

ÖZET

JSAC İÇİN OFDM VE AFDM SİNYALLERİNİ ENTEGRE ETMEYE YÖNELİK YÖNTEM

5

Afin Frekans Bölmeli Çoklama (AFDM) sinyallerini ve ortogonal frekans bölmeli çoklama (OFDM) sinyallerini iletebilen ve alabilen bir baz istasyonu (100), en az bir kullanıcı ekipmanının (200) AFDM sinyallerini alabildiği ve en az bir kullanıcı ekipmanının (200) OFDM sinyallerini alabildiği ve en az bir kullanıcı ekipmanının (200) veya baz istasyonunun (100) radar algılama yeteneğine sahip olduğu çoklu kullanıcı ekipmanı (200) içeren bir sistem tarafından gerçekleştirilen bir ortak algılama ve iletişim (JSAC) yöntemi.

10

ABSTRACT

A METHOD OF INTEGRATING OFDM AND AFDM SIGNALS FOR JSAC

5 A joint sensing and communication (JSAC) method performed by a system comprising a base
station (100) capable of transmitting and receiving Affine Frequency Division Multiplexing
(AFDM) signals and orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) signals; multiple user
equipment (200) where at least one user equipment (200) is capable of receiving AFDM
signals and at least one user equipment (200) capable of receiving OFDM signals and at least
10 one user equipment (200) or the base station (100) is capable of radar sensing.

Figure 1

İSTEMLER

1. Afin Frekans Bölmeli Çoklama (AFDM) sinyalleri ve ortogonal frekans bölmeli çoklama (OFDM) sinyalleri iletebilen ve alabilen bir baz istasyonu (100), en az bir kullanıcı ekipmanının (200) AFDM sinyallerini alabildiği ve en az bir kullanıcı ekipmanının (200) OFDM sinyallerini alabildiği ve en az bir kullanıcı ekipmanının (200) veya baz istasyonunun (100) radar algılama yeteneğine sahip olduğu çoklu kullanıcı ekipmanı (200) içeren bir sistem tarafından gerçekleştirilen bir ortak algılama ve iletişim (JSAC) yöntemi olup, aşağıdaki adımları içermesi **ile karakterize edilmektedir**:
- baz istasyonu (100) tarafından AFDM verilerinin, AFDM alt taşıyıcılarının frekans alanındaki önceden belirlenmiş alt taşıyıcı endekslerine dikey olarak eşlenmesi için afin alanında tahsis edilmesi ve bir AFDM sinyalinin üretilmesi;
 - baz istasyonu (100) tarafından, AFDM sinyalinin zaman alanına dönüştürülmesi;
 - baz istasyonu (100) tarafından, önceden belirlenmiş alt taşıyıcı endekslerini hariç tutarak frekans alanında OFDM verilerinin tahsis edilmesi ve bir OFDM sinyalinin üretilmesi;
 - baz istasyonu (100) tarafından, OFDM sinyalinin zaman alanına dönüştürülmesi;
 - dönüştürülmüş AFDM sinyaline döngüsel bir önek eklenmesi ve OFDM sinyaline döngüsel bir önek eklenmesi ve baz istasyonu (100) tarafından dönüştürülmüş OFDM sinyalinin ve dönüştürülmüş AFDM sinyalinin iletilmesi veya AFDM sinyalinin OFDM sinyaliyle birleştirilmesi ve OFDM sinyali ile AFDM sinyalinin birleşimine döngüsel bir önek eklenmesi ve birleşik OFDM sinyalinin ve AFDM sinyalinin iletilmesi;
 - AFDM sinyallerini alabilen en az bir kullanıcı ekipmanı (200) tarafından AFDM sinyalinin alınması;
 - AFDM sinyallerini alabilen en az bir kullanıcı ekipmanı (200) tarafından döngüsel önekin kaldırılması ve AFDM sinyalinin afin alanına dönüştürülmesi ve AFDM verilerinin kodunun çözülmesi;
 - OFDM sinyallerini alabilen en az bir kullanıcı ekipmanı (200) tarafından OFDM sinyalinin alınması ve döngüsel önekin kaldırılması ve OFDM sinyalinin frekans alanına dönüştürülmesi ve OFDM verilerinin kodunun çözülmesi.

2. İstem 1'e göre yöntem olup, **burada** "baz istasyonu (100) tarafından AFDM verilerinin, AFDM alt taşıyıcılarının frekans alanındaki önceden belirlenmiş alt taşıyıcı endekslerine dikey olarak eşlenmesi için afin alanında tahsis edilmesi ve bir AFDM sinyalinin üretilmesi" adımımda $i=0$ endeksindeki bir eleman pilot olarak tahsis edilmektedir.

3. İstem 2'ye göre yöntem olup, **burada** pilot, ortamda Doppler olmaması durumunda maksimum aşırı gecikmeden ($g > c_1' l_{max}$) daha üstün bir aşırı gecikmeye sahip bir koruma veya ortamda Doppler olması durumunda maksimum gecikme + maksimum Doppler'den daha üstün bir koruma içermektedir.

4. İstem 2 veya 3'e göre yöntem olup, "OFDM sinyallerini alabilen en az bir kullanıcı ekipmanı (200) tarafından OFDM sinyalinin alınması ve döngüsel önekin kaldırılması ve OFDM sinyalinin frekans alanına dönüştürülmesi ve OFDM verilerinin kodunun çözülmesi" adımımda OFDM sinyalinin frekans alanına dönüştürülmesinden sonra pilot elemana dayalı olarak kanal tahmininin gerçekleştirilmesi ve kanal eşitlemesinin gerçekleştirilmesi ve;
"AFDM sinyallerini alabilen en az bir kullanıcı ekipmanı (200) tarafından döngüsel önekin kaldırılması ve AFDM sinyalinin afin alanına dönüştürülmesi ve AFDM verilerinin kodunun çözülmesi" adımımda pilot elemana dayalı olarak kanal tahmininin gerçekleştirilmesi **ile karakterize edilmektedir.**

5. İstem 1'e göre yöntem olup, **burada** "baz istasyonu (100) tarafından AFDM verilerinin, AFDM alt taşıyıcılarının frekans alanındaki önceden belirlenmiş alt taşıyıcı endekslerine dikey olarak eşlenmesi için afin alanında tahsis edilmesi ve bir AFDM sinyalinin üretilmesi" adımımda radar algılama için k'inci AFDM sembolünün frekans alanı gösteriminde bir faz kayması uygulanmaktadır; ve "AFDM sinyallerini alabilen en az bir kullanıcı ekipmanı (200) tarafından döngüsel önekin kaldırılması ve AFDM sinyalinin afin alanına dönüştürülmesi ve AFDM verilerinin kodunun çözülmesi" adımımda kaydırılmış sembole dayalı olarak kanal tahmini gerçekleştirilmektedir ve kanal eşitlemesi gerçekleştirilmektedir.

6. Afin Frekans Bölmeli Çoklama (AFDM) sinyallerini ve ortogonal frekans bölmeli çoklama (OFDM) sinyallerini iletebilen ve alabilen bir baz istasyonu (100), en az bir

kullanıcı ekipmanının (200) AFDM sinyallerini alabildiği ve en az bir kullanıcı ekipmanının (200) OFDM sinyallerini alabildiği ve en az bir kullanıcı ekipmanının (200) veya baz istasyonunun (100) radar algılama yeteneğine sahip olduğu çoklu kullanıcı ekipmanı (200) içeren bir sistem olup, sistemin İstem 1-5'e göre yöntemlerden birini gerçekleştirecek şekilde yapılandırılması ***ile karakterize edilmektedir.***

CLAIMS

1. A joint sensing and communication (JSAC) method performed by a system comprising a base station (100) capable of transmitting and receiving Affine Frequency Division Multiplexing (AFDM) signals and orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) signals; multiple user equipment (200) where at least one user equipment (200) is capable of receiving AFDM signals and at least one user equipment (200) capable of receiving OFDM signals and at least one user equipment (200) or the base station (100) is capable of radar sensing, **characterized in that** comprising the steps of:

- allocating, by the base station (100), AFDM data in affine domain such that the AFDM subcarriers in the affine domain are orthogonally mapped to predetermined subcarrier indices in the frequency domain and generating an AFDM signal;
- transforming, by the base station (100), AFDM signal to time domain;
- allocating, by the base station (100), OFDM data in frequency domain excluding the predetermined subcarrier indices and generating an OFDM signal;
- transforming, by the base station (100), OFDM signal to time domain;
- adding a cyclic prefix to the transformed AFDM signal and adding a cyclic prefix to the OFDM signal and transmitting by the base station (100), the transformed OFDM signal and the transformed AFDM signal or
- combining the AFDM signal with the OFDM signal and adding a cyclic prefix to the combination of the OFDM signal and the AFDM signal and transmitting combined OFDM signal and the AFDM signal;
- receiving, by the at least one user equipment (200) which is capable of receiving AFDM signals, the AFDM signal;
- removing, by the at least one user equipment (200) which is capable of receiving AFDM signals, the cyclic prefix and transforming AFDM signal to affine domain and decoding AFDM data;
- receiving, by the at least one user equipment (200) which is capable of receiving OFDM signals, the OFDM signal and removing the cyclic prefix and transforming OFDM signal to frequency domain and decoding OFDM data.

2. The method according to claim 1, **wherein** in the step “allocating, by the base station (100), AFDM data in affine domain such that the AFDM subcarriers in the affine domain are orthogonally mapped to predetermined subcarrier indices in the frequency domain and generating an AFDM signal” an element at index $i=0$ is dedicated as pilot.

3. The method according to claim 2, **wherein** the pilot comprises a guard having excess delay superior than the maximum excess delay $g > c'_1 l_{max}$ in case there is no Doppler in the environment or a guard that is superior than maximum delay + maximum Doppler in case there is Doppler in the environment.
4. The method according to claim 2 or 3, **characterized in that** in the step "receiving, by the at least one user equipment (200) which is capable of receiving OFDM signals, the OFDM signal and removing the cyclic prefix and transforming OFDM signal to frequency domain and decoding OFDM data" performing channel estimation after OFDM signal is transformed to frequency domain based on pilot element and performing channel equalization and;
in the step "removing, by the at least one user equipment (200) which is capable of receiving AFDM signals, the cyclic prefix and transforming AFDM signal to affine domain and decoding AFDM data;" performing channel estimation based on pilot element
5. The method according to claim 1, **wherein** in the step "allocating, by the base station (100), AFDM data in affine domain such that the AFDM subcarriers in the affine domain are orthogonally mapped to predetermined subcarrier indices in the frequency domain and generating an AFDM signal" introducing a phase shift in frequency domain representation of the k-th AFDM symbol for radar sensing; and in the step "removing, by the at least one user equipment (200) which is capable of receiving AFDM signals, the cyclic prefix and transforming AFDM signal to affine domain and decoding AFDM data" performing channel estimation based on shifted symbol and performing channel equalization.
6. A system comprising a base station (100) capable of transmitting and receiving Affine Frequency Division Multiplexing (AFDM) signals and orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) signals; multiple user equipment (200) where at least one user equipment (200) is capable of receiving AFDM signals and at least one user equipment (200) capable of receiving OFDM signals and at least one user equipment (200) or the base station (100) is capable of radar sensing **characterized in that** the system is configured to perform one of the method of claim 1-5.

TARİFNAME

JSAC İÇİN OFDM VE AFDM SİNYALLERİNİ ENTEGRE ETMEYE YÖNELİK YÖNTEM

5

TEKNİK ALAN

10 Buluş, Afin Frekans Bölmeli Çoklama (AFDM) sinyalleri ve ortogonal frekans bölmeli çoklama (OFDM) sinyalleri iletebilen ve alabilen bir baz istasyonu, en az bir kullanıcı ekipmanının AFDM sinyallerini alabildiği ve en az bir kullanıcı ekipmanının OFDM sinyallerini alabildiği ve en az bir kullanıcı ekipmanının veya baz istasyonunun radar algılama yeteneğine sahip olduğu çoklu kullanıcı ekipmanı içeren bir sistem tarafından gerçekleştirilen bir ortak algılama ve iletişim (JSAC) yöntemine ilişkindir.

15 ÖNCEKİ TEKNİK

6G ağlarının, gelişen hizmet gereksinimlerini karşılamak için yenilikçi çözümler gerektirmesi beklenmektedir. Bunlar arasında en umut verici yaklaşımlardan biri Ortak Algılama ve İletişim'dir (JSAC). İletişim ve algılama işlevlerini sorunsuz bir şekilde entegre ederek JSAC, 20 ağ düğümlerinin yalnızca veri iletmelerini değil, aynı zamanda çevrelerini algılamalarını da sağlamaktadır ve bu da gelişmiş sistem güvenilirliği, iyileştirilmiş karar alma ve optimize edilmiş kaynak verimliliğine olanak tanımaktadır.

25 Radyo spektrumundaki sürekli artan tıkanıklığı ele almak, kaynakları verimli bir şekilde yöneten, girişimi azaltan ve hem iletişim hem de algılama işlevlerini sağlayan dalga şekilleri tasarlamayı kritik hale getiren önemli bir zorluktur. JSAC, dalga şekli tasarımlarının genel olarak tek dalga şekli ve çoklu dalga şekli olmak üzere iki yaklaşıma ayrıldığı çift işlevselliği desteklemek için aynı spektrumu, donanımı veya dalga şeklini kullanmaktadır.

30 Tek dalga şekilli tasarımlarda, genellikle bir işlevi diğerine göre önceliklendirerek tek bir dalga şekli kullanılmaktadır. Örneğin, iletişim merkezli tasarımlar algılama pahasına iletişim performansını optimize ederken, algılama merkezli tasarımlar iletişimden ziyade algılama doğruluğunu vurgulamaktadır. Öte yandan, çift işlevli dalga şekli tasarımları, iletişim ve

algılama arasında bir denge sağlamak için parametreleri ayarlamaya çalışmaktadır, ancak her ikisi için de optimum performans elde etmek zorlu olmaya devam etmektedir.

- 5 Çoklu dalga şekilli tasarımlarda, her birinin güçlü yönlerini en üst düzeye çıkarmak için ayrı dalga şekilleri kullanılmaktadır; biri iletişim için optimize edilirken diğeri algılama için uyarlanmıştır. Bu tasarımlar, aynı bant genişliği veya donanım içinde dalga şekillerinin bir arada bulunmasına odaklanmaktadır ve minimum girişim ve verimli kaynak paylaşımı sağlamak için yenilikçi yaklaşımlar gerektirmektedir.
- 10 Önceki teknikte, hem iletişim hem de algılama gereksinimlerini karşılayan dalga şekli birlikteliğini sağlamak için birkaç girişimde bulunulmuştur. İyi algılama ve iletişim performansı elde etmek, genellikle tek bir dalga şeklinin, ancak algılama doğruluğu ve iletişim verimliliği arasında denge sağlanması pahasına her iki işlevi de yerine getirebilmesi nedeniyle, genellikle tavizler verilmesini gerektirmekteydi. Tipik olarak, algılama merkezli bir dalga şekli,
- 15 hiç girişim olmadan veya minimum girişimle birlikte çalışmak üzere iletişim merkezli bir dalga şekliyle entegre edilmektedir [1].

- Örneğin OFDM, algılamayı da destekleyebilen yaygın olarak kullanılan bir iletişim dalga şeklidir. Ancak, OFDM'deki bu çift işlevsellik, kanal tahmini ve algılama için alt taşıyıcıların pilot olarak ayrılmasını gerektirmektedir, bu da spektral verimliliği azaltmaktadır ve radar algılamanın karmaşıklığını artırmaktadır. Öte yandan, cıvıltılar öncelikle algılama uygulamaları için tasarlanmıştır, ancak veri aktarımı için de uyarlanabilmektedir. Ancak, elde edilebilir veri hızları, yüksek verimli iletişim sistemleri için gerekenlerden önemli ölçüde düşüktür ve bu da iletişimin yoğun olduğu senaryolarda kullanımlarını sınırlamaktadır.
- 20 Algılamaya odaklanmaları, hem yüksek veri hızlarının hem de algılama doğruluğunun kritik olduğu modern entegre algılama ve iletişim sistemlerinin ikili taleplerini karşılamada genellikle başarısız olmaktadır. AFDM, iletişimi ve algılamayı aynı anda desteklemek için bir alternatif olarak önerilmiştir. AFDM'de, veriler Afin alanında bulunmaktadır ve [2]'de önerildiği gibi, etkili algılamaya olanak sağlamak için bir koruma aralığına sahip bir pilot kullanılmaktadır. Bu
- 25 yöntem, koruma aralığını artırarak algılama doğruluğunu geliştirirken, bu yaklaşımda azaltılmış spektral verimlilik ve iletişim verimi ile taviz verilmektedir.
- 30

Cıvıltıların OFDM ile entegrasyonu çeşitli şekillerde araştırılmıştır. Bir yaklaşımda, tekrarlanan cıvıltılar frekans alanında dikey olarak bulunmaktadır ve burada belirli alt taşıyıcılar cıvıltılar

için tahsis edilirken, kalan alt taşıyıcılar OFDM verileri için ayrılmaktadır. Bu, cıvıltıların ve OFDM sinyallerinin, frekans alanında dikey olurken OFDM sembol süresi içinde zaman alanında örtüşmesini sağlamaktadır ve doğrudan girişim olmadan kaynak paylaşımına izin vermektedir [3]. Ancak, bu dikey yöntem, etkili birlikteliği kolaylaştırırken, cıvıltılar için ayrılmış alt taşıyıcılar nedeniyle spektral verimliliği feda etmektedir ve cıvıltı süresini döngüsel örnek (CP) ile eşleşecek şekilde sınırlamaktadır, bu da daha iyi algılama çözünürlüğü için daha uzun cıvıltı sürelerinin tercih edilmesi nedeniyle algılama performansını olumsuz etkilemektedir.

Alternatif olarak, cıvıltılar ve OFDM'nin, girişimden kaçınmak amacıyla güç ve zamansal hizalamanın dikkatli bir şekilde yönetilmesiyle, zaman alanında sembollerini üst üste bindirerek bir arada var olduğu gösterilmiştir. Dikey olmayan çoklu erişim (NOMA) [4] kavramlarından esinlenen bu yöntem, frekans alanı ayırımına kıyasla spektral kullanımı iyileştirmektedir. Ancak, güç seviyesi ayrımı için artan karmaşıklık ve güç seviyeleri optimum şekilde yapılandırılmadığında potansiyel performans düşüşü dahil olmak üzere alıcı tasarımında zorluklar ortaya çıkarmaktadır.

Mevcut bu çözümler dalga şekli birlikteliğinde ilerlemeyi temsil etmektedir, ancak verimlilik ve uyarlanabilirlik açısından sınırlıdır. Frekans alanı dikey yöntemleri genellikle spektral kullanımdan taviz verirken, güç alanı NOMA'dan esinlenen entegrasyonlar önemli düzeyde karmaşıklık getirmektedir ve güç dengesizliklerine eğilimlidir. Bu sınırlamalar, AFDM ve OFDM'nin önerilen dikey birlikteliği gibi yenilikçi çözümlere olan ihtiyacı vurgulamaktadır.

Referanslar

- [1] Hanif, A., Ahmed, S., Al-Naffouri, T.Y. ve Alouin, M.S., 2023. Exploring the Synergy: A Review of Dual-Functional Radar Communication Systems. arXiv preprint arXiv:2401.00469.
- [2] Bemani, A., Ksairi, N. ve Kountouris, M., 2024. Integrated sensing and communications with affine frequency division multiplexing. IEEE Wireless Communications Letters.
- [3] Memisoglu, E., Sahin, M.M. ve Arslan, H., 2022, Nisan. Orthogonal coexistence of overlapped radar and communication waveforms. In 2022 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC) (s. 2190-2195). IEEE.

[4] Şahin, M.M. ve Arslan, H., 2020, Kasım. Multi-functional coexistence of radar-sensing and communication waveforms. In 2020 IEEE 92nd Vehicular Technology Conference (VTC2020-Fall) (s. 1-5). IEEE.

- 5 Yukarıda belirtilen tüm sorunlar, sonuç olarak ilgili teknik alanda bir yenilik yapmayı gerekli kılmıştır.

BULUŞUN KISA AÇIKLAMASI

- 10 Mevcut buluş, yukarıda belirtilen dezavantajları ortadan kaldırmaya ve ilgili teknik alana yeni avantajlar getirmeye yönelik bir yöntemle ilişkindir.

Buluşun bir amacı, ortak algılama ve iletişim sistemlerinde aynı kaynaklarda Ortogonal frekans Bölmeli Çoklama (OFDM) ve Afin Frekans Bölmeli Çoklama (AFDM) kullanmaktır.

15

Buluşun bir diğer amacı, mevcut cihazlarda uyumlu bir yöntem sağlamaktır.

Buluşun bir diğer amacı, güvenilir kanal tahmini sağlamaktır.

- 20 Yukarıda belirtilen ve aşağıdaki ayrıntılı açıklamadan ortaya çıkacak tüm hedeflere ulaşmak için, mevcut buluş, Afin Frekans Bölmeli Çoklama (AFDM) sinyalleri ve ortogonal frekans bölmeli çoklama (OFDM) sinyalleri iletebilen ve alabilen bir baz istasyonu, en az bir kullanıcı ekipmanının AFDM sinyallerini alabildiği ve en az bir kullanıcı ekipmanının OFDM sinyallerini alabildiği ve en az bir kullanıcı ekipmanının veya baz istasyonunun radar algılama yeteneğine sahip olduğu çoklu kullanıcı ekipmanı içeren bir sistem tarafından gerçekleştirilen
- 25 bir ortak algılama ve iletişim (JSAC) yöntemine ilişkindir. Buna göre, aşağıdaki adımları içermektedir:

- baz istasyonu tarafından, AFDM alt taşıyıcılarının frekans alanındaki önceden belirlenmiş alt taşıyıcı endekslerine dikey olarak eşlenmesi için AFDM verilerinin afin alanında tahsis edilmesi ve bir AFDM sinyalinin üretilmesi;
- 30 - baz istasyonu tarafından, AFDM sinyalinin zaman alanına dönüştürülmesi;
- baz istasyonu tarafından, önceden belirlenmiş alt taşıyıcı endekslerini hariç tutarak frekans alanında OFDM verilerinin tahsis edilmesi ve bir OFDM sinyalinin üretilmesi;
- baz istasyonu tarafından, OFDM sinyalinin zaman alanına dönüştürülmesi;

- dönüştürülmüş AFDM sinyaline döngüsel bir önek eklenmesi ve OFDM sinyaline döngüsel bir önek eklenmesi ve baz istasyonu tarafından dönüştürülmüş OFDM sinyalinin ve dönüştürülmüş AFDM sinyalinin iletilmesi veya

AFDM sinyalinin OFDM sinyaliyle birleştirilmesi ve OFDM sinyali ile AFDM sinyalinin birleşimine döngüsel bir önek eklenmesi ve birleşik OFDM sinyalinin ve AFDM sinyalinin iletilmesi;

- AFDM sinyallerini alabilen en az bir kullanıcı ekipmanı tarafından AFDM sinyalinin alınması;

- AFDM sinyallerini alabilen en az bir kullanıcı ekipmanı tarafından döngüsel önekin kaldırılması ve AFDM sinyalinin afin alanına dönüştürülmesi ve AFDM verilerinin kodunun çözülmesi;

- OFDM sinyallerini alabilen en az bir kullanıcı ekipmanı tarafından OFDM sinyalinin alınması ve döngüsel önekin kaldırılması ve OFDM sinyalinin frekans alanına dönüştürülmesi ve OFDM verilerinin kodunun çözülmesi. Bu nedenle, önerilen yöntemde, OFDM güvenilirliği, spektral verimliliği ve mevcut sistemlerle geriye dönük uyumluluğu nedeniyle iletişim için kullanılmaktadır. AFDM, cıvıltı tabanlı özellikleriyle, kanal tahmini ve algılama için pilotlar olarak entegre edilmektedir. Ek olarak, AFDM veri iletişimi için kullanılmaktadır ve OFDM çerçevesindeki aynı pilot konumlarıyla örtüşmesine olanak tanımaktadır. Bu örtüşme, dikeyliği sağlamaktadır, her iki dalga şeklinin işlevselliğini korumaktadır ve spektral verimliliği önemli ölçüde artırmaktadır. OFDM'nin iletişimdeki güçlü yönlerini AFDM'nin algılama ve iletişim yetenekleriyle birleştirerek, sistem algılama doğruluğu ve iletişim verimi arasında sorunsuz bir denge elde etmektedir ve önceki çözümlerin verimsizliklerini gidermektedir. Aynı zamanda, her iki dalga şekli de aynı OFDM modülatörü kullanılarak verimli bir şekilde üretilmektedir, bu da donanım tasarımını basitleştirmektedir ve uygulama karmaşıklığını azaltırken mevcut altyapıyla uyumluluğu garanti etmektedir.

Buluşun olası bir yapılandırması, "baz istasyonu tarafından, AFDM alt taşıyıcılarının frekans alanındaki önceden belirlenmiş alt taşıyıcı endekslerine dikey olarak eşlenmesi için AFDM verilerinin afin alanında tahsis edilmesi ve bir AFDM sinyalinin üretilmesi" adımıyla, $i=0$ endeksindeki bir elemanın pilot olarak tahsis edilmesiyle karakterize edilmektedir.

Buluşun bir başka olası yapılandırması, pilotun, ortamda Doppler olmaması durumunda maksimum aşırı gecikmeden ($g > c_1' l_{max}$) daha üstün bir aşırı gecikmeye sahip bir koruma

ŞEKİLDE VERİLEN REFERANS NUMARALARI

100 Baz istasyonu

5 200 Kullanıcı ekipmanı

210 Birinci kullanıcı ekipmanı

220 İkinci kullanıcı ekipmanı

230 Üçüncü kullanıcı ekipmanı

10 BULUŞUN AYRINTILI AÇIKLAMASI

Bu ayrıntılı açıklamada, konu sadece konuyu daha anlaşılır kılmak için herhangi bir kısıtlayıcı etki oluşturmadan örneklerle referansla açıklanmaktadır.

15 Buluş, aynı frekans veri iletimi ve radar algılaması üzerinden hem ortogonal frekans bölmeli çoklama (OFDM) sinyali hem de afin frekans bölmeli çoklama (AFDM) sinyallerini kullanan bir iletişim yöntemidir.

Şekil 1'e referansla, yöntemi gerçekleştiren sistem bir baz istasyonu (100) (veya bir erişim noktası) ve çoklu kullanıcı ekipmanı (200) içermektedir. Kullanıcı ekipmanlarının (200) bir kısmı OFDM iletişimi gerçekleştirebilmektedir ve kullanıcı ekipmanlarının (200) bir kısmı AFDM iletişimi gerçekleştirebilmektedir. Bazı kullanıcı ekipmanları (200) her ikisini de gerçekleştirecek şekilde yapılandırılabilir. Baz istasyonu (100), AFDM sinyallerini ve OFDM sinyallerini iletecek şekilde yapılandırılmaktadır. Baz istasyonu (100) ve/veya kullanıcı ekipmanlarının (200) bir kısmı AFDM sinyalleri tarafından radar algılaması gerçekleştirecek şekilde yapılandırılmaktadır.

Kullanıcı ekipmanı (200), yukarıda belirtilen iletişimi gerçekleştirebilen bir kullanıcı terminali, cep telefonu veya herhangi bir başka cihaz olabilmektedir.

30

Sistem ayrıca, bir algılama baz istasyonunun (100) veya bir algılama kullanıcı ekipmanı cihazının (200) algılamayı amaçladığı nesneleri, cihazları içerebilmektedir.

Şekil 3'e referansla, yöntem aşağıdaki adımları içermektedir:

Baz istasyonu (100), AFDM alt taşıyıcılarının frekans alanındaki önceden belirlenmiş alt taşıyıcı endekslerine dikey olarak eşleneceği şekilde AFDM verilerini afin alanında tahsis etmektedir ve bir AFDM sinyali üretmektedir. Baz istasyonu (100), AFDM sinyalini zaman alanına dönüştürmektedir. Daha sonra, söz konusu önceden belirlenmiş alt taşıyıcı endekslerini hariç tutarak frekans alanında OFDM verilerini tahsis etmektedir ve bir OFDM sinyali üretmektedir. Baz istasyonu (100), OFDM sinyalini zaman alanına dönüştürmektedir.

Olası bir yapılandırmada, baz istasyonu (100), AFDM sinyaline ve OFDM sinyaline döngüsel bir önek eklemektedir. Daha sonra OFDM sinyalini ve AFDM sinyalini iletmektedir.

Başka bir olası yapılandırmada, baz istasyonu (100), OFDM sinyalini ve AFDM sinyalini birleştirmektedir. Daha sonra baz istasyonu (100), OFDM sinyali ve AFDM sinyalinin birleşimine döngüsel bir önek eklemektedir ve birleşik OFDM sinyalini ve AFDM sinyalini iletmektedir.

AFDM sinyallerini alabilen en az bir kullanıcı ekipmanı (200) (birinci kullanıcı ekipmanı (210)) AFDM sinyalini almaktadır ve AFDM sinyalinden döngüsel öneki kaldırmaktadır. Daha sonra birinci kullanıcı ekipmanı (210), AFDM sinyalini afin alanına dönüştürmektedir ve AFDM verilerinin kodunu çözmektedir. Algılama alıcısı, AFDM tekrarlanan cıvıltılar içerdiğinden, geleneksel bir Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga Radar (FMCW) radarına benzer şekilde, yansıyan AFDM elemanlarını kullanarak hedef tespiti gerçekleştirebilmektedir. Radar alıcısı, bir üçüncü kullanıcı ekipmanı (230) veya baz istasyonu (100) olabilmektedir.

OFDM sinyallerini alabilen bir ikinci kullanıcı ekipmanı (220), OFDM sinyalini almaktadır. İkinci kullanıcı ekipmanı (220), OFDM sinyalinden döngüsel öneki kaldırmaktadır ve OFDM verilerinin kodunu çözmek için OFDM sinyalini frekans alanına dönüştürmektedir.

Olası bir yapılandırmada, “baz istasyonu (100) tarafından, AFDM alt taşıyıcılarının frekans alanındaki önceden belirlenmiş alt taşıyıcı endekslerine dikey olarak eşlenmesi için AFDM verilerinin afin alanında tahsis edilmesi ve bir AFDM sinyalinin üretilmesi” adımı, $i=0$ endeksindeki bir eleman pilot olarak tahsis edilmektedir. Pilot, maksimum aşırı gecikmeden ($g > c_1' l_{max}$) daha üstün aşırı gecikmeye sahip bir koruma içermektedir. Bu, hem afin alanında hem de frekans alanında eşitlemeye yardımcı olmaktadır. Üstün, boş bırakılan endeks sayısı açısından daha büyük anlamına gelmektedir, yani pilottan sonra sıfır veya boş endeks sayısı,

ortamdaki gecikme kademelerinin veya gecikme ve Doppler kademelerinin sayısından daha büyüktür.

5 Olası bir yapılandırmada, “OFDM sinyallerini alabilen en az bir kullanıcı ekipmanı (200) tarafından OFDM sinyalinin alınması ve döngüsel önekin kaldırılması ve OFDM sinyalinin frekans alanına dönüştürülmesi ve OFDM verilerinin kodunun çözülmesi” adımı, OFDM sinyalinin pilot elemana dayalı olarak frekans alanına dönüştürülmesinden sonra kanal tahmini gerçekleştirilmektedir. Daha sonra kanal eşitlemesi gerçekleştirilmektedir. “AFDM sinyallerini alabilen en az bir kullanıcı ekipmanı (200) tarafından döngüsel önekin kaldırılması ve AFDM 10 sinyalinin afin alanına dönüştürülmesi ve AFDM verilerinin kodunun çözülmesi” adımı, kanal tahmini pilot elemana dayalı olarak gerçekleştirilmektedir.

Başka bir olası yapılandırmada, "baz istasyonu (100) tarafından, AFDM alt taşıyıcılarının frekans alanındaki önceden belirlenmiş alt taşıyıcı endekslerine dikey olarak eşlenmesi için 15 AFDM verilerinin afin alanında tahsis edilmesi ve bir AFDM sinyalinin üretilmesi" adımı, k'inci AFDM sembolünün frekans alanı gösteriminde bir faz kayması uygulamayı içermektedir; ve " AFDM sinyallerini alabilen en az bir kullanıcı ekipmanı (200) tarafından döngüsel önekin kaldırılması ve AFDM sinyalinin afin alanına dönüştürülmesi ve AFDM verilerinin kodunun çözülmesi" adımı, kaydırılmış sembole dayalı olarak kanal tahmini gerçekleştirmeyi ve kanal 20 eşitlemeyi gerçekleştirmeyi içermektedir.

OFDM sinyal modeli, AFDM sinyal modeli, frekans ve afin alanı arasındaki dönüşüm, birleşik sinyal konfigürasyonu, döngüsel önek ekleme ve kanal özellikleri, buluşu daha iyi anlamak için aşağıda açıklanmıştır.

25 Örneğin, N veri sembolünün, taşıyıcı frekansında (f_c) toplam bant genişliği (B) üzerinden OFDM kullanılarak modüle edildiğini düşünelim. OFDM modülatörü, frekans alanında şu sembolleri eşlemektedir:

Frekans alanında $\{X(m), m = 0, \dots, N - 1\}$. N alt taşıyıcının her birinin bant genişliği $\Delta f = \frac{B}{N}$ olarak tanımlanırsa, OFDM sembolünün zaman süresi $T = \frac{1}{\Delta f}$ olmaktadır. Sonuç olarak, 30 frekans alanı örnekleri $X(m)$, IFFT kullanılarak zaman alanına dönüştürülmelidir. Bu nedenle, OFDM modülatörünün ayırık çıktısı şu şekilde verilmektedir:

$$s_{\text{OFDM}}(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{m=0}^{N-1} X_{\text{OFDM}}(m) e^{2\pi j \frac{mn}{N}},$$

ve ayrıca bir matris biçiminde şu şekilde de tanımlanabilmektedir:

$$S_{\text{OFDM}} = F_N^H X_{\text{OFDM}}.$$

5 Bir AFDM sembolü, Ters Ayırık Afin Fourier Dönüşümü (IDAFT) kullanılarak bükülmüş bir zaman-frekans Afin alanına çoklanmış, tek boyutlu bir veri sembolleri vektörü, $X \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ olarak gösterilmektedir. Ayırık formda, AFDM sembolü şu şekilde ifade edilebilmektedir:

$$s_{\text{AFDM}}(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} X^{\text{AFDM}}(i) e^{j2\pi(c_1 n^2 + ni/N + c_2 i^2)},$$

10 burada c_1 ve c_2 , tam çeşitliliğe ulaşmak için kanalın gecikmesine ve Doppler kaymalarına dayalı olarak ayarlanan AFDM parametreleridir. Matris biçiminde, AFDM sinyali şu şekilde yazılabilmektedir:

$$S_{\text{AFDM}} = \Lambda^{-1} x_{\text{AFDM}} = \Lambda_{c_1}^H F_N \Lambda_{c_2} x_{\text{AFDM}},$$

burada $\Lambda = \Lambda_{c_2} F_N \Lambda_{c_1} \in \mathbb{C}^{N \times N}$ ileri N noktalı Ayırık Afin Fourier Dönüşümü (DAFT) matrisidir, F_N N noktalı Ayırık Fourier Dönüşümü (DFT) matrisidir ve

15 $\Lambda_{c_1} = \text{diag}(e^{-j2\pi c_1 n^2}, n = 0, 1, \dots, N-1) \in \mathbb{C}^{N \times N}$, dijital frekanslar c_1 ve c_2 ile parametrelendirilen diyagonal ön ve son kodlama matrisleridir. Bu ön kodlama faktörleri, her taşıyıcının zaman c_1 ve frekans c_2 boyunca yayılmasını sağlayarak zaman-frekans düzleminde cıvıltı benzeri bir davranışa neden olmaktadır.

Frekans alanında AFDM'den OFDM'ye:

20 AFDM sinyalinin frekans alanındaki seyrekliğini analiz etmek için, ayırık zamanlı AFDM sinyali DFT kullanılarak gösterilmektedir. AFDM sinyalinin frekans alanı gösterimi şu şekilde verilebilmektedir:

$$X_{\text{f}}^{\text{AFDM}}(m) = \sum_{n=0}^{N-1} s_{\text{AFDM}}(n) e^{-j2\pi(\frac{nm}{N})}$$

$$X_{\text{f}}^{\text{AFDM}}(m) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} X^{\text{AFDM}}(i) e^{j2\pi(c_1 n^2 + ni/N + c_2 i^2)} e^{-j2\pi(\frac{nm}{N})}$$

25

Basitleştirmeden sonra $X_{\text{f}}^{\text{AFDM}}(m)$ şu şekilde verilebilmektedir:

$$X_{\text{f}}^{\text{AFDM}}(m) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} X^{\text{AFDM}}(i) e^{j2\pi(c_2 i^2)} \sum_{n=0}^{N-1} e^{j2\pi(\frac{c_1 N n^2 + n(i-m)}{N})}$$

2. terim $\sum_{n=0}^{N-1} e^{j2\pi\left(\frac{c_1 N n^2 + n(i-m)}{N}\right)}$ 'ye odaklanarak, bu şu şekilde yazılabilmektedir:

5

$$\sum_{n=0}^{N-1} e^{j2\pi(c_1 n^2)} e^{j2\pi\left(\frac{ni}{N}\right)} e^{-j2\pi\left(\frac{nm}{N}\right)}$$

c'_1 2'nin tam sayı kuvveti olacak şekilde $c_1 = \frac{c'_1}{2N}$ olarak ayarlanarak şu şekilde yazılabilmektedir:

$$\sum_{n=0}^{N-1} e^{j\pi c'_1 \left(\frac{n^2}{N}\right)} e^{-j2\pi\left(\frac{nm}{N}\right)} e^{j2\pi\left(\frac{ni}{N}\right)}$$

10 Bu, eğimi c'_1 olan bir cıvıltı sinyalinin tam Fourier dönüşümüdür. Dolayısıyla, $N = c'_1 M$ olacak şekilde sonucu c'_1 değerine dayalı olarak ele almaktayız, burada M , FFT kullandığımız için 2'nin bir kuvvetidir, dolayısıyla bu terim c'_1 ' tekrarlanan cıvıltı sinyalinin Fourier dönüşümüdür,

$$s_{\text{chirp}}(p) = e^{j\pi \frac{p^2}{M}}$$

15 burada i frekansında kayma ile $p = 0, \dots, M-1$ olmaktadır ve çıktısı şu şekilde yazılabilmektedir:

$$\sum_{n=0}^{N-1} s_{\text{chirp}}([n]_M) e^{j2\pi\left(\frac{ni}{N}\right)} e^{-j2\pi\left(\frac{nm}{N}\right)},$$

$c = 0, \dots, c'_1 - 1$ olacak şekilde $n = p + cM$ ayarlanması:

20

$$\sum_{c=0}^{c'_1-1} \sum_{p=0}^{M-1} s_{\text{chirp}}(p) e^{j2\pi\left(\frac{(p+cM)i}{N}\right)} e^{-j2\pi m(p+cM)/N}$$

Bu, şu şekilde basitleştirilebilmektedir:

$$\sum_{c=0}^{c'_1-1} e^{j2\pi\left(\frac{(i-m')c'_1 c}{c'_1}\right)} \sum_{p=0}^{M-1} e^{j\pi \frac{p^2}{M}} e^{j2\pi\left(\frac{i}{c'_1}\right)\frac{p}{M}} e^{-j2\pi \frac{m'p}{M}}$$

Burada $m'c'_1 = m$ ve $m' = 0, \dots, M-1$ olmaktadır, dolayısıyla 1. terim $\sum_{c=0}^{c'_1-1} e^{j2\pi \frac{(i-m'c'_1)c}{c'_1}}$ yalnızca ve yalnızca $[i - m'c'_1]_{c'_1} = 0$ ise sıfırdan farklıdır, bu da yalnızca $[i]_{c'_1} = 0$ ise sıfırdan farklı olduğu anlamına gelmektedir

5

$$\sum_{c=0}^{c'_1-1} e^{j2\pi \frac{(i-m'c'_1)c}{c'_1}} = \begin{cases} c'_1, & [m]_{c'_1} = 0 \text{ and } [i]_{c'_1} = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

ve 2. terim $\sum_{p=0}^{M-1} e^{j\pi \frac{p^2}{M}} e^{j2\pi \frac{\left(\frac{i}{c'_1}\right)p}{M}} e^{-j2\pi \frac{m'p}{M}} e^{j2\pi \frac{\left(\frac{i}{c'_1}\right)p}{M}}$ kadar kaydırılmış $\frac{1}{M}$ oranındaki tek bir cıvıltının fourier dönüşümüdür.

AFDM sinyalinin frekans alanındaki son ifadesi şu şekilde verilebilmektedir:

10

$$X_{\text{fAFDM}}(m) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} X^{\text{AFDM}}(i) e^{j2\pi(c_2 i^2)} \sum_{c=0}^{c'_1-1} e^{j2\pi \frac{(i-m'c'_1)c}{c'_1}} \sum_{p=0}^{M-1} e^{j\pi \frac{p^2}{M}} e^{j2\pi \frac{\left(\frac{i}{c'_1}\right)p}{M}} e^{-j2\pi \frac{m'p}{M}}$$

i'inci AFDM elemanı için şu şekilde yazılabilmektedir:

$$X_{\text{fAFDM},i}(m) = \begin{cases} \frac{c'_1}{\sqrt{N}} X^{\text{AFDM}}(i) e^{j2\pi(c_2 i^2)} e^{-j\pi \frac{(m')^2}{M}} \varphi^i(m), & [m]_{c'_1} = 0 \text{ and } [i]_{c'_1} = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

15 Burada

$$\varphi^i(m) = \sum_{p=0}^{M-1} e^{-j2\pi(p-m')^2/M} e^{j2\pi \frac{\left(\frac{i}{c'_1}\right)p}{M}}$$

bu nedenle AFDM, her $[i]_{c'_1} = 0$ 'ın her $[m]_{c'_1} = 0$ alt taşıyıcısında Şekil 3'te gösterildiği gibi katkı sağlayacağı şekilde frekans alanında yayılmaktadır.

20 Son olarak, AFDM, önceki denklem kullanılarak OFDM modülatörü kullanılarak üretilmektedir.

OFDM'den AFDM'ye (Afin Alanı)

OFDM sinyalinin Afin alanındaki analizi için DAFT kullanılabilmektedir. OFDM sembolü,

25 bükülmüş TF cıvıltı alanına şu şekilde dönüştürülebilmektedir:

$$\begin{aligned}
X_{\text{OFDM affine}}(i) &= \sum_{n=0}^{N-1} s_{\text{OFDM}}(n) e^{-j2\pi(c_1 n^2 + c_2 i^2 + ni/N)} \\
X_{\text{OFDM affine}}(i) &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} X^{OFDM}(m) e^{+j2\pi(\frac{nm}{N})} e^{-j2\pi(c_1 n^2 + ni/N + c_2 i^2)} \\
X_{\text{OFDM affine}}(i) &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{m=0}^{N-1} X^{OFDM}(m) e^{-j2\pi(c_2 i^2)} \sum_{n=0}^{N-1} e^{-j2\pi(\frac{c_1 N n^2 + n(i-m)}{N})}
\end{aligned}$$

5

ve daha önce belirtildiği gibi n, m, i , ve c_1 üzerindeki aynı koşullar dikkate alındığında, son denklem şu şekilde yazılmaktadır:

$$10 \quad X_{\text{OFDM affine},m}(i) = \begin{cases} \frac{c'_1}{\sqrt{N}} X^{OFDM}(m) e^{-j2\pi(c_2 i^2)} e^{+j\pi \frac{(m)^2}{M}} (\varphi^i(m))^*, & [m]_{c'_1} = 0 \text{ and } [i]_{c'_1} = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Burada $(\varphi^i(m))^*$, $\varphi^i(m)$ 'nin eşleniğidir, dolayısıyla OFDM, Şekil 3'te gösterildiği gibi her $[m]_{c'_1} = 0$ alt taşıyıcının her $[i]_{c'_1} = 0$ AFDM elemanında katkısı olacak şekilde afin alanında yayılmaktadır.

15

Son olarak, OFDM, önceki denklem kullanılarak AFDM modülatörü kullanılarak üretilmektedir.

20 OFDM ve AFDM sinyallerinin önerilen iletilen kombinasyonu (JSAC sinyali), $s_{\text{Comb}}^{\text{Tx}}(n)$, OFDM ve AFDM sinyallerini frekans alanında dikey olarak entegre etmektedir. Bunu sağlamak için, frekans alanında AFDM ve Afin alanında OFDM gösteriminden yararlanan belirli bir tahsis şeması kullanılmaktadır. Proses, AFDM sembollerinin frekans alanına eşlenmesini, OFDM sembolleriyle birleştirilmesini ve daha sonra birleşik sinyalin zaman alanına dönüştürülmesini içermektedir. Frekans alanındaki birleşik sinyal şu şekilde verilebilmektedir:

25

$$X^{\text{comb}}(m) = \begin{cases} \frac{\rho c'_1}{\sqrt{N}} X^{AFDM}(i) e^{j2\pi(c_2 i^2)} e^{-j\pi \frac{(m)^2}{M}} \varphi^i(m), & [m]_{c'_1} = 0 \text{ and } [i]_{c'_1} = 0, \\ X^{OFDM}(m), & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Burada ρ , AFDM verilerine atanan güçtür. Bir matris biçiminde

$$\mathbf{s}_{\text{Comb}}^{\text{time}} = \mathbf{F}_N^H \mathbf{X}_{\text{comb}}$$

- 5 Tahsis şeması, afin alanından gelen AFDM alt taşıyıcılarının frekans alanındaki belirli alt taşıyıcı endekslerine dikey olarak eşlenmesini sağlarken, kalan alt taşıyıcılar OFDM veri sembollerine tahsis edilmektedir. Bu matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilmektedir:

$$X_{\text{Comb}}^{\text{Tx}}(m) = \begin{cases} \rho X_{\text{f}}^{\text{AFDM}}(m), & [m]_{c'_1} = 0 \text{ and } [i]_{c'_1} = 0, \\ X_{\text{OFDM}}(m), & \text{otherwise} \end{cases}$$

10

OFDM sistemlerinde, L_{cp} örneklerinin sembolün son kısmından kopyalanıp başlangıcına eklendiği kanal etkisini önlemek için sembolün başına döngüsel bir önek eklenmektedir. Ancak, bu CP eklemesi, algılama performansını düşüren zaman alanında AFDM yongalarına bir süreksizlik getirecektir. Bu nedenle, k'inci AFDM sembolünün frekans alanı gösteriminde bir faz kayması oluşturacağımız şekilde cıvıltıları tekrar sürekli hale getirmek için uygun bir manipülasyona ihtiyaç vardır ve ihtiyaç duyulan faz şu şekilde yazılabilmektedir:

15

$$X_{\text{f}}^{\text{AFDM},i}(m) = \begin{cases} \frac{c'_1}{\sqrt{N}} X^{\text{AFDM}}(i) e^{j2\pi(c_2 i^2)} e^{-j\pi \frac{(m)^2}{M}} \varphi^i(m) e^{-j2\pi \frac{m(kL_{cp})}{N}}, & [m]_{c'_1} = 0 \text{ and } [i]_{c'_1} = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

20

Bu, AFDM'nin $[i]_{c'_1} = 0$ elemanlarının afin alanında kL_{cp} kadar kaydırılacağı anlamına gelmektedir, bu nedenle dairesel bir kaydırmadır ve afin alanındaki orijinal elemanların konumu, frekans alanında alt taşıyıcı endeksleri $[m]_{c'_1} = 0$ 'da aynı katkıyı korurken $[i + kL_{cp}]_{c'_1} = 0$ endekslerine kaydırılacaktır.

25

Kanal, biri radar algılamaya, diğeri iletişime ayrılmış olan iki bölüme ayrılabilir. Radar işleme, algılama bilgilerini çıkarmak için cıvıltı gidermenin kullanıldığı geleneksel teknikleri izlediğinden, bu husus bu açıklamada ele alınmayacaktır.

Q kademeli çift seçici bir kanal düşünüldüğünde, şu şekilde ifade edilebilmektedir:

$$h(n) = \sum_{q=0}^{Q-1} h_q e^{j2\pi \frac{f_q(n-l_q)}{N}} \delta(n-l_q).$$

h_q karmaşık kanal katsayısıdır, l_q ve f_q sırasıyla kanal tarafından oluşturulan gecikme ve Doppler kaymalarıdır.

5

Algılama alıcısı, AFDM tekrarlanan cıvıtları içerdiğinden, geleneksel bir FMCW radarına benzer şekilde, yansıtılan AFDM elemanlarını kullanarak hedef tespiti gerçekleştirebilmektedir. Bu proseste, alınan cıvıtların, iletilen cıvıtların eşlenikleriyle karıştırılarak cıvıtları giderilmektedir ve bir vuru frekansı f_b üretilmektedir. Bu vuru frekansı, verici ile reflektör arasındaki mesafeyle doğrudan ilişkilidir. Cıvıtları giderilen sinyale bir FFT uygulanması, menzil bilgisini vermektedir. Ancak, Doppler kaymalarının (mobilité nedeniyle) neden olduğu eşlenmiş vuru frekanslarının varlığı, hem menzili hem de hızı doğru bir şekilde tahmin etmek için birden fazla AFDM sembolü kullanılmasını gerektirmektedir.

10

Kanal Tahmini ve Eşitleme

15

Tanımlı kanaldan geçtikten sonra zaman alanı alınan sinyali şu şekilde yazılabilmektedir:

$$y(n) = \sum_{q=0}^{Q-1} h_q e^{j2\pi \frac{f_q(n-l_q)}{N}} S_{\text{Comb}}^{\text{time}}(n-l_q).$$

CP çıkarıldıktan sonra, frekans alanı alınan sembolü FFT tarafından şu şekilde çıkarılabilmektedir:

20

$$Y(m) = \sum_{q=0}^{Q-1} h_q \alpha_q X_{\text{Comb}}^{\text{Tx}}(m-f_q).$$

Burada $\alpha_q = e^{j2\pi \frac{l_q(m-f_q)}{N}}$. Statik bir kanal için $f_i = 0$ 'ın $i = 0, \dots, Q-1$ için geçerli olduğu belirtilmelidir, bu da alınan sinyali Afin alanına aldıktan sonra kanalın, maksimum aşırı gecikmeden ($g > c'_1 l_{\max}$) daha üstün bir koruma ile $i = 0$ endeksindeki kullanılan pilottan tahmin edilebileceği ve daha sonra hem frekans hem de Afin alanında eşitleme için kullanılabileceği anlamına gelmektedir.

25

Mobil ortam durumunda, OFDM alt taşıyıcıları ($\pm f_i$) miktarında kaydırılacak ve bu da farklı durumlara yol açacaktır. Ancak, frekans ofsetini telafi ettikten sonra çoğu durumda birinci kademenin $f_0 = 0$ olduğu varsayılabilmektedir. Bu nedenle, frekans alanında alınan sinyali

afin alanına almak, AFDM sembollerinde kullanılan OFDM sembollerinden bir miktar girişim ve pilot için bırakılan korumada OFDM sembollerinden bir miktar girişim gösterecektir. Ancak, bu girişim, OFDM'nin Afin alanında yayılması ve OFDM sembollerinin 0 ortalamaya sahip QAM sembolleri olması nedeniyle minimumdur ve bu da orada kanal tahminini mümkün

5 kılmaktadır. Tahmini kanal, afin alanında hem AFDM'yi hem de OFDM'yi tek bir adımda eşitlemek için kullanılabilir.

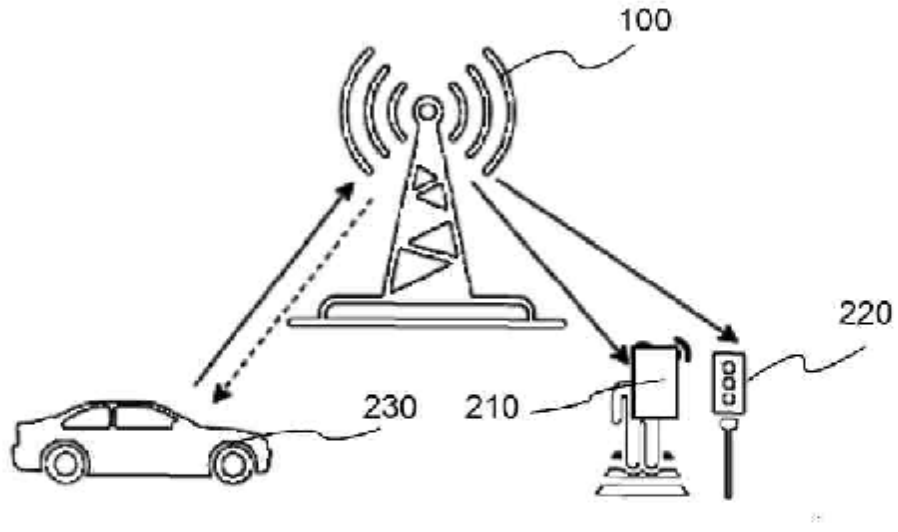
Baz istasyonu (100), OFDM vericilerinin ve AFDM vericilerinin bilinen bileşenlerini içerebilmektedir. Alt taşıyıcı eşleme birimleri, paralelden seriye dönüştürücüler, ters hızlı

10 Fourier dönüşüm blokları, CP toplayıcı blokları, vb. OFDM alıcıları, hızlı Fourier dönüşüm blokları, eşitleme blokları, paralelden seriye dönüştürücüler, kanal tahmin bloğu ve kanal eşitleme blokları içerebilmektedir. Verici ve alıcı bloklarının ayrıntıları, teknikte iyi bilindiklerinden burada verilmemiştir.

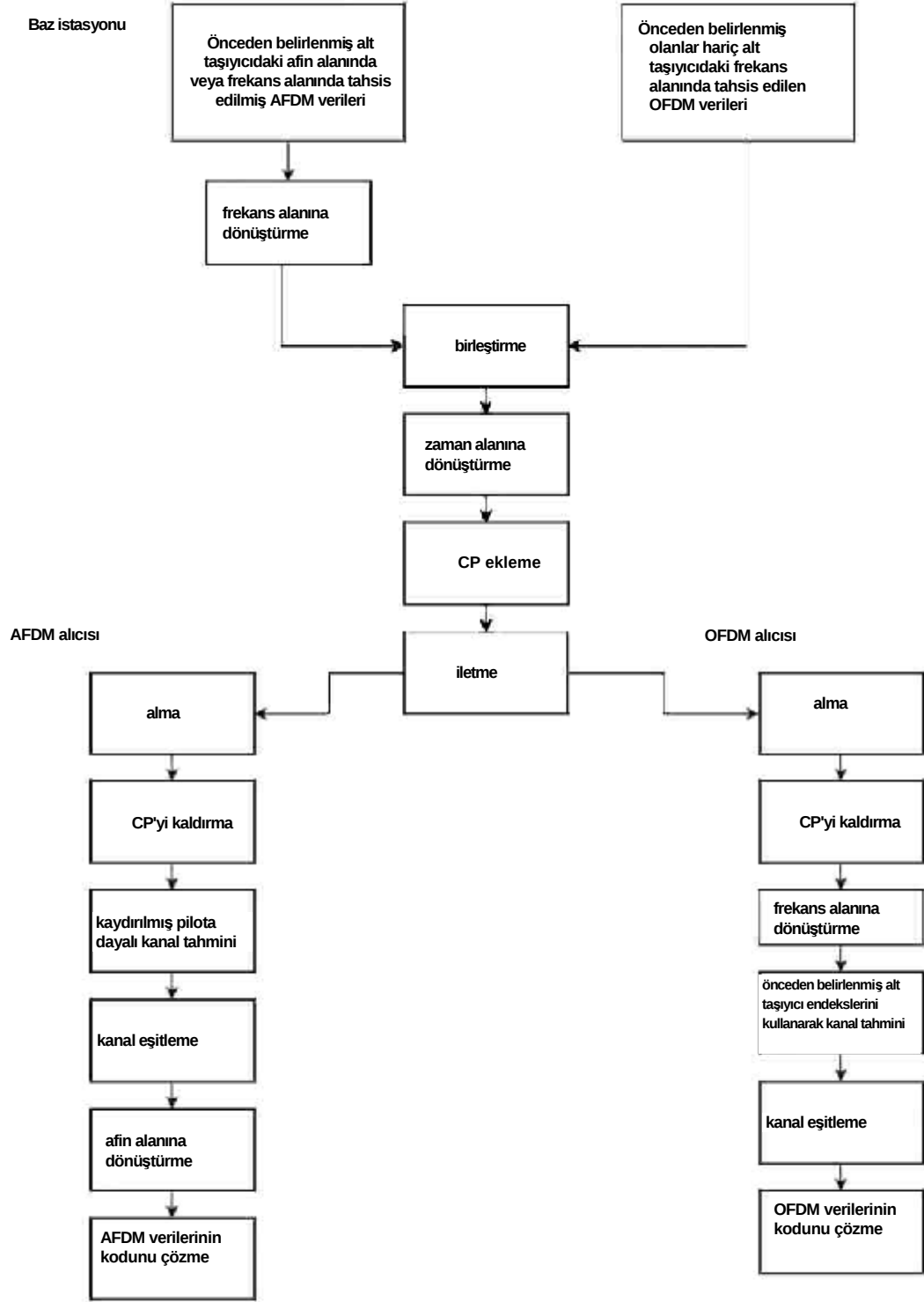
15 Olası bir yapılandırmada, birleşik sinyali iletmek için aynı verici kullanılabilir. Verici, AFDM sinyalini ve OFDM sinyalini birleştiren ve dönüştüren bir IFFT bloğundan sinyali almaktadır. Ve IFFT bloğu ile verici arasında bir CP toplayıcı sağlanmaktadır.

Buluşun koruma kapsamı ekteki istemlerde belirtilmiştir ve bu ayrıntılı açıklamada örnekleme

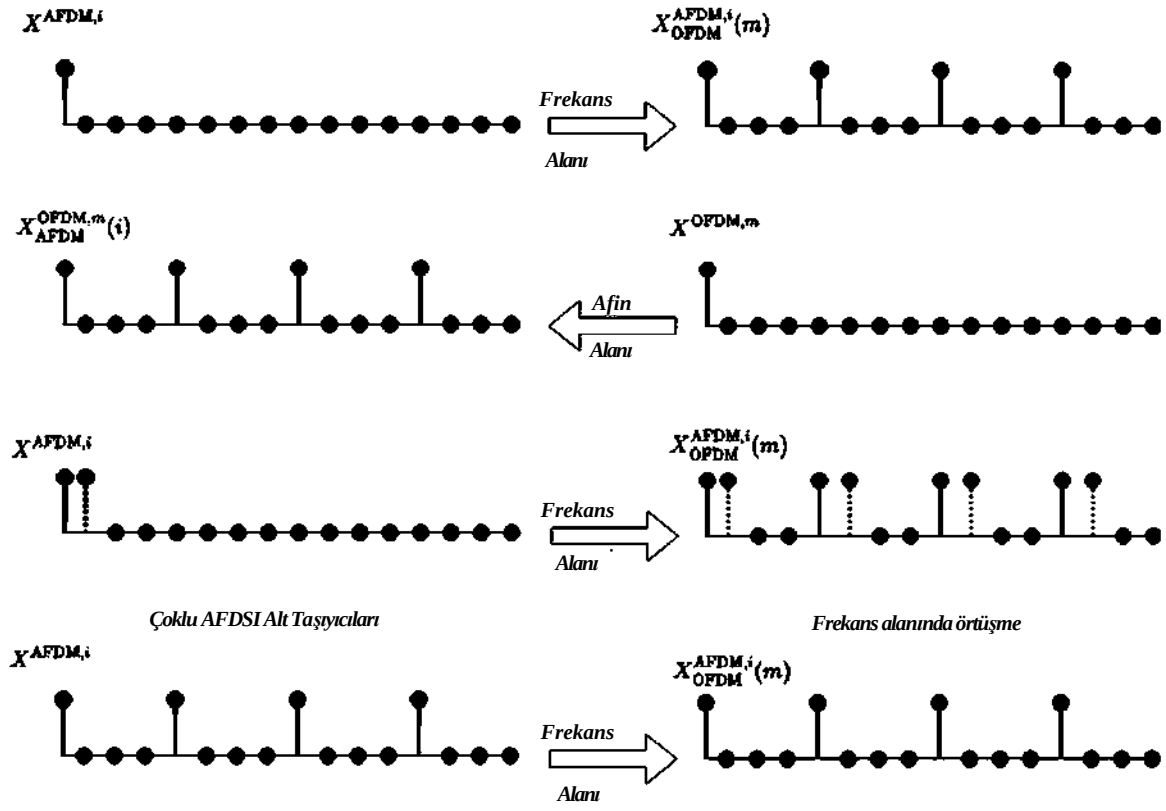
20 amacıyla açıklananlarla sınırlandırılmamaktadır. Yukarıda belirtilenler ışığında teknikte uzman bir kişinin, buluşun ana temasından sapmadan benzer yapılandırmaları sergileyebileceği açıktır.



ŞEKİL 1



ŞEKİL 2



ŞEKİL 3

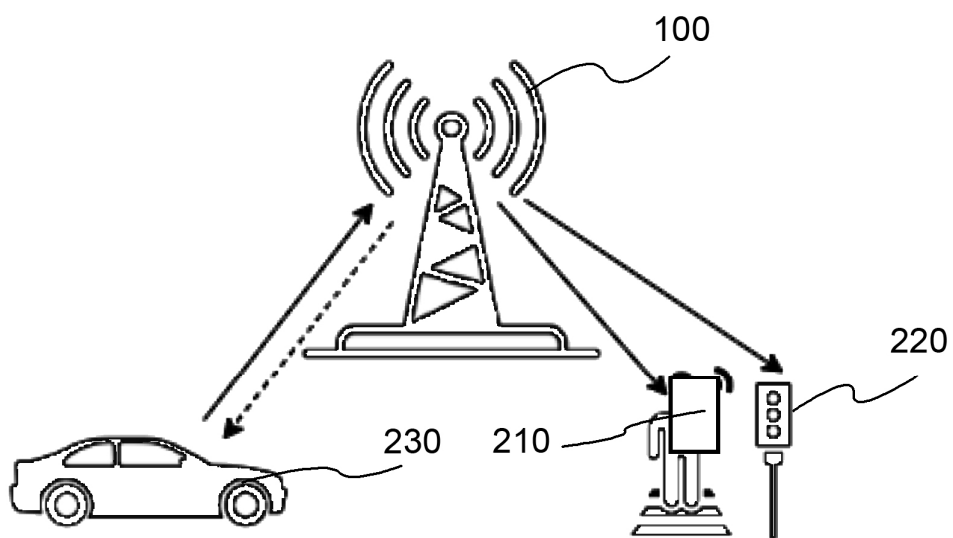


Figure 1

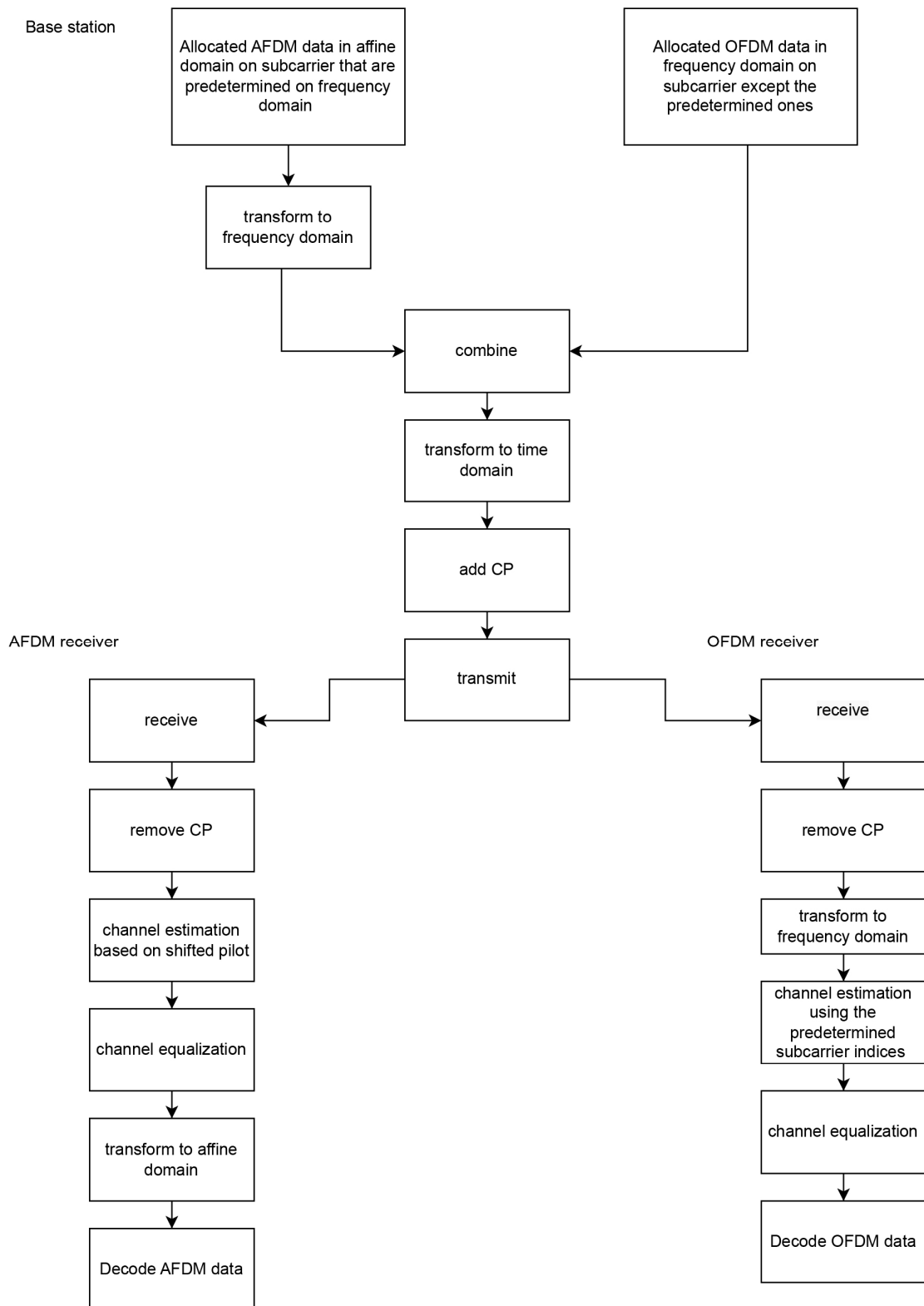


Figure 2

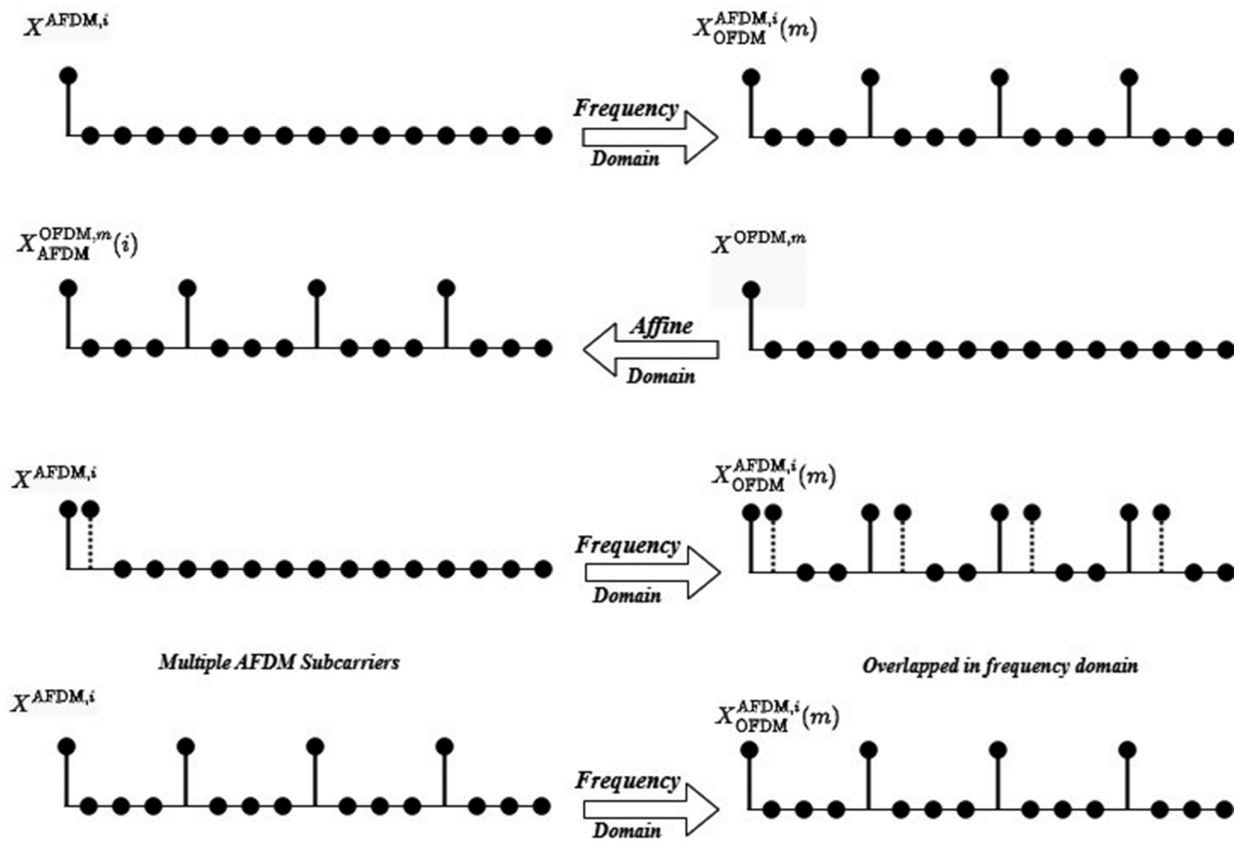


Figure 3