

ÖZET

RADAR VE HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN SPEKTRAL VERİMLİ ZAMAN-FREKANS BİRLİKTELİĞİNİ SAĞLAYAN BİR SİSTEM VE YÖNTEM

- 5 Bu buluş; radar ve haberleşme sistemlerinin aynı spektrum bandını birbirine girişim yapmadan paylaşmasını sağlayarak spektral verimliliği artıran bir sistem (1) ve yöntem ile ilgilidir. Radar ve haberleşme sinyallerinin zaman ve frekans boyutlarında optimize edilerek, her iki sistemin birbirinden bağımsız şekilde, yüksek performansla çalışmasını mümkün kılmaktadır. Dinamik zaman-frekans ayarlamaları sayesinde, her iki sinyalin de belirli bir spektrum bandını ortaklaşa
- 10 verimli kullanması sağlanır. Bu sayede radar sinyallerinin algılama doğruluğu ile haberleşme sisteminin veri aktarım hızları ve güvenilirliği artırılır.

İSTEMLER

1. Radar ve haberleşme sistemlerinin aynı spektrum bandını birbirine girişim yapmadan paylaşmasını sağlayarak spektral verimliliği artırmak üzere; bir radar hedefinden (RH) yansıyan sinyali gönderilen radar sinyaliyle ile karıştıran en az bir karıştırıcı (1.4.1), sinyal
5 filtreleme ve güçlendirme işlemlerinden sonra sinyali dijital ortama dönüştüren en az bir ADC (1.4.2) içeren ve Fourier dönüşümleri kullanarak mesafe ve hız tahminlerini yapan, radar hedefini (RH) algılamak için bağlantı (1.7) yoluyla aldığı radar hedefinden (RH) geri yansıyan sinyali kullanan en az bir radar alıcısı (1.4), haberleşme vericisinde (1.2) tasarlanan haberleşme sinyali ve radar alıcısı (1.4) tarafından son haline getirilen radar
10 sinyalinin en az bir anten (1.6) aracılığıyla iletildiği, alınan sinyale ilk olarak önek kaldırma işlemi uygulayan, sonrasında FFT işlemi ile frekans uzayına geçiş yapan, elde edilen sembolere kanal eşitlemesi yaptıktan sonra alt taşıyıcılardaki sembolleri demodüle eden ve veri çıktısı sağlayan en az bir haberleşme alıcısı (1.5), en az iki anten (1.6) ve en az bir bağlantı (1.7) içeren;

15 haberleşme vericisine (1.2) veri girdisi gerçekleştirildikten sonra, veri girdilerini modüle ederek sembolere çeviren, modüle ettiği sembolere frekans uzayında belirli bir kaynak tahsisi yapan, frekans uzayında haberleşme ve radar sistemlerinin birbirine girişim yapmaması için n .inci OFDM sembolüne denk gelen m .inci FMCW cıvıltı parçasının frekans kaynaklarını boş bırakarak geri kalan frekans kaynaklarını her bir OFDM sembolü
20 için adaptif bir şekilde değiştirerek kullanan (bir FMCW cıvıltısının M parçaya bölündüğü ve bir cıvıltının süresinin N CP-OFDM sembolüne eşit olduğu varsayılmaktadır) böylece farklı frekans kaynakları kullanan, frekans uzayında OFDM alt taşıyıcılarına yerleştirilen sembolleri IFFT işlemi ile zaman uzayında elde eden, OFDM sembollerinin kanal ile döngüsel evrişim (circular convolution) yapması ve semboller arası girişimin engellenmesi
25 için önek eklemesini aşağıdaki üç alternatifle yapan:

a. CP-OFDM sembolünden farklı olarak sadece CP sinyalini

$$\widehat{x}_n(t) = \sqrt{\frac{1}{K}} \sum_{k=0}^{K-1} d_n(k) e^{i2\pi k(t-T_{CP})/T_O} + \hat{s}(t), \quad n * (T_O + T_{CP}) - T_{CP} \leq t \leq n *$$

$(T_O + T_{CP})$ formülüyle değiştiren (burada, K , $d_n(k)$, T_{CP} , ve T_O sırasıyla IFFT boyutunu, k .inci OFDM alt taşıyıcısındaki modüle edilmiş sembolü, CP süresini, ve OFDM sembol
30 süresini ifade etmektedir)

veya

b. Eğer FMCW cıvıltısı T_{CP} yerine $2 * T_{CP}$ süresince sinyal göndermezse,

$$x_n(t) = \sqrt{\frac{1}{K}} \sum_{k=0}^{K-1} d_n(k) e^{i2\pi k(t-T_{CP})/T_O}, \quad (n-1) * (T_O + T_{CP}) \leq t \leq n * (T_O + T_{CP})$$

OFDM sembolünün sonundan önek uzunluğunda bir sinyalin OFDM sembolünün önüne eklenerek oluşturulan klasik CP-OFDM sembolünü ($x_n(t)$) değiştirmeden kullanan

(burada, K , $d_n(k)$, T_{CP} , ve T_O sırasıyla IFFT boyutunu, k .inci OFDM alt taşıyıcısındaki modüle edilmiş sembolü, CP süresini, ve OFDM sembol süresini ifade etmektedir.)

veya

c. OFDM sembolünün kanal ile döngüsel evrişim yapabilmesi için n .inci OFDM sembolünün CP süresi kadar son kısmı ile denk gelen radar sinyali parçasını CP sinyaline ekleyen ve n .inci OFDM sembolünün CP süresine denk gelen radar sinyali parçasını CP sinyalinden çıkaran

en az bir haberleşme vericisi (1.2) ve

sinyalin hangi zaman aralıklarında gönderileceğini belirleyerek FMCW sinyalinin tasarımını aşağıdaki şekillerde yapan:

o $\hat{s}(t) = \begin{cases} 0, & t \text{ CP süresi içerisinde ise} \\ s(t), & \text{değilse} \end{cases}$ olarak,

CP-OFDM sembolünün değiştirilmediği ve FMCW radar cıvıltısının ise $2 * T_{CP}$ süresince gönderilmediği durumda, $(n-1) * (T_O + T_{CP}) \leq t \leq (n-1) * (T_O + T_{CP}) + T_{CP}$ ve $n * (T_O + T_{CP}) - T_{CP} \leq t \leq n * (T_O + T_{CP})$ süreleri boyunca $\hat{s}(t) = 0$ olarak tasarlayan veya

o n .inci OFDM sembolünün CP süresi kadar son kısmı ile denk gelen radar sinyali parçası CP sinyaline eklenmesi ve n .inci OFDM sembolün CP süresine denk gelen radar sinyali parçası CP sinyalinden çıkarılması durumunda, FMCW cıvıltısında değişiklik yapmayan

2. en az bir modülatör (1.3.1) ve tasarlanan radar sinyalini bir anten (1.6) aracılığıyla radar hedefine (RH) gönderen ve radar hedefinin (RH) sinyali geri yansıttığı, radar sinyalini radar

alıcısına (1.4) bağlantı (1.7) yoluyla ileten en az bir FMCW vericisi (1.3.2) içeren en az bir radar vericisi (1.3) içermesiyle **karakterize edilen** bir sistem (1).Haberleşme vericisi (1.2) ve radar vericisini (1.3) içeren en az bir ortak radar-haberleşme cihazı (1.1) içermesiyle **karakterize edilen** istem 1'deki gibi bir sistem (1).

- 5 3. Radar alıcısını (1.4) içeren ortak radar-haberleşme cihazı (1.1) içermesiyle **karakterize edilen** istem 2'deki gibi bir sistem (1).
4. OFDM yerine OFDM ile benzer özellikleri taşıyan çok-taşıyıcılı haberleşme dalga formları ve FMCW yerine FMCW ile benzer özellikleri taşıyan zamanla frekansı değişen radar dalga formlarının işlendiği yukarıdaki istemlerden herhangi birindeki gibi bir sistem (1).
- 10 5. Radar ve haberleşme sistemlerinin aynı spektrum bandını birbirine girişim yapmadan paylaşmasını sağlayarak spektral verimliliği artırmak üzere;
 - Haberleşme vericisine (1.2) veri girdisi gerçekleşmesi,
 - Haberleşme vericisi (1.2) tarafından, veri girdilerinin modüle edilerek sembollere çevrilmesi,
 - 15 - Haberleşme vericisinin (1.2), frekans uzayında OFDM alt taşıyıcılarına yerleştirilen sembolleri, IFFT işlemi ile zaman uzayında elde etmesi,
 - FMCW vericisinin (1.3.2), tasarlanan radar sinyalinin bir radar hedefine (RH) göndermesi ve radar hedefinin (RH) sinyali geri yansıtması,
 - Söz konusu radar sinyalinin, radar alıcısına (1.4) bir bağlantı (1.7) yoluyla iletilmesi,
 - 20 - Radar alıcısının (1.4), radar hedefini (RH) algılamak için radar hedefinden (RH) geri yansıyan sinyali kullanması,
 - Radar alıcısında (1.4), karıştırıcı (1.4.1) tarafından hedeften (RH) yansıyan sinyalin gönderilen radar sinyaliyle karıştırılması ve bu işlem sonucunda kullanılan bandın tümü yerine sadece vuruş frekansının (beat frequency) filtrelenerek alınması,
 - 25 - ADC'nin (1.4.2), sinyal filtreleme ve güçlendirme işlemlerinden sonra sinyali dijital ortama dönüştürmesi,
 - Radar alıcısının (1.4) Fourier dönüşümleri kullanarak mesafe ve hız tahmini yapması,
 - Haberleşme vericisinde (1.2) tasarlanan haberleşme sinyalinin ve radar alıcısı (1.4) tarafından son haline getirilen radar sinyalinin aynı zamanda birbirleriyle örtüşecek şekilde en az bir anten (1.6) aracılığıyla haberleşme alıcısına (1.5) iletilmesi,
 - 30 - Haberleşme alıcısının (1.5) alınan sinyale ilk olarak örnek kaldırma işlemi uygulaması,

- Haberleşme alıcısının (1.5) FFT işlemi ile frekans uzayına geçiş yapması,
- Elde ettiği sembollere kanal eşitlemesi yaptıktan sonra alt taşıyıcılardaki sembolleri demodüle etmesi ve
- veri çıktısı sağlaması

5 adımlarını içeren;

- Haberleşme vericisinin (1.2), modüle ettiği sembollere frekans uzayında belirli bir kaynak tahsisi yaparken, n .inci OFDM sembolüne denk gelen m .inci FMCW cıvıltı parçasının frekans kaynaklarını boş bırakarak geri kalan frekans kaynaklarını kullanması (bir FMCW cıvıltısının M parçaya bölündüğü ve bir cıvıltının süresinin N CP-OFDM sembolüne eşit olduğu varsayılmaktadır),
- OFDM sembollerinin kanal ile döngüsel evrişim (circular convolution) yapması ve semboller arası girişimin engellenmesi için haberleşme vericisinin (1.2) önek eklemesini aşağıdaki üç yoldan biriyle gerçekleştirmesi:

- o OFDM sembolüne CP eklenmesinde radar sinyalinin nasıl hesaba katıldığını gösteren aşağıdaki formülle CP-OFDM sembolünde sadece CP sinyalini değiştirmesi

$$\widehat{x}_n(t) = \sqrt{\frac{1}{K}} \sum_{k=0}^{K-1} d_n(k) e^{i2\pi k(t-T_{CP})/T_O} + \hat{s}(t), \quad n * (T_O + T_{CP}) - T_{CP} \leq t \leq n * (T_O + T_{CP})$$

veya

- o Eğer FMCW cıvıltısı T_{CP} yerine $2 * T_{CP}$ süresince sinyal göndermezse, OFDM sembolünün sonundan önek uzunluğunda bir sinyalin OFDM sembolünün önüne eklenerek oluşturulan klasik CP-OFDM sembolünü $x_n(t)$ değiştirmeden kullanması veya
- o OFDM sembolünün kanal ile döngüsel evrişim yapabilmesi için n .inci OFDM sembolünün CP süresi kadar son kısmı ile denk gelen radar sinyali parçasını CP sinyaline eklemesi ve n .inci OFDM sembolünün CP süresine denk gelen radar sinyali parçasını CP sinyalinden çıkarması,
- Radar vericisinde (1.3), modülatörün (1.3.1) FMCW sinyalinin tasarımını aşağıdaki iki şekilde yapması:

- o Birden fazla cıvıltı ve zamandan oluşan FMCW dalga formunun ve doğrusal frekans modülasyonlu bir cıvıltının zamanda gösterimi

$$s(t) = e^{i\pi B t^2 / T_F}, \quad 0 \leq t \leq T_F \text{ iken ve}$$

- 5 t, B ve T_F sırasıyla zaman, tarama bant genişliğini (sweep bandwidth) ve FMCW cıvıltı süresini ifade ederken, radar ve haberleşmenin aynı bant genişliğini kullandığı varsayılarak, modülatörün (1.1.2.1), radar sinyalini

$$\hat{s}(t) = \begin{cases} 0, & t \text{ CP süresi içerisinde ise} \\ s(t), & \text{değilse} \end{cases} \text{ şeklinde tasarlaması, burada}$$

- 10 CP-OFDM sembolünün değiştirilmediği ve FMCW radar cıvıltısının ise $2 * T_{CP}$ süresince gönderilmediği durumda $(n - 1) * (T_O + T_{CP}) \leq t \leq (n - 1) * (T_O + T_{CP}) + T_{CP}$ ve $n * (T_O + T_{CP}) - T_{CP} \leq t \leq n * (T_O + T_{CP})$ süreleri boyunca $\hat{s}(t) = 0$ olarak tasarlanması

veya

- 15 o n .inci OFDM sembolünün CP süresi kadar son kısmı ile denk gelen radar sinyali parçasının CP sinyaline eklenmesi ve n .inci OFDM sembolün CP süresine denk gelen radar sinyali parçasının CP sinyalinden çıkarılması durumunda modülatörün (1.3.1) FMCW cıvıltısında değişiklik yapmaması

adımlarını içermesiyle **karakterize edilen** bir yöntem.

- 20 6. OFDM yerine OFDM ile benzer özellikleri taşıyan çok-taşıyıcılı haberleşme dalga formları ve FMCW yerine FMCW ile benzer özellikleri taşıyan zamanla frekansı değişen radar dalga formlarının işlendiği istem 5'teki gibi bir yöntem.

TARİFNAME

RADAR VE HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN SPEKTRAL VERİMLİ ZAMAN-FREKANS BİRLİKTELİĞİNİ SAĞLAYAN BİR SİSTEM VE YÖNTEM

Teknik Alan

- 5 Bu buluş; radar ve haberleşme sistemlerinin aynı spektrum bandını birbirine girişim yapmadan paylaşmasını sağlayarak spektral verimliliği artıran bir sistem ve yöntem ile ilgilidir.

Tekniğin Bilinen Durumu

- 10 Günümüzün yoğun veri talebi ve radar sistemlerinin yüksek algılama doğruluğu gereksinimi, hem kablosuz haberleşme sistemlerinde hem de radar uygulamalarında daha geniş bant genişliği ihtiyacını artırmıştır. Ancak sınırlı elektromanyetik spektrum kaynakları, bu sistemlerin aynı frekans bandını paylaşmasının sonucu olarak spektral tıkanıklığa yol açmakta ve hem radar performansını hem de veri iletim hızını olumsuz etkileyebilmektedir.

Radar ve haberleşme sistemleri için radarın yüksek hassasiyetle algılama yapması ve aynı anda güvenli iletişimin sürdürülebilmesi kritik bir ihtiyaçtır.

- 15 Frekans modülasyonlu sürekli dalga (frequency modulated continuous wave - FMCW) dalga biçimi, özellikle otomotiv endüstrisindeki eş zamanlı menzil ve hız tahmini yapan radar sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Bu dalga biçiminde, menzil ve hız çözünürlüğü sırasıyla FMCW sinyalinin bant genişliği ve toplam cıvıltı (chirp) süresi ile ayarlanabilir. Geniş bant genişliği menzil çözünürlüğünü artırırken, taşıyıcı frekanstaki artış hız çözünürlüğünü iyileştirir. Böylece FMCW, farklı uygulamalara uyum sağlayan esnek bir yapı sunar.

- 25 Kablosuz haberleşme için kullanılan döngüsel önekli ortogonal frekans bölme (cyclic prefix-orthogonal frequency division multiplexing - CP-OFDM) dalga biçimi; Wi-Fi, 5G NR ve 4G LTE gibi pek çok kablosuz standartta tercih edilmektedir. Bunun temel nedeni, alt taşıyıcıların frekans alanında dik bir şekilde üst üste bindiği çoklu taşıyıcılı yapı sayesinde yüksek spektral verimliliğin sağlanmasıdır. CP sinyali, semboller arası girişimi (Inter-Symbol Interference - ISI) ortadan kaldırarak kanalda döngüsel bir evrişim oluşturur.

Radar ve haberleşme sistemlerinin birbirine girişim yapmadan birlikte çalışabilmesi için literatürde üç ana yaklaşım geliştirilmiştir: zaman-bölmeli çoğullama (time-division multiplexing

- TDM), frekans-bölmeli çoğullama (frequency-division multiplexing - FDM) ve spektrum algılamalı çoklu erişim (carrier sensing multiple access - CSMA). TDM ve FDM yaklaşımlarında, radar ve haberleşme sistemlerine sırasıyla farklı zaman ve frekans kaynakları tahsis edilir. CSMA yaklaşımında ise her iki sistem de sinyal göndermeden önce frekans kaynaklarının uygunluğunu algılar ve eğer boşsa sinyal gönderir.

Bu yaklaşımların dışında, girişime izin verilen dikgen olmayan radar ve haberleşme birlikteliği yaklaşımları da bulunmaktadır [3]. Bu yöntemlerde, radar sinyalinin modülasyon yapmaması sayesinde girişim etkileri azaltılabilmekte veya tamamen ortadan kaldırılabilir. Spektral açıdan en verimli çözümler arasında olan bu yöntemlerin dezavantajı ise radar ve haberleşme sistemlerinin birbirinden bağımsız çalışamaması ve girişimin ortadan kaldırılması için yüksek işlem karmaşıklığı gerektirmesidir.

Aynı zaman-frekans kaynaklarını kullanan dikgen radar ve haberleşme birlikteliği yaklaşımı ise literatürde yeni geliştirilmiştir [4]. Bu yaklaşımda radar sinyalinin süresi, CP süresi ile sınırlandırılmaktadır. FMCW gibi radar dalga formlarında, düşük örnekleme hızlarında yüksek çözünürlüklü menzil ve hız tahmini yapılabilmesi için uzun cıvıltı sürelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışma FMCW süresinin CP süresinden daha uzun olduğu durumlarda girişimden arınmış bir birliktelik çözümü sunamamaktadır.

Radar ve haberleşme sistemlerinin birlikte çalışabilmesi için genellikle farklı zaman, frekans veya uzaysal (spatial) kaynak tahsisi yapılmaktadır. Radar ve haberleşme sistemleri, böylece farklı spektrum kaynaklarını kullanarak bağımsız bir şekilde çalışabilir. Ancak, bazı durumlarda her iki sistem için ayrı spektrum sağlamak mümkün değildir. Ayrıca, spektrum kaynaklarının sınırlı ve maliyetli olması sistem maliyetlerini artırır. İki sistemin aynı spektrumunu kullandığı durumda ise zaman kaynaklarının ayrılması gerekir, bu da performans düşüşüne yol açabilir.

Tekniğin bilinen durumunda yer alan US2024183935A1 nolu patent dokümanı, aynı zaman ve frekans kaynaklarını kullanarak bir FMCW ve bir OFDM sinyalinin iletmek ve almak üzere bir kablosuz cihaz (bir ortak FMCW radar ve haberleşme sistemi) ile ilgilidir. Burada CP tasarımı göz önünde bulundurulmadan yapılan bir tasarım mevcuttur ve FMCW ve OFDM aynı paketin içinde nasıl kullanılıra yönelik bir çözümdür. Dolayısıyla bu çalışma ortak FMCW ve OFDM (joint) sistemleri için bir çözüm sunmakta olup, ayrı FMCW ve OFDM sistemleri için bir çözüm

sunmamaktadır. Ayrıca bu çalışma, sadece kaynak tahsisine bakmakta, zaman planlamasıyla ilgilenmemektedir. Haberleşme ve radar sistemlerinin daha verimli çalışmasını amaçlarken, bunu aynı haberleşme ve algılama alıcı ve verici modülleriyle (Dual-functional radar communications (DFRC) ve integrated sensing and communication (SAC) gibi sistemler) yapmayı öngörmektedir.

5 Ayrı radar ve haberleşme modüllerinin (şu anda mevcut radar ve haberleşme alıcı ve vericileri) kullanımını göz önüne bulundurmamaktadır.

REFERANSLAR:

- 1] S. M. Patole, M. Torlak, D. Wang, and M. Ali, “Automotive radars: A review of signal processing techniques,” IEEE Signal Processing Magazine, vol. 34, no. 2, pp. 22–35, 2017.
- 10 [2] C. Aydogdu, M. F. Keskin, G. K. Carvajal, O. Eriksson, H. Hellsten, H. Herbertsson, E. Nilsson, M. Rydstrom, K. Vanas, and H. Wymeersch, “Radar interference mitigation for automated driving: Exploring proactive strategies,” IEEE Signal Processing Magazine, vol. 37, no. 4, pp. 72–84, 2020.
- [3] M. M. Sahin and H. Arslan, “Multi-functional coexistence of radar sensing and communication
- 15 waveforms,” in IEEE 92nd Vehicular Technology Conference (VTC2020-Fall), 2020, pp. 1–5.
- [4] E. Memisoglu, M. M. Sahin, and H. Arslan, “Orthogonal coexistence of overlapped radar and communication waveforms,” in Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf., 2022, pp. 2190–2195.

Buluşun Kısa Açıklaması

- 20 Bu buluşun amacı, radar ve haberleşme sistemlerinin aynı zaman – farklı frekans kaynaklarını kullanarak birbirine girişim yapmadan çalışabilmesini gerçekleştirmektir.

Buluşun bir diğer amacı; haberleşme dalga formunda, frekans uzayında kaynak tahsisini ve zaman alanında sembol önek eklemeyi optimize eden bir yapı sunmaktır.

- 25 Buluşun bir başka amacı, radar sinyallerinin algılama doğruluğu ile haberleşme sisteminin veri aktarım hızları ve güvenilirliğini artırmaktır.

Sekillerin Açıklaması

Şekil 1: Buluş konusu sistemin bir uygulamasının temsili bir blok diyagramıdır.

Şekil 2: Haberleşme için haberleşme vericisi ve alıcısına ve uyguladıkları yöntem adımlarına dair temsili bir blok diyagramdır.

Şekil 3: Radar için radar vericisi ve alıcısının temsili bir blok diyagramıdır.

5 **Şekil 4:** OFDM ve FMCW cıvıltısının zamanda nasıl tasarlandığına ve hizalandığına dair ilk alternatifi gösteren bir blok diyagram.

Şekil 5: OFDM ve FMCW cıvıltısının zamanda nasıl tasarlandığına ve hizalandığına dair ikinci alternatifi gösteren bir blok diyagram.

10 **Şekil 6:** OFDM ve FMCW cıvıltısının zamanda nasıl tasarlandığına ve hizalandığına dair üçüncü alternatifi gösteren bir blok diyagram.

Şekil 7: Buluşun radar ve haberleşme sistemleri için frekans uzayındaki kaynak tahsisini gösteren bir şema.

Şekil 8: Buluşta önerilen radar ve haberleşme birlikteliğinin frekans-zaman grafiği ile klasik birlikteliğin frekans-zaman grafiği.

15 **Şekil 9:** $T_o = 16.67$ mikrosaniye, $T_{CP} = 1.04$ mikrosaniye, $T_F = 70.83$ mikrosaniye, $B = 122880$ kiloHertz ve $K = 2048$ FFT boyutu için elde edilmiş bit hata oranı (bit error rate - BER) ve spektral verimlilik (spectral efficiency) performanslarının farklı SNR (signal-to-noise ratio) değerleri için gösterildiği grafikler.

20 **Şekillerdeki Referansların Açıklaması**

1. Sistem

1.1. Ortak radar-haberleşme cihazı

1.2. Haberleşme vericisi

1.3. Radar vericisi

25 1.3.1. Modülatör

1.3.2. FMCW vericisi

1.4. Radar alıcısı

1.4.1. Karıştırıcı

1.4.2. ADC (Analogdan dijitale dönüştürücü)

30 1.5. Haberleşme alıcısı

1.6. Anten

1.7. Bağlantı

RH. Radar hedefi

Buluşun Detaylı Açıklaması

- 5 Buluş konusu sistem (1); en az bir haberleşme vericisi (1.2), en az bir radar vericisi (1.3), en az bir radar alıcısı (1.4), en az bir haberleşme alıcısı (1.5), en az iki anten (1.6) ve en az bir bağlantı (1.7) içermektedir. Radar vericisi (1.3); en az bir modülatör (1.3.1) ve en az bir FMCW vericisi (1.3.2) içermektedir. Radar alıcısı (1.4); en az bir karıştırıcı (mixer) (1.4.1) ve en az bir ADC (1.4.2) içermektedir.
- 10 Radar vericisinin (1.3) içerdiği modülatör (1.3.1), sinyalin hangi zaman aralıklarında gönderileceğini belirleyerek FMCW sinyalinin tasarımını yapmaktadır. FMCW analog olarak frekansın zamanla birlikte doğrusal değiştirilmesiyle elde edilmektedir.

FMCW dalga formu birden fazla cıvıltı ve zamandan oluşmaktadır ve doğrusal frekans modülasyonlu bir cıvıltının zamanda gösterimi şu şekilde ifade edilmektedir:

15
$$s(t) = e^{i\pi B t^2 / T_F}, \quad 0 \leq t \leq T_F.$$

Burada, t , B ve T_F sırasıyla zaman, tarama bant genişliğini (sweep bandwidth) ve FMCW cıvıltı süresini ifade etmektedir. Radar ve haberleşmenin aynı bant genişliğini kullandığı varsayılmaktadır.

- 20 o Modülatör (1.3.1), radar sinyalini şu şekilde tasarlamaktadır:

$$\hat{s}(t) = \begin{cases} 0, & t \text{ CP süresi içerisinde ise} \\ s(t), & \text{değilse.} \end{cases}$$

Burada CP-OFDM sembolünün değiştirilmediği ve FMCW radar cıvıltısının ise $2 * T_{CP}$ süresince gönderilmediği durumda, $(n - 1) * (T_O + T_{CP}) \leq t \leq (n - 1) * (T_O + T_{CP}) + T_{CP}$ ve $n * (T_O + T_{CP}) - T_{CP} \leq t \leq n * (T_O + T_{CP})$ süreleri boyunca $\hat{s}(t) = 0$ olarak tasarlanmaktadır.

- 25 o Veya n .inci OFDM sembolünün CP süresi kadar son kısmı ile denk gelen radar sinyali parçası CP sinyaline eklenmesi ve n .inci OFDM sembolün CP süresine denk

gelen radar sinyali parçası CP sinyalinden çıkarılması durumunda, modülatör (1.3.1), FMCW cıvıltısında değişiklik yapmamaktadır.

FMCW vericisi (1.3.2), tasarlanan radar sinyalini bir anten (1.6) aracılığıyla radar hedefine (RH) göndermektedir ve radar hedefi (RH) sinyali geri yansıtmaktadır. Söz konusu radar sinyali, FMCW vericisi (1.3.2) tarafından radar alıcısına (1.4) bağlantı (1.7) yoluyla iletilmektedir. Genellikle bu bağlantı (1.7), kablolu iletim şeklinde bir bağlantıdır. Gönderim ve iletim senkronizasyonunu sağlamaktadır. Radar alıcısının (1.4) algılama yapması için ne zaman gönderim yapıldığını bilmesi gerekmektedir. Bu durumda bu bağlantı (1.7), bunu otomatik olarak sağlamaktadır.

Radar alıcısı (1.4), radar hedefini (RH) algılamak için bağlantı (1.7) yoluyla aldığı radar hedefinden (RH) geri yansıyan sinyali kullanmaktadır. Radar alıcısının (1.4) içerdiği karıştırıcı (1.4.1), hedeften (RH) yansıyan sinyali gönderilen radar sinyaliyle ile karıştırmaktadır. Bu işlem sonucunda kullanılan bandın tümü yerine sadece vuruş frekansını (beat frequency) filtreleyerek almaktadır. Bu işlem, daha düşük örnekleme frekansına sahip ADC (1.4.2) kullanabilmeyi sağlamaktadır. ADC (1.4.2), sinyal filtreleme ve güçlendirme işlemlerinden sonra sinyali dijital ortama dönüştürmektedir. Radar alıcısı (1.4) da Fourier dönüşümleri kullanarak mesafe ve hız tahminlerini yapmaktadır.

Haberleşme vericisine (1.2) veri girdisi gerçekleştikten sonra, haberleşme vericisi (1.2) veri girdilerini modüle ederek sembollere çevirmektedir. Haberleşme vericisi (1.2), modüle ettiği sembollere frekans uzayında belirli bir kaynak tahsisi yapmaktadır. Frekans uzayında radar ve haberleşme sistemlerinin birbirine girişim yapmaması için farklı frekans kaynakları kullanılmaktadır. n .inci OFDM sembolüne denk gelen m .inci FMCW cıvıltı parçasının frekans kaynaklarını boş bırakarak geri kalan frekans kaynaklarını kullanmaktadır (bir FMCW cıvıltısının M parçaya bölündüğü ve bir cıvıltının süresinin N CP-OFDM sembolüne eşit olduğu varsayılmaktadır). Frekans uzayında OFDM kaynak tahsisi, FMCW cıvıltısının bantları ile girişim yapmayacak şekilde yapılmaktadır. Bu kaynak tahsisi her bir OFDM sembolü için adaptif bir şekilde değiştirilmektedir. Bu kaynak tahsisi, iki sistemin girişim yapmadan kullanılmasını sağlamaktadır. Haberleşme vericisi (1.2), frekans uzayında OFDM alt taşıyıcılarına yerleştirilen sembolleri, IFFT işlemi ile zaman uzayında elde etmektedir. OFDM sembollerinin kanal ile döngüsel evrişim (circular convolution) yapması ve semboller arası girişimin engellenmesi için

haberleşme vericisi (1.2) tarafından önek eklenmesi gerçekleştirilmektedir. Burada, OFDM sembolünün kanal ile döngüsel evrişim yapması basit kanal eşitlemesi yapılması için büyük bir önem taşımaktadır. Bu işlem için üç alternatif bulunmaktadır:

- a. Haberleşme vericisi (1.2), CP-OFDM sembolünden farklı olarak sadece CP sinyalini değiştirmektedir. Bu şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\widehat{x}_n(t) = \sqrt{\frac{1}{K}} \sum_{k=0}^{K-1} d_n(k) e^{i2\pi k(t-T_{CP})/T_O} + \hat{s}(t), \quad n * (T_O + T_{CP}) - T_{CP} \leq t \leq n * (T_O + T_{CP})$$

(burada, K , $d_n(k)$, T_{CP} , ve T_O sırasıyla IFFT boyutunu, k .inci OFDM alt taşıyıcısındaki modüle edilmiş sembolü, CP süresini, ve OFDM sembol süresini ifade etmektedir)

Bu işlem, OFDM sembolünün CP eklenmesinde radar sinyalinin nasıl hesaba katıldığını göstermektedir (Bkz. Şekil 4) veya

- b. Eğer FMCW cıvıltısı T_{CP} yerine $2 * T_{CP}$ süresince sinyal göndermezse, haberleşme vericisi (1.2) OFDM sembolünün sonundan önek uzunluğunda bir sinyalin OFDM sembolünün önüne eklenerek oluşturulan klasik CP-OFDM sembolünü ($x_n(t)$) değiştirmeden kullanmaktadır, çünkü bu durumda önerilen FMCW cıvıltısı döngüsel evrişimini sağlamaktadır.

(n .inci CP-OFDM sembolü zamanda şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$x_n(t) = \sqrt{\frac{1}{K}} \sum_{k=0}^{K-1} d_n(k) e^{i2\pi k(t-T_{CP})/T_O}, \quad (n-1) * (T_O + T_{CP}) \leq t \leq n * (T_O + T_{CP})$$

burada, K , $d_n(k)$, T_{CP} , ve T_O sırasıyla IFFT boyutunu, k .inci OFDM alt taşıyıcısındaki modüle edilmiş sembolü, CP süresini, ve OFDM sembol süresini ifade etmektedir.) (Bkz. Şekil 5)

veya

- c. Haberleşme vericisi (1.2), OFDM sembolünün kanal ile döngüsel evrişim yapabilmesi için n .inci OFDM sembolünün CP süresi kadar son kısmı ile denk gelen radar sinyali

parçasını CP sinyaline eklemekte ve n .inci OFDM sembolünün CP süresine denk gelen radar sinyali parçasını CP sinyalinden çıkarmaktadır (Bkz. Şekil 6).

Her iki sinyalin farklı antenlerden (1.6) gönderildiği durumda bile, radar sinyali modüle edilmediğinden dolayı bilinebileceği için OFDM sembolü ile örtüşecek radar sinyali hesaplanabilecektir. Bu şekilde CP-OFDM ve FMCW dalga formlarının tasarlanması, sinyalin kanal ile döngüsel evrişim yapmasını sağlayacaktır. Dolayısıyla, haberleşme alıcısı (1.5) klasik sistemlerdeki gibi basit kanal eşitleme işlemi yapabilecektir.

Haberleşme vericisinde (1.2) tasarlanan haberleşme sinyali ve radar alıcısı (1.4) tarafından son haline getirilen radar sinyali, aynı zamanda birbirleriyle örtüşecek şekilde en az bir anten (1.6) aracılığıyla haberleşme alıcısına (1.5) iletilir. Burada, OFDM ve FMCW dalga formları aynı zamanı kullanmaktadır.

Haberleşme alıcısı (1.5), alınan sinyale ilk olarak önek kaldırma işlemi uygulamaktadır. Sonrasında, FFT işlemi ile frekans uzayına geçiş yapmaktadır. Burada elde edilen sembollere kanal eşitlemesi yaptıktan sonra alt taşıyıcılardaki sembolleri demodüle etmektedir. Son olarak, veri çıktısı sağlamaktadır. Burada, alıcının (1.5) tahsis edilen frekans kaynaklarını kontrol kanaldan elde edilen bilgilerle bildiği varsayılmaktadır. Buluşta, OFDM frekans kaynakları adaptif bir şekilde gönderildiği için klasik kaynak tahsisine göre daha fazla kontrol bilgisinin gönderilmesi gerekebilir.

Buluş konusu yöntem aşağıdaki adımları içermektedir.

- Haberleşme vericisine (1.2) veri girdisi gerçekleşmesi (Veri Girdisi),
- Haberleşme vericisi (1.2) tarafından, veri girdilerinin modüle edilerek sembollere çevrilmesi (Modülasyon), (Tercihen QAM (quadrature amplitüde modulation) modülasyonu kullanılması)
- Haberleşme vericisinin (1.2), modüle ettiği sembollere frekans uzayında belirli bir kaynak tahsisi yaparken, n .inci OFDM sembolüne denk gelen m .inci FMCW cıvıltı parçasının frekans kaynaklarını boş bırakarak geri kalan frekans kaynaklarını kullanması (Kaynak Tahsisi) (bir FMCW cıvıltısının M parçaya bölündüğü ve bir cıvıltının süresinin N CP-OFDM sembolüne eşit olduğu varsayılmaktadır),

- Haberleşme vericisinin (1.2), frekans uzayında OFDM alt taşıyıcılarına yerleştirilen sembolleri, IFFT işlemi ile zaman uzayında elde etmesi (IFFT),
- OFDM sembollerinin kanal ile döngüsel evrişim (circular convolution) yapması ve semboller arası girişimin engellenmesi için haberleşme vericisinin (1.2) önek eklemesini aşağıdaki üç yoldan biriyle gerçekleştirmesi (Önek Eklenmesi):

- o OFDM sembolüne CP eklenmesinde radar sinyalinin nasıl hesaba katıldığını gösteren aşağıdaki formülle CP-OFDM sembolünde sadece CP sinyalini değiştirmesi (Bkz. Şekil 4)

$$\widehat{x}_n(t) = \sqrt{\frac{1}{K}} \sum_{k=0}^{K-1} d_n(k) e^{i2\pi k(t-T_{CP})/T_O} + \hat{s}(t), \quad n * (T_O + T_{CP}) - T_{CP} \leq t \leq n * (T_O + T_{CP})$$

veya

- o Eğer FMCW cıvıltısı T_{CP} yerine $2 * T_{CP}$ süresince sinyal göndermezse, OFDM sembolünün sonundan önek uzunluğunda bir sinyalin OFDM sembolünün önüne eklenerek oluşturulan klasik CP-OFDM sembolünü $x_n(t)$ değiştirmeden kullanması (Bkz. Şekil 5) veya
- o OFDM sembolünün kanal ile döngüsel evrişim yapabilmesi için n .inci OFDM sembolünün CP süresi kadar son kısmı ile denk gelen radar sinyali parçasını CP sinyaline eklemesi ve n .inci OFDM sembolünün CP süresine denk gelen radar sinyali parçasını CP sinyalinden çıkarması (Bkz. Şekil 6),

- Radar vericisinde (1.3), modülatörün (1.3.1) FMCW sinyalinin tasarımını aşağıdaki iki şekilde yapması:
 - o Birden fazla cıvıltı ve zamandan oluşan FMCW dalga formunun ve doğrusal frekans modülasyonlu bir cıvıltının zamanda gösterimi

$$s(t) = e^{i\pi B t^2 / T_F}, \quad 0 \leq t \leq T_F \text{ iken ve}$$

t , B ve T_F sırasıyla zaman, tarama bant genişliğini (sweep bandwidth) ve FMCW cıvıltı süresini ifade ederken, radar ve haberleşmenin aynı bant genişliğini kullandığı varsayılarak, modülatörün (1.3.1), radar sinyalini

$$\hat{s}(t) = \begin{cases} 0, & t \text{ CP süresi içerisinde ise} \\ s(t), & \text{değilse} \end{cases} \quad \text{şeklinde tasarlaması, burada}$$

CP-OFDM sembolünün değiştirilmediği ve FMCW radar cıvıltısının ise $2 * T_{CP}$ süresince gönderilmediği durumda $(n - 1) * (T_O + T_{CP}) \leq t \leq (n - 1) * (T_O + T_{CP}) + T_{CP}$ ve $n * (T_O + T_{CP}) - T_{CP} \leq t \leq n * (T_O + T_{CP})$ süreleri boyunca $\hat{s}(t) = 0$ olarak tasarlanması

veya

o n .inci OFDM sembolünün CP süresi kadar son kısmı ile denk gelen radar sinyali parçasının CP sinyaline eklenmesi ve n .inci OFDM sembolün CP süresine denk gelen radar sinyali parçasının CP sinyalinden çıkarılması durumunda modülatörün

(1.3.1) FMCW cıvıltısında değişiklik yapmaması,

- FMCW vericisinin (1.3.2), tasarlanan radar sinyalini bir radar hedefine (RH) göndermesi ve radar hedefinin (RH) sinyali geri yansıtması,
- Söz konusu radar sinyalinin, radar alıcısına (1.4) bir bağlantı (1.7) yoluyla iletilmesi,
- Radar alıcısının (1.4), radar hedefini (RH) algılamak için radar hedefinden (RH) geri yansıyan sinyali kullanması,
- Radar alıcısında (1.4), karıştırıcı (1.4.1) tarafından hedeften (RH) yansıyan sinyalin gönderilen radar sinyaliyle karıştırılması ve bu işlem sonucunda kullanılan bandın tümü yerine sadece vuruş frekansının (beat frequency) filtrelenerek alınması,
- ADC'nin (1.4.2), sinyal filtreleme ve güçlendirme işlemlerinden sonra sinyali dijital ortama dönüştürmesi,
- Radar alıcısının (1.4) Fourier dönüşümleri kullanarak mesafe ve hız tahmini yapması,
- Haberleşme vericisinde (1.2) tasarlanan haberleşme sinyalinin ve radar alıcısı (1.4) tarafından son haline getirilen radar sinyalinin aynı zamanda birbirleriyle örtüşecek şekilde en az bir anten (1.6) aracılığıyla haberleşme alıcısına (1.5) iletilmesi,
- Haberleşme alıcısının (1.5) alınan sinyale ilk olarak önek kaldırma işlemi uygulaması (Önek Kaldırılması),
- Haberleşme alıcısının (1.5) FFT işlemi ile frekans uzayına geçiş yapması (FFT),
- Elde ettiği sembollere kanal eşitlemesi yaptıktan sonra alt taşıyıcılardaki sembolleri demodüle etmesi (Demodülasyon) ve
- Veri çıktısı sağlaması (Veri Çıktısı).

Söz konusu yöntem adımları herhangi bir sıralamayla uygulanabilmektedir.

5 Buluş konusu sistem (1), tercihen haberleşme vericisi (1.2) ve radar vericisini (1.3) içeren bir ortak radar-haberleşme cihazı (1.1) içermektedir. Buluş konusu sistemde (1) ortak radar-haberleşme cihazı (1.1) tercihen radar alıcısını (1.4) da içermektedir. Bu uygulama, Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu cihaza (1.1) örnek olarak, günümüzde mevcut otomobillerin hem radar hem de haberleşme sistemleri bulundurması verilebilir. Yani sistem (1), hem mono-statik hem bi-statik hem de çoklu-statik senaryolar için uygundur.

Haberleşme vericisi (1.2) ve radar vericisinin (1.3) aynı cihazda olmadığı uygulamalar, koordineli radar ve haberleşme sistemlerinde mevcut olabilmektedir.

10 Şekil 5'te zamanda haberleşme sinyali için bir değişiklik yapılmazken, Şekil 6'da radar sinyali için değişiklik yapılmamaktadır. Radar sinyali analog olarak üretildiği için sinyal tasarımı yapılması pratik durumlarda bazen mümkün olmayabilmektedir. Dolayısıyla, duruma göre Şekil 4, 5, ve 6'daki zaman sinyal tasarımlarının bir tanesi kullanılabilir.

15 Şekil 7'de buluşun radar ve haberleşme sistemleri için frekans uzayındaki kaynak tahsisi gösterilmektedir. Şekil 7; toplam bant, n .inci OFDM sembolünün bandı, m .inci FMCW cıvıltı parçası bandı kısımlarından oluşmaktadır. Bu bantlar sırasıyla B , $B_{O,n}$, ve $B_{F,m}$ ile ifade edilmektedir ($n=1,2,...,N$, $m=1,2,...,M$). Buluş, n .inci OFDM sembolüne denk gelen m .inci FMCW cıvıltı parçasının frekans kaynaklarını boş bırakarak geri kalan frekans kaynaklarını kullanmaktadır. Bu sayede, radar ve haberleşme sistemleri birbirine girişim yapmayacaktır. İki sistem arasına koyulan koruma bandı genişliği filtreleme ve pencereleme (windowing) ve sistem gereksinimlerine göre ayarlanabilecektir. Şekilde görüldüğü gibi radar sinyalinin spektrumu her bir OFDM sistemi için farklı olmaktadır. Bundan dolayı, haberleşme sistemi kaynak tahsisini radar sinyali ile girişim yapmayacak şekilde tahsis etmesi gerekmektedir. Bunun için, haberleşme sisteminin radar sinyalinin şeklini ve gönderilmeye başlama zamanını bilmesi gerekmektedir. Şekil 1'deki sistem (1) modelinde radar ve haberleşme vericileri (1.3, 1.2) aynı cihazda (1.1) bulunduğundan bu bilgilerin elde edilmesi mümkündür. Fakat diğer sistem (1) modelleri için bu şartların sağlanması gerekmektedir. Bu bilgiler bilinebildiği her sistem (1) modeli için buluş uygulanabilecektir.

Şekil 8’de buluşta önerilen radar ve haberleşme birlikteliğin klasik birliktelikte karşılaştırması gösterilmektedir. Klasik birliktelikte OFDM sembolü ve FMCW cıvıltısı aynı B bandında farklı zamanlarda kullanılmaktadır. Bu şekilde farklı zaman aralıkları kullanarak iki sistemin birbirini girişim yapması engellenmektedir. Fakat ikisi aynı zamanda kullanıldığında FMCW cıvıltısı bir OFDM sembolü boyunca tüm B bandını kullanmaktadır. Dolayısıyla buluş, n .inci OFDM sembolüne denk gelen FMCW cıvıltı parçasının kapsadığı spektrumu boş bırakarak spektrum verimli bir birliktelik sağlamaktadır. Bu durumda da her iki sistem birbirine girişim yapmamaktadır ya da önemsiz bir miktarda girişim yapmaktadır. Bu gönderilen sinyali hem radar hem de haberleşme sistemi birbirinden bağımsız bir şekilde işleyebilmektedir. Şekil 8’de önerilen birliktelikte, T_{CP} süreleri boyunca etkiler göz ardı edilmiştir.

Şekil 9’da $T_O = 16.67$ mikrosaniye, $T_{CP} = 1.04$ mikrosaniye, $T_F = 70.83$ mikrosaniye, $B = 122880$ kiloHertz ve $K = 2048$ FFT boyutu için elde edilmiş bit hata oranı (bit error rate - BER) ve spektral verimlilik (spectral efficiency) performansları gösterilmektedir. Bu performanslar farklı SNR (signal-to-noise ratio) değerleri için gösterilmektedir. BER figüründen görüldüğü gibi buluş teorik performans ile aynı değerlere sahiptir. Dolayısıyla haberleşme alıcısı (1.3), klasik sistemlerdeki aynı işlemleri yaptığında aynı performansı almaktadır. Buluşta, FMCW cıvıltısı OFDM dalga formuna girişim yapmamaktadır. Buluşta, radar ve haberleşme sistemleri aynı zamanı kullandığından sistemin toplam spektral verimliliği artmaktadır. Diğer taraftan, radar alıcısı (1.4) da klasik radar alıcısındaki işlemleri yaptığında klasik radar ile benzer bir mesafe ve hız doğruluğu tahmin performansı almaktadır. Dolayısıyla, buluş radar ve haberleşme alıcılarında herhangi bir değişiklik yapılmasını gerektirmemektedir. Klasik haberleşme sistemlerinde kaynak tahsisi kontrol bilgileri gönderilmektedir. Buluşta, sadece bu kaynak tahsis kontrol bilgilerinin gönderiliş yöntemi değişmesi gerekebilir.

Haberleşme için OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) ve radar için doğrusal sürekli dalga (linear continuous wave - LCW) formları yaygın olarak pratikte kullanılmaktadır. Dolayısıyla, haberleşme ve radar için sırasıyla OFDM ve FMCW (frequency modulated continuous wave) dalga formları kullanılmaktadır. Ancak buluş, OFDM ile benzer özellikleri taşıyan çok-taşıyıcılı haberleşme dalga formları ve FMCW ile benzer özellikleri taşıyan zamanla frekansı değişen radar dalga formları için de kullanılabilir. Bu durumda yukarıdaki sistem (1) ve

yöntem anlatımlarında “OFDM” ifadeleri, çok-taşıyıcılı diğer haberleşme dalga formlarını; “FMCW” ifadeleri de zamanla frekansı değişen diğer radar dalga formlarını kapsayacak şekilde anlaşılmalıdır.

5 Bu buluş, radar ve haberleşme sinyallerinin zaman ve frekans boyutlarında optimize edilerek, her iki sistemin birbirinden bağımsız şekilde, yüksek performansla çalışmasını mümkün kılmaktadır. Dinamik zaman-frekans ayarlamaları sayesinde, her iki sinyalin de belirli bir spektrum bandını ortaklaşa verimli kullanması sağlanır. Bu sayede radar sinyallerinin algılama doğruluğu ile haberleşme sisteminin veri aktarım hızları ve güvenilirliği artırılır.

10 Bu sistem (1) ve yöntem, radar ve haberleşme sinyallerinin aynı bant üzerinde çakışmadan, zaman-frekans düzleminde uyumlu bir biçimde çalışmasına imkân tanıyarak spektral verimliliği artırır. Böylece, mevcut spektrum kaynaklarının verimli kullanımı sağlanır ve haberleşme sistemlerinin kapasitesi artırılır.

Buluşun özellikle otomotiv, radar ve 4G ve 5G gibi haberleşme sistemlerinin birlikteliğinde yüksek öneme sahip olması beklenmektedir.

15 Bu çözüm, spektral kaynakların verimli kullanılması sayesinde, daha hızlı ve güvenilir veri iletimi yapmaktadır. Aynı zamanda, bu yaklaşım sayesinde farklı sistemlerin aynı bant üzerinde çalışabilirliği sağlanarak gelecekteki kablosuz haberleşme ve radar teknolojilerine yönelik sürdürülebilir bir yol haritası oluşturulabilir.

20 Bu buluşun en önemli avantajı, radar ve haberleşme sistemlerinin aynı zaman - farklı frekans kaynaklarını kullanarak birbirine girişim yapmadan çalışabilmesini sağlamasıdır. Buluş, yalnızca radar ve haberleşme vericilerinin değiştirilmesini önermekte olup, klasik radar ve haberleşme alıcılarında herhangi bir değişiklik yapılmasını gerektirmez. Bu sayede, buluşun uygulandığı radar ve haberleşme vericileri mevcut alıcılarla uyumlu bir şekilde çalışabilecektir. Ayrıca, vericilerde yapılan değişiklikler mevcut standartların değiştirilmesini gerektirmez, böylece buluş hem mevcut
25 hem de gelecekteki radar ve haberleşme senaryolarında doğrudan uygulanabilir.

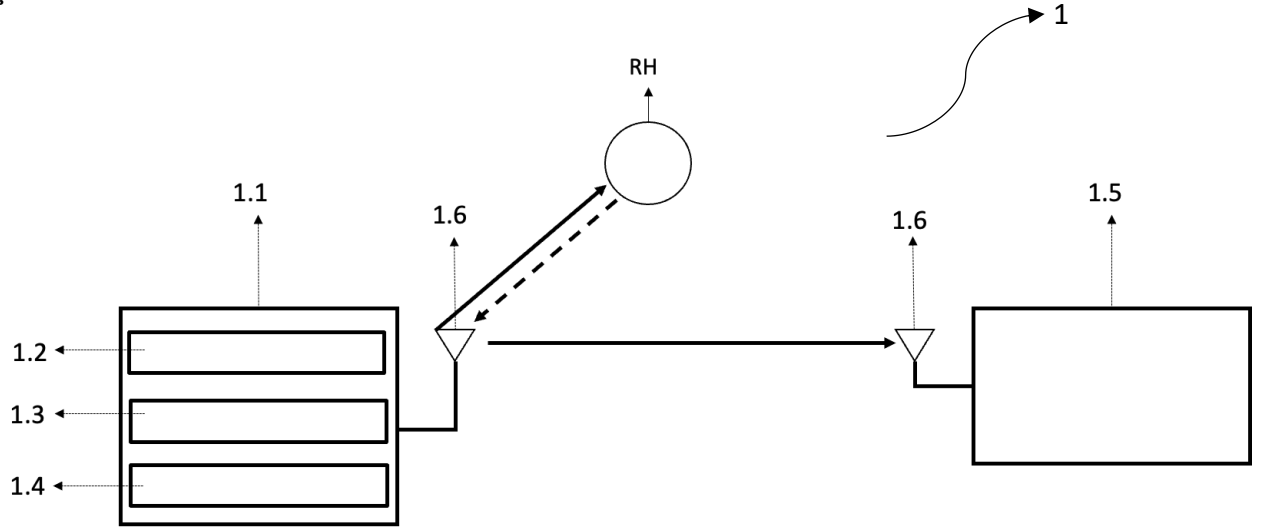
Buluşun Sanayiye Uygulanabilirliği

Bu buluş; radar ve haberleşme sistemlerinin aynı spektrum bandını birbirine girişim yapmadan paylaşmasını sağlayarak spektral verimliliği artıran bir sistem (1) ve yöntem ile ilgili olup,

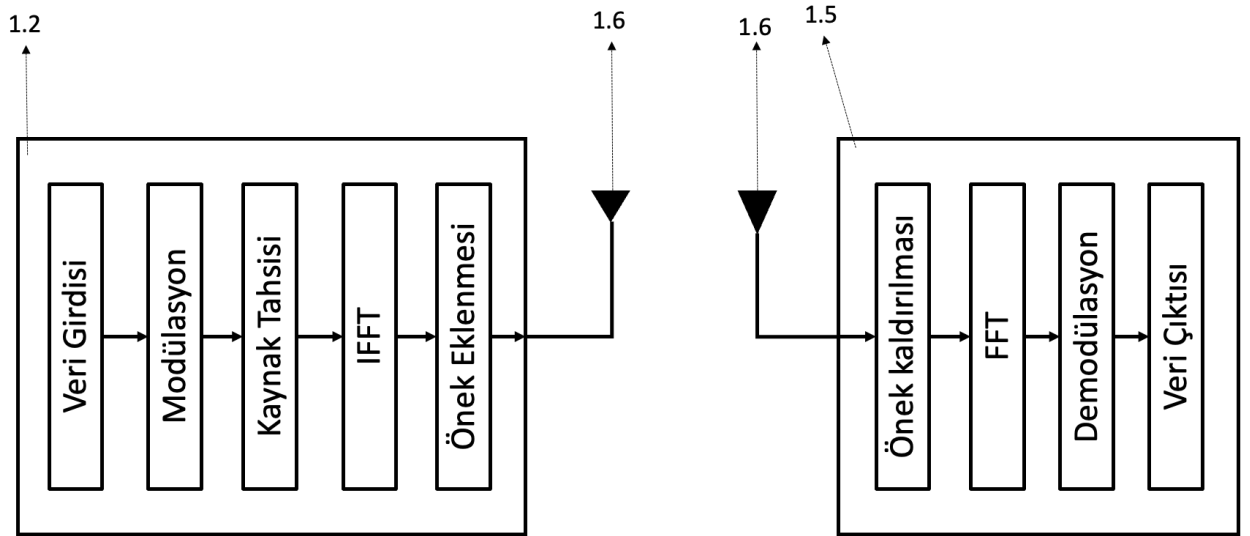
sanayiye uygulanabilir niteliktedir. Mevcut radar ve haberleşme vericilerinde yazılım ve sinyal tasarımı güncellemesi yapılarak uygulanabilir. Buluş, mevcut iletişim ve radar alıcılarında bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir.

5 Buluş yukarıdaki açıklamalar ile sınırlı olmayıp, teknikte uzman bir kişi kolaylıkla buluşun farklı uygulamalarını ortaya koyabilir. Bunlar buluşun istemler ile talep edilen koruma kapsamında değerlendirilmelidir.

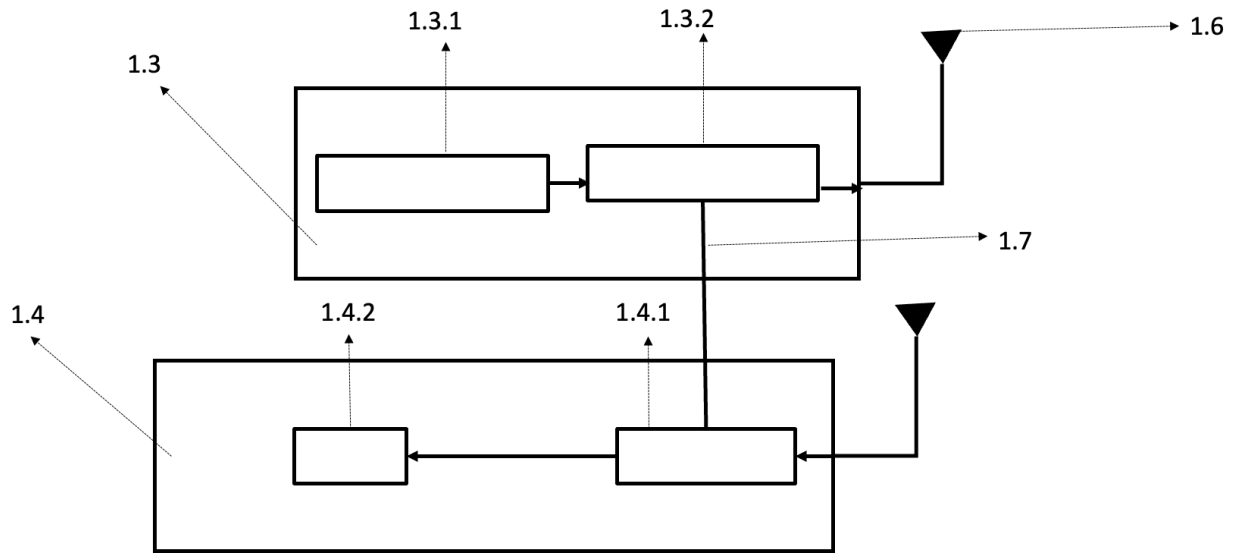
Şekil 1



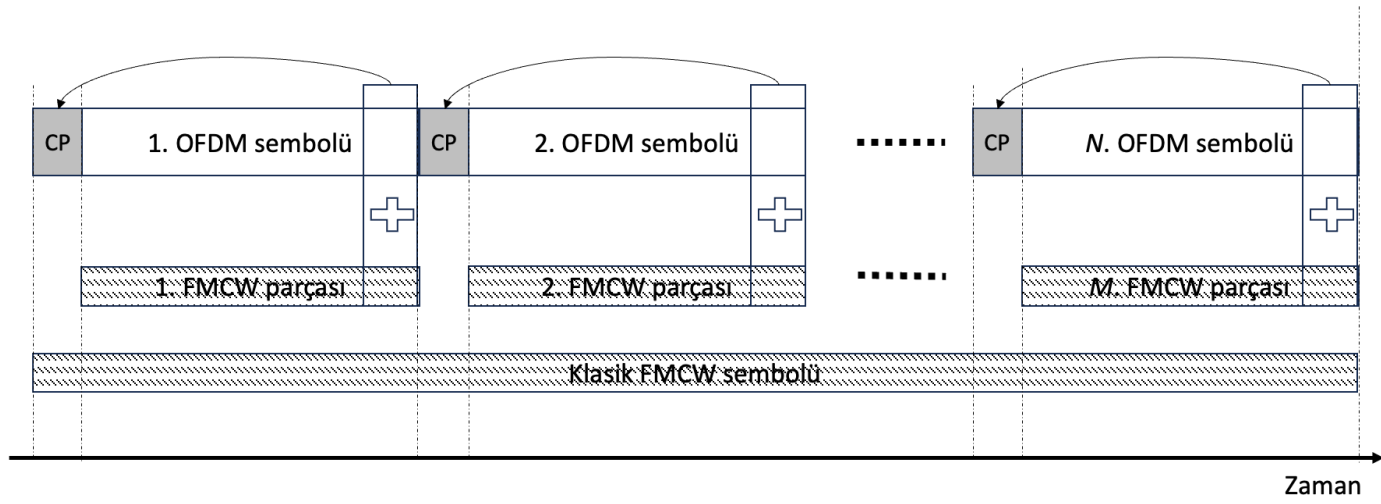
Şekil 2



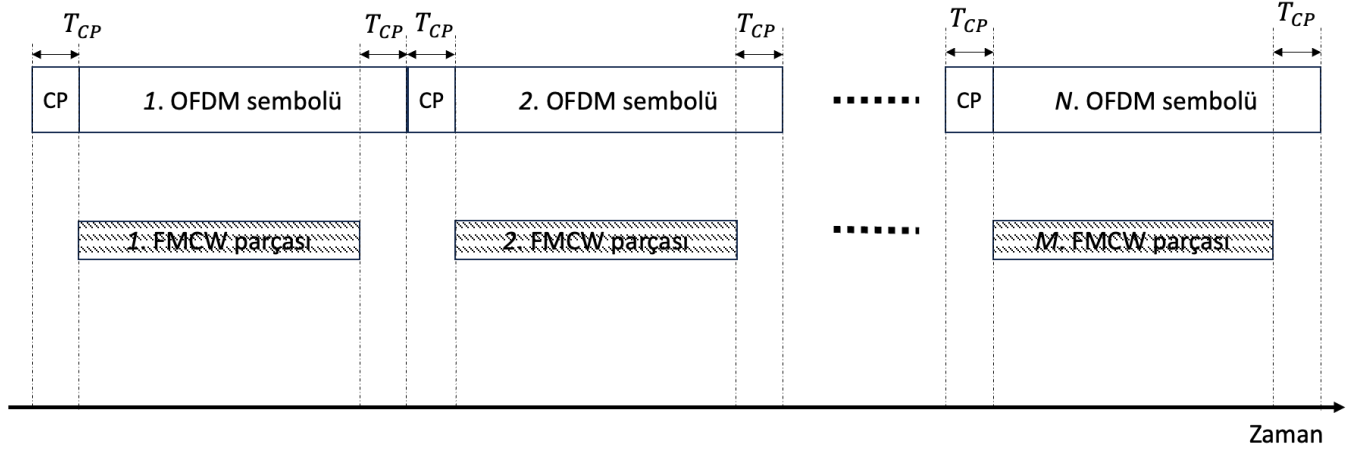
Şekil 3



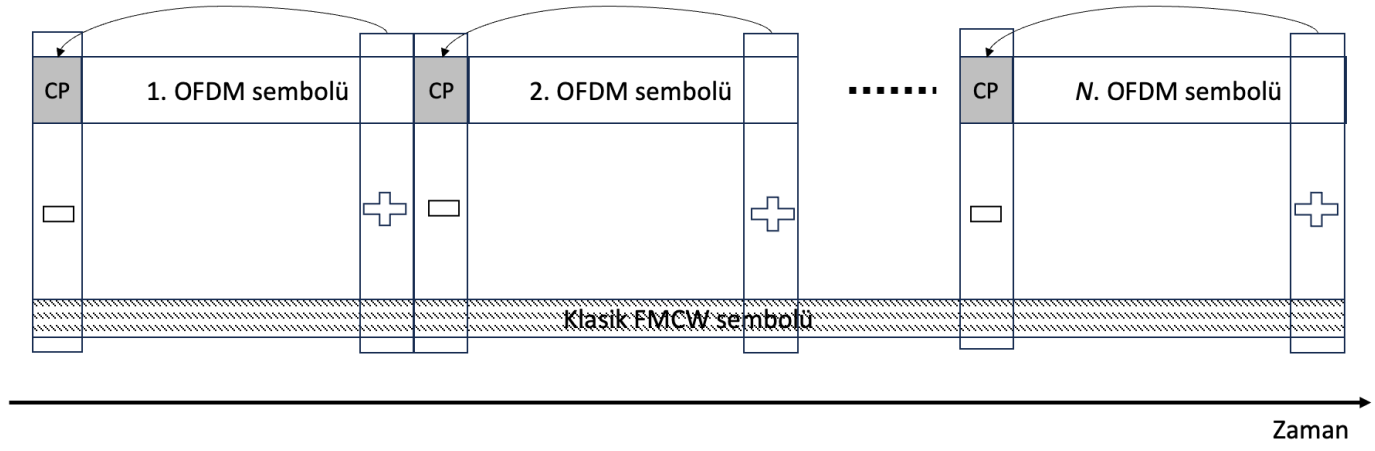
Şekil 4



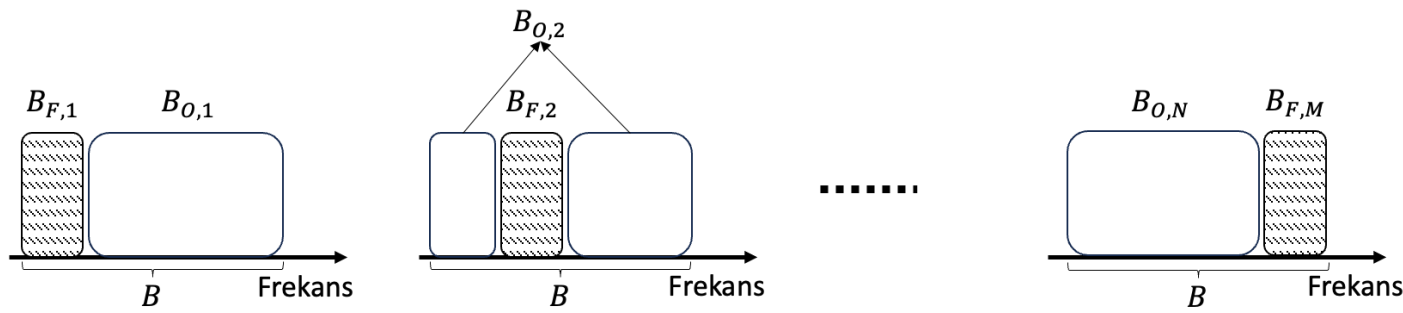
Şekil 5



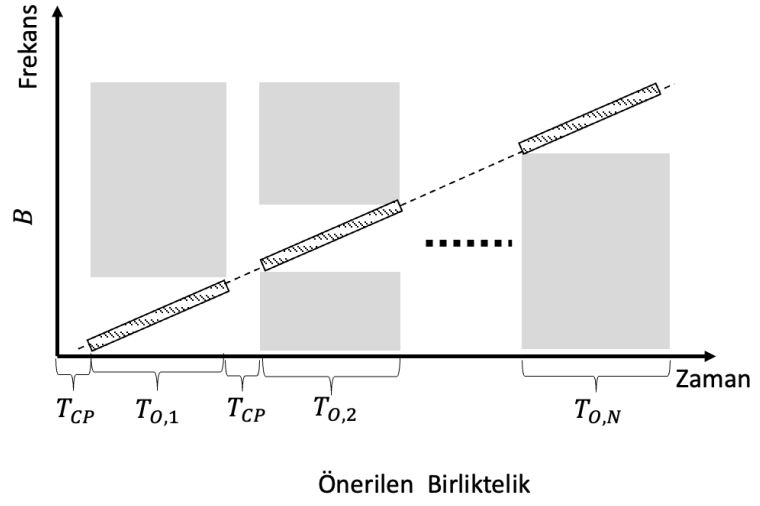
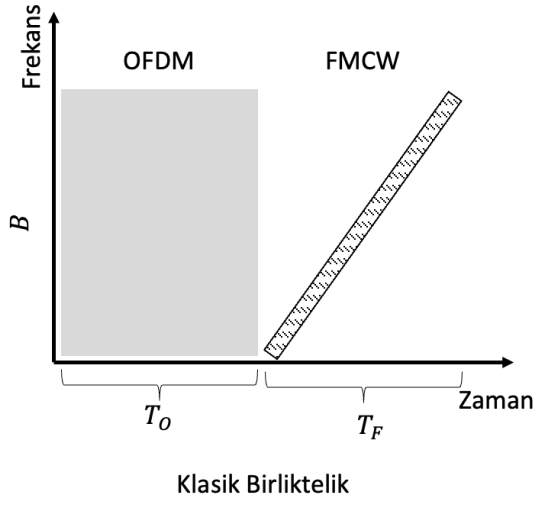
Şekil 6



Şekil 7



Şekil 8



Şekil 9

