

ÖZET

ÇOKLU NUMEROLOJİ OTFS TABANLI NOMA İÇİN GİRİŞİM İPTALİ

- 5 Buluş, çok sayıda kablosuz cihaz için bir sinyal üretmek üzere çoklu numerolojiye sahip OTFS tabanlı NOMA sistemlerinde/ağlarında numerolojiler arası girişimi azaltmak için bir yöntemle ve böyle bir sinyal için bir alma ve iletişim ve/veya algılama yöntemiyle ilgilidir.

İSTEMLER

1. Bilgisayarla uygulanan bir yöntem olup, en az ikisinin geniş kutu kullanıcısı olduğu ve bunlardan en az birinin aşağıdaki adımları içeren dar kutu kullanıcısı olduğu bir alıcıya sahip verici ve birden fazla kullanıcı arasında iletişim kurmak için multinumeroloji-OTFS tabanlı NOMA sisteminde numerolojiler arası parazitin azaltılmasına yönelik bir sinyal üretmeye yöneliktir:
geniş ızgara sinyalinin gecikmedeki aralığının ve/veya Doppler alanının dar ızgara sinyalinden farklı olduğu ve dar ızgara sinyalinin alandaki geniş ızgara sinyallerinden daha dar olduğu en az iki geniş ızgara sinyali ve en az bir geniş ızgara sinyalinin tasarlanması,
geniş ızgara sinyalinin ve dar ızgara sinyalinin ayrı ayrı zaman-frekans alanına dönüştürülmesi,
geniş ızgara sinyallerinin üst üste binmeden farklı zaman-frekans dilimlerine yerleştirilmesi,
dönüştürülen geniş ızgara sinyallerinden numerolojiler arası girişiminin tespit edilmesi ve dönüştürülen dar ızgara sinyalinden numerolojiler arası girişiminin çıkarılması,
dar ızgara sinyalinin zaman-frekans alanına dönüştürülmesi,
geniş kutuların üst üste binmeden farklı zaman-frekans dilimlerine yerleştirilmesi,
geniş ızgara sinyali ile numerolojiler arası girişimin çıkarıldığı dar sinyalin toplamının gerçekleştirilmesi ve
toplanan sinyalin zaman alanına dönüştürülmesi.
2. Birden fazla dar sinyalin tasarlanması ile karakterize edilen, İstem 1'e göre bir yöntem.
3. Geniş sinyallerin ve dar sinyallerin, ters simplektik sonlu Fourier dönüşümü kullanılarak zaman-frekans alanına dönüştürülmesi ile karakterize edilen, İstem 1'e göre bir yöntem.
4. l' çift veya tek Doppler indeksleri olduğu ve $l'nin$, Doppler indeksi olduğu ve $z'nin$, 0 veya 1 değerli ikili skaler olduğu, çoklu geniş sinyallerin simplektik sonlu Fourier dönüşümünü kullanarak ve $l' = 2l + z$ ayarlayarak ve çift ve tek kutular için z 'yi sırasıyla 0 veya 1 olarak değiştirerek geniş kutu sinyallerinden farklı zaman-frekans

dilimlerine gönderilen çoklu geniş kutu sinyallerini geciktirme-Doppler'e dönüştürerek numerolojiler arası girişimin tespit edilmesi ile karakterize edilen, İstem 4'e göre bir yöntem.

- 5 5. Toplanan sinyalin Heisenberg Dönüşümü ile zaman alanına dönüştürülmesi ile karakterize edilen, İstem 1'e göre bir yöntem.
- 10 6. En az ikisinin geniş kutu kullanıcısı olduğu ve bunlardan en az birinin aşağıdaki adımları içeren dar kutu kullanıcısı olduğu en azından bir alıcıya sahip verici ile birden fazla kullanıcı arasında iletişim kurmak için kablosuz iletişim için bir alma yöntemi: önceki istemlerden herhangi birine göre üretilen bir sinyalin çok kullanıcıli ekipman tarafından alınması, alınan sinyalin, her kullanıcı tarafından dar ızgara sinyalinin aralığına göre gecikmeli Doppler alanına dönüştürülmesi, 15 dönüştürülen sinyallerden geniş ızgara sinyalinin algılanarak geniş sinyalin kullanıcılar tarafından çıkarılması, halihazırda geniş ızgara sinyalini çıkaran dar kutu kullanıcılarından en az biri tarafından tespit edilen geniş ızgara sinyaline göre dar ızgara sinyalinin yeniden oluşturulması.
- 20 7. İlave geniş ızgara sinyalinin tespit edilmesi için alınan sinyalden çıkarılan geniş ızgara sinyalinin silinmesi aşamalarını içermesi ile karakterize edilen, İstem 6'ya göre bir yöntem.
- 25 8. Geniş ızgara sinyalinin alınan sinyalden silinmesiyle dönüştürülen sinyalden geniş ızgara sinyalinin tespit edilmesi ile karakterize edilen, İstem 6'ya göre bir yöntem.
9. Ayrıca her kullanıcı tarafından alınan sinyalden kablosuz kanal etkilerinin silinmesi aşamasını içermesi ile karakterize edilen, İstem 6 ila 8'e göre bir yöntem.
- 30 10. Bir kablosuz iletişim yöntemi olup, en az ikisinin geniş kutu kullanıcısı olduğu ve bunlardan en az birinin aşağıdaki adımları içeren dar kutu kullanıcısı olduğu en azından bir alıcıya sahip verici ve çoklu kullanıcı donanımına sahip sisteme yöneliktir:

geniş ızgara sinyalinin gecikmedeki aralığının ve/veya Doppler alanının dar ızgara sinyalinin farklı olduğu ve dar ızgara sinyalinin alandaki geniş ızgara sinyallerinden daha dar olduğu en az iki geniş ızgara sinyali ve en az bir geniş ızgara sinyalinin tasarlanması,

5 geniş ızgara sinyalinin ve dar ızgara sinyalinin ayrı ayrı zaman-frekans alanına dönüştürülmesi,

geniş ızgara sinyallerinin üst üste binmeden farklı zaman-frekans dilimlerine yerleştirilmesi,

10 dönüştürülen geniş ızgara sinyallerinden numerolojiler arası girişiminin tespit edilmesi ve dönüştürülen dar ızgara sinyalinin numerolojiler arası girişiminin çıkarılması,

dar ızgara sinyalinin zaman-frekans alanına dönüştürülmesi,

geniş kutuların üst üste binmeden farklı zaman-frekans dilimlerine yerleştirilmesi,

numerolojiler arası girişimin çıkarıldığı geniş ızgaraların ve dar ızgaraların toplamının gerçekleştirilmesi ve

15 toplanan sinyalin zaman alanına dönüştürülmesi,

toplanan sinyalin iletilmesi ve birden fazla kullanıcı tarafından alınması,

önceki istemlerden herhangi birine göre üretilen bir sinyalin çok kullanıcıli ekipman tarafından alınması,

20 alınan sinyalin, her kullanıcı tarafından dar ızgara sinyalinin aralığına göre gecikmeli Doppler alanına dönüştürülmesi,

kullanıcılar tarafından geniş ızgara sinyalinin çıkarılması için dönüştürülen sinyalden geniş ızgara sinyalinin tespit edilmesi,

dar ızgara sinyalinin, halihazırda geniş sinyali çıkaran kullanıcılardan en az biri tarafından dar kutu tarafından tespit edilen geniş sinyale göre yeniden oluşturulması.

25

11. İstem 10'daki yöntemin aşamalarını gerçekleştirmek için araçlar içeren bir veri işleme cihazı.

30 **12.** Program bir veri işleme cihazı tarafından yürütüldüğünde, veri işleme cihazının İstem 10'daki yöntemin adımlarını gerçekleştirmesini sağlayan talimatları içeren bir bilgisayar programı.

- 13.** Bir bilgisayar tarafından yürütüldüğünde bilgisayarın, İstem 11'deki yöntemin adımlarını gerçekleştirmesine neden olan talimatları içeren, bilgisayar tarafından okunabilen bir ortam.

TARİFNAME

ÇOKLU NUMEROLOJİ OTFS TABANLI NOMA İÇİN GİRİŞİM İPTALİ

5 Teknik Alan

Buluş, çoklu numerolojiye sahip OTFS tabanlı NOMA sistemlerinde/ağlarında çok sayıda kablosuz cihaz için daha az parazitli bir sinyal üretmek amacıyla numerolojiler arası girişimi azaltmak için bir yöntem ve böyle bir sinyal için bir alma ve iletişim ve/veya algılama yöntemi ile ilgilidir.

Önceki Teknik

Kablosuz ağlarda yeni hizmetlerin ve uygulamaların ortaya çıkması, 6G ağlarında kapsamlı bağlantı talebini teşvik etti. Ancak şu anda kullanımda olan hem dik hem de dik olmayan teknolojilerin bu gereksinimi karşılama konusunda sınırlamaları vardır. NOMA sistemleri önemli avantajlar sunarken, yine de önemli parazit sorunlarından muzdariptirler. Bu sınırlama, düşük karmaşıklığı korurken ve paraziti azaltırken NOMA'nın güçlü yönlerinden yararlanan hibrit bir dalga biçimi geliştirme ihtiyacının altını çizmektedir.

20

Çoklu numeroloji OTFS tabanlı NOMA yaklaşımı, gecikme Doppler alanında örtüşen OTFS sinyallerini barındıran bir modülasyon tekniği olan OTFS-NOMA'yı, farklı aralık şemalarının kullanılmasını içeren çoklu numeroloji konseptiyle birleştirmektedir. Yüksek mobilite senaryolarında yüksek verim ihtiyacı ve çeşitli kullanıcı gereksinimleri, bu tür bir entegrasyonun gerekliliğinin altını çizmektedir. NOMA, farklı mobilite seviyeleri senaryosu altında farklı kullanıcılar için hizmet taleplerinin kalitesini sağlamak amacıyla OTFS kavramı ve çoklu numeroloji ile birleştirilebilmektedir. Bununla birlikte, çoklu numerolojiye dayalı OTFS tabanlı NOMA, alıcı tarafında tahmin etmeyi veya azaltmayı zorlaştırarak farklı numerolojilerin kullanımından kaynaklanan parazit nedeniyle önemli sistem performansı düşüşüyle karşı karşıya kalmaktadır. Bu teknik zorlukların üstesinden gelmek, kablosuz iletişim sistemlerinde gelişmiş performans elde etmek ve sistem karmaşıklığı yükünü ve gecikmeyi azaltmak için çok önemlidir.

30

OTFS-NOMA, sistem performansını ve yeteneklerini önemli ölçüde artırmaktadır. Özellikle, OTFS-NOMA'nın uygulanmasına yönelik çeşitli kontrol yaklaşımları literatürde halihazırda ortaya çıkmıştır. Örneğin, [1]'deki bir çalışma, kullanıcıları mobilite profillerine göre ayırt etmek için OTFS-NOMA yaklaşımını güçlendirmektedir. Başka bir çalışmada [2], OTFS-NOMA için özelleştirilmiş yeni, düşük karmaşıklığa sahip yinelemeli bir alıcı tanıtılmaktadır. Bu yaklaşım, güç alanında OTFS modülasyonlu sinyalleri çoğaltmaktadır. Önerilen alıcı tasarımları, veri algılama güvenilirliği ve sembol hata oranı (SER) açısından geleneksel yöntemlerden üstün olmaktadır.

Bununla birlikte, çoklu-numerolojili OTFS-NOMA yalnızca ilk patentimizde [3] tanıtıldığından, literatürde çoklu-numerolojili OTFS-NOMA sistemlerinde parazit azaltılmasına yönelik daha önce yapılmış bir çalışmanın bulunmadığını belirtmekte fayda var. Girişim iptali yalnızca OFDM çoklu numeroloji sistemlerinde tanıtılmıştır [4][5], ancak farklı alanları kullanmaları nedeniyle OTFS sistemlerine uygulanamaz.

Çoklu numeroloji OTFS tabanlı NOMA yaklaşımı, çeşitli numeroloji şemaları kullanıldığında müdahaleye ilişkin önemli bir zorlukla boğuşmaktadır. Numeroloji, genel sistem tasarımını etkileyerek gecikme Doppler kutularının farklı kullanıcılara nasıl tahsis edildiğini belirlemektedir. Aynı iletişim sisteminde birden fazla numeroloji bir arada mevcut olduğunda, sinyallerin birbirine müdahale etme potansiyeli vardır. Numerolojilerin bu örtüşmesi, birden fazla kullanıcının aynı frekans kaynaklarını paylaşmasına olanak tanıyarak NOMA konseptini uygulamak için çalıştırılmaktadır. Ancak bu örtüşme, sinyal tespitini daha karmaşık ve zorlu hale getirerek kasıtlı müdahaleye yol açmaktadır. Sonuç olarak, gelişmiş parazit azaltma teknikleri bu sorunu etkili bir şekilde ele almak için zorunludur.

Çoklu numerolojiye sahip OTFS tabanlı NOMA yaklaşımının sınırlamalarından biri, nispeten yüksek güç tüketimidir. Bu özellik, yaklaşımın düşük maliyetli ve enerji tasarruflu cihazlar için daha az uygulanabilir olmasını sağlamaktadır. OTFS-NOMA belirli senaryolarda avantajlar sunabilirken, artan güç gereksinimleri, bu tür bağlamlarda pratikliğini sınırlayarak kaynak kısıtlı veya pille çalışan cihazların kısıtlamalarıyla hizalanmayabilir.

Ayrıca 6G'nin yeni gereksinimleriyle çelişen alıcı karmaşıklığı nedeniyle yüksek gecikme vardır.

Sonuç olarak yukarıda sayılan sorunların tamamı ilgili alanda bir yenilik sağlanmasını zorunlu hale getirmiştir.

5 Buluşun Kısa Açıklaması ve Amaçları

Mevcut buluşun ana amacı, çoklu numerolojiye sahip OTFS tabanlı NOMA dalga formunda kullanılacak parazit iptali için bir yöntem oluşturmak ve farklı mobilite seviyeleri senaryosu altında farklı kullanıcılar için hizmet taleplerinin kalitesini elde etmek amacıyla böyle bir dalga formu için üretme, alma ve iletişim yöntemi oluşturmaktır.

Buluşun bir diğer amacı ise çoklu numerolojiye dayalı OTFS tabanlı NOMA yaklaşımının performansını arttırmaktır.

Buluşun diğer bir amacı, geliştirilmiş performans için kanal koşullarına uyum sağlama yeteneğini artırmaktadır.

Buluşun diğer bir amacı, verimli spektrum kullanımı yoluyla spektral verimliliği optimize etmektir.

Buluşun bir diğer amacı ise güvenilir iletişim için kanal değişimlerine karşı sağlamlık sağlamaktır.

Buluşun bir diğer amacı, farklı mobilite özelliklerine ve değişen gereksinimlere sahip kullanıcılara uyum sağlamaktır.

Buluşun diğer bir amacı, oldukça hareketli ortamlarda verimi ve kapasiteyi en üst düzeye çıkarmaktır.

Bu tür hedeflere ulaşmak için, yöntem, Gecikme Doppler (DD) alanındaki kablosuz kanalın temsilinde farklı dizin aralıkları için numerolojiler arası girişimin (INI) iptalinin OTFS, NOMA gibi gelişmiş teknikleri kullanan benzersiz dalga biçimi tasarımını mümkün kılmak için farklı

numerolojiler sağlamak üzere kullanıldığını ve birden fazla kullanıcının gereksinimleri için geçerli olduğunu önermektedir.

5 Buluş, kullanıcıların paraziti tespit etmesine ve iptal etmesine gerek kalmayacağından tasarım karmaşıklığı yükünü, sistemin toplam karmaşıklığını ve alıcının karmaşıklığını azaltmaktadır. Özellikle dar alana sahip kullanıcılar için.

10 Girişim iptali yaklaşımı, sistemin toplam karmaşıklığını ve alıcının girişimi tahmin etme ve kanal etkisini silme karmaşıklığını azaltmaya yardımcı olmaktadır, böylece gecikme azalacaktır.

15 Buluş, alma ve kod çözme işleminin düşük karmaşıklığı nedeniyle düşük maliyetli cihazlara hizmet verilmesine olanak sağlamaktadır ve bu yaklaşım, düşük kaliteli (düşük güçlü cihazların) bu şemayı verimli bir şekilde kullanmasına olanak tanımaktadır.

Buluş, karmaşıklığı azaltarak yeşil iletişim ağlarına olanak tanımaktadır ve girişim, daha az enerji tüketimine yol açmaktadır.

20 Buluş, paraziti azaltırken daha iyi sinyalleşmeye yol açarken ve optimize edilmiş spektral verimlilik sağlarken verimli kaynak tahsisi ve uyarlanabilir numeroloji yoluyla mevcut spektrumun kullanımını optimize ederek spektral verimliliği en üst düzeye çıkarmaktadır.

25 Buluş, böylece OTFS sinyalleşmesinin sunduğu tüm avantajların gerçekleştirilmesini sağlayarak parazitin silinmesi yoluyla hataları azaltarak daha yüksek mobilite yetenekleri sağlamaktadır.

30 Bu yeniliğin en önemli başarılarından biri, kablosuz iletişimi daha verimli hale getirme etkisidir. Çoklu numerolojiye dayalı OTFS tabanlı NOMA yaklaşımındaki paraziti azaltarak mevcut kablosuz kaynakların daha iyi kullanılmasını sağlamaktadır. Spektral verimliliği en üst düzeye çıkararak kablosuz iletişimin iyileştirilmesine yol açmaktadır. Bu, ağları geliştirmek ve farklı cihaz ve uygulamaları sorunsuz bir şekilde bağlamak için heyecan verici fırsatlar sunarak kablosuz teknolojiye ileriye doğru atılmış büyük bir adımdır.

Amaç, kablosuz iletişim sistemlerini geliştirmek ve performanslarını optimize etmektir. İNİ iptalini çoklu numerolojiye sahip OTFS tabanlı NOMA yaklaşımıyla etkili bir şekilde entegre ederek, kablosuz iletişimin esnekliğini artırmaktadır ve genel performansı artırmaktadır. Bu, yeni olanaklar sunarak ve alanda gelecekteki yenilikler için daha yüksek standartlar ayarlayarak

5 kablosuz iletişimin devam eden gelişiminde önemli bir kilometre taşı temsil etmektedir.

Buluşun Şekillerinin Açıklaması

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

10 verilmiştir.

Şekil 1. Sistemin şematik görünümü.

Şekil 2. DD alanında farklı gecikme aralığına sahip çoklu numeroloji dağılımının grafiksel gösterimi.

15 **Şekil 3.** Farklı Doppler aralığına sahip DD alanındaki çoklu numeroloji dağılımının grafiksel gösterimi.

Şekil 4. DD alanında farklı gecikme ve Doppler aralığına sahip çoklu numeroloji dağılımının grafiksel temsili.

20 **Şekil 5.** Önerilen NOMA tabanlı çoklu numerolojiye sahip OTFS tasarımının zaman-frekans alanında grafiksel bir temsili.

Şekil 6. Önerilen NOMA tabanlı çoklu numerolojiye sahip OTFS alıcı-verici tasarımının şematik görünümü.

Şekil 7. Önerilen NOMA tabanlı çoklu numeroloji OTFS tasarım akış şeması.

Referans Numaraları

Şekillerde verilen parça ve bileşenlere, buluş konusunun daha iyi anlaşılabilmesi için atıfta bulunulmuştur.

30 **TX.** Verici

RX. Alıcı

UE. Kullanıcı Ekipmanı

Buluşun ayrıntılı açıklaması

Buluş, çok sayıda kablosuz cihaz için daha az parazitli bir sinyal oluşturmaya yönelik çoklu numerolojili OTFS tabanlı NOMA yaklaşımına yönelik bir yöntem ve bu tür bir sinyal için bir alma ve iletişim yöntemi ile ilgilidir.

Şekil 1'e bakıldığında; İletişim yönteminin taşıdığı iletişim sistemi, baz istasyonu gibi en az bir verici (Tx) ve en az bir alıcıya (Rx) sahip birden fazla hareketli kullanıcı ekipmanı (UE) içermektedir. Hareketli kullanıcı ekipmanından (UE) en az ikisi geniş kutu kullanıcısıdır ve hareketli kullanıcı ekipmanından (UE) en az biri dar kutu kullanıcısıdır.

Şekil 2 ila 4'e bakıldığında: Çoklu numeroloji OTFS tabanlı NOMA yaklaşımına göre bir dalga formu oluşturmak için öncelikle ikisi geniş ızgara sinyali ve diğeri dar ızgara sinyali olmak üzere en az üç sinyal tasarlanmıştır. Hem geniş hem de dar ızgara, bu ızgaralar üzerinde sırasıyla geniş ızgara sinyalini ve dar ızgara sinyalini oluşturacak aralıklarla konumlandırılan kutuları içermektedir.

Kullanıcıların çoğullanması için bir OTFS modülasyon şemasının kullanıldığı bir downlink çok kullanıcı OTFS sistem tasarımı varsayılmaktadır. OTFS sinyali, $x[k, l]$ ile gösterilen $M \times N$ DD bölmeleri üzerinde dağıtılan $M \times N$ veri sembollerini dikkate almaktadır; burada $k = 0, \dots, N - 1, l = 0, \dots, M - 1$. İletişim sistemi, $T_f = NT$ çerçeve süresiyle toplam bant genişliği $B = M \Delta f$ üzerinden modüle edilmektedir, burada bir sembolün zaman süresi sırasıyla $1/M\Delta f$ ve $1/NT$ gecikmesini ve Doppler aralığını zorunlu kılan $T = 1/\Delta f$ 'dir.

Bu ızgaraların aralıkları, en azından gecikme veya Doppler uzayından birine göre diğerlerinden farklıdır. Aşırı durumlarda her iki boşlukta da her iki aralık farklı olabilmektedir.

Tasarım tamamlandıktan sonra geniş sinyal ve dar sinyal zaman-frekans alanına dönüştürülmektedir.

Şekil 2'de ızgaraların aralıkları Doppler uzayında eşittir ancak gecikme uzayında değildir. Bu, burada $\Delta\tau_1$ ve $\Delta\tau_2$ sırasıyla geniş ızgara ve dar ızgaranın gecikme aralığında $\Delta\tau_1 \neq \Delta\tau_2$ iken,

burada Δv_1 ve Δv_2 sırasıyla geniş ızgara ve dar ızgaranın Doppler aralığında olduğu $[\Delta v_1 = \Delta v_2]$ formülüyle temsil edilebilmektedir.

Örneğin, Δv_1 ve Δv_2 eşit tutulurken $\Delta \tau_1$ and $\Delta \tau_2$ 'nin değeri $\Delta \tau_1 = 2^q \Delta \tau_2$ olarak ayarlanmaktadır. Bu, Şekil 2'de gösterildiği gibi yalnızca gecikme alanında farklı numerolojiye sahip iki OTFS sinyali vermektedir; burada $1/(M_1 \Delta f_1) = 2^q / (M_2 \Delta f_2)$, $M_2 = 2^q M_1$ ayarına eşdeğerdir. Son olarak, ilk numeroloji için (M_1, N_1) boyutlu ISFFT ve $N_2 = 2^q N_1$ olan ikinci numeroloji için (M_2, N_2) ISFFT alınarak OTFS dönüşümü yapılabilir.

Şekil 3'te ızgaların aralıkları gecikme uzayında eşittir ancak Doppler uzayında değildir. Bu, $[\Delta v_1 \neq \Delta v_2]$ ve $\Delta \tau_1 = \Delta \tau_2$ formülüyle temsil edilebilmektedir.

Örneğin, Δt_1 ve Δt_2 eşit tutulurken Δv_1 ve Δv_2 'nin değeri $\Delta v_1 = 2^q \Delta v_2$ olarak ayarlanmaktadır. Bu, Şekil 3'te gösterildiği gibi yalnızca Doppler alanında farklı numerolojiye sahip iki OTFS sinyali vermektedir; burada $1/(N_1 T_1) = 2^q / (N_2 T_2)$, $N_2 = 2^q N_1$ ayarına eşdeğerdir. Son olarak, ilk numeroloji için boyut (M_1, N_1) , diğeri için boyut (M_1, N_2) olan ISFFT alınarak OTFS dönüşümü yapılabilir.

Şekil 4'te ızgaların aralıkları her iki alanda da eşittir. Bu, $\Delta v_1 \neq \Delta v_2$ ve $\Delta \tau_1 \neq \Delta \tau_2$ formülüyle temsil edilebilmektedir.

Örneğin Δt_1 ve Δt_2 , $\Delta v_1 = 2^q \Delta v_2$ olarak ayarlanırken, $\Delta \tau_1$ and $\Delta \tau_2$ değeri $\Delta \tau_1 = 2^q \Delta \tau_2$ olarak ayarlanmaktadır. Şekil 4'te gösterildiği gibi yalnızca Doppler alanında farklı numerolojiye sahip iki OTFS sinyali veren bu, $N_2 = 2^q N_1$ ve $M_2 = 2^q M_1$ ayarına eşdeğerdir. Böylece OTFS modülasyonu, birinci numeroloji için (M_1, N_1) ve ikinci numeroloji için (M_2, N_2) boyutlu ISFFT alınarak yapılabilir.

Şekil 2 ila 4'teki tüm örnekler için; Burada seçilen temel numeroloji, geleneksel LTE ağlarında kullanılabilecek benzerdir ($\Delta f = 15$ kHz) ve toplam beş ölçeklenebilir numeroloji seçeneği sağlanmaktadır. Tüm standartlaştırılmış Δf değerleri, $q = [0, 4]$ için temel LTE numerolojisinin 2^q katlarıdır [7]. OTFS sinyal kısmı için, sırasıyla birinci ve ikinci numerolojiler için DD aralığı $\Delta \tau_1 = 1/(M_1 \Delta f_1)$, $\Delta v_1 = 1/(N_1 T_1)$ ve $\Delta \tau_2 = 1/$

$(M_2\Delta f_2), \Delta v_2 = 1/(N_2T_2)$ ile (τ, ν) ile gösterilen, aynı DD kaynaklarını kullanan iki OTFS sinyalinin dikkate alınmasıdır.

5 Tasarlanan geniş ve dar sinyaller zaman-frekans alanına dönüştürülmektedir. Burada $x[k, l]$, ters simplektik sonlu Fourier dönüşümü (ISFFT) kullanarak zaman-frekans (TF) etki alanı ızgarasına $\{X[n, m], n = 0, \dots, N-1, m = 0, \dots, M-1\}$ eşlenmektedir [6],

$$X[n, m] = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{l=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{N-1} x[k, l] e^{j\left(\frac{nk}{N} - \frac{ml}{M}\right)}$$

10 burada $e^k = e^{j2\pi k}$.

Dönüştürülen geniş sinyalden numerolojiler arası girişim (INI) tespit edilebilmektedir. Sinyal yapısı ve gücü birbirine eşit olmadığı için geniş sinyallerin simplektik sonlu Fourier dönüşümüne (SFFT) bakılarak tespit gerçekleştirilmektedir. Daha açık bir şekilde, algılama, geniş kutu sinyallerinden farklı zaman-frekans dilimlerine gönderilen çoklu geniş kutu sinyallerinin gecikme Doppler'e dönüştürülmesiyle gerçekleştirilmektedir. Tespit edilen INI, dönüştürülen dar sinyalden çıkarılmaktadır.

20 Tasarlanan ve dönüştürülen geniş sinyaller ve dar sinyal (INI'den çıkarılır) toplanmaktadır. Gecikmeli dopplerde geniş ızgara sinyalleri zaman frekansında daha az kaynak harcadığından, dönüştürülen geniş sinyaller birbirleriyle örtüşmeden zaman-frekans dilimlerine yerleştirilmektedir ve INI'nin çıkarıldığı dönüştürülmüş dar sinyalle birlikte toplanmaktadır.

Geniş ve dar sinyallerin toplamından sonra, elde edilen sinyal, tercihen

25 $s(t) = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \text{rect}(\Lambda) X[n, m] e^{j2\pi m\Delta f(t-nT)}$ olarak Heisenberg Dönüşümü ile zaman alanına dönüştürülmektedir

30 burada $\text{rect}(\cdot)$ dikdörtgen darbe şeklidir ve $\Lambda = (t - nT)/T$.

Zaman alanına dönüştürüldükten sonra sinyal verici (Tx) tarafından ortama gönderilmektedir.

NOMA tabanlı çoklu numerolojiye dayalı OTFS tasarımı, esas olarak sistemde üç kullanıcı olduğunu varsayan verici tasarımına dayanmaktadır. Çoklu geniş kutu aralıklı kullanıcılar α ,
5 çoklu dar kutu kullanıcıları β içeren ve toplam kullanıcı sayısı $I = \alpha + \beta$ ile verilen bir kablosuz iletişim sistemini dikkate almaktayız. Yaklaşımımız, $B_2 = M_2 \Delta f$ bant genişliğini işgal eden x_{nr} ile gösterilen dar gecikme aralığına sahip kullanıcıların sinyallerinin, x_w ile gösterilen ve $B_1 = M_1 \Delta f$ bant genişliğini işgal eden daha geniş aralığa sahip kullanıcıların sinyallerinin üzerine bindirilmesini içermektedir. Bu, x_{nr} tarafından kullanılan kaynakların
10 aynısını kapsamak için 2^q sinyallerinin x_w kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Verici (Tx) tasarımı aşağıdaki dört aşamadan oluşmaktadır:

Birincisi geniş sinyali tasarlamaktır. Geniş aralık sinyali aşağıdaki gibi sunulabilmektedir.

$$\begin{aligned}
 X_{w_a}[n_1, m_1] &= \sqrt{P_{w_a}} \text{ISFFT}(x_{w_a}[k, l]) \\
 &= \sqrt{\frac{P_{w_a}}{M_1 N_1}} \sum_{l=0}^{M_1-1} \sum_{k=0}^{N_1-1} x_{w_a}[k, l] e^{j\left(\frac{n_1 k}{N_1} - \frac{m_1 l}{M_1}\right)}
 \end{aligned}$$

burada $x_{w_a}[k, l], n_1 = 1, \dots, N_1 - 1, m_1 = 0, \dots, M_1 - 1, a = 0, \dots, \alpha$ sırasıyla k' inci ve l' inci Doppler ve gecikme kutularındaki a 'ıncı kullanıcının karmaşık modüle edilmiş
20 sembolleridir. P_{w_a} , belirtilen gücün toplam miktarının $\sum_{a=1}^{\alpha} P_{w_a}$ olduğu atanan güç faktörüdür.

İkincisi dar sinyali tasarlamaktır. Dar aralık sinyali ve farklı numerolojiler arasındaki girişimi önlemek için $\beta, l' = 2l + 1$ olarak ayarlanarak yalnızca tek bölmelere tahsis edilmektedir, Böylece OTFS TF alan sinyali aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 X_{nr_b}[n_1, m_1] &= \sqrt{P_{nr_b}} \text{ISFFT}(x_{nr_b}[k, l']) \\
 &= \sqrt{\frac{P_{nr_b}}{M_2 N_2}} \sum_{l'=0}^{M_2-1} \sum_{k=0}^{N_2-1} x_{nr_b}[k, l'] e^{j\left(\frac{n_2 k}{N_2} - \frac{m_2 l'}{M_2}\right)}
 \end{aligned}$$

burada $\{x_{nr_b}[k, l'], n_2 = 1, \dots, N_2 - 1, m_2 = 0, \dots, M_2 - 1, b = 0, \dots, \beta\}$, sırasıyla k' inci ve l' inci Doppler ve gecikme kutularındaki b' inci kullanıcının karmaşık modüle edilmiş sembolleridir, P_{nr_b} atanan güç faktörüdür, burada belirtilen gücün toplam miktarı $\sum_{b=1}^{\beta} P_{nr_b}$. BS'den tüm kullanıcılara atanan maksimum güç $P = \sum_{a=1}^{\alpha} P_{w_a} + \sum_{b=1}^{\beta} P_{nr_b} =$
5 1'dir, $\beta = 0$ geleneksel NOMA şeması durumunu temsil etmektedir.

Üçüncüsü sinyal süperpozisyonudur. Bu toplama adımını temsil etmektedir. Basitlik amacıyla, birinci ve ikinci geniş bölme aralığı kullanıcılarını sırasıyla UE1 ve UE2 olarak adlandırırken $\alpha = 2$ ve $\beta = 1$ 'i dikkate alıyoruz. UE3 olarak dar kutu kullanıcısı. Hem geniş hem de dar
10 sinyalleri TF alanına dönüştürdükten sonra, geniş kutu sinyalleri X_{w_a} , bir blok matrisi $\mathbf{X}_w \in \mathbb{C}^{M_2 \times N_2}$ oluşturmak üzere farklı frekans dilimlerine atanmaktadır. Dar kutu sinyali $\mathbf{X}_{nr_1} \in \mathbb{C}^{M_2 \times N_2}$, Şekil 5'te gösterildiği gibi $\mathbf{X}_{TF} \in \mathbb{C}^{M_2 \times N_2}$ adlı tek bir blok üretmek için $\mathbf{X}_w$ ile eklenmektedir. Toplamanın, aşağıdaki şekilde ifade edilebilen her iki alandaki yayılma nedeniyle TF alanında yapılması gerekmektedir:

15

$$\begin{aligned}\mathbf{X}_{TF} &= \mathbf{X}_w + \mathbf{X}_{nr} \\ \mathbf{X}_w &= [\mathbf{X}_{w_1}, \mathbf{X}_{w_2}]_{2M_1, N_1} \\ \mathbf{X}_{nr} &= [\mathbf{X}_{nr_1}]_{M_2=2M_1, N_2=N_1}\end{aligned}$$

20 Dördüncüsü, numerolojiler arası girişimin (INI) iptalidir. Hem $x_{w_1}[k, l]$ ve $x_{w_2}[k, l]$ sinyalleri bilindiğinden ve $\sqrt{P_{w_1}}x_{w_1} \neq \sqrt{P_{w_2}}x_{w_2}$, $l' = 2l + z$ ayarlayarak ve çift ve tek kutular için z 'nin sırasıyla 0 veya 1 olarak değiştirilerek her ikisine de $(2M_1, N_2)$ sempatik sonlu Fourier dönüşümü (SFFT) olarak bakarak tek bölmelerdeki INI'yi geniş bölmelerin iletilen sinyalinden silebiliriz. x'_{INI} , vericideki x_{nr_1} 'den çıkarılabilir ve ortaya çıkan TF alan sinyali $\mathbf{X}_{TF}$, INI'den net olacaktır.
25 $l' = 2l + 1$ olduğundan, $\mathbf{X}_{nr_1}$ 'in birinci ve ikinci kısmı tam tersidir ($X_{nr_1}[n_2, m_1] = -X_{nr_1}[n_2, m_1 + M_1]$). Bundan sonra $\mathbf{X}_{TF}$, Heisenberg Dönüşümü kullanılarak zaman alanı sinyali $s(t)$ 'ye dönüştürülmektedir. Kanalin maksimum aşırı gecikmesinden daha büyük olması gereken zaman alanı sinyali $s(t)$ 'ye ortak bir döngüsel önek (CP) [8] eklenmektedir.

30 Tüm I kullanıcıları için kanalların doğrusal zamanla değiştiğini varsayıyoruz. Her kullanıcının kanalı L_i yollarını içermektedir; burada i 'inci yol karmaşık zayıflamaya sahiptir h_{L_i} , gecikme

τ_{L^i} ve $L^i \in \mathbb{N}[1, L_i]$ için Doppler değeri ν_{L^i} . Bu özellikler, her kullanıcı için iki kat dağılımlı bir DD kanalıyla sonuçlanmaktadır

$$h_i(\tau, \nu) = \sum_{L^i=1}^{L_i} h_{L^i} \delta(\tau - \tau_{L^i}) \delta(\nu - \nu_{L^i}), i = 1, \dots, I$$

5

L_i inci kademe için DD değerleri $\tau_{L^i} = l_{L^i}/(M\Delta f)$ ve $\nu_{L^i} = \frac{k_{L^i}}{NT}$ olarak verilir, burada $l_{L^i} \in \mathbb{N}[0, \dots, M_2 - 1]$ ve $k_{L^i} \in \mathbb{N}[0, \dots, N_2 - 1]$ gecikme ve Doppler kutularının sayısıdır. N_2 ve M_2 'nin yeterince büyük olduğunu ve böylece alıcıdaki h_{L^i} kanalının mükemmel bilgisinin sistem üzerinde kesirli gecikme ve Doppler etkisi olmayacağını varsayıyoruz.

10

Tercihen kullanıcı ekipmanı tarafından alınan sinyalin ardından alıcı tarafındaki süreç, kablosuz kanal etkisinin CP'nin kaldırılmasıyla başlar.

Kablosuz kanal etkisi silindikten sonra, alınan sinyal her kullanıcı tarafından geniş ızgara aralığına göre gecikmeli Doppler alanına dönüştürülmektedir ve tercihen alınan sinyalden kablosuz kanal etkilerini silerek en az iki kullanıcı tarafından geniş ızgara, dönüştürülen sinyalden geniş sinyal çıkarılarak geniş ızgara tespit edilmektedir. Tercihen Wigner dönüşümü, kablosuz kanal etkilerinin silinmesinden sonra uygulanabilmektedir. Tespit edilen geniş sinyale göre dar sinyal, halihazırda geniş sinyali çıkaran kullanıcılardan en az biri veya gerekiyorsa daha fazlası tarafından yeniden oluşturulabilmektedir. Dalga biçimi oluşturma'nın ilk aşamasında tasarlanan geniş sinyalden daha fazlası varsa, alınan sinyalden çıkarılan geniş sinyal silinerek daha geniş sinyaller tespit edilebilmektedir.

Bu adımları gerçekleştirmek için aşağıda açıklanan işlem gerçekleştirilebilmektedir.

25

CP'yi çıkardıktan ve iletim darbesi $rect(\Lambda)$ ile eşleşen bir darbe kullanarak OTFS dönüşümü gerçekleştirdikten sonra, kanal tahmin edilmektedir ve herhangi bir kullanıcıdaki giriş-çıkış ilişkisi aşağıdaki şekilde türetilenmektedir

30

$$\mathbf{y}_i = \mathbf{H}_{eff_i} \mathbf{x}_i + \mathbf{n}_i = (\mathbf{F}_{N_2} \otimes \mathbf{I}_{M_2}) \mathbf{H}_i (\mathbf{F}_{N_2}^H \otimes \mathbf{I}_{M_2}) \mathbf{x}_i + \mathbf{n}_i$$

burada $\mathbf{y}_i = \text{vec}(\mathbf{y}_i)$, $\mathbf{H}_{eff_i} \in \mathbb{C}^{M_2 N_2 \times M_2 N_2}$ gecikme-Doppler etkili kanal matrisini belirtmektedir ve $\mathbf{H}_i \in \mathbb{C}^{M_2 N_2 \times M_2 N_2}$ zaman eşdeğeri kanal matrisini temsil etmektedir.

5 Kanalı tahmin etmek için, [9]'da gösterilen etki kanalı tahmin yöntemi gibi herhangi bir geleneksel OTFS kanal tahmin yönteminin uygulanabileceğini dikkate alın.

Kanal, minimum ortalama kare hatası (MMSE) dedektörü kullanılarak eşitlenmektedir.

10 Eşitlenmiş sinyal, $(M = 2M_1, N = N_1)$ ile SFFT kullanılarak DD alanına dönüştürülmektedir. Çift ve tek bölmelerin çıktısı $l' = 2l + z$ ayarısıyla elde edilebilmektedir.

Vericide x_{w_1} ve x_{w_2} sinyalleri dik olmasına rağmen, SFFT'nin toplama işlemi nedeniyle örtüşerek alınırlar.

15 Mükemmel INI iptali varsayımı altında NOMA tabanlı yaklaşımın ortogonal olmaması nedeniyle dar kutu sinyali için herhangi bir girişim olmayacaktır.

Geniş aralıktaki kullanıcılar sinyali alır ve NOMA şemasına ve güç seviyelerindeki farka göre kodu çözer. Bu yaklaşımdaki dar kullanıcı sinyali alırken ve verilerini doğrudan tek kutulardan
20 tespit eder.

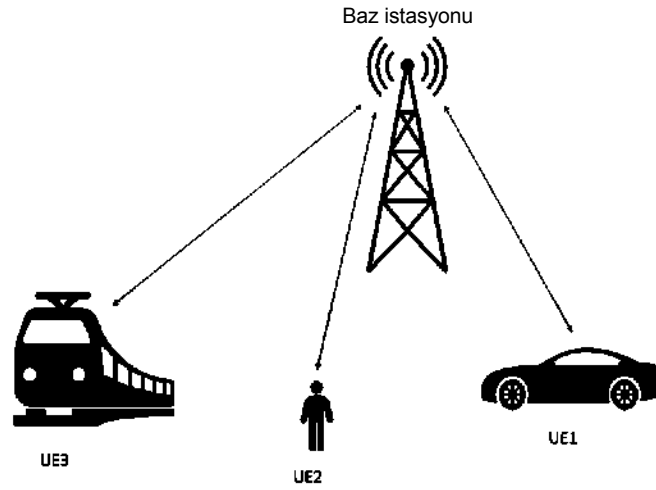
Önerilen yaklaşımın temel fikri, en az ikisi geniş kutu ve en az biri dar kutu kullanıcısı olmak üzere yalnızca üç kullanıcının bakış açısından tartışılmaktadır. ancak tasarım üçten fazla kullanıcıya genişletilebilir ve onların gereksinimlerine göre toplam zaman-frekans kaynakları,
25 maksimum sistem kapasitesine ulaşmak için bunlar arasında bölünür.

NOMA tabanlı çok numerolojili OTFS tasarımında önerilen girişim iptali yaklaşımı, NTN, CoMP, JRC ve yerleştirme gibi farklı ağlara uygulanabilir.

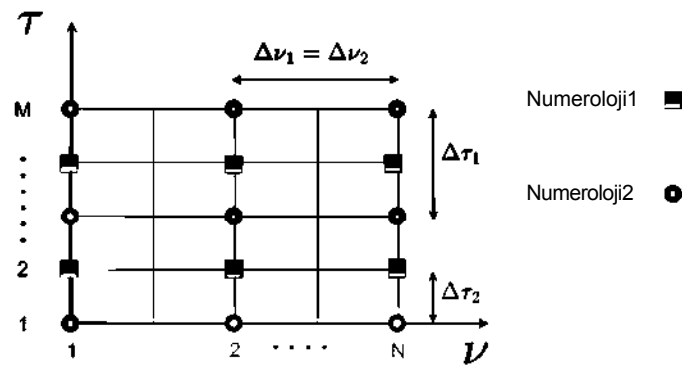
30 Önerilen yaklaşım, verici tarafında kullanıcılar arasında güç farkı olmadan kullanılacak şekilde genişletilebilir, dolayısıyla kanal tahmini Gecikme-Doppler alanı yerine zaman-frekans alanında yapılmalı ve alıcı tarafında artık SIC'ye ihtiyaç duyulmayacaktır.

REFERANSLAR

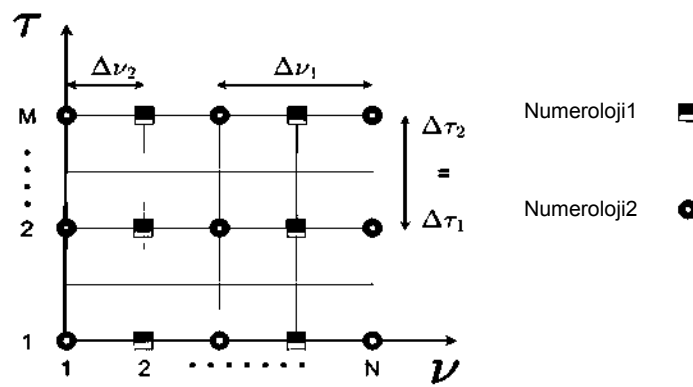
- [1] Z. Ding vd., “OTFS-NOMA: An efficient approach for exploiting heterogenous user mobility profiles,” *IEEE Trans. Commun.*, cilt. 67, no. 11, s. 7950–7965, 2019.
- 5 [2] S. McWade, M. F. Flanagan, ve A. Farhang, “Low-complexity equalization and detection for OTFS-NOMA,” *arXiv preprint arXiv:2211.07388*, 2022.
- [3] Ammar Boudjelal, A., ve Arslan, H., “Multi-Numerology OTFS based NOMA Approach” 2023 Turk patent.
- [4] Kihero, A.B., Solaija, M.S.J. ve Arslan, H., 2019. Inter-numerology interference for beyond
10 5G. *IEEE Access*, 7, s.146512-146523.
- [5] Zhang, X., Zhang, L., Xiao, P., Ma, D., Wei, J. ve Xin, Y., 2018. Mixed numerologies interference analysis and inter-numerology interference cancellation for windowed OFDM systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(8), s.7047-7061.
- [6] S. E. Zegrar ve H. Arslan, “A novel cyclic prefix configuration for enhanced reliability and
15 spectral efficiency in OTFS systems,” *IEEE Wireless Commun. Lett.*, 2023.
- [7] A. A. Zaidi vd., “Waveform and numerology to support 5G services and requirements,” *IEEE Commun. Mag.*, cilt. 54, no. 11, s. 90–98, 2016.
- [8] S. E. Zegrar ve H. Arslan, “Common cp-ofdm transceiver design for low-complexity
20 frequency domain equalization,” *IEEE Wireless Commun. Lett.*, cilt. 11, no. 7, s. 1349–1353, 2022.
- [9] P. Raviteja, K. T. Phan, ve Y. Hong, “Embedded pilot-aided channel estimation for OTFS in delay-doppler channels,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, cilt. 68, no. 5, s. 4906–4917, 2019.



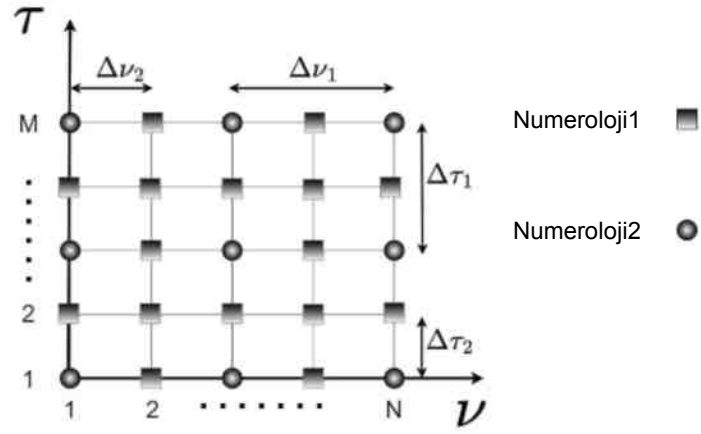
ŞEKİL 1



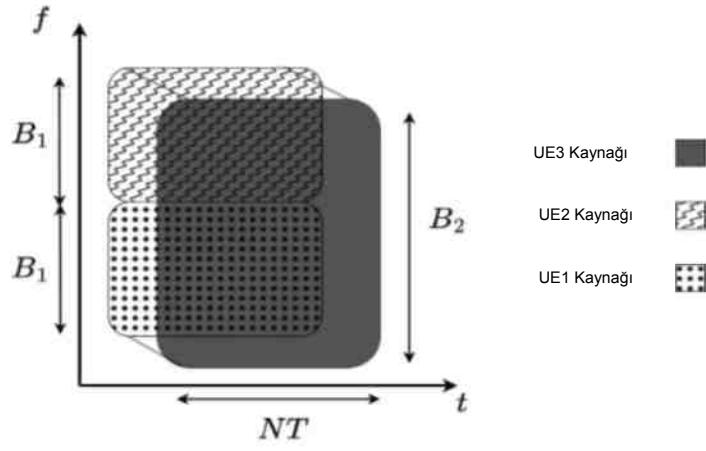
ŞEKİL 2



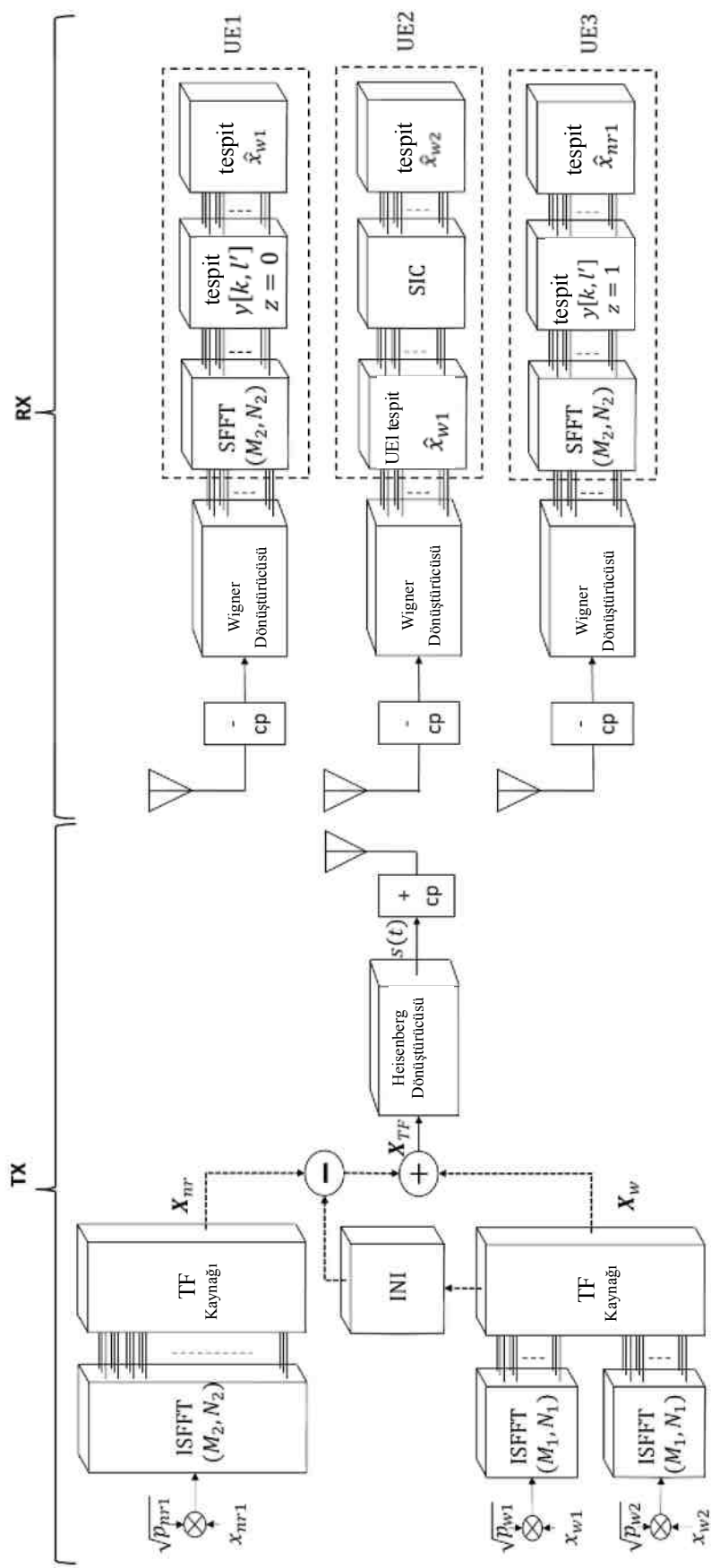
ŞEKİL 3



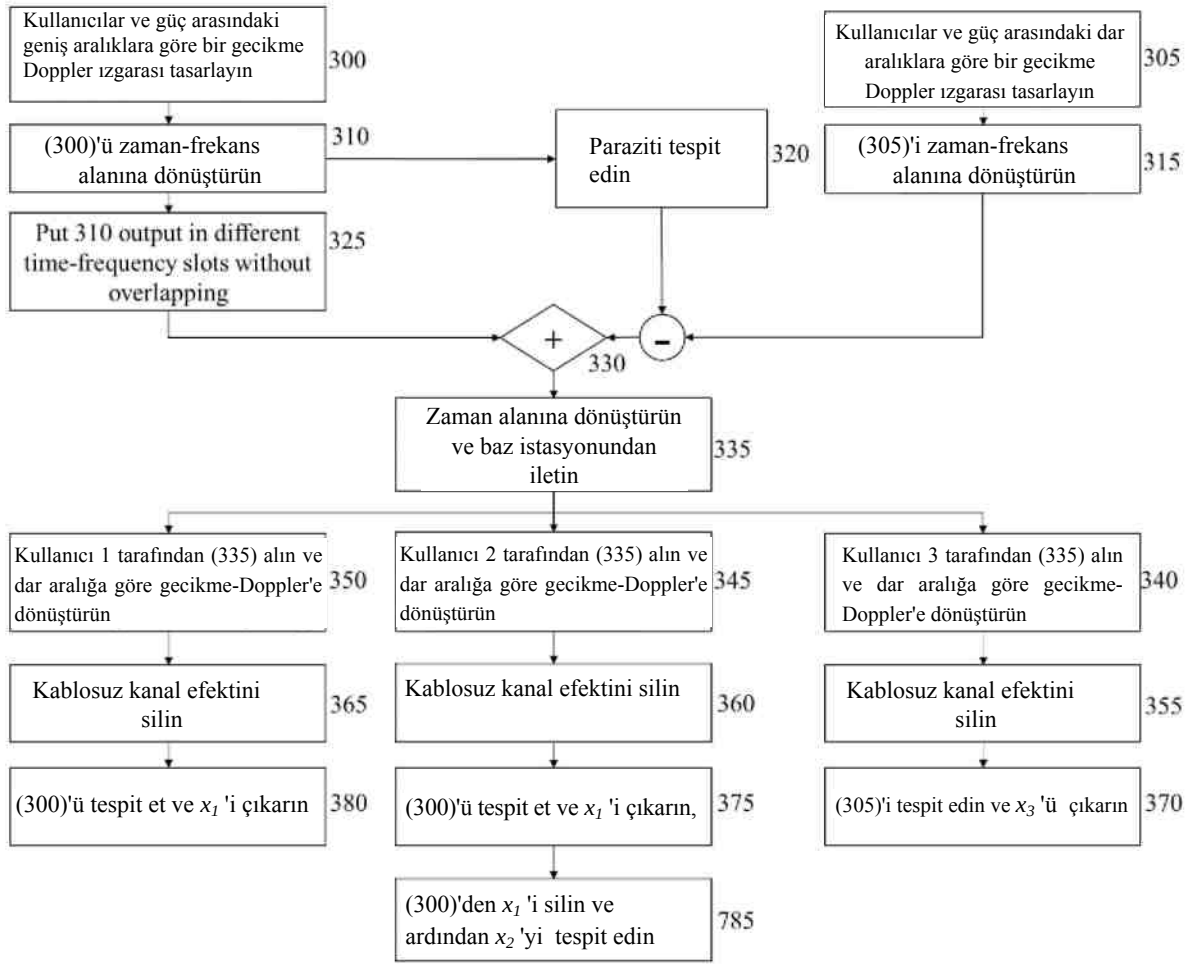
ŞEKİL 4



ŞEKİL 5



ŞEKİL 6



ŞEKİL 7