

ÖZET

OFDM SİSTEMLERİ İÇİN TEKRARLANAN CHIRP'LERİ KULLANARAK ÇİFT SEÇİCİ KANAL TAHMİN VE ALGILAMA YÖNTEMİ

5

Bu yenilik, tekrarlanan chirp sinyallerinden (CS) yararlanarak Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) sistemlerinde hem doğrusal zamanla değişen kanal tahmini hem de düşük karmaşıklıkta algılama için yeni bir yöntem sunmaktadır. Frekans alanındaki tek bir OFDM sembolü içinde chirp'leri ortogonal olarak entegre ederek, yöntem çevresel algılamayı kolaylaştırırken kanal katsayılarının, gecikmenin ve Doppler kaymalarının eşzamanlı olarak tahmin edilmesini sağlamaktadır. Chirp'lerin zaman içinde tekrarlanması frekans alanında seyrek bir dağılım oluşturmaktadır ve her bir OFDM sembolü içinde tekrarlanan chirp'lerin sayısı frekans alanında tahsis edilen alt taşıyıcı sayısını belirlemektedir, kalan alt taşıyıcılar OFDM verisine (D) tahsis edilmektedir, bu da kesintisiz veri (D) iletimi, çevresel algılama ve kanal tahmini sağlamaktadır.

10

15

İSTEMLER

- 1- Buluş, OFDM sistemleri için tekrarlanan chirp'leri kullanarak çift seçici kanal tahmin ve algılama yöntemi ile ilgili olup, bu yöntem aşağıdakileri **içermektedir**;

5

- i. tanımlanmış bir bant genişliği boyunca süpüren tekrarlanan chirp sinyallerinin (CS) üretilmesi ve bunların bir OFDM sembolünün belirli alt taşıyıcılarına gömülmesi,
- ii. tekrarlanan chirp sinyallerinin ve OFDM veri (D) alt taşıyıcılarının frekans alanında ortogonal birlikteliğinin sağlanması,
- iii. dinamik ortamlarda kanal katsayılarını, gecikmeleri ve Doppler kaymalarını tahmin etmek için tekrarlanan chirp sinyallerinin kullanılması, ve
- iv. chirp giderme ve Fourier Dönüşümü tekniklerini kullanarak, hedeflerin menzili ve hızı da dahil olmak üzere algılama bilgilerini ayıklamak için yansıyan tekrarlanan chirp sinyallerinin işlenmesi.

10

15

- 2- İstem 1'e göre yöntem olup, burada tekrarlanan chirp sinyalleri frekans alanında periyodik olan alt taşıyıcı indislerini meşgul edecek şekilde yapılandırılmıştır, böylece gelişmiş algılama ve kanal tahmin performansı için seyrek temsil sağlanmaktadır, tekrarlanan chirp'lerin frekans alanı temsili aşağıdaki şekilde verilmektedir:

20

$$S_K(m) = \sum_{k=0}^{K-1} e^{-j2\pi mk/K} \sum_{p=0}^{M-1} s^{\text{chirp}}(p) e^{-j2\pi mp/N}$$

burada $S_K(m)$ frekans alanında tekrarlanan chirp'i temsil etmektedir, K tekrar sayısıdır, M chirp başına örnek sayısıdır, p ve m sırasıyla zaman ve frekans indisleridir.

25

- 3- İstem 1'e göre yöntem olup, burada kanal etkileriyle mücadele etmek için OFDM sembolüne bir döngüsel önek (CP) eklenmektedir ve chirp sinyallerinin zaman alanı kesintisizliğini sağlamak için bir faz düzeltmesi uygulanmaktadır, zaman alanı kesintisizliği için, i'inci tekrarlanan chirp'ler için frekans alanındaki faz kayması aşağıdaki şekilde verilmektedir:

30

$$s_{Chirp}^i(n - iL_{cp}) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{m=0}^{N-1} S_K^i(m) e^{j2\pi \frac{m(n-iL_{cp})}{N}}$$

Burada L_{cp} döngüsel önek (CP) uzunluğu, $S_K^i(m)$ ise i'nci tekrarlanan chirp'lerin frekans alanı gösterimidir.

5

4- İstem 1'e göre yöntem olup, burada algılama alıcısı hedef mesafesiyle orantılı bir vuruş frekansı oluşturmak için chirp giderme işlemi kullanmaktadır ve menzil ve hızı belirlemek için Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) gerçekleştirmektedir.

10 5- İstem 1'e göre yöntem olup, burada kanal tahmini dinamik kanal kademeleri ile ilişkili alt taşıyıcıları ayırarak ve her bir Doppler kayması için gecikmeleri bağımsız olarak tahmin ederek gerçekleştirilmektedir, çift seçici kanal aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir:

$$h(n) = \sum_{i=0}^{Q-1} h_i e^{j2\pi \frac{f_i(n-l_i)}{N}} \delta(n - l_i)$$

15

burada h_i karmaşık kanal katsayısı, f_i Doppler kayması, l_i gecikme, Q ise kademe sayıdır.

20 6- İstem 1'e göre yöntem olup, burada tekrarlanan chirp'lere tahsis edilen güç, veri (D) alt taşıyıcıları ile girişimi en aza indirmek ve kanal tahmin doğruluğunu arttırmak için uyarlanabilir şekilde ayarlanabilmektedir, kanaldan geçtikten sonra alınan sinyal aşağıdaki şekilde verilmektedir:

$$y(n) = \sum_{i=0}^{Q-1} h_i e^{j2\pi \frac{f_i(n-l_i)}{N}} s_{Chirp}^{OFDM}(n - l_i)$$

25

burada $y(n)$ alınan sinyal, h_i , f_i ve l_i kanal parametreleri, $s_{Chirp}^{OFDM}(n)$ ise iletilen OFDM-Chirp tabanlı sinyaldir.

7- OFDM sistemlerinde entegre algılama ve iletişime (ISAC) yönelik sistem olup, aşağıdakileri içermektedir;

- i. tekrarlanan chirp sinyalleri ve iletişim verilerini (D) bir OFDM sembolüne gömmek üzere yapılandırılmış bir OFDM modülatörü,
- ii. tekrarlanan chirp'lere uygun şekilde bir faz kayması uygulanırken kanala karşı dayanıklılığı artırmak için bir döngüsel önek (CP) üretici-,
- iii. hedef bilgiyi ayıklamak üzere yansıyan chirp'leri işlemek için bir algılama alıcısı ve
- iv. çift seçici ortamlarda kanal parametrelerini tahmin etmek için tekrarlanan chirp sinyalini kullanmak üzere yapılandırılmış bir kanal tahmincisi.

8- İstem 7'ye göre sistem olup, menzil ve hız bilgilerini ayrıştırmak için çoklu chirp'leri işleyerek Doppler kaymalarını telafi eden algılama alıcısına sahiptir.

9- İstem 7'ye göre sistem olup, frekans alanındaki periyodik alt taşıyıcı indislerine chirp sinyallerini eşleyerek (30) chirp ve veri (D) alt taşıyıcılarının ortogonal birlikteliğini sağlayan OFDM modülatörüne sahiptir.

10- İstem 7'ye göre sistem olup, burada algılama ve iletişim süreçleri, spektral verimliliği en üst düzeye çıkarmak ve karşılıklı etkileşimi en aza indirmek için entegre çalışmasını sağlayacak şekilde yapılandırılmıştır.

TARİFNAME

OFDM SİSTEMLERİ İÇİN TEKRARLANAN CHIRP'LERİ KULLANARAK ÇİFT SEÇİCİ KANAL TAHMİN VE ALGILAMA YÖNTEMİ

5

Teknik Alan:

Bu buluş, doğru kanal tahmini, verimli spektral kullanım ve düşük karmaşıklıkta algılamanın hızla değişen koşullarda güvenilir performans sağlamak için kritik öneme sahip olduğu yeni nesil kablosuz ağlar, araç iletişim sistemleri ve entegre algılama ve iletişim (ISAC) senaryoları gibi dinamik iletişim ortamlarında uygulanabilen OFDM sistemleri için tekrarlanan chirp'leri kullanarak çift seçici kanal tahmini ve algılama yöntemi ile ilgilidir.

15

Tekniğin Bilinen Durumu:

Tekniğin bilinmesi durumunda, OFDM sistemlerinde kanal tahmini büyük ölçüde zaman ve frekans alanları boyunca periyodik olarak eklenen pilot sembollere dayanıyordu. Geleneksel yöntemler, doğruluk ve verimlilik arasında bir denge kurmak için tekdüze aralık, rastgele dağıtım veya uyarlanabilir yerleştirme gibi stratejiler kullanmıştır. Örneğin bir OFDM sembolünün tamamının pilotlar için tahsis edildiği eğitim sembollerinin periyodik olarak iletilmesi, kanalın tahmin edilmesinde etkiliydi ancak veri veriminin azalması nedeniyle önemli spektral verimsizliğe neden oldu. Öte yandan pilot destekli kanal tahmini, frekans seçici kanallarda orta düzeyde kanal tahmin doğruluğu sağlamış ancak sınırlı zaman alanı çözünürlüğü nedeniyle hızlı solma veya yüksek dinamik koşullarda zorlanmıştır [1]. Dağınık veya uyarlanabilir pilotlar gibi gelişmiş teknikler değişen ortamlarda tahmini iyileştirmiş ancak karmaşıklığı arttırmıştır.

[2]'de önerilen alternatif bir yaklaşım, OFDM ve chirp'lerin ortogonal birlikteliğini, chirp'lerin kanal tahmini ve algılama için pilot olarak kullanıldığı ve sürelerinin döngüsel örnek (CP) süresiyle eşleştiği bir OFDM sembolü içinde K tekrarlanan chirp'leri birleştirerek tanıtmıştır. Bu yöntem frekans alanında ortogonallığı sağlamasına rağmen önemli sınırlamaları vardı. Chirp süresinin CP ile kısıtlanması algılama performansını düşürmüştür, çünkü gelişmiş algılama yetenekleri için gerekli olan daha uzun chirp süreleri spektral verimliliği tehlikeye atacaktır. Ek olarak, chirp'ler analog alanda üretilmiş, iki RF zinciri ve

bunlar arasında hassas senkronizasyon gerektirmiş, bu da hem mono hem de bi-statik algılama senaryoları için zorluklar ortaya çıkarmıştır. Dahası, kanal tahmini yalnızca frekans seçici kanallar için ele alınmış, zaman değişimlerinin kritik bir rol oynadığı dinamik kanal koşulları ihmal edilmiştir.

5

OFDM tabanlı algılama yöntemleri ek zorluklarla karşı karşıyadır. Çevresel değişiklikleri izlemek amacıyla kanal durum bilgisini (CSI) tahmin etmek için kullanılan pilotlar genellikle veri verimini azaltmaktadır ve dikkatli bir optimizasyon gerektirmektedir. Karmaşık ortamlardaki çok yollu yansımalar algılanan bilgiyi bozarak hedef tespiti ve lokalizasyonunu zorlaştırabilmektedir. Geleneksel yaklaşımlar, zaman-frekans aradeğerlemesi için tarak benzeri pilot yerleştirme ve ardından nesne konumlarını ve hızlarını ortaya çıkaran menzile Doppler haritaları oluşturmak için 2D FFT işlemeyi içermektedir. Ancak bu, IF bandından bilgi alan radar chirp tabanlı algılamaya kıyasla hesaplama karmaşıklığını arttırmaktadır. Ayrıca frekans alanında tasarlanan pilotlar, sinyal kopyalarının farklı Doppler kaymaları ile geldiği ve taşıyıcılar arası girişime (ICI) neden olan Doppler yayılımını ele almak için optimize edilmemiştir. Bu girişim, özellikle veri ve pilotlar aynı OFDM sembolü içinde birlikte bulunduğunda kanal tahminini ve iletişim performansını düşürmektedir.

Kablosuz iletişim teknolojilerindeki hızlı ilerleme ve bunların getirdiği artan taleplerle birlikte, yaklaşmakta olan 6G ağları, gelişen hizmet gereksinimlerini karşılamak için yenilikçi çözümler gerektirecektir. Bunlar arasında en umut verici yaklaşımlardan biri ortak algılama ve iletişimdir (JSAC). İletişim ve algılama işlevlerini sorunsuz bir şekilde entegre eden JSAC, ağ düğümlerinin yalnızca veri iletmekle kalmayıp aynı zamanda çevrelerini algılamalarını sağlayarak gelişmiş sistem güvenilirliği, gelişmiş karar verme ve optimize edilmiş kaynak verimliliği sağlamaktadır. Bununla birlikte, radyo spektrumunda giderek artan tıkanıklıkla birlikte, kaynakları verimli bir şekilde yönetebilecek, girişimi azaltabilecek ve hem iletişim hem de algılama işlevlerini sağlayabilecek uygun bir dalga biçimi tasarlamak çok önemlidir. OFDM, spektral verimliliği ve sağlamlığı nedeniyle modern iletişim sistemlerinin temel taşı olsa da, algılama görevlerini yerine getirme konusunda doğal bir kabiliyetten yoksundur.

30

Mevcut OFDM modülatörleriyle geriye dönük uyumluluğu korurken bu sınırlamayı ele almak için, chirp sinyallerini dahil ederek OFDM iletişimini geliştirmeyi öneriyoruz. Bu chirp'ler iki amaca hizmet etmektedir: yüksek çözünürlüklü algılama için karmaşıklığı azaltmanın yanı sıra hem statik hem de dinamik ortamlarda doğru kanal tahminini kolaylaştırmakta ve böylece

geleneksel iletişim sistemleri ile ortaya çıkan JSAC paradigması arasındaki boşluğu doldurmaktadır.

Sonuç olarak, verimli kanal tahmini ve algılaması sağlamak, Doppler yayılma etkilerini azaltmak, spektral verimsizliği en aza indirmek, dinamik kanal koşullarını ele almak ve yeni nesil 6G ağlarında karmaşıklık, doğruluk ve performans arasındaki dengeyi sağlamak için OFDM sembollerine pilot olarak tekrarlanan chirp'leri entegre eden yeni bir yöntem ihtiyacı vardır.

Referanslar:

[1] M. a. A. H. Özdemir, "Channel estimation for wireless OFDM systems," IEEE Communications Surveys and Tutorials, s. 9.2, 2007.

[2] E. a. S. M. M. a. A. H. Memişoğlu, "Orthogonal coexistence of overlapped radar and communication waveforms," in 2022 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2022.

Buluşun Açıklaması:

Yukarıda belirtilen ve aşağıdaki ayrıntılı açıklamadan ortaya çıkacak olan tüm hedefleri gerçekleştirecek olan buluş; chirp sinyallerini entegre ederek OFDM iletişimini geliştirirken mevcut OFDM modülatörleri ile geriye dönük uyumluluğu korumayı amaçlamaktadır. Bu chirp'ler iki amaca hizmet etmektedir: yüksek çözünürlüklü algılama için azaltılmış karmaşıklığa ek olarak hem statik hem de dinamik ortamlarda doğru kanal tahminini kolaylaştırmaktadır, böylece geleneksel iletişim sistemleri ile ortaya çıkan JSAC paradigması arasındaki boşluğu doldurmaktadır.

Bu buluşun yöntemi, OFDM'nin sağlam temeli üzerine, sadece yerleşik faydalarını korumakla kalmayıp aynı zamanda yeni işlevlerin kilidini açacak şekilde chirp'leri entegre ederek inşa edilmiştir. Bu, mevcut altyapılarla uyumluluğu korurken, verimli spektrum kullanımını sağlarken ve gelecekteki kablosuz sistemlerde iletişim ve algılamanın ikili gereksinimlerini desteklerken 6G ağlarına sorunsuz bir geçiş sağlamaktadır.

Önerilen buluş aşağıdaki avantajları sunmaktadır:

1. Çift Seçici Kanallarda Kanal Tahmini: Frekans alanında pilot olarak tekrarlanan chirp'leri kullanarak çift seçici kanallarda kanal tahminini kolaylaştırmaktadır.
2. OFDM'den Tekrarlanan Chirp'ler Üretme: OFDM vericisini kullanarak tekrarlanan chirp'ler üretmeye izin vermektedir.
- 5 3. Ortak Algılama ve İletişim: Eşzamanlı algılama ve iletişim işlevlerini etkinleştirmektedir.
4. Tek RF Zinciri Uygulaması: Hem OFDM hem de tekrarlanan chirp'ler aynı RF zinciri kullanılarak üretilmektedir ve donanım karmaşıklığı azaltılmaktadır.
5. Geriye Dönük Uyumluluk: Mevcut OFDM sistemleri ile sorunsuz entegrasyon
- 10 sağlamaktadır ve ekstra donanım gerektirmez.
6. Düşük Karmaşıklıkta Algılama: Algılama uygulamaları için düşük karmaşıklıkta bir çözüm sağlamaktadır.

Toplumsal Etki:

- 15 • Gelişmiş Afet Yönetimi: Chirp tabanlı algılama ve OFDM iletişiminin entegrasyonu, hassas gerçek zamanlı konum takibi ve çevresel izleme sağlayarak doğal afetler veya acil durumlar sırasında müdahale sürelerini ve koordinasyonu iyileştirmektedir.
- Daha Güvenli Ulaşım Sistemleri: Algılama ve iletişimi birleştiren bu teknoloji, araçtan her şeye (V2X) iletişimi geliştirerek daha güvenli otonom araçları ve verimli trafik
- 20 yönetimini desteklemektedir.
- Gelişmiş Uzaktan İzleme: Chirp tabanlı algılamanın, özellikle yetersiz hizmet alan veya kırsal alanlarda kritik sağlık uygulamaları için doğru veriler sağladığı sağlam ve verimli uzaktan sağlık izleme sağlamaktadır.
- Kaynak Optimizasyonu: Enerji tasarruflu ve spektrum tasarruflu 6G sistemlerini
- 25 kolaylaştırarak yaygın dağıtım için altyapı ve işletme maliyetlerini azaltmaktadır.
- Akıllı Şehir Uygulamaları: Uyarlanabilir trafik ışıkları, atık yönetimi ve kentsel planlama gibi akıllı altyapı için entegre algılama ve iletişimi destekleyerek daha verimli ve sürdürülebilir şehirler sağlamaktadır.

30 Buluş konusu yöntemin yapısal ve karakteristik özellikleri ile tüm avantajları aşağıda verilen şekiller ve bu şekillere atıfta bulunularak yazılan ayrıntılı açıklama sayesinde daha net anlaşılacağından değerlendirme bu şekiller ve ayrıntılı açıklama dikkate alınarak yapılmalıdır.

Şekillerin açıklaması:

Buluşun özelliklerinin daha net anlaşılması ve takdir edilebilmesi için buluş, ekli şekillere atıfta bulunularak açıklanacaktır ancak bunun amacı buluşu bu belirli yapılandırmalarla sınırlamak değildir. Aksine, ekli istemler tarafından tanımlanan buluş alanına dahil edilebilecek tüm alternatifleri, değişiklikleri ve eşdeğerlikleri kapsamayı amaçlanmaktadır. Gösterilen ayrıntıların sadece mevcut buluşun tercih edilen yapılandırmalarını tanımlamak amacıyla gösterildiği ve hem yöntemlerin şekillendirilmesi hem de buluşun kurallarının ve kavramsal özelliklerinin en uygun ve kolay anlaşılabilir şekilde tanımlanmasını sağlamak amacıyla sunulduğu anlaşılmalıdır. Bu çizimlerde;

10

- Şekil 1 Sistem modellerinin şematik bir görünümü
Şekil 2 Örnek bir alıcı-verici tasarımının şematik bir görünümü
Şekil 3 Faz düzeltmesinden önce ve sonra chirp'lerin görünümü

- 15 Mevcut buluşun anlaşılmasına yardımcı olacak şekiller ekli resimde gösterildiği üzere numaralandırılmış ve aşağıda isimleriyle birlikte verilmiştir.

Referansların Açıklanması:

- 20 BS. Baz İstasyonu
UE. Kullanıcı Cihazı
CS. Chirp Sinyali
CP. Döngüsel Önek
CP1. Döngüsel Önek 1
25 CP2. Döngüsel Önek 2
S1. Sembol 1
S2. Sembol 2
FFT. Hızlı Fourier Dönüşümü
IFFT. Ters Hızlı Fourier Dönüşümü
30 D. Veri
NS. Kayma Yok
WS. Kaymalı
C. Kesintisiz
Pd. Faz Kesintiliği

10. $\frac{N}{\alpha}$ Örnekleri
20. Üst Örnekleme α
30. Eşleme
40. Modülasyon
50. CP ekleme
60. Konjugasyon
70. Radar İşleme
80. RF Ön Uç

10 Buluşun Ayrıntılı Açıklaması:

Sistem modeli, bir baz istasyonunun (BS) çevresel algılama gerçekleştirirken aynı anda birden fazla kullanıcı cihazına (UE) hizmet verdiği entegre bir algılama ve iletişim (ISAC) senaryosunu dikkate almaktadır. Baz istasyonu (BS), pilot olarak kullanıldıkları için algılama ve kanal tahminini mümkün kılmak için her OFDM sembolü içinde belirli alt taşıyıcılara gömülü tekrarlanan chirp'lere sahip OFDM dalga biçimini kullanmaktadır. İletişim verileri (D) kalan alt taşıyıcılar kullanılarak kullanıcı cihazlarına (UE) iletilmektedir. Bu birliktelik, hem iletişim hem de algılama gereksinimlerini karşılarken verimli kaynak kullanımı sağlamaktadır. Burada açıklanan sistem modelinin örnek bir gösterimi Şekil 1'de gösterilmektedir.

OFDM Sinyal Modeli:

N veri (D) sembollerinin taşıyıcı frekansında f_c toplam bant genişliği B üzerinde OFDM kullanılarak modüle edildiğini düşünelim. OFDM modülatörü bu sembolleri $\{X(m), m = 0, \dots, N-1\}$ frekans alanında eşlemektedir. Her bir N alt taşıyıcının bant genişliği $\Delta f = \frac{B}{N}$ olarak tanımlanırsa, OFDM sembolünün zaman periyodu $T = \frac{1}{\Delta f}$ olmaktadır. Sonuç olarak, frekans alanı örnekleri $X(m)$ Ters Hızlı Fourier Dönüşümü (IFFT) kullanılarak zaman alanına dönüştürülmelidir. Dolayısıyla OFDM modülatörünün ayrık çıkışı aşağıdaki şekilde verilmektedir

$$s^{\text{OFDM}}(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{m=0}^{N-1} X^{\text{OFDM}}(m) e^{j2\pi \frac{mn}{N}},$$

ve aşağıdaki gibi bir matris formunda da tanımlanabilmektedir

$$\mathbf{S}^{\text{OFDM}} = \mathbf{F}_N^H \mathbf{X}^{\text{OFDM}}.$$

5 Chirp Sinyali (CS) Modeli:

Ayrık zaman alanında doğrusal bir Chirp sinyali (CS) düşünelim, s^{chirp} bir zaman periyodunda T_c bant genişliği B_c boyunca doğrusal olarak süpüren ve zaman-bant genişliği çarpımı $M = \eta T_c^2$ sıfır olmayan bir tamsayıdır, burada $\eta = B_c/T_c$ chirp oranıdır. s^{chirp} 'in ayrık zaman alanı gösterimi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir

10

$$s^{\text{chirp}}(p) = e^{j\pi \frac{p^2}{M}}, \quad 0 \leq p < M.$$

Tekrarlanan Chirp Sinyali (CS):

Sinyal $s_K(n)$, $s^{\text{chirp}}(p)$ 'in K kez tekrarlanmasıyla oluşturulsun, burada K ikinin tam sayısı kuvvetidir, böylece vektör formunda aşağıdaki gibi yazılabilen $N = M \cdot K$ örnekleri elde edilmektedir

15

$$\mathbf{s}_K = \mathbf{1}_K \otimes \mathbf{s}^{\text{chirp}},$$

20 veya eşdeğer olarak ayrık zamanda aşağıdaki şekildedir

$$s_K(n) = s^{\text{chirp}}([n]_M), \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

Burada $[.]_M$, M 'in modulusudur. Frekans alanında tekrarlanan chirp'ler aşağıdaki şekilde verilmektedir

25

$$S_K(m) = \sum_{n=0}^{N-1} s^{\text{chirp}}([n]_M) e^{-j2\pi mn/N}, \quad m = 0, 1, \dots, N-1$$

$s_K(n)$, periyot M ile periyodik olduğu için $n = p + kM$ 'yi $k = 0, \dots, K-1$

30 ve $p = 0, 1, \dots, M-1$ olacak şekilde ayarlayabiliriz, dolayısıyla aşağıdakileri yazabiliriz

$$S_K(m) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{p=0}^{M-1} s^{\text{chirp}}(p) e^{-j2\pi m(p+kM)/N}$$

bu da aşağıdaki gibi yazılabilmektedir

$$S_K(m) = \sum_{k=0}^{K-1} e^{-j2\pi mk/K} \sum_{p=0}^{M-1} s^{\text{chirp}}(p) e^{-j2\pi mp/N}$$

Dış toplamı almak aşağıdaki gibi ayrık bir delta fonksiyonu verecektir

$$\sum_{k=0}^{K-1} e^{-j2\pi mk/K} = \begin{cases} K, & m \bmod K = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bu $S_K(m)$ 'in yalnızca $m = 0, K, 2K, \dots, (M-1)K$ için sıfırdan farklı olduğu anlamına gelmektedir.

$m' = 0, \dots, M-1$ olmak üzere $m' = m/K$ ayarlanınca aşağıdakileri yazabiliriz

$$\sum_{p=0}^{M-1} s^{\text{chirp}}(p) e^{-j2\pi m'p/M}$$

Bu da aşağıdaki gibi yazılabilmektedir

$$\sum_{p=0}^{M-1} e^{j\pi \frac{p^2}{M}} e^{-j2\pi m'p/M} = e^{-j\pi \frac{m'^2}{M}} \sum_{p=0}^{M-1} e^{-j2\pi (p-m')^2/M}$$

Toplamın terimini analiz ederek $\sum_{p=0}^{M-1} e^{-j2\pi (p-m')^2/M}$ in bir sabite yaklaştırılabileceği sonucuna varırız. Dolayısıyla tekrarlanan bir chirp'in ayrık Fourier dönüşümü tam olarak m' frekans indisindeki s^{chirp} tek chirp'in DFT'sidir. Son olarak, tekrarlanan chirp'lerin ayrık Fourier dönüşümü aşağıdaki şekilde verilebilmektedir

$$S_K(m) = \begin{cases} K \cdot e^{-j\pi \frac{m^2}{M}}, & m \bmod K = 0 \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

$S_K(m)$ tekrarlanan chirp'lerin OFDM ile ortogonal olarak birlikte olabileceğini göstermektedir.

5

OFDM ve Tekrarlanan Chirp'ler:

Tekrarlanan chirp'ler ve OFDM arasında frekans alanında ortogonal bir birliktelik, kullanılan N alt taşıyıcılı OFDM sembolü ve her chirp'in örnek sayısı M olan K kez tekrarlanan chirp'ler için, her ikisi de aşağıdaki gibi birlikte olabilmektedir

10

$$X_{Chirp}^{OFDM}(m) = \begin{cases} K \cdot e^{-j\pi \frac{m^2}{M}}, & m \bmod K = 0 \\ X^{data}(m), & otherwise \end{cases}$$

OFDM sistemlerinde, Ters Hızlı Fourier Dönüşümü (IFFT), 'OFDM Sinyal Modeli' başlığı altında açıklandığı gibi OFDM alt taşıyıcılarını zaman alanı sembollerine dönüştürmek için kullanılmaktadır, dolayısıyla iletilen chirp tabanlı sinyali aşağıdaki gibi yazabiliriz

15

$$s_{Chirp}^{OFDM}(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{m=0}^{N-1} X_{Chirp}^{OFDM}(m) e^{j2\pi \frac{mn}{N}},$$

CP Yapılandırması:

20

OFDM sistemlerinde, L_{cp} örneklerinin sembolün son kısmından kopyalanıp başına eklendiği kanal etkisiyle mücadele etmek için sembolün başına bir döngüsel önek eklenmektedir. Bununla birlikte, bu döngüsel önek (CP) eklemesi, Şekil 3'te gösterildiği gibi zaman alanında chirp sinyaline (CS) kesintililik getirecektir. Bu da algılama performansını düşürmektedir. Dolayısıyla chirp'leri tekrar kesintisiz (C) hale getirmek için uygun manipülasyona ihtiyaç vardır, burada chirp'in doğrudan OFDM kullanılarak üretilmesi durumunda i 'nci chirp'in frekans alanı gösterimine bir faz kayması ekleyeceğiz ve gerekli faz aşağıdaki gibi yazılabilmektedir

25

$$s_{Chirp}^i(n - iL_{cp}) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{m=0}^{N-1} S_K^i(m) e^{j2\pi \frac{m(n-iL_{cp})}{N}},$$

30

veya basitçe frekans alanındaki chirp alt taşıyıcı indislerini boş tutarak ve doğrudan zaman alanında kesintisiz (C) tekrarlanan bir chirp üreterek gerçekleştirilmektedir.

Kanal:

5 Kanal iki bölüme ayrılabilir: biri radar algılamasına, diğeri ise iletişime ayrılmıştır. Radar işleme (70), algılama bilgilerini ayıklamak için chirp giderme işleminin kullanıldığı geleneksel teknikleri takip ettiğinden, bu konu burada ele alınmayacaktır. Bunun yerine, frekans alanında gömülü chirp'leri kullanarak iletişim kanalı tahminine odaklanılacaktır.

10 Aşağıdaki gibi ifade edilebilen bir Q -kademeli çift seçici kanal düşünelim

$$h(n) = \sum_{i=0}^{Q-1} h_i e^{j2\pi \frac{f_i(n-l_i)}{N}} \delta(n - l_i).$$

burada h_i karmaşık kanal katsayısı, l_i ve f_i sırasıyla kanal tarafından eklenen gecikme ve

15 Doppler kaymalarıdır.

Önerilen Kanal Tahmini

Tanımlanan kanaldan geçtikten sonra zaman alanında alınan sinyal aşağıdaki gibi yazılabilmektedir

20

$$y(n) = \sum_{i=0}^{Q-1} h_i e^{j2\pi \frac{f_i(n-l_i)}{N}} s_{Chirp}^{OFDM}(n - l_i).$$

Döngüsel önek (CP) atıldıktan sonra, frekans alanında alınan sembol Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) ile aşağıdaki gibi çıkarılabilmektedir

25

$$Y(m) = \sum_{i=0}^{Q-1} h_i \alpha_i X_{Chirp}^{OFDM}(m - f_i).$$

burada $\alpha_i = e^{j2\pi \frac{l_i(m-f_i)}{N}}$. Statik bir kanal için tüm $f_i = 0$ için $i = 0, \dots, Q - 1$, bu da kanalın MMSE gibi herhangi bir geleneksel pilot tabanlı kanal tahmini ve eşitleme yöntemi gibi doğrudan tahmin edilebileceği anlamına gelmektedir.

Mobil ortam durumunda, OFDM alt taşıyıcıları $(\pm f_i)$ miktarı kadar kaydırılarak farklı durumlara yol açacaktır. Ancak çoğu durumda frekans sapması telafi edildikten sonra birinci kademe $f_0 = 0$ olarak varsayılabilir. Dolayısıyla kanal gecikmeleri her doppler için ayrı ayrı tahmin edilebilmektedir, bu da alınan sinyalin denkleminin basitleştirilmesine yol açmaktadır ve yeni kanal tahmini, farklı gecikmelere sahip orijinal chirp ve farklı gecikmelere sahip frekansı kaydırılmış chirp için alt taşıyıcılarına m' dayanarak gerçekleştirilebilmektedir.

Kanal $f_i = 0$ ile gelen kademeler ve $f_i \neq 0$ ile gelen kademeler olarak ayrılabilir, böylece aşağıdaki gibi yazılabilmektedir:

$$Y_1(m') = \sum_{i_1=0}^{Q_1-1} h_{i_1} \alpha_{i_1} K \cdot e^{-j\pi \frac{(m')^2}{M}} + \sum_{i_2=0}^{Q_2-1} h_{i_2} \alpha_{i_2} X^{data}(Km' - f_i) \quad \text{for } [Km' - f_i]_K = 0$$

burada Q_1 , $f_i = 0$ ile gelen kademe sayısı ve Q_2 ise $[Km' - f_i]_K = 0$ ile gelen kademe sayısıdır. Orijinal chirp'in bir eşleniği ile $Y_1(m')$ 'nin chirp giderimi aşağıdaki şekilde verilebilmektedir

$$D_1(m') = e^{j\pi \frac{(m')^2}{M}} \left(\sum_{i_1=0}^{Q_1-1} h_{i_1} \alpha_{i_1} K \cdot e^{-j\pi \frac{(m')^2}{M}} + \sum_{i_2=0}^{Q_2-1} h_{i_2} \alpha_{i_2} X^{data}(Km' - f_i) \right),$$

$\text{for } [Km' - f_i]_K = 0.$

Chirp giderme işlemine tabi tutulmuş sinyali basitleştirerek aşağıdakiler elde edilebilmektedir

$$D_1(m') = \sum_{i_1=0}^{Q_1-1} h_{i_1} e^{j2\pi \frac{l_i Km'}{N}} + \sum_{i_2=0}^{Q_2-1} h_{i_2} \alpha_{i_2} X^{data}(Km' - f_i) e^{j\pi \frac{(m')^2}{M}}$$

Çıkış D_1 üzerinde Fourier dönüşümünün gerçekleştirilmesi aşağıdakilere yol açacaktır

$$D_{d1}(p) = \sum_{m'=0}^{M-1} \left(\sum_{i_1=0}^{Q_1-1} h_{i_1} e^{j2\pi \frac{l_i Km'}{N}} + \sum_{i_2=0}^{Q_2-1} h_{i_2} \alpha_{i_2} X^{data}(Km' - f_i) e^{j\pi \frac{(m')^2}{M}} \right) e^{-j2\pi m' p/M}$$

Basitleştirmeden sonra aşağıdaki gibi elde edilmiştir

$$D_{d1}(p) = \sum_{m'=0}^{M-1} \sum_{i_1=0}^{Q_1-1} h_{i_1} e^{j2\pi \frac{(l_{i_1}-p)m'}{M}} + \sum_{m'=0}^{M-1} \sum_{i_2=0}^{Q_2-1} h_{i_2} e^{j2\pi \frac{(l_{i_2}f_{i_2})}{K}} X^{data}(Km' - f_{i_2}) e^{j2\pi \frac{(l_{i_2}m' + \frac{(m')^2}{2} - m'p)}{M}}$$

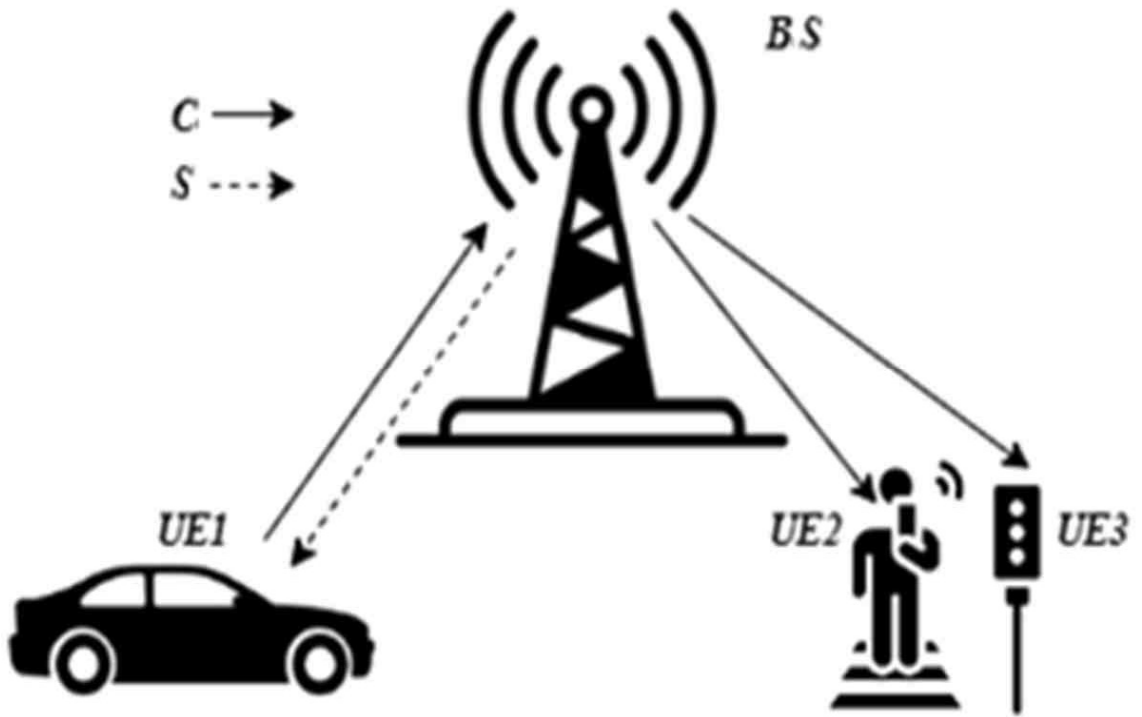
İlk terimin $\sum_{m'=0}^{M-1} \sum_{i_1=0}^{Q_1-1} h_{i_1} e^{j2\pi \frac{(l_{i_1}-p)m'}{M}}$ kanal gecikmesiyle ilgili bir kayma olduğunu ve her kaymanın tepe noktasının ilgili kanal kazancı olduğunu ve ikinci terimin ikinci dereceden bir kayma olduğu göz önünde bulundurulmalıdır; bu da OFDM verilerinden (D) gelen girişimin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) çıktısının gecikme kutularına yayılacağı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla girişim minimumdur ve tekrarlanan chirp'lere tahsis edilen gücün artırılması kanal tahminini geliştirecektir.

Algılama Alıcısı:

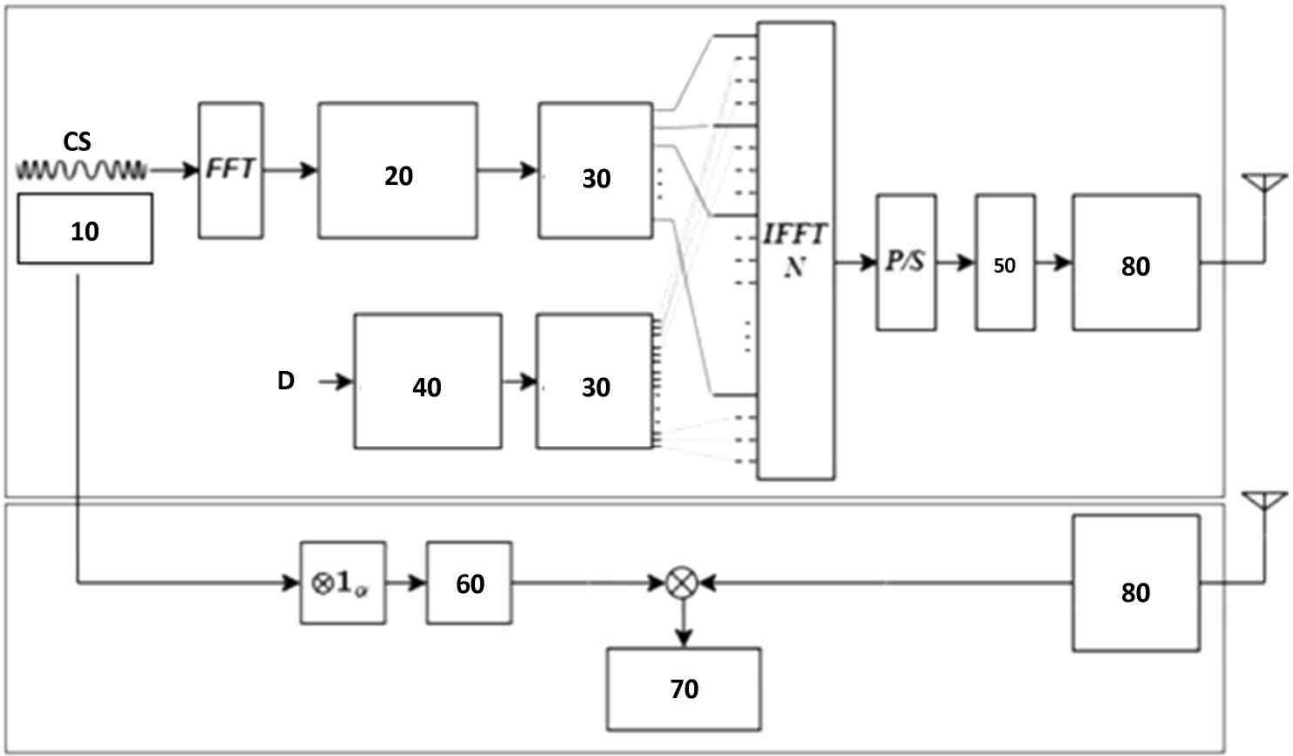
Algılayıcı alıcı, geleneksel bir FMCW radarına benzer şekilde, yansıyan tekrarlanan chirp'leri kullanarak hedef tespiti yapabilmektedir. Bu süreçte, alınan chirp'ler gönderilen chirp'lerin eşleniği ile karıştırılarak chirp giderme işlemine tabi tutulmaktadır ve bir vuruş frekansı f_b üretilmektedir. Bu vuruş frekansı doğrudan gönderici ile yansıtıcı arasındaki mesafe ile ilişkilidir. Chirp giderme işlemine tabi tutulmuş sinyal üzerinde Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) gerçekleştirilmesi bilgi aralığını vermektedir. Bununla birlikte, Doppler kaymalarının (mobilité nedeniyle) neden olduğu birleşik vuruş frekanslarının varlığı, hem menzili hem de hızı doğru bir şekilde tahmin etmek için birden fazla chirp kullanılmasını gerektirmektedir.

Mevcut teknolojinin belirli yapılandırmalarına ilişkin yukarıda yer alan açıklamalar örnekleme ve açıklama amacıyla sunulmuştur. Bunların kapsamlı olması veya mevcut teknolojiyi açıklanan kesin formlarla sınırlandırması amaçlanmamıştır. Açıkçası, yukarıdaki öğretiler dikkate alındığında birçok modifikasyon ve varyasyon mümkündür. Bu yapılandırmalar, mevcut teknolojinin prensiplerini ve pratik uygulamalarını en iyi şekilde açıklamak için seçilmiş ve tanımlanmış olup, teknikte uzman olan diğer kişilerin mevcut teknolojiyi ve çeşitli yapılandırmalarını öngörülen özel kullanıma uygun olarak uygun değişikliklerle kullanmasına olanak sağlamaktadır. Koşulların önerebileceği veya uygun hale getirebileceği çeşitli eksikliklerin ve eşdeğerlerin ikame edilmesinin öngörüldüğü anlaşılmaktadır ancak bu tür değişiklikler, mevcut teknolojinin istemlerinin özünden veya kapsamından ayrılmadan yazılımı veya uygulamayı kapsamayı amaçlamaktadır.

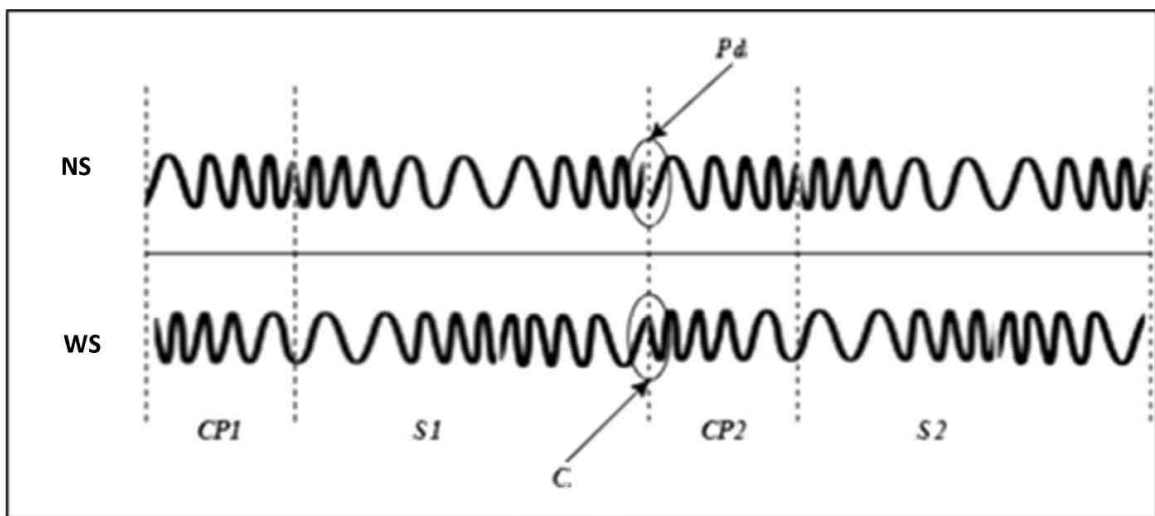
Herhangi bir çelişkinin söz konusu olmadığı durumlarda, mevcut açıklamadaki yapılandırmalar ve bunların özellikleri birleştirilebilmektedir. Yukarıdaki açıklamalar sadece mevcut açıklamanın spesifik uygulamalarıdır ve koruma kapsamını sınırlandırma amacı taşımamaktadır. Mevcut açıklamanın teknik kapsamı dahilinde teknikte uzman bir kişi 5 tarafından kolayca belirlenen herhangi bir varyasyon veya değiştirme, koruma kapsamına girecektir. Dolayısıyla mevcut açıklamanın koruma kapsamı istemler tarafından belirlenecektir.



ŞEKİL – 1



ŞEKİL – 2



ŞEKİL – 3