

ÖZET

KABLOSUZ İLETİŞİME YÖNELİK ÇOKLU NUMEROLOJİ TABANLI BİR YÖNTEM

5

Buluş, birden çok kablosuz cihaz için bir sinyal üretmek üzere çoklu numeroloji OTFS tabanlı NOMA yaklaşımına yönelik bir yöntem ve böyle bir sinyale yönelik bir verme, bir alma ve bir iletişim ve/veya bir algılama yöntemiyle ilgilidir.

İSTEMLER

1. En az ikisi geniş bölgeli kullanıcı ve en az biri dar bölgeli kullanıcı olan bir alıcıya sahip birden fazla kullanıcı ile verici arasında iletişim kurmaya yönelik çoklu numeroloji OTFS tabanlı NOMA sistemine yönelik bir sinyal üretmek üzere bilgisayar tarafından uygulanan bir yöntem olup, aşağıdaki adımları içermektedir;
5 en az iki geniş ızgara sinyali ve en az bir dar ızgara sinyali tasarlanması, burada geniş ızgara sinyalinin gecikme ve/veya Doppler uzayındaki aralığı dar ızgara sinyalinden farklıdır ve dar ızgara sinyali etki alanındaki geniş ızgara sinyallerinden daha dardır,
10 Geniş ızgara sinyallerinin zaman-frekans alanına dönüştürülmesi,
Dar ızgara sinyalinin ayrı bir şekilde zaman-frekans alanına dönüştürülmesi,
Geniş kutuların üst üste binmeden farklı zaman-frekans aralıklarına yerleştirilmesi,
Geniş ızgara sinyallerinin ve dar ızgara sinyalinin toplanmasının gerçekleştirilmesi ve
Toplanan sinyalin zaman alanına dönüştürülmesi.
15
2. Birden fazla dar ızgara sinyalinin tasarlanması ile karakterize edilen, İstem 1'e göre bir yöntem.
3. Ters simplektik sonlu Fourier dönüşümü kullanılarak geniş ızgara sinyallerinin ve dar ızgara sinyalinin zaman-frekans alanına dönüştürülmesi ile karakterize edilen, İstem 1'e göre bir yöntem.
20
4. Heisenberg Dönüşümü ile toplanmış ızgara sinyalinin zaman alanına dönüştürülmesi ile karakterize edilen, İstem 1'e göre bir yöntem.
25
5. Verici ile en az ikisi geniş bölgeli ve en az biri dar bölgeli kullanıcı olan en az bir alıcıya sahip birden fazla kullanıcı arasında iletişim kurmaya yönelik kablosuz iletişime yönelik bir alma yöntemi olup, aşağıdaki adımları içermektedir;
Önceki istemlerden herhangi birine göre oluşturulan bir sinyalin birden fazla kullanıcı
30 teçhizatı tarafından alınması,
Alınan sinyalin her bir kullanıcı tarafından dar ızgara sinyalinin aralığına göre gecikmeli Doppler alanına dönüştürülmesi,
Kullanıcılar tarafından geniş ızgara sinyallerini çıkarmak için dönüştürülmüş sinyalden geniş ızgara sinyallerinin algılanması,

Geniş ızgara sinyallerini hâlihazırda çıkarmış olan dar bölge kullanıcıları tarafından tespit edilen geniş sinyallere göre dar ızgara sinyalinin yeniden yapılandırılması.

- 5 6. İstem 5'e göre bir yöntem olup, yeniden yapılandırmanın aşağıdaki adımları içermesi ile karakterize edilmektedir;
çkarılan geniş ızgara sinyallerinin tamamının ayrı bir şekilde zaman-frekans alanına dönüştürülmesi ve alınan sinyalden silinmesi ve dar ızgara sinyalini tespit etmek için tekrar gecikme-Doppler alanına dönüştürülmesi.
- 10 7. Daha fazla geniş ızgara sinyalini tespit etmek için alınan sinyalden çkarılan geniş ızgara sinyalini silme adımlarını içermesi ile karakterize edilen, İstem 5 veya 6'ya göre bir yöntem.
- 15 8. Dönüştürülmüş sinyalden dar ızgara sinyalinin alınan sinyalden geniş ızgara sinyalini silerek tespit edilmesi ile karakterize edilen, İstem 5'e göre bir yöntem.
9. Her bir kullanıcı tarafından alınan sinyalden kablosuz kanal etkilerinin silinmesi adımını da içermesi ile karakterize edilen, İstemler 5 ila 8'e göre bir yöntem.
- 20 10. Verici ile en az ikisi geniş bölgeli ve en az biri dar bölgeli kullanıcı olan en az bir alıcıya sahip birden fazla kullanıcı teçhizatı arasında bir kablosuz iletişim yöntemi olup, aşağıdaki adımları içermektedir;
en az iki geniş ızgara sinyali ve en az bir dar ızgara sinyali tasarlanması, burada geniş ızgara sinyalinin gecikme ve/veya Doppler uzayındaki aralığı dar ızgara sinyalinden farklıdır ve dar ızgara sinyali etki alanındaki geniş ızgara sinyallerinden daha dardır,
25 Geniş ızgara sinyallerinin ayrı bir şekilde zaman-frekans alanına dönüştürülmesi,
Dar ızgara sinyallerinin ayrı bir şekilde zaman-frekans alanına dönüştürülmesi,
Geniş kutuların üst üste binmeden farklı zaman-frekans aralıklarına yerleştirilmesi,
Geniş ızgara sinyallerinin ve dar ızgara sinyallerinin toplanmasının gerçekleştirilmesi ve
30 Toplanan sinyalin zaman alanına dönüştürülmesi,
Toplanan sinyalin iletilmesi ve birden fazla kullanıcı tarafından alınması,
Önceki istemlerden herhangi birine göre oluşturulan bir sinyalin birden fazla kullanıcı teçhizatı tarafından alınması,

Alınan sinyalin her bir kullanıcı tarafından dar ızgara sinyalinin aralığına göre gecikmeli Doppler alanına dönüştürülmesi,

Kullanıcılar tarafından geniş ızgara sinyalini çıkarmak için dönüştürülmüş sinyalden geniş ızgara sinyalinin algılanması,

- 5 Geniş ızgara sinyalini hâlihazırda çıkarmış olan dar bölge kullanıcıları tarafından tespit edilen geniş sinyallere göre dar ızgara sinyalinin yeniden yapılandırılması.

11. İstem 10'a göre yöntemin adımlarını gerçekleştirmeye yönelik araçlar içeren bir veri işleme cihazı.

10

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

- 15 13. Bir bilgisayar tarafından yürütüldüğünde, bilgisayarın İstem 10'a göre yöntemin adımlarını gerçekleştirmesini sağlayan talimatları içeren, bilgisayar tarafından okunabilir bir ortam.

TARİFNAME

KABLOSUZ İLETİŞİME YÖNELİK ÇOKLU NUMEROLOJİ TABANLI BİR YÖNTEM

5

Teknik Alan

Buluş, birden çok kablosuz cihaz için bir sinyal üretmek üzere çoklu numeroloji OTFS tabanlı NOMA yaklaşımına yönelik bir yöntem ve böyle bir sinyale yönelik bir verme, bir alma ve
10 bir iletişim ve/veya bir algılama yöntemiyle ilgilidir.

Önceki Teknik

Kablosuz ağlarda yeni hizmetlerin ve uygulamaların ortaya çıkışı, 6G ağlarında kapsamlı
15 bağlantı ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Çok çeşitli gereksinimlerin yanı sıra yeni hizmet ve uygulamaların hızla büyümesi nedeniyle, yeni nesil kablosuz ağlar için temel hedeflerden biri olarak kitlesel erişim ihtiyacı vurgulanmaktadır. Bununla birlikte, mevcut dalga biçimleri tüm varyasyonlarla eşleşmemektedir ve yalnızca belirli senaryolarda uygulanabilmektedir.

Bununla birlikte, mevcut ortogonal teknolojiler bu gereksinimi karşılama konusunda sınırlamalara sahiptir. Ortogonal Zaman Frekans Uzaı (OTFS), yüksek mobilite senaryolarında Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklama'dan (OFDM) daha iyi performans gösterse de, yine de NOMA sistemlerinin sağladığı üstün kazanımlardan yoksundur. Bu sınırlama, her iki yaklaşımın güçlü yönlerini birleştiren hibrit bir dalga formunun
25 geliştirilmesini gerektirmektedir. Ayrıca, geleneksel NOMA sistemleri güç alanındaki parazitlerle ilgili zorluklarla karşı karşıyadır. Bu parazitler, gürültü ve kablosuz kanallardaki kayıplar nedeniyle alıcıda etkili bir şekilde hafifletilememektedir ve bu da kullanıcı kapasitesinin düşmesine neden olmaktadır. Bu teknik sorunların ele alınması, kablosuz iletişim sistemlerinde iyileştirilmiş performans elde etmek için çok önemlidir.

30

OTFS-NOMA, kablosuz iletişim sistemlerinin enerji ve spektral verimliliğini önemli ölçüde artırmayı ve böylece bu alanı daha önce görülmemiş performans ve kapasite yüksekliklerine çıkarmayı vaat etmektedir. Bilhassa, OTFS-NOMA'nın uygulanmasına yönelik çeşitli kontrol yaklaşımları literatürde hâlihazırda su yüzüne çıkmıştır. Örneğin, [1]'deki çalışma,

kullanıcıları hareketlilik profillerine göre ayırt etmek için OTFS-NOMA yaklaşımını kullanmaktadır. OTFS-NOMA için uyarlanan yeni bir düşük karmaşıklıkla yinelemeli alıcı [2]'de sunulmuştur, burada OTFS modülasyonlu sinyaller güç alanında çoklanmıştır. Önerdikleri alıcı tasarımı, veri algılama güvenilirliği ve sembol hata oranı (SER) açısından geleneksel yaklaşımlardan daha iyi performans göstermektedir.

Ancak, farklı hizmet kalitesi (QoS) seviyeleri gereksinimi, gecikme-Doppler (DD) kafesi, alt taşıyıcı aralığı ve döngüsel önek (CP) gibi dalga biçimi kanal parametrelerinde daha fazla serbestlik ve esneklik derecesi gerektirmektedir. Bu sorunu ele almak için, [3]'te vurgulandığı üzere 5G dalga formu tasarımına yönelik karma numeroloji kavramı tanıtılmıştır. Bu inovasyon, spektral kullanımı arttırırken aynı sistem içinde birden fazla veri hızı ve bant genişliğinin işlenmesine olanak tanıyarak iletişim sistemlerinde iyileşmiş sistem performansı ve daha fazla esneklik sağlamaktadır. NOMA'da, [4]'te önerilen bir diğer önemli gelişme, geleneksel NOMA'nın (CN) sınırlamalarını aşmak için OFDM ile birlikte çoklu sayısal NOMA'nın kullanılmasıdır. Çalışmalarının sonuçları, CN yöntemlerine kıyasla üstün bit hata oranı (BER) ve spektral verimlilik (SE) performansı göstermektedir.

Önceki kısımda bahsedilen çalışmalar arasında, sinyallerin tamamen üst üste bindirilmesi veya sabit ızgara yaklaşımlarının kullanılması, OTFS ve OFDM sinyallerinin durumunda olduğu gibi hem zaman-frekans hem de DD alanlarında düşük uyarlanabilirlik ve esneklikten muzdariptir. Bu yöntemler, özellikle çeşitli Hizmet Kalitesi (QoS) ihtiyaçları için farklı gereksinimlere sahip farklı uygulamalar barındırırken zorluklar oluşturmaktadır.

Örneğin, bazı uygulamalar yüksek mobilite senaryolarında çalışmaktadır ve yüksek veri hızlarına ihtiyaç duyarken, diğer işlemler statik ortamlarda çalışmakta ve ultra güvenilirliğe öncelik vermektedir. Aynı sabit ızgarayı kullanarak her iki gereksinimi de karşılamaya çalışmak uygun değildir.

Ayrıca, geleneksel NOMA tabanlı ağlar öncelikle düşük hareketli kullanıcı senaryolarına odaklanmaktadır; burada farklı kanal koşullarına veya farklı QoS taleplerine sahip kullanıcılar bir araya getirilmektedir ve aynı zaman-frekans kaynaklarını kullanılarak eşzamanlı hizmet verilmektedir.

Sonuç olarak, yukarıda bahsedilen tüm sorunlar ilgili alanda bir yeniliğin sağlanmasını gerekli kılmıştır.

Buluşun Kısa Açıklaması ve Amaçları

5

Mevcut buluşun ana amacı, farklı hareketlilik seviyeleri senaryoları altında farklı kullanıcılar için hizmet kalitesi taleplerini karşılamak üzere dalga formu oluşturmaya yönelik bir yöntem ve böyle bir dalga formuna yönelik alma ve iletişim yöntemi oluşturmaktır.

10 Buluşun bir başka amacı verimli kaynak tahsisi için çoklu erişim şemalarını optimize etmektir.

Buluşun bir başka amacı daha iyi performans için kanal koşullarına uyumluluğu arttırmaktır.

15 Buluşun başka bir amacı etkin spektrum kullanımı vasıtasıyla spektral verimliliği optimize etmektir.

Buluşun bir başka amacı güvenilir iletişim için kanal değişimlerine karşı dayanıklılık sağlamaktır.

20

Buluşun bir başka amacı farklı hareketlilik özelliklerine ve değişen gereksinimlere sahip kullanıcıları barındırmaktır.

Buluşun bir başka amacı yüksek hareketliliğe sahip ortamlarda verimi ve kapasiteyi en üst

25

Bu hedeflere ulaşmak için, kablosuz kanalın gecikme-Doppler (DD) alanındaki temsilinde farklı indeks aralıkları olmasını öneren yöntem, OTFS, NOMA gibi sofistike teknikleri kullanan ve çoklu kullanıcı gereksinimleri için uygulanabilir olan benzersiz dalga şekli

30

Buluş, farklı hareketlilik özelliklerine sahip kullanıcıların zaman-frekans alanında üst üste bindirilmesine olanak tanıyan ve kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayan bir üst üste bindirme şeması sunmaktadır.

Buluş, her bir kullanıcı için kanal koşullarına dayalı olarak farklı numerolojiler seçmeye izin vererek, değişen kanal özelliklerine esneklik ve uyarlanabilirlik sağlamaktadır.

- 5 Buluş, verimli kaynak tahsisi ve uyarlanabilir numeroloji yoluyla mevcut spektrumun kullanımını optimize ederek spektral verimliliği en üst düzeye çıkarmaktadır.

10 Geliştirilmiş verim: Buluş, kaynakları uyarlanabilir bir şekilde tahsis etme ve farklı gereksinimleri olan kullanıcıları barındırma yeteneği ile verimin daha yüksek olmasını ve gelişmiş iletişim performansını kolaylaştırmaktadır.

15 Buluşun önemli bir yönü de spektral verimlilik üzerindeki etkisidir. Buluş, optimize edilmiş teknikler kullanarak mevcut spektrumun kullanımını en üst düzeye çıkarmaktadır, böylelikle verimli kaynak tahsisine ve gelişmiş spektral verimliliğe olanak tanımaktadır. Bu hırslı çalışma, kablosuz iletişim teknolojisinde yeni bir çıkış açmaya yönelik önemli bir adımdır ve ağ yeteneklerini geliştirmek ve çok çeşitli kullanım durumları ve senaryolarında kesintisiz bağlantıyı güçlendirmeye yönelik umut verici yollar sunmaktadır. Bu yenilikçi yaklaşım sayesinde, kablosuz iletişim sistemlerinin evrimine önemli ölçüde katkıda bulunmayı ve nihayetinde sürekli gelişen bu alanda yapılabileceklerin sınırlarını yeniden tanımlamayı

20 hedeflemekteyiz.

Bu önemli ilerleme, kablosuz iletişim sistemlerini geliştirme ve tam potansiyellerini gerçekleştirme konusundaki kesin kararlı olduğumuzun bir kanıtıdır. Yenilikçi çerçeve, benzersiz uyarlanabilirliğin, gelişmiş performansın ve yüksek spektral verimliliğin önünü

25 açmaktadır. Bu nedenle çalışmamız, kablosuz iletişimin süregelen evriminde önemli bir sıçrama tahtası olmayı, yeni ufuklar açmayı ve bu alanda gelecekteki gelişmeler için yeni ölçütler belirlemeyi taahhüt etmektedir.

Şekillerin Kısa Açıklaması

30

Buluşun konusunun daha iyi anlaşılması için gerekli olan şekiller ve ilişkili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

Şekil 1. Sistemin şematik bir görünümü.

Şekil 2. Farklı gecikme aralıklarına sahip DD alanındaki çoklu numeroloji dağılımının grafiksel görünümü.

Şekil 3. Farklı Doppler aralıklarına sahip DD alanındaki çoklu numeroloji dağılımının grafiksel görünümü.

5 **Şekil 4.** Hem farklı gecikme hem de Doppler aralıklarına sahip DD alanındaki çoklu numeroloji dağılımının grafiksel görünümü.

Şekil 5. Önerilen NOMA tabanlı çoklu numeroloji OTFS tasarımının zaman-frekans alanında grafiksel bir temsili.

10 **Şekil 6.** Önerilen NOMA tabanlı çoklu numeroloji OTFS alıcı-verici tasarımının şematik bir görünümü

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

Referans Numaraları

15 Buluş konusunun daha iyi anlaşılabilmesi için şekillerde verilen parça ve bileşenlere atıf yapılmıştır.

TX. Verici

RX. Alıcı

20 **UE.** Kullanıcı teçhizatı

Buluşun Ayrıntılı Açıklaması

25 Buluş, birden çok kablolu cihaz için bir sinyal üretmek üzere çoklu numeroloji OTFS tabanlı NOMA yaklaşımına yönelik bir yöntem ve böyle bir sinyale yönelik bir verme, bir alma ve iletişim yöntemiyle ilgilidir.

30 Şekil 1'e atıfta bulunarak; iletişim yönteminin gerçekleştirildiği iletişim sistemi, baz istasyonu gibi en az bir vericiye (Tx) ve en az bir alıcıya (Rx) sahip birden çok hareketli kullanıcı teçhizatı (UE) içermektedir. Hareketli kullanıcı teçhizatlarından (UE) en az ikisi geniş bölge kullanıcısıdır ve hareketli kullanıcı teçhizatlarından (UE) en az biri dar bölge kullanıcısıdır.

Şekiller 2 ila 4'e atıf yapılarak: Çoklu numeroloji OTFS tabanlı NOMA yaklaşımına göre bir dalga şekli oluşturmak için öncelikle en az üç sinyal tasarlanmaktadır ve bunlardan ikisi geniş

ızgara sinyali, diğeri ise dar ızgara sinyalidir. Hem geniş hem de dar ızgaralar, sırasıyla geniş ızgara sinyalini ve dar ızgara sinyalini oluşturmak için bu ızgaralar üzerinde aralıklarıyla konumlandırılan kutular içermektedir.

- 5 Kullanıcıları çoklamak için bir OTFS modülasyon şemasının kullanıldığı bir uydu-yer bağı çok kullanıcı OTFS sistem tasarımı kabul edilmektedir. OTFS sinyali, $x[k, l]$ ile gösterilen,

$M \times N$ 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 süresine sahip olan bir

bant genişliği $B = M\Delta f$ ile modüle edilmektedir, burada bir sembolün zaman süresi

- 10 $T = 1/\Delta f$ olup, sırasıyla $1/M\Delta f$ ve $1/NT$ gecikme ve Doppler aralıklarını uygulamaktadır.

Bu ızgaraların aralığı, gecikme veya Doppler alanlarından en az birine göre diğerlerinden farklıdır. Aşırı durumlarda, her iki uzayda da uzaklıklar farklı olabilmektedir.

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

Şekil 2'de, ızgaraların aralıkları Doppler uzayında eşittir ancak gecikme uzayında eşit değildir. Bu, Δv_1 ve Δv_2 'ün sırasıyla geniş ızgara ve dar ızgaranın Doppler aralığı olduğu,

- 20 $\Delta v_1 = \Delta v_2$, $\Delta \tau_1$ ve $\Delta \tau_2$ nin sırasıyla geniş ızgara ve dar ızgaranın gecikme aralığı olduğu $\Delta \tau_1 \neq \Delta \tau_2$ formülüyle temsil edilebilmektedir.

Örneğin, $\Delta \tau_1$ and $\Delta \tau_2$ değeri $\Delta \tau_1 = 2^q \Delta \tau_2$ olarak ayarlanırken Δv_1 ve Δv_2 eşit tutulmaktadır.

Bu, Şekil 2'de gösterildiği gibi sadece gecikme alanında farklı numerolojilere sahip iki OTFS

- 25 sinyali vermektedir ve burada $M_2 = 2^q M_1$, $1/(M_1 \Delta f_1) = 2^q / (M_2 \Delta f_2)$ ayarına eşdeğerdir.

Son olarak, OTFS dönüşümü ilk numeroloji için (M_1, N_1) boyutunda ISFFT ve ikincisi için (M_2, N_2) boyutunda $N_2 = 2^q N_1$ alınarak gerçekleştirilebilmektedir.

Şekil 3'te, ızgaraların aralıkları gecikme uzayında eşittir ancak Doppler uzayında eşit değildir.

5 Bu, $\Delta v_1 \neq \Delta v_2$ ve $\Delta \tau_1 = \Delta \tau_2$ formülleri ile gösterilebilmektedir.

Örneğin, Δv_1 and Δv_2 değeri $\Delta v_1 = 2^q \Delta v_2$ olarak ayarlanırken $\Delta \tau_1$ ve $\Delta \tau_2$ eşit tutulmaktadır.

Bu, Şekil 3'te gösterildiği gibi sadece Doppler alanında farklı numerolojilere sahip iki OTFS sinyali vermektedir ve burada $1/(N_1 T_1) = 2^q / (N_2 T_2)$, $N_2 = 2^q N_1$ ayarına eşdeğerdir. Son

olarak, OTFS dönüşümü ilk numeroloji için (M_1, N_1) boyutunda ve diğeri için (M_1, N_2)

10 boyutunda ISFFT alınarak gerçekleştirilebilmektedir.

Şekil 4'te, ızgaraların aralığı her iki boşlukta da eşittir. Bu, $\Delta v_1 \neq \Delta v_2$ ve $\Delta \tau_1 \neq \Delta \tau_2$ formülleri ile gösterilebilmektedir.

15 Örneğin, $\Delta \tau_1$ and $\Delta \tau_2$ değeri $\Delta \tau_1 = 2^q \Delta \tau_2$ olarak ayarlanırken, $\Delta \tau_1$ ve $\Delta \tau_2$, $\Delta v_1 = 2^q \Delta v_2$

olarak ayarlanmaktadır. Bu, Şekil 4'te gösterildiği gibi sadece Doppler alanında farklı numerolojilere sahip iki OTFS sinyali vermektedir ve bunlar, $N_2 = 2^q N_1$ ve $M_2 = 2^q M_1$

ayarına eşdeğerdir. Böylelikle, OTFS modülasyonu ilk numeroloji için (M_1, N_1) boyutunda ve ikincisi için (M_2, N_2) boyutunda ISFFT alınarak gerçekleştirilebilmektedir.

20

Şekiller 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 sunulmaktadır. Tüm standartlaştırılmış Δf değerleri, $q = [0, 4]$ için temel LTE

numerolojisinin 2^q katlarıdır [5]. OTFS sinyali kısmı için, aynı DD kaynaklarını kullanan,

(τ, ν) ile gösterilen, birinci ve ikinci numerolojiler için sırasıyla

$\Delta\tau_1 = 1/(M_1 \Delta f_1)$, $\Delta\nu_1 = 1/(N_1 T_1)$ ve $\Delta\tau_2 = 1/(M_2 \Delta f_2)$, $\Delta\nu_2 = 1/(N_2 T_2)$ DD aralıklarına

sahip iki OTFS sinyalini dikkate almaktayız.

5

Tasarlanan geniş ve dar sinyaller zaman-frekans alanına dönüştürülmektedir. Burada $x[k, l]$,

ters simplektik sonlu Fourier dönüşümü (ISFFT) kullanılarak zaman-frekans (TF) alanı ızgarası $\{X[n, m], n = 0, \dots, N-1, m = 0, \dots, M-1\}$ ile eşlenmektedir [1],

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

10

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

Dönüştürülen geniş sinyaller, gecikme-Doppler geniş ızgara sinyallerinin zaman-frekans daha az kaynak kullanması nedeniyle birbirleriyle çakışmadan zaman-frekans dilimlerine

15 yerleştirilmektedir ve dönüştürülen dar sinyal ile birlikte toplanmaktadır.

Geniş ve dar sinyallerin toplamından sonra, elde edilen sinyal, tercihen Heisenberg Dönüşümü ile zaman alanına dönüştürülmektedir;

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

20

burada $\text{rect}(\cdot)$ dikdörtgen dalga şeklinde ve $\Lambda = (t - nT)/T$ 'dir.

Sinyal, zaman alanına dönüştürüldükten sonra, verici (Tx) tarafından ortama
25 gönderilmektedir.

Önerilen NOMA tabanlı çoklu numeroloji OTFS tasarımı temel olarak sistemde üç kullanıcı olduğu varsayılan verici tasarımına dayanmaktadır. Birden fazla geniş aralıklı kullanıcı sayısının α , birden fazla dar aralıklı kullanıcı sayısının β ve toplam kullanıcı sayısının $I = \alpha + \beta$ ile gösterildiği bir kablosuz iletişim sistemi düşünmekteyiz. Yaklaşımımız, x_{nr} ile gösterilen dar gecikme aralığına sahip kullanıcıların $B_2 = M_2 \Delta f$ bant genişliğini işgal eden sinyallerini, x_w ile gösterilen daha geniş aralıklı kullanıcıların $B_1 = M_1 \Delta f$ bant genişliğini işgal eden sinyallerinin üzerine bindirmeyi içermektedir. Bu, x_{nr} tarafından kullanılan aynı kaynakları kapsamak için 2^q sinyallerinin x_w 'nin kullanılmasını sağlamaktadır

10

Verici (Tx) tasarımı aşağıdaki gibi üç aşamadan oluşmaktadır:

Birincisi, geniş sinyali tasarlamaktır. Geniş aralıklı sinyal aşağıdaki gibi sunulabilmektedir.

15

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

burada $x_{w\alpha}[k, l], n_1 = 1, \dots, N_1 - 1, m_1 = 0, \dots, M_1 - 1, \alpha = 0, \dots, \alpha$ sırasıyla k^{th} ve l^{th} Doppler ve gecikme bölgelerindeki α^{th} kullanıcısının karmaşık modülasyonlu sembolleridir.

20

$P_{w\alpha}$ atanan güç faktörüdür, burada belirtilen gücün toplam miktarı $\sum_{\alpha=1}^{\alpha} P_{w\alpha}$ 'dir.

İkincisi, dar sinyali tasarlamaktır. Dar aralık sinyali ve farklı numerolojiler arasındaki paraziti önlemek için $\beta, l' = 2l + 1$ ayarı yapılarak yalnızca tek kutulara tahsis edilmektedir, böylelikle OTFS TF alan sinyali aşağıdaki gibi verilmektedir.

25

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

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 b^{th} ve k^{th} Doppler ve gecikme bölgelerindeki l'^{th} kullanıcısının karmaşık modülasyonlu sembolleridir. P_{nr_b} atanan güç faktörüdür, burada belirtilen gücün toplam miktarı

5 $\sum_{b=1}^{\beta} P_{nr_b}$ 'dir. BS'den tüm kullanıcılara atanan maksimum güç $P = \sum_{\alpha=1}^{\alpha} P_{w_\alpha} + \sum_{b=1}^{\beta} P_{nr_b} = 1$ 'dir, $\beta = 0$ geleneksel NOMA şeması durumunu temsil etmektedir.

Üçüncüsü sinyal süperpozisyonudur. Bu, toplama adımını temsil etmektedir. Basitlik
10 amacıyla, kullanıcılar (UE1 ve UE2) arasındaki birinci ve ikinci geniş bölgeleri sırasıyla $\alpha = 2$ ve $\beta = 1$ olarak kabul ediyoruz. Dar bölge kullanıcısı (UE3). Hem geniş hem de dar sinyalleri TF alanına dönüştürdükten sonra, geniş bölge sinyalleri X_{w_α} , bir blok matrisi $X_w \in \mathbb{C}^{M_2 \times N_2}$ oluşturmak için farklı frekans yuvalarına atanmaktadır. Dar kutu sinyali $X_{nr_1} \in \mathbb{C}^{M_2 \times N_2}$, Şekil 5'te gösterildiği gibi $X_{TF} \in \mathbb{C}^{M_2 \times N_2}$ olarak adlandırılan tek bir blok
15 üretmek için X_w ile birlikte eklenmektedir. Her iki alandaki yayılma nedeniyle toplamının TF alanında yapılması gerekmektedir ve bu da aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir:

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

20

Tüm I kullanıcıları için kanalların doğrusal zaman değişkenliğine sahip olduğunu kabul etmekteyiz. Her bir kullanıcının kanalı yollar L_i içermektedir, burada i^{th} yolları, karmaşık zayıflama h_{L^i} , gecikme τ_{L^i} ve $L^i \in \mathbb{N}[1, L_i]$ için v_{L^i} Doppler değerine sahip olduğu Bu
25 özellikler, her bir kullanıcı için iki kat dağınık bir DD kanalı ile sonuçlanmaktadır

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

DD değerleri L_t^{th} kademesi için $\tau_{Lt} = l_{Lt}/(M\Delta f)$ ve $\nu_{Lt} = k_{Lt}/(NT)$ olarak verilmektedir, burada $l_{Lt} \in \mathbb{N}[0, \dots, M_2 - 1]$ and $k_{Lt} \in \mathbb{N}[0, \dots, N_2 - 1]$ gecikme ve Doppler bölgelerinin sayısıdır. N_2 ve M_2 'nin yeterince büyük olduğunu kabul etmekteyiz, böylece alıcıda kanal h_{Lt} hakkında mükemmel bilgi olduğu kabul edilerek sistem üzerinde kesirli gecikme ve Doppler etkisi olmamaktadır.

Tercihen, kullanıcı teçhizatı tarafından alınan sinyalden sonra, alıcı tarafındaki proses CP'nin, yani kablosuz kanal etkisinin kaldırılmasıyla başlamaktadır.

10 Kablosuz kanal etkisinin kaldırılmasından sonra, alınan sinyal her bir kullanıcı tarafından geniş ızgara aralığına göre gecikmeli Doppler alanına dönüştürülmektedir ve geniş ızgara, tercihen alınan sinyalden kablosuz kanal etkilerini silerek, kullanıcıların en az ikisi tarafından geniş sinyali çıkarmak için dönüştürülmüş sinyalden tespit edilmektedir. Tercihen, kablosuz kanal etkileri kaldırıldıktan sonra Wigner dönüşümü uygulanabilmektedir. Tespit edilen geniş

15 sinyale göre, dar sinyal, geniş sinyali hâlihazırda çıkarmış olan kullanıcılardan en az biri tarafından veya gerekirse daha fazlası tarafından yeniden oluşturulabilmektedir. Dalga formu oluşturmanın ilk adımında tasarlanan geniş sinyalden daha fazlası varsa, alınan sinyalden çıkarılan geniş sinyal silinerek daha fazla geniş sinyal tespit edilmektedir.

20 Bu adımları gerçekleştirmek için aşağıda açıklanan işlem gerçekleştirilebilmektedir.

CP kaldırıldıktan ve iletim dalgası $\text{rect}(\Lambda)$ ile eşleşen bir dalga kullanılarak OTFS dönüşümü gerçekleştirildikten sonra, kanal tahmin edilmektedir ve herhangi bir kullanıcıya ilişkin giriş-çıkış ilişkisi aşağıdaki gibi türetilenmektedir

25

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

Burada $\mathbf{y}_t = \text{vec}(\mathbf{y}_t)$ ve $\mathbf{H}_{eff_t} \in \mathbb{C}^{M_2 N_2 \times M_2 N_2}$ gecikme-Doppler etkin kanal matrisini ve $\mathbf{H}_t \in \mathbb{C}^{M_2 N_2 \times M_2 N_2}$ zaman eşdeğer kanal matrisini temsil etmektedir.

30

[4]'te temsil edilen impuls kanal tahmin yöntemi gibi herhangi bir geleneksel OTFS kanal tahmin yönteminin kanalı tahmin etmek üzere uygulanabileceğini unutmayınız.

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

Eşitlenmiş sinyal, ($M = 2M_1, N = N_1$) ile SFFT kullanılarak DD alanına dönüştürülmektedir.

- 5 Çift ve tek bölgelerin çıktısı, $l' = 2l + z$ 'in ayarlanmasıyla elde edilebilir.

Her ne kadar x_{w_1} and x_{w_2} sinyalleri vericide farklı TF kaynaklarına tahsis edilse de, SFFT'nin toplama işlemi nedeniyle üst üste binmiş olarak alınmaktadır.

- 10 Önerilen yaklaşımın temel fikri sadece üç kullanıcı açısından ele alınmıştır ancak tasarım, en az ikisi geniş bölge ve en az biri dar bölge kullanıcısı olan üçten fazla kullanıcıya göre genişletilebilmektedir ve gereksinimlere dayanılarak toplam zaman-frekans kaynakları, maksimum sistem kapasitesine ulaşmak için aralarında paylaştırılmaktadır.

- 15 Buluş ayrıca, buluş yönteminin adımlarını gerçekleştirmeye yönelik araçlar içeren bir veri işleme cihazını ve program bir veri işleme cihazı tarafından yürütüldüğünde veri işleme cihazının buluş yönteminin adımlarını gerçekleştirmesini sağlayan talimatlar içeren bir bilgisayar programını ve bir bilgisayar tarafından yürütüldüğünde bilgisayarın buluş yönteminin adımlarını gerçekleştirmesini sağlayan talimatlar içeren bilgisayar tarafından okunabilir bir ortamı da kapsamaktadır. Ayrıca sistem, baz istasyonu gibi en az bir verici (Tx) ve en az bir alıcıya (Rx) sahip birden fazla hareketli kullanıcı teçhizatı (UE) ve buluş yönteminin adımlarını gerçekleştirmeye yönelik araçlar içeren bir veri işleme cihazı içermektedir.

- 25 Önerilen yaklaşım senaryoda sadece çoklu numeroloji açısından tartışılmıştır, bununla birlikte bu yaklaşım gecikme, Doppler veya gecikme-Doppler'de farklı numerolojiler kullanıldığında geçerlidir.

- 30 Önerilen NOMA tabanlı çoklu numeroloji OTFS tasarımı NTN, CoMP, JRC ve yerleştirme gibi farklı ağlara uygulanabilmektedir.

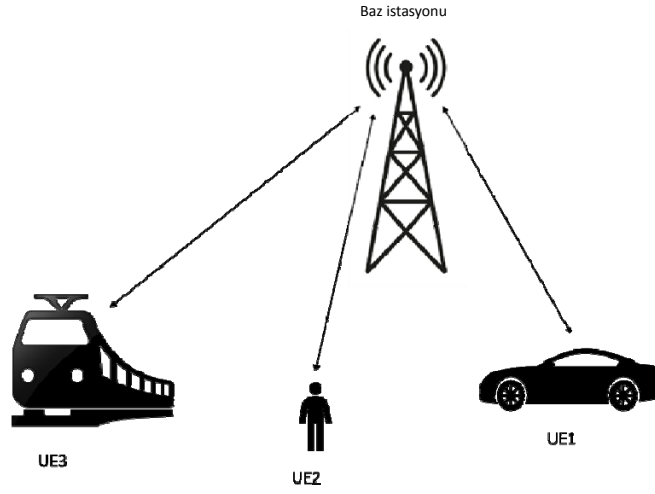
Önerilen yaklaşım, verici tarafında kullanıcılar arasında güç farkı olmadan kullanılmak üzere genişletilebilmektedir, böylelikle kanal tahmini Gecikme-Doppler alanı yerine zaman-frekans alanında yapılmalıdır ve alıcı tarafında SIC'ye artık ihtiyaç duyulmayacaktır.

- 5 Önerilen yaklaşımın alt taşıyıcı aralığını sabit tutarken gecikme, Doppler veya gecikme-Doppler bölgelerinin sayısını değiştirerek gecikme aralığını değiştirdiği kabul edilmektedir. Bununla birlikte, önerilen yaklaşım, gecikme-Doppler bölmelerinin sayısını sabitlerken alt taşıyıcı aralığını değiştirerek gecikme aralığını değiştirmek için genişletilebilmektedir, bu durumda sistem performansı düşebilmektedir, bu nedenle alt taşıyıcı aralığını ve bölme
- 10 sayısını değiştirmek arasında optimize edilen bir nokta tanımlanmalıdır.

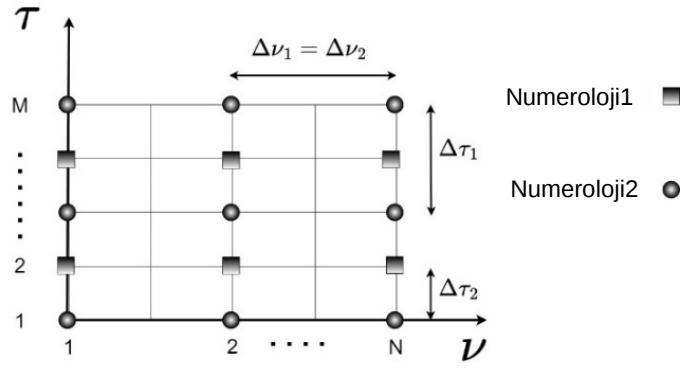
Önerilen yaklaşım, kullanıcının performansını artırmak için çoklu anten konsepti (yani çok girdili çok çıktılı ağ) ile birleştirilebilmektedir.

KAYNAKLAR

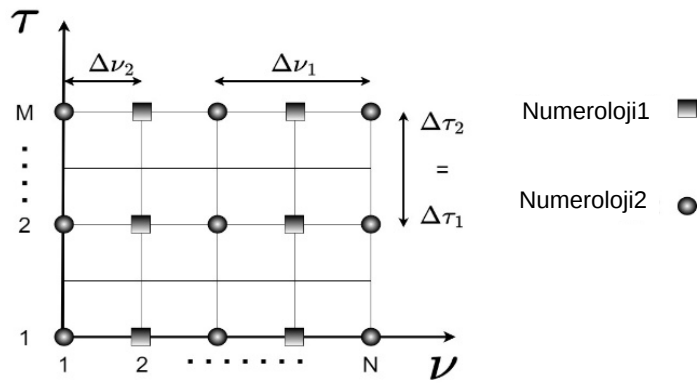
- [1] Z. Ding ve diğeri, “OTFS-NOMA: An efficient approach for exploiting heterogeneous user mobility profiles,” *IEEE Trans. Commun.*, cilt. 67, no 11, ss. 7950-7965, 2019.
- 5 [2] S. McWade, M. F. Flanagan, ve A. Farhang, “Low-complexity equalization and detection for OTFS-NOMA,” *arXiv preprint arXiv:2211.07388*, 2022.
- [3] X. Zhang ve diğeri, “On the waveform for 5G,” *IEEE Commun. Mag.*, cilt 54, no 11, ss. 74–80, 2016.
- [4] A. T. Abusabah and H. Arslan, “NOMA for multiband OFDM systems,” *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, cilt 2018, 2018.
- 10 [5] A. A. Zaidi ve diğeri, “Waveform and numerology to support 5G services and requirements,” *IEEE Commun. Mag.*, cilt 54, no 11, ss. 90–98, 2016.



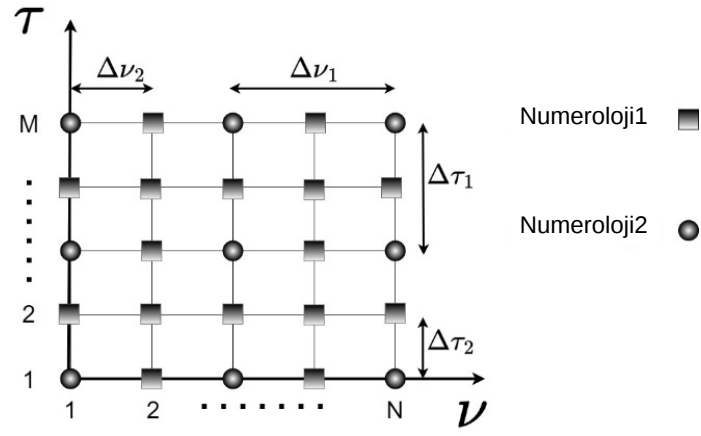
ŞEKİL 1



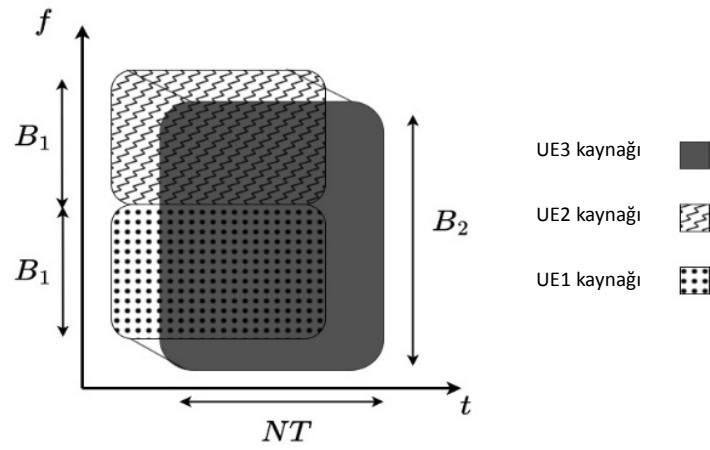
ŞEKİL 2



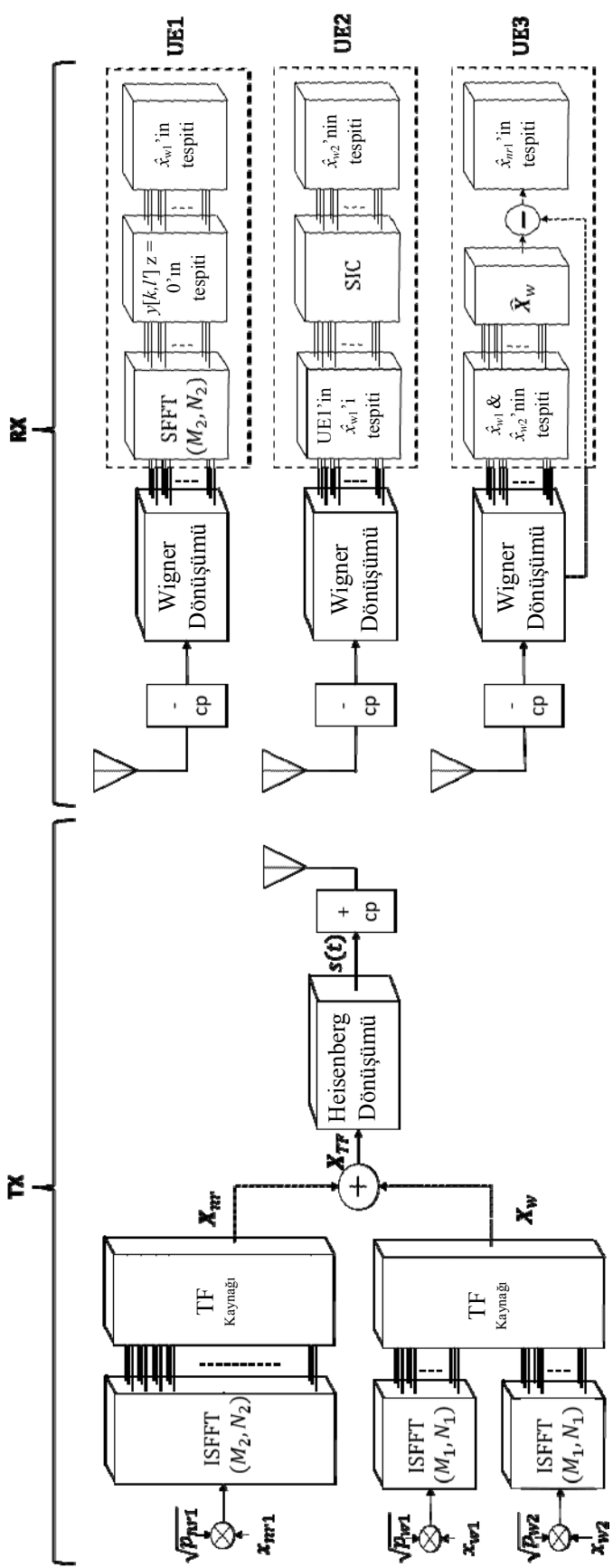
ŞEKİL 3



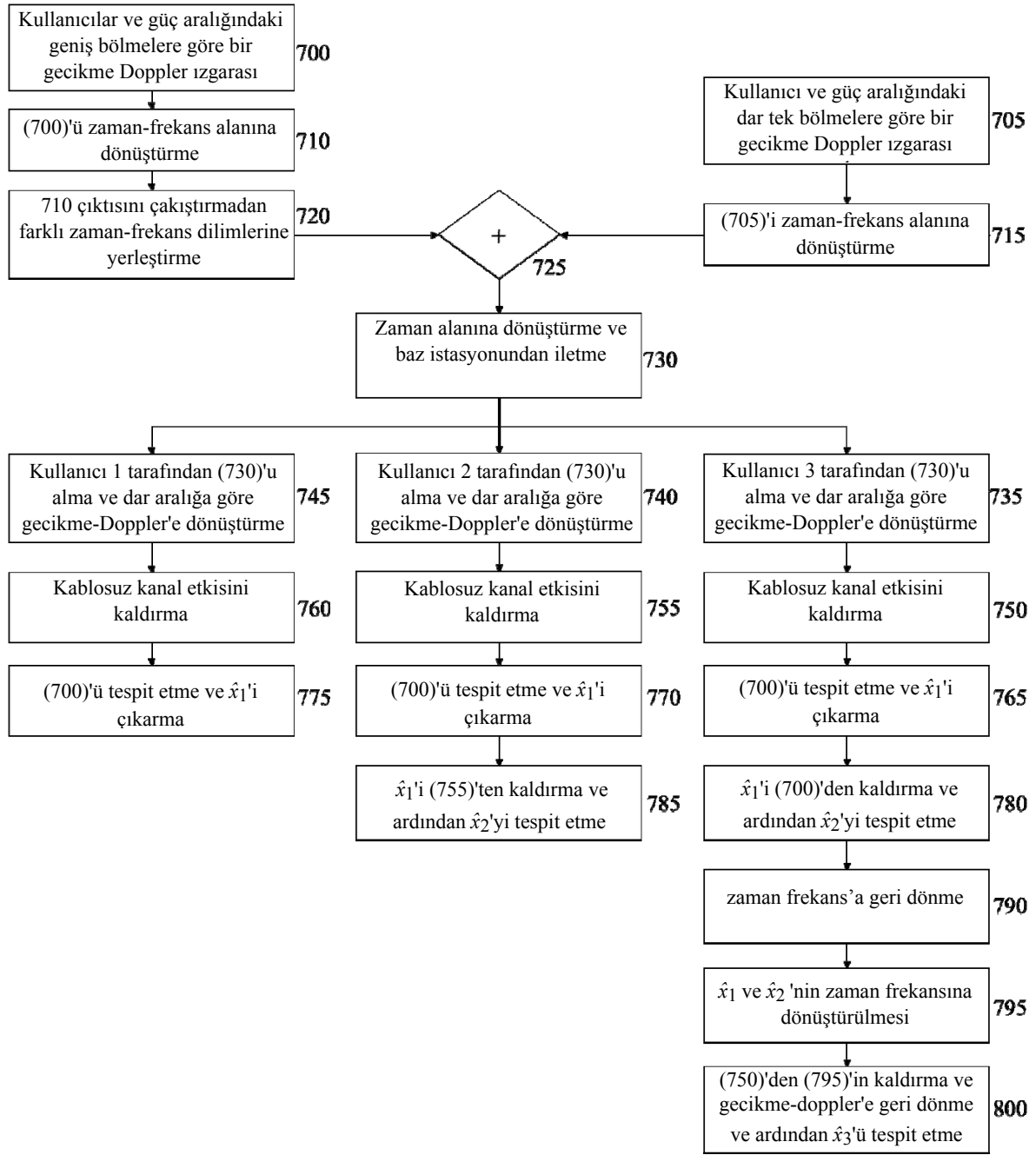
ŞEKİL 4



ŞEKİL 5



ŞEKİL 6



ŞEKİL 7