşun RMMSE performansını göstermektedir. Tahminci, bir yansız tahmin edicinin varyans tahminini azaltmakta ve en düşük kök ortalama karesel hata (RMSE) değerini sağlamaktadır.

## Referanslar

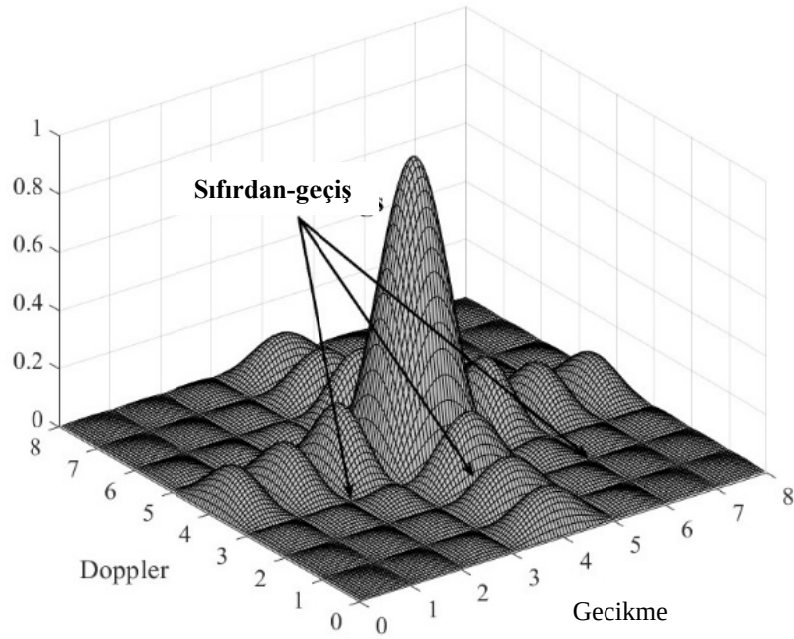
- [1] S. M. Patole, M. Torlak, D. Wang, ve M. Ali, “Automotive radars: A review of signal processing techniques,” *IEEE Signal Processing Magazine*, cilt. 34, no. 2, s. 22–35, 2017.
- 5 [2] C. Waldschmidt, J. Hasch, ve W. Menzel, “Automotive radar — from first efforts to future systems,” *IEEE Journal of Microwaves*, cilt. 1, no. 1, s. 135–148, 2021.
- [3] J. R. Klauder, A. Price, S. Darlington, ve W. J. Albersheim, “The theory and design of chirp radars,” *Bell System Technical Journal*, cilt. 39, no. 4, s. 745–808, 1960.
- [4] R. Hadani, S. Rakib, M. Tsatsanis, A. Monk, A. J. Goldsmith, A. F. Molisch, ve R.  
10 Calderbank, “Orthogonal time frequency space modulation,” in *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2017, s. 1–6.
- [5] C. D. Ozkaptan, E. Ekici, O. Altintas, ve C.-H. Wang, “OFDM pilotbased radar for joint vehicular communication and radar systems,” in *Vehicular Networking Conference (VNC)*. IEEE, 2018, s. 1–8.
- 15 [6] C.-H. Wang, O. Altintas, C. D. Ozkaptan, ve E. Ekici, “Multi-range joint automotive radar and communication using pilot-based OFDM radar,” in *Vehicular Networking Conference (VNC)*. IEEE, 2020, s. 1–4.
- [7] L. Pucci, E. Paolini, ve A. Giorgetti, “System-level analysis of joint sensing and communication based on 5g new radio,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*,  
20 cilt. 40, no. 7, s. 2043–2055, 2022.
- [8] L. Gaudio, M. Kobayashi, G. Caire, ve G. Colavolpe, “On the effectiveness of OTFS for joint radar parameter estimation and communication,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, cilt. 19, no. 9, s. 5951–5965, 2020.
- [9] S. K. Dehkordi, L. Gaudio, M. Kobayashi, G. Colavolpe, ve G. Caire, “Beam-space  
25 MIMO radar with OTFS modulation for integrated sensing and communications,” in *International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*. IEEE, 2022, s. 509–514.
- [10] C. Liu, S. Liu, Z. Mao, Y. Huang, ve H. Wang, “Low-complexity parameter learning for OTFS modulation based automotive radar,” in *International Conference on Acoustics, Speech  
30 and Signal Processing (ICASSP)*. IEEE, 2021, s. 8208–8212.
- [11] W. Yuan, Z. Wei, S. Li, J. Yuan, ve D. W. K. Ng, “Integrated sensing and communication-assisted orthogonal time frequency space transmission for vehicular

networks,” IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, cilt. 15, no. 6, s. 1515–1528, 2021.

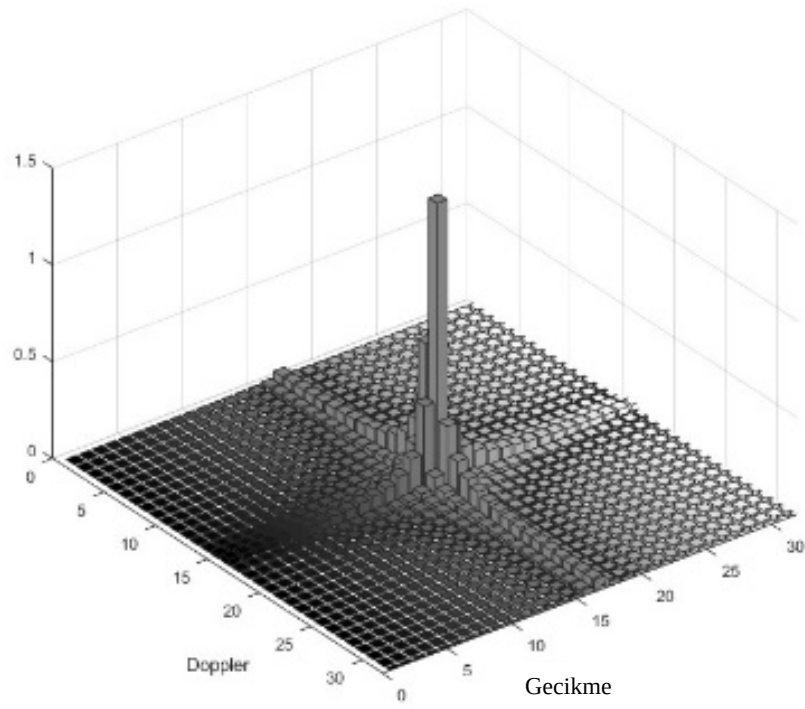
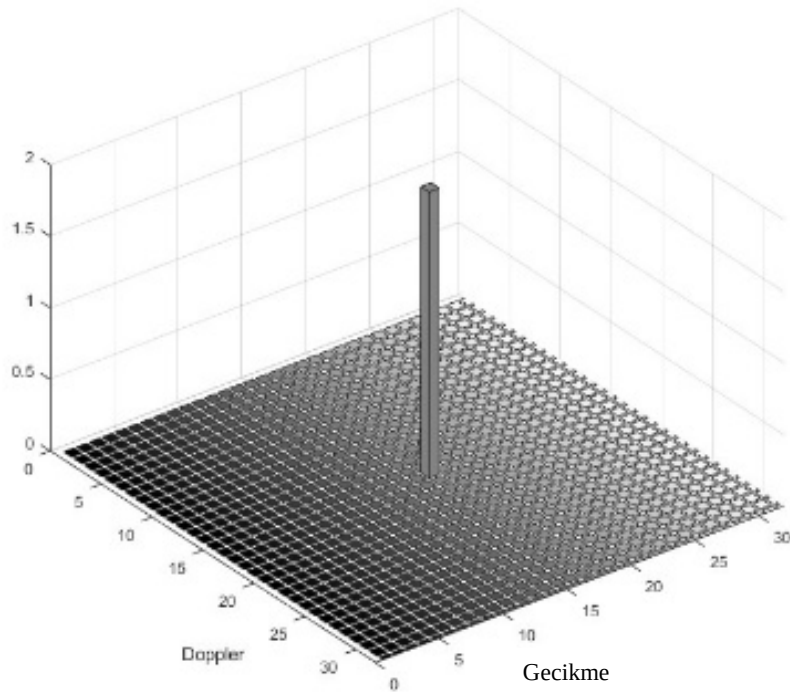
- [12] S. Li, W. Yuan, C. Liu, Z. Wei, J. Yuan, B. Bai, ve D. W. K. Ng, “A novel ISAC transmission framework based on spatially-spread orthogonal time frequency space modulation,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, cilt. 40, no. 6, s. 1854–1872, 2022.



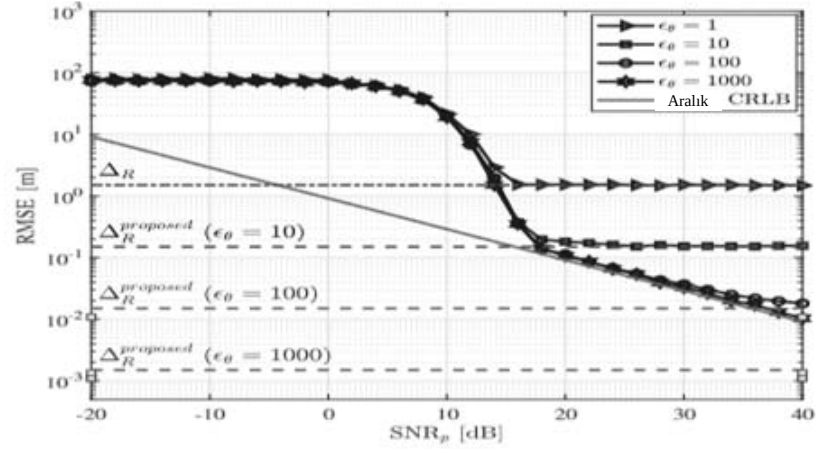
ŞEKİL 1



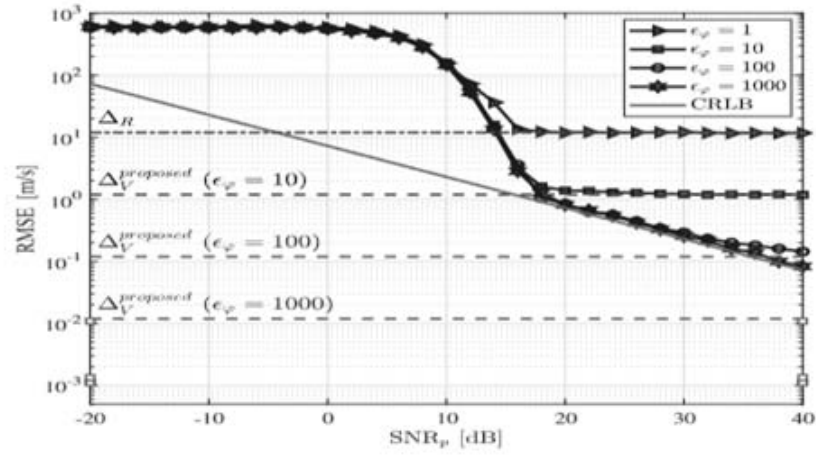
ŞEKİL 2

**ŞEKİL 3a****ŞEKİL 3b**





ŞEKİL 4a



ŞEKİL 4b