

OZET

GENİŞ BANTLI MASİF MIMO SİSTEMLERİNDE UZAMSAL GENİŞ BANT DENGELEMESİ

5

Bu buluş, algılama ve iletişim ağlarına yönelik geniş bantlı masif çok girdili çok çıktılı (MIMO) sistemlerinde uzamsal geniş bant etkisini kontrol etmek/dengelemek üzere yeni bir alıcı-verici tasarımını sağlamaktadır. Sunulan tasarım, ultra geniş bant sinyalinin dar bantlı hüzmelere bölmeyi ve hüzmeye açısını hedef yöne hizalamak üzere basitleştirilmiş bir tam kapsamlı araba tabanlı öd kodlama ile bunları kontrol etmeyi amaçlamaktadır.

10

İSTEMLER

1. Algılama ve/veya iletişim ağlarına yönelik masif MIMO sistemlerinde kullanıma yönelik bir alıcı-verici olup, burada; söz konusu alıcı-verici, N_L faz kaydırıcıların (PS'ler), her bir faz kaydırıcıya (PS) yönelik L alt bant analog filtrelerine bağlandığı bir masif MIMO sistemine yönelik konvansiyonel bir LAS tasarımını ve konvansiyonel LAS tasarımında SPMT anahtarlamanın kullanılması yerine her bir mercekte P anten elemanları dışında L 'ye L filtrelerinin çıkışını bağlamak üzere çok kutuplu çoklu atış (MPMT) anahtarlama ağı içermektedir.

2. İstem 1'e göre yeni bir alıcı-verici tasarımını oluşturmak ve kontrol etmek üzere bir yöntem olup, burada söz konusu yöntem İstem 1'deki yeni alıcı-verici tasarımının aşağıdaki adımlar kullanılarak oluşturulmasına ve kontrol edilmesine yönelik adımları içermektedir:

- Konvansiyonel bir LAS masif MIMO sisteminin tasarlanması
- Ultra geniş bant sinyali dar bant sinyallerinin küçük birimlerine bölmek üzere faz kaydırıcı bileşeninden sonra her bir merceğe L Analog alt bant filtrelerinin eklenmesi,
- L filtrelerinin çıkışını her bir mercek üzerinde P anten elemanlarının dışında L 'ye bağlamak üzere konvansiyonel LAS tasarımında SPMT anahtarlama ağının bir MPMT anahtarlama ağı ile değiştirilmesi.
- Sunulan alıcı-verici tasarımını kontrol etmek üzere ön kodlama tasarımına yönelik bir konvansiyonel tam kapsamlı arama sağlanması.
- Daha hızlı gerçekleştirmek ve ön kodlama tasarımında konvansiyonel tam kapsamlı aramanın karmaşıklık ek yükünü azaltmak ve basitleştirilmiş bir tam kapsamlı arama tabanlı ön kodlayıcı sunmak üzere belirli bir doğrusal eşik değerinin eklenmesi.

3. İstem 2'ye göre bir yöntem olup, burada ultra geniş bant sinyallerinin dar bant

sinyallerinin küçük birimlerine bölünmesine yönelik bir yöntem aşağıdaki adımları içermektedir;

- Her bir mercek altında anten elemanlarının sayısının (P), her bir merceğin açısal çözünürlüğünü artırmak üzere alt grupların sayısına eşit veya bundan fazla olması ($P \geq L$) gerektiğinin varsayılması ve
- Aşağıdaki gibi olan bir frekansa bağlı analog ön kodlayıcının kullanılması;

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}'_{\text{LAS}}(k') \mathbf{F}_{\text{PS}},$$

burada $\mathbf{F}'_{\text{LAS}}$ sunulan LAS tasarımına yönelik seçim matrisidir, $k' = 1, 2, \dots, L$.

- $\mathbf{S}_t^{(i)}$ matrisindeki bir sütun içinde birden çok anten elemanının etkinleştirilmesi, burada etkinleştirme elemanı aşağıdaki gibidir;

$$s_t^{(i)}(p) = \begin{cases} 1, & \min_p(|\Delta\phi|) \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

burada $\Delta\phi$ ideal hüzme ile kayan hüzme arasındaki ana kulak açısı farkıdır

- Karmaşıklık ek yükünü azaltmak üzere basitleştirilmiş tam kapsamlı bir aramanın uygulanması, burada $\Delta\phi$ eşik değerinden az veya buna eşit olduğunda spesifik bir eşik değeri aramayı durdurmak üzere koyulmaktadır, burada $\mathbf{S}_t^{(i)}$ 'de elemanın etkinleştirilmesi koşulu aşağıdaki gibidir

$$|\Delta\phi| \leq \zeta(k')$$

burada $\zeta(k')$ alt bant filtre indekslerinin bir fonksiyonu olan eşik değeridir.

TARİFNAME

GENİŞ BANTLI MASİF MIMO SİSTEMLERİNDE UZAMSAL GENİŞ BANT DENGELMESİ

5

Teknik Alan

Bu buluş, algılama ve iletişim ağlarına yönelik geniş bantlı masif çok girdili çok çıktılı (MIMO) sistemlerinde uzamsal geniş bant etkisini [1] kontrol etmek/dengelemek üzere yeni bir alıcı-verici tasarımını sağlamaktadır.

10

Diğer bir ifadeyle buluş, kablosuz iletişim sistemlerinde uzamsal geniş bant etkisi olarak adlandırılan çoklu anten sorunlarından birini gidermek üzere algılama ve/veya iletişim ağlarında MIMO sistemlerine yönelik yeni bir alıcı-verici tasarımıdır.

15

Önceki Teknik

Yeni nesil hücresel sistemlerin, mevcut nesil sistemlerine göre daha iyi performans (örneğin, daha yüksek veri hızı, daha iyi enerji verimliliği ve daha yüksek güvenilirlik) sağlaması öngörülmektedir. Bu amaca ulaşmak için, masif MIMO, ultra geniş bantlı iletim ve milimetrik dalga iletişimi (mmWave) gibi ortaya çıkan birkaç teknik geliştirilmektedir. Masif MIMO, spektrum ve enerji verimliliğini artırabilmekte, kanal sertleştirme yoluyla küçük ölçekli sönümlemeyle mücadele edebilmekte ve fiziksel katman sorununu gidererek ağ kapsama alanını genişletebilmektedir. Ultra geniş bantlı iletim, yüksek veri hızında iletişimi kolaylaştırmaktadır ve aynı zamanda çok yollu sönümlemeye karşı direnç ve karıştırma saldırılarına karşı gizlilik sağlamaktadır. Masif MIMO ve ultra geniş bant avantajları aynı zamanda son zamanlarda ortak radar ve iletişim çerçevesi altında göz önünde bulundurulmuş kablosuz ağların radyo frekansı (RF) algılama açısına kadar genişleyebilmektedir. Bunlar, sırasıyla iyi uzamsal ve zamansal çok yollu çözünürlük sağlamaktadır, böylece hedef nesnelerin doğru lokalizasyonunu ve sınıflandırmasını kolaylaştırmaktadır. Çok sayıda mevcut frekans spektrumu ve mmWave'de küçük dalga boyu, masif MIMO ve ultra geniş bant pratik kablosuz ağlar için uygun hale getirmektedir. Ancak anten dizisinde paketlenen çok sayıda anten elemanı ile birlikte, uzamsal geniş bant etkisine neden olabilecek şekilde alınan birinci anten elemanı ile sonuncusu arasındaki veri sembolüne yönelik göz ardı

30

edilemez bir zaman gecikmesi oluşmaktadır (Wang, B. vd, 2018). Huygens-Fresnel dalga yayılımı prensibine göre, anten dizisi sistemlerinde, gelen sinyal diziye dik olmadığı sürece farklı dizi elemanlarında alınan sinyal, orijinal sinyalin biraz gecikmiş bir versiyonudur. Elemanlarda oluşan gecikme miktarı, elemanlar-arası aralığa ve sinyalin varış açısına (AoA) dayanmaktadır. Nispeten az sayıda antene sahip bir sistem için, konvansiyonel küçük ölçekli MIMO sistemlerinde olması nedeniyle anten açıklığı boyunca maksimum gecikme, sembol süresinden çok daha küçük olabilmektedir ve bu nedenle etkisi göz ardı edilebilmektedir. Ancak ultra geniş bantlı sinyallemeye sahip yüksek boyutlu anten dizileri, yani masif MIMO ile birlikte bu gecikme, sembol süresi düzeyinde veya bundan daha fazla olabilmektedir, bu da uzamsal gecikme alanında gecikme kayması etkisine neden olmaktadır, yani saf görüş alanı kanalında dahi çok yollu gecikme yayılımı gözlenmektedir. Gecikme kayması sorunu, dizileri açışal frekans alanında yönlendirme vektörü frekansına bağımlı hale getirmektedir. Yani, dikey frekans bölmeli çoklama (OFDM) gibi çok taşıyıcılı sistemlerde farklı alt taşıyıcılardaki sinyaller, farklı fiziksel yönleri belirtmektedir. Bu tür raydan çıkmış alt taşıyıcılara ait olan sinyaller, hedeflenen alıcıya ulaşmayabilmektedir veya alıcının radyasyon örüntüsünün yan kulakları veya boşlukları ile hizalanabilmektedir. Bu aynı zamanda hüzme kayma etkisi olarak adlandırılabilir. Hüzme kayma etkisi, sistem kapasitesinin azaltılmasına yol açan hüzmede bir aç kaymasına neden olmaktadır.

Mevcut durumda uzamsal geniş bant sorununun çözülmesine yönelik sadece birkaç yöntem mevcuttur. Çalışma (Liu, Z. vd., 2013), mmWave iletişim sistemlerinde uzamsal geniş bant etkisini ele alan ilk çalışma olarak kabul edilmektedir, burada bir faz geliştirme şeması, hüzmeleme kod çizelgesinde uzamsal geniş bant etkisini azaltmak üzere farklı alt-bantlara yönelik sunulmaktadır. Ancak ilave faz kaydırıcıları ve bant geçirici filtrelerin yüksek uygulama maliyeti, çözümü pratik uygulamaya yönelik uygunsuz hale getirmektedir. Çalışma (Cai, M. vd, 2016), bir kod çizelgesi tasarım algoritması geliştirmektedir, burada hüzme sayısı, tüm alt taşıyıcıların minimum hüzme kazancı sağlamak üzere artırılmaktadır. Ancak anten elemanlarının sayısı artırıldığında kod çizelgesinin boyutu da hızlı bir şekilde artırılmaktadır, bu da uzun hüzmeleme sürelerine ve böylece gecikmenin oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle diğer bir yayın (Yu, H. vd., 2021), hüzme örüntüsünü optimize eden ve donanım tasarımı karmaşıklığı göz önünde bulundurulmadan kapsamını genişleten sabit boyutlu bir kod çizelgesi tasarımı sunmaktadır.

Diğer bir belgedeki çalışma (Liu, X. vd. 2018), toplam hüzme kazancı azaltılırken gerekli

bant genişliği içinde ortalama hüzme kazancını maksimuma çıkarmak üzere bir hüzme örüntüsünü tasarlamaktadır ve en uygun tasarımı sağlamak ve uzamsal geniş bant etkisini dengelemek üzere doğru bir kanal tahmini gereklidir. Bu nedenle Li, G'ye ait yayın (Li, G., vd. 2018), dijital alanda uzamsal geniş bant etkisini dengeleyen bir hibrit ön kodlayıcı sunmaktadır. Bu yöntem esas olarak her bir alt taşıyıcıya yönelik frekansa bağlı analog ön kodlayıcı göz önünde bulundurularak bir dijital ön kodlayıcıdaki bir gelişmedir. Ancak dijital alanda uzamsal geniş bant etkisi dengelemesi, sınırlı dizi kazancı ve spektral verimlilik gelişmelerine yol açmaktadır. Bunun nedeni, uzamsal geniş bant sorununun geniş bant sinyallerinin analog yapısıyla ilgili olmasıdır.

10

Buna göre Liu, B.'ye ait diğer bir belgede (Liu, B. vd. 2018), iki kademeli bir hibrit hüzmeleme sunulmaktadır. Birinci kademe, Rotman merceğini gerçek zaman gecikmesi sağlamak ve uzamsal geniş bant etkisini azaltmak üzere bir analog ön kodlayıcı olarak kabul ederken blok köşegenleştirme ön kodlayıcısı, kullanıcılar arası karışmayı sonlandırmak üzere dijital ön kodlayıcı kısmına yönelik sunulmaktadır. İkinci kademe ön kodlayıcı, bir pratik mercek dizisine dahil edilen sızıntı güç sorununu ele almak üzere sunulmaktadır. Ancak Rotman merceğinin basit gerçekleştirme yapısı nedeniyle, yol uzunluğu hatasını azaltan ve çok/masif sayıda anten elemanı görevi gören uygun bir geometrik şekil elde edilmesi zordur. Ayrıca diğer bir yayındaki çalışma (Sattar, Z., vd, 2019), uzamsal geniş bant etkisinin tesirini azaltmak üzere bir analog mimari tasarım sunmaktadır. Tasarım, bir bant geçirici filtre öbeği akabinde bir ilave faz kayma ağı kullanılarak geniş bant sinyalinin nispeten dar bant sinyallerinin küçük birimlerine bölünmesine dayanmaktadır. Ancak sunulan tasarım, bir masif MIMO sistem tasarımına karmaşıklık ek yükü sağlamaktadır.

25 Önceden sunulan tekniklerin dezavantajları aşağıdaki gibi kısaca açıklanabilmektedir.

- Uzamsal geniş bant etkisini dengelemek üzere bir kod çizelgesinin tasarlanmasında anten elemanlarının sayısı artırıldığında kod çizelgesinin boyutu da hızlı bir şekilde artırılmaktadır, bu da uzun hüzmeleme sürelerine ve böylece gecikmenin oluşmasına neden olmaktadır. Ek olarak kod çizelgesi tasarlanırken donanım tasarımı karmaşıklığının göz önünde bulundurulması gerekmektedir.
- Uzamsal geniş bant sorununun geniş bant sinyallerinin analog yapısı ile ilgili olması nedeniyle dijital ön kodlayıcı kullanılarak dijital alanda herhangi bir dengeleme, sınırlı dizi kazancına ve spektral verimlilik gelişmelerine yol açmaktadır.

30

- Uzamsal geniş bant etkisini dengelemek üzere geliştirilmiş bir analog şema, çözümü pratik uygulamalara yönelik uygunsuz hale getiren şekilde özellikle masif MIMO sistemlerinde ilave faz kaydırıcıları ve bant geçirici filtreler nedeniyle yüksek uygulama maliyetine neden olmaktadır.
- 5 • Rotman merceğini kullanan geliştirilmiş bir analog şema, yol uzunluğu hatasını azaltan ve çok/masif sayıda anten elemanı görevi gören uygun bir geometrik şekil elde edilmesini zor hale getiren Rotman merceğinin basit gerçekleştirme yapısı nedeniyle, tasarım kısıtlamalarından muzdariptir.
- 10 Bu nedenle önceki teknik durumu göz önünde bulundurulduğunda, yeni nesil veya spesifik olarak 5G sistemlerinde görülen uzamsal geniş bant sorununu çözmek üzere bir yöntem ihtiyacı duyulduğu açıktır.

Buluşun Amaçları ve Kısa Açıklama

15

Mevcut buluş, algılama ve iletişim ağlarına yönelik masif çok girdili çok çıktılı (MIMO) sistemlerinde uzamsal geniş bant etkisini kontrol etmek/dengelemek üzere yeni bir alıcı-verici tasarımı ile ilgilidir.

20

Sunulan alıcı-verici tasarımı ve buna yönelik yöntem, konvansiyonel masif MIMO sistemlerine göre daha az donanım karmaşıklığı elde edilirken mercek anten alt dizi konseptine bağlı olarak bir spektrum verimli iletişim sistemi sağlamaktadır. Özellikle sunulan tasarım, aşağıdaki çözümleri sağlamayı amaçlamaktadır:

25

- Geniş bantlı masif MIMO sistemlerinde anten dizisi boyunca sembol süresindeki zaman gecikmesinden kaynaklanan hüzme kayması sorununu dengelemektedir. Hüzme kayması, iletilen hüzmesinde hedef yönünden sapmaya yol açmaktadır ve bu, sistem kapasitesinde önemli bir performans kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle bu problemin çözülmesi ile birlikte sistem kapasitesi önemli derecede artırılmaktadır.

30

- Ekstra faz kaydırıcıların kullanılmasına dayanan mevcut çözümlerin aksine sunduğumuz tasarım, analog filtreler, anahtarlar ve mercekler gibi daha ucuz (maliyet ve/veya güç tüketimi) donanım bileşenleri kullanması nedeniyle daha az donanım karmaşıklığına sahiptir. Aslında buluşumuz, donanım karmaşıklığı, enerji verimliliği ve maliyet arasında

iyi bir denge oluşturan bir çözüm sağlamaktadır.

- Sunulan tasarımın düşük maliyetli ve enerji tasarruflu yapısı nedeniyle, karşılayabilirlik açısından kablosuz ağlara yönelik büyük bir etkiye sahiptir ve aynı zamanda öngörölmüş yeşil iletişim ağlarının gerçekleştirilmesini kolaylaştırmaktadır.

5

Şekillerin Açıklaması

Şekil 1: Masif MIMO sisteminde uzamsal geniş bant etkisinin gösterimi

10 θ : birinci anten elemanında alınan veri akışının yönü

d: iki bitişik anten elemanı arasındaki mesafe

c: ışık hızı

15

T_s : Sembol süresi

s(1): birden çok anten alıcısında alınan birinci iletilmiş sembol

20 s(2): birden çok anten alıcısında alınan ikinci iletilmiş sembol

$\Delta\tau$: birinci anten elemanına göre verilen anten arasındaki zaman gecikmesi

m_1 : anten indeksi #1

25

m_2 : anten indeksi #2

M: Anten elemanlarının sayısı

30 α : birinci anten elemanı ile sonuncusu arasındaki maksimum zaman gecikmesi oranı

Şekil 2: Konvansiyonel LAS-MIMO sistem tasarımı

s_1 : veri akışında birinci bit

s_2 : veri akışında ikinci bit

F_{BB} : Taban bant ön kodlama matrisi

5

N_{RF} : Radyo-frekans (RF) zincirlerinin sayısı.

RF: Radyo frekansı

10 F_{PS} : PS ön kodlama matrisi

F_{LAS} : LAS ön kodlayıcı - bir LAS seçim matrisi

SPMT: tek kutuplu çoklu atış

15

PS'ler: Faz kaydırıcılar

Şekil 3: Sunulan LAS-MIMO sistem tasarımı

20 RF: Radyo frekansı

MPMT: çok kutuplu çoklu atış

LAS: Mercek anten alt dizisi

25

LAS-MIMO: Mercek anten alt dizisi - çok girdili çok çıktılı

Şekil 4: Hüzme kayma etkisi olan konvansiyonel masif MIMO sistemine kıyasla sunulan LAS tasarımında taşıyıcı frekansına ilişkin normal frekansa karşı hüzme kazancı.

30

Buluşun Detaylı Açıklaması

Yukarıda bahsedildiği üzere mevcut buluş, algılama ve iletişim ağlarına yönelik geniş bantlı masif çok girdili çok çıktılı (MIMO) sistemlerinde uzamsal geniş bant etkisini kontrol

etmek/dengelemek üzere yeni bir alıcı-verici tasarımı ile ilgilidir.

Huygens-Fresnel dalga yayılımı prensibi, anten dizisi sistemlerinde, gelen sinyal diziye dik olmadığı sürece farklı dizi elemanlarında alınan sinyalin, orijinal sinyalin biraz gecikmiş bir versiyonu olduğunu açıklamaktadır. Elemanlarda oluşan gecikme miktarı, elemanlar-arası aralığa ve sinyalin varış açısına dayanmaktadır. Nispeten az sayıda antene sahip bir sistem için, konvansiyonel küçük ölçekli MIMO sistemlerinde olması nedeniyle anten açıklığı boyunca maksimum gecikme, sembol süresinden çok daha küçük olabilmektedir ve bu nedenle etkisi göz ardı edilebilmektedir. Ancak ultra geniş bantlı sinyallemeye sahip yüksek boyutlu anten dizileri, yani masif MIMO ile birlikte, ultra geniş bantlı sinyalleme ile birlikte bu gecikme, sembol süresi düzeyinde veya bundan daha fazla olabilmektedir, bu da uzamsal gecikme alanında gecikme kayması etkisine neden olmaktadır, yani saf görüş alanı kanalında dahi çok yollu gecikme yayılımı gözlenmektedir. Gecikme kayması sorunu, dizileri açısız frekans alanında yönlendirme vektörü frekansına bağımlı hale getirmektedir. Yani, çok taşıyıcılı sistemlerde farklı alt taşıyıcılardaki sinyaller, farklı fiziksel yönleri belirtmektedir. Bu tür raydan çıkmış alt taşıyıcılara ait olan sinyaller, hedeflenen alıcıya ulaşmayabilmektedir veya alıcının radyasyon örüntüsünün yan kulakları veya boşlukları ile hizalanabilmektedir. Bu nedenle bu olay, uzamsal geniş bant olarak ifade edilmektedir ve aynı zamanda hüzme kayması olarak adlandırılabilir.

Bir tam kapsamlı arama ön kodlama tekniği ve basitleştirilmiş hali, mevcut buluşa göre yeni tasarım yöntemini kontrol etmek üzere kullanılmaktadır.

Buluşun alıcı-verici tasarım yöntemi aynı zamanda MIMO teknolojisine sahip herhangi bir kablosuz algılama ve/veya iletişim ağlarında kullanılabilir. Buluşun alıcı-verici tasarım yöntemi, konvansiyonel masif MIMO sistemlerine kıyasla daha az donanım karmaşıklığına sahip enerji ve spektrum verimli sistemler sağlamaktadır.

Standartlar, örneğin 3GPP tabanlı hücresel ve IEEE 802.11 tabanlı Wi-Fi ağları veya herhangi bir kablosuz ağ, her iki standartta sağlanan birden çok anten teknolojisi desteği nedeniyle özellikle buluş ile ilgilidir.

Ayrıca bu buluşta açıklanan yöntem, yukarıda bahsedilen standartlardan herhangi birini destekleyebilen herhangi bir cihaz, sistem veya ağ üzerinde uygulanabilmektedir, örneğin:

Uzun Dönem Evrim (LTE), LTE-gelişmiş, AMPS, 5G Yeni Radyo (NR).

Tasarım ve yöntemi ile sağlanan avantajlar göz önünde bulundurulduğunda, aşağıdaki durumlar görülmektedir;

5

- Sunulan tasarım, geleneksel kod çizelgesi tasarımlarında olduğu gibi hüzme kazancında kayıp olmadan uzamsal geniş bant etkisini dengelemek üzere bir spektrum verimli MIMO sistemi sağlamaktadır.

10

- Önceki mevcut uzamsal geniş bant çözümlerine kıyasla sunulan tasarım, sistem performansında önemli bir azalma olmadan donanım ve ön kodlayıcı tasarımını göz önünde bulunduran uzamsal geniş bant etkisine yönelik etkili bir çözüm sağlamaktadır.

15

- Ekstra faz kaydırıcıların kullanılmasına dayanan mevcut çözümlerin aksine sunduğumuz tasarım, analog filtreler, anahtarlar ve mercekler gibi daha ucuz (maliyet ve/veya güç tüketimi) donanım bileşenleri kullanması nedeniyle daha az donanım karmaşıklığına sahiptir. Aslında buluşumuz, donanım karmaşıklığı, enerji verimliliği ve maliyet arasında iyi bir denge oluşturan bir çözüm sağlamaktadır.

20

- Sunulan tasarımın düşük maliyetli ve enerji tasarruflu yapısı nedeniyle, karşılayabilirlik açısından kablosuz ağlara yönelik büyük bir etkiye sahiptir ve aynı zamanda öngörülüş yeşil iletişim ağlarının gerçekleştirilmesini kolaylaştırmaktadır.

25

- Dikkatli bir ön kodlama tekniğine sahip sunulan tasarım, hüzme sapmasını kontrol ederek atanmış alt taşıyıcı frekanslarına bağlı olan bir fiziksel hüzme içinde tek kullanıcı veya birden çok kullanıcı görevi görebilmektedir.

30

- Ekli tasarım, tek kullanıcı, çok kullanıcı, merkezi ve dağıtık MIMO sistemlerinde kullanılabilir.

Bir yönüyle mevcut buluş, yeni bir alıcı-verici oluşturmak ve bunu kontrol etmek üzere bir yöntem ile ilgilidir, burada söz konusu yöntem aşağıdaki adımları içermektedir:

- Konvansiyonel bir LAS masif MIMO sisteminin tasarlanması

- Ultra geniş bant sinyali dar bant sinyallerinin küçük birimlerine bölmek üzere faz kaydırıcı bileşeninden sonra her bir merceğe L Analog alt bant filtrelerinin eklenmesi,
- L filtrelerinin çıkışını her bir mercek üzerinde P anten elemanlarının dışına L'ye bağlamak üzere konvansiyonel LAS tasarımında SPMT anahtarlama ağının bir MPMT anahtarlama
5 ağı ile değiştirilmesi,
- Sunulan alıcı-verici tasarımını kontrol etmek üzere ön kodlama tasarımına yönelik bir konvansiyonel tam kapsamlı arama sağlanması,
- Daha hızlı gerçekleştirmek ve ön kodlama tasarımında konvansiyonel tam kapsamlı aramanın karmaşıklık ek yükünü azaltmak üzere belirli bir doğrusal eşik değerinin
10 eklenmesi.

Diğer bir yönüyle buluş, yeni bir alıcı-verici ile ilgilidir, burada; söz konusu alıcı-verici, konvansiyonel bir LAS masif MIMO sistemini içermektedir, burada N_L faz kaydırıcılar (PS'ler), her bir faz kaydırıcıya (PS) yönelik L alt bant analog filtrelerine bağlanmaktadır ve
15 her bir mercede P anten elemanları dışında L'ye L filtrelerinin çıkışını bağlamak üzere çok kutuplu çoklu atış (MPMT) anahtarlama ağı, konvansiyonel LAS masif MIMO sistem ağında SPMT anahtarlamasını değiştirmektedir.

Burada N_L , tasarımdaki PS'lerin sayısıdır, diğer bir ifadeyle tasarımdaki merceklerin sayısıdır.

Burada L, tasarımdaki analog alt bant filtrelerinin sayısıdır ve P, her bir mercek altındaki anten elemanlarının sayısıdır (burada P her zaman $>$ veya $=$ (büyük veya eşittir) L). Bu yöntemde L parametresi, birinci anten elemanı ile sonuncusu arasındaki zaman gecikmesinin bu yeni sinyale yönelik göz ardı edilebilir olduğu orijinalinden daha fazla sembol süresine
25 sahip olan her bir analog alt bant filtresinden bir sinyal sağlamak üzere dikkatli bir şekilde seçilmektedir. Ayrıca anten elemanlarının mevcut sabit sayısına (M) kıyasla P ve N_L parametreleri, ön kodlama tekniği uygulandığında tasarımın maksimum kontrolünü sağlamak üzere seçilmektedir. Bu nedenle hüzme kayması dengelenebilmekte ve/veya kontrol edilebilmektedir.

Diğer bir yönüyle mevcut buluş, alt taşıyıcı frekanslarının L alt grupları halinde gruplandırılmasına yönelik bir yöntem ile ilgilidir, burada bu alt grupların bant genişliği, sinyalin toplam bant genişliğinden çok daha azdır (diğer bir ifadeyle, ultra geniş bant sinyalinin dar bant sinyallerinin küçük birimlerine bölünmesine yönelik bir yöntem, aynı

zamanda alt hüzmeler olarak adlandırılabilir), burada söz konusu yöntem aşağıdaki adımları içermektedir;

- Bir ön kodlama tekniği uygulandığında her bir merceğin açısal çözünürlüğünü artırmak ve her bir dar bant sinyalinin daha iyi kontrol edilmesini sağlamak üzere her bir mercek (P) altındaki anten elemanlarının sayısının alt grupların sayısına ($P \geq L$) eşit veya bundan fazla olması gerektiğinin varsayılması.
- Aşağıdaki gibi olan bir frekansa bağlı analog ön kodlayıcının kullanılması;

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}'_{\text{LAS}}(k') \mathbf{F}_{\text{PS}},$$

- burada $\mathbf{F}'_{\text{LAS}}$ sunulan LAS tasarımına yönelik seçim matrisidir, $k' = 1, 2, \dots, L$.
- $S_t^{(i)}$ matrisindeki bir sütun içinde birden çok anten elemanının etkinleştirilmesi, burada etkinleştirme elemanı aşağıdaki gibidir;

$$s_t^{(i)}(p) = \begin{cases} 1, & \min_p(|\Delta\phi|) \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

burada $\Delta\phi$ ideal hüzmeye ile eğimli hüzmeye arasındaki ana kulak açısı farkıdır

- Karmaşıklık ek yükünü azaltmak üzere basitleştirilmiş tam kapsamlı bir aramanın uygulanması, burada $\Delta\phi$ eşik değerinden az veya buna eşit olduğunda spesifik bir eşik değeri aramayı durdurmak üzere koyulmaktadır, burada $S_t^{(i)}$ 'de elemanın etkinleştirilmesi koşulu aşağıdaki gibidir

$$|\Delta\phi| \leq \zeta(k')$$

Burada $\zeta(k')$ alt bant filtre indekslerinin bir fonksiyonu olan eşik değeridir.

Yukarıdaki yöntemde konvansiyonel LAS tasarımında SPMT anahtarlama ağının bir MPMT anahtarlama ağı ile değiştirilmesi, her bir merceğin farklı bir yöne fırlatılan bir zamanda L alt hüzmelerini sağlamasına olanak sağlamaktadır.

Yukarıdaki yöntemde “belirli bir doğrusal eşik değeri” terimi, belirlenen sistem tasarımına

bağlı olarak doğrusal eşik değeri fonksiyonunun sabit olmadığı anlamına gelmektedir. Bütün frekans aralıkları üzerinde uygun hüzme kazancını elde ederken ön kodlama tasarımının karmaşıklık ek yükünü azaltan bir şekilde seçilmektedir.

- 5 Bir geniş bant iletimine sahip bir masif MIMO sistemine yönelik Şekil 1, büyük bir anten dizisinde uzamsal geniş bant etkisinin M anten elemanına sahip olduğunu göstermektedir. Şekilde θ , birinci anten elemanında alınan veri akışının yönünü ifade etmektedir, d iki bitişik anten elemanı arasındaki mesafedir, c ışık hızıdır, T_s sembol süresidir, s(1) ve s(2) birden çok anten alıcısında alınan birinci ve ikinci iletilen sembollerdir ve $\Delta\tau$ birinci anten elemanına
- 10 göre belirlenen anten arasındaki zaman gecikmesidir. Maksimum zaman gecikmesinin sembol süresi (T_s) ile karşılaştırılabilir veya daha fazla olması halinde son anten elemanı, birinci anten elemanından farklı bir iletim sembolü görecektir. Bu, çalışma frekansından farklı frekans indekslerine yönelik hüzme yönünde bir kaymaya neden olmaktadır. Bu olay aynı zamanda hüzme kayma etkisi olarak bilinmektedir. Genel olarak $0.1T_s$ ile karşılaştırılabilir
- 15 veya bundan büyük $\Delta\tau$ 'e sahip bir masif MIMO sisteminde hüzme kayma etkisi belirgindir ve spesifik olarak kanal tahmini, kullanıcı programlaması, antenler arası senkronizasyon, analog hüzmeleme/kombinleme tasarımı ve yan kulak kontrolü durumunda uygun şekilde ele alınmalıdır [2].
- 20 Masif MIMO sistemleri, gürültü, sönümlenme ve karışma etkisini azaltmak üzere çok sayıda antene dayanmaktadır. Ancak çok sayıda antenin kullanılması, analog radyo frekansı (RF) bileşenleri, spesifik olarak faz kaydırıcılardaki (PS'ler) artış nedeniyle sistem karmaşıklığını ve donanım maliyetini artırmaktadır. Masif MIMO'yu uygulamak üzere düşük maliyetli ve küçük bileşenler, hesaplama karmaşıklığı ve donanım boyutunu azaltmak üzere gereklidir. Bu
- 25 nedenle alternatif mimariler, tek mercek veya çok mercek kullanılarak PS ağını daha az güç isteyen RF anahtarları ile değiştiren anten dizisi tasarımına eklenmektedir. Bir mercek anten dizisinin kullanılması, belirgin performans bozulması olmadan hüzme seçimi kullanımına olanak sağlamaktadır. Ancak hüzme seçim ağı frekanstan bağımsızken önceden gösterildiği gibi geniş bantlı kanal, hüzme kayması olayı nedeniyle frekansa bağlıdır. Bu nedenle uygun
- 30 bir ön kodlayıcıya sahip bir mercek anten alt dizisi (LAS) tasarımı [3], hüzme kayma etkisi göz önünde bulundurularak bir RF zinciri/yolunda toplam bant genişliği üzerinde kanal enerjisinin çoğunun yakalanması yoluyla güç sızıntı sorununu dengelemek ve birden çok odaklı enerji hüzmelerini desteklemek üzere umut verici bir teknoloji olabilmektedir. Sunulan tasarımı ve bunun işlevselliğini açıklamak amacıyla konvansiyonel LAS tasarımı birinci

olarak buraya dahil edilmektedir.

Konvansiyonel LAS-MIMO sistem tasarımı, Şekil 2’de gösterilmektedir, burada alıcı-verici tasarımının analog parçası, her bir merceğin odaksal yüzeyine bağlı P anten elemanlarına sahip N_L ayrık mercekten oluşmaktadır. Bütün merceklerin altındaki anten elemanlarının toplam sayısı, dizinin ortaya çıkan anten kazancının bir ULA’da yarım dalga aralıklı M anten elemanlarına benzer olacağı şekilde yerleştirilen M ’ye eşittir. Mercek dizisi, aralarında tek kutuplu çoklu atış (SPMT) anahtarlama ağı ile bir PS ağına bağlanmaktadır. Bir anten elemanı, spesifik yön ve düşük kazanç ile alt hüzmeye sağlamak üzere SMPT anahtarlama ağının kontrol edilmesi yoluyla her bir mercek altında etkinleştirilmektedir. Sonuç olarak daha yüksek hüzmeye kazancına sahip daha dar bir hüzmeye, ULA’nın yarım dalga aralıklı M anten elemanlarından oluşturulan bir hüzmeye yaklaşık olarak eşit olan bu alt hüzmelerin kombinasyonundan iletme yönelik üretilmektedir.

Konvansiyonel LAS tasarımına yönelik analog ön kodlayıcı aşağıdaki gibidir

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_{LAS} \mathbf{F}_{PS},$$

burada $\mathbf{F}_{PS}$, PS ön kodlayıcıları ve $\mathbf{F}_{LAS}$, bir RF yolu görevi görmek üzere N_L alt hüzmelerini seçen bir LAS seçim ağını temsil etmektedir. Hüzmeye kaymasının olmadığı masif MIMO durumunda, maksimum bir dizi kazancına yönelik LAS ön kodlayıcı ($\mathbf{F}_{LAS}$), ortaya çıkan ön kodlayıcının kanalın yönlendirme vektörü ile eşleşeceği şekilde tasarlanmaktadır. Ancak yönlendirme vektörü frekansa bağlı vektörken LAS seçiminin frekanstan bağımsız olması nedeniyle hüzmeye kayma etkisi sistemde mevcut olduğunda bu gerçekleştirilememektedir.

Yukarıda bahsedilen sorunu çözmek amacıyla sunulan tasarım bu çalışmada sunulmaktadır.

Bir RF yoluna yönelik bir analog hüzmeyeleme sisteminde sunulan LAS tasarımı, Şekil 3’te verilmektedir. Tasarım, her bir PS’ye yönelik L alt bant analog filtrelerine bağlı N_L PS’lerden oluşmaktadır. SPMT anahtarlama ağı, her bir merckte L filtrelerinin çıkışını P anten elemanları dışında L ’ye bağlamak üzere çok kutuplu çoklu atış (MPMT) anahtarlama ağı ile değiştirilmektedir. Böylece her bir mercek, farklı yöne fırlatılan bir zamanda L alt hüzmeleri sağlayacaktır.

Sunulan tasarımın ana fikri, alt taşıyıcı frekanslarını L alt grupları halinde gruplandırmaktır, burada bu alt grupların bant genişliği, sinyalin toplam bant genişliğinden çok daha azdır. Bu, alt bant analog filtreleri kullanılarak yapılabilmektedir. Sunulan tasarımda, her bir mercekte anten elemanlarının sayısının (P) , her bir merceğin açısal çözünürlüğünü artırmak üzere alt grupların sayısına eşit veya bundan fazla olması $(P \geq L)$ gerektiği varsayılmaktadır. Bu, her bir alt grup frekansının, tasarımda iletilen bir hüzmeyi oluşturan N_L alt hüzmelerine sahip olarak tam hüzmeme kazancından faydalanmasını sağlamaktadır. Bu tasarımda analog ön kodlayıcı frekansa bağlı olmuştur ve aşağıdaki gibidir

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}'_{LAS}(k') \mathbf{F}_{PS},$$

burada $\mathbf{F}'_{LAS}$ sunulan LAS tasarımına yönelik seçim matrisidir, $k' = 1, 2, \dots, L$. Konvansiyonel olarak seçim matrisinde hüzmeye seçimindeki $(\mathbf{S}_t^{(i)})$ her bir sütun, etkinleştirilmiş (bağlanmış) bir elemanken diğer elemanlar sıfırdır (bağlantısız). Diğer taraftan sunulan LAS tasarımında birden çok anten elemanı, $\mathbf{S}_t^{(i)}$ matrisinde bir sütun ile etkinleştirilmektedir.

Etkinleştirilmiş eleman aşağıdaki gibidir

$$s_t^{(i)}(p) = \begin{cases} 1, & \min_p(|\Delta\phi|) \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

burada $\Delta\phi$ ideal hüzmeye ile sunulan tasarımdan ortaya çıkan hüzmeye arasındaki ana kulak açısı farkıdır. $\Delta\phi$ 'yi minimuma indiren en uygun $\mathbf{F}$ tasarımını bulmak amacıyla, mümkün olan tüm anten seçimine yönelik tam kapsamlı bir arama, bütün mercekler altında gereklidir. Ancak bu, LAS-MIMO sistemine yönelik hesaplama karmaşıklığı ek yüküne neden olmaktadır. Bu nedenle basitleştirilmiş tam kapsamlı bir arama, karmaşıklık ek yükünü önemli derecede azaltmak üzere uygulanmaktadır, burada $\Delta\phi$ eşik değerinden az veya buna eşit olduğunda spesifik bir eşik değeri aramayı durdurmak üzere koyulmaktadır. Diğer bir ifadeyle $\mathbf{S}_t^{(i)}$ 'deki elemanların etkinleştirilmesi koşulu aşağıdaki gibidir

$$|\Delta\phi| \leq \zeta(k')$$

burada $\zeta(k')$ alt bant filtre indekslerinin bir fonksiyonu olan eşik değeridir. Filtre indeksleri taşıyıcı frekansından uzaklaştığı için eşik değeri doğrusal olarak artmaktadır.

5 Sonuç olarak hüzme kazancı, konvansiyonel LAS-MIMO sistem tasarımına eklenen daha az karmaşıklık ek yükü ile önemli derecede gelişmektedir. Sunulan alıcı-verici tasarımının etkinliğini kanıtlamak amacıyla, 2048'lik bir FFT boyutuna sahip bir dikey frekans bölmeli çokluma (OFDM) sinyalini [5] ileten, $N_L = 4$, $P = 32$, $L = 10$, $M=128$ olduğu bir LAS'ye sahip olduğumuz varsayılarak bir örnek verilmektedir. 60 GHz ve 3 GHz sinyal bant genişliğinde bir taşıyıcı frekansı ile, iletim yönünün $\pi/4$ olması halinde, tüm alt taşıyıcı 10 indeksleri üzerindeki hüzme kazancı, Şekil 4'te gösterilmektedir.

Bu belgede “Çoklu Anten Sistemi” terimi, elektromanyetik dalga sinyalini iletmek/almak üzere alıcı-verici tasarımında birden çok anten elemanına sahip bir iletişim sistemini ifade etmektedir, çoklu anten sistemine yönelik ortak bir konsept MIMO'dur. Bu çoklu anten 15 elemanları, elektromanyetik dalga sinyalini kontrol etmek ve farklı hüzme şekilleri üretmek üzere farklı topolojilere yerleştirilmektedir.

Bu belgede “Tekbiçimli doğrusal dizi (ULA)” terimi, en basit çoklu anten topolojisini ifade etmektedir, burada anten elemanları, bir 2D hüzmesini şekillendirmek üzere çalışma/taşıyıcı 20 frekansına bağlı olarak birbirine göre eşit mesafede olan doğrusal bir hatta yerleştirilmektedir.

Bu belgede “Mercek anten alt dizisi (LAS)” terimi, diğer bir çoklu anten topolojisini ifade etmektedir, burada birden çok farklı mercek, her bir mercek altında bağlanan P anten elemanları ile düz bir hatta bağlanmaktadır, toplamda M anten elemanıdır. Merceklerin 25 toplam fiziksel ayak izi yaklaşık olarak ULA'ya yerleştirilen yarım dalga aralıklı M anten elemanlarının fiziksel boyutuna eşittir, böylece ULA ve LAS mimarileri, benzer anten kazançları göstermektedir.

Bu belgede “Uzamsal geniş bant etkisi” terimi, bir geniş bantlı ilettime sahip çoklu anten 30 sistemlerinde meydana gelen etkiyi ifade etmektedir, burada son anten elemanı, birinci anten elemanına kıyasla veri sembolünde büyük bir gecikmeyle karşılaşmaktadır. Bu gecikme, sistem performansını azaltan sembol süresi ile karşılaştırılabilir veya bundan daha fazla olabilmektedir.

Bu belgede “Hüzme kayma etkisi” terimi, uzamsal geniş bant etkisinin zaman alanından aç alanına dönüşümünü ifade etmektedir, burada aç alanında hüzün, orijinal yönünden kaydırılmaktadır.

- 5 Bu belgede “Ön kodlama” terimi, çok antenli kablosuz ağlarda çoklu akış iletimini desteklemek üzere hüzelemenin oluşumunu ifade etmektedir. Konvansiyonel tek akışlı hüzelemede aynı sinyal, uygun ağırlıklandırma (faz ve kazanç) ile iletim antenlerinin her birinden yayılmaktadır, böylece sinyal gücü alıcı çıkışında maksimuma çıkarılmaktadır.

10 ORNEKLER:

Ornek 1: Hüzme kazancı açısından buluşa göre yöntemin analizi

- 15 LoS bağlantısı ile gönderme ve alma düğümleri olmak üzere iki iletişim/algılama düğümü varsayıldığında, temel sistem parametreleri aşağıdaki gibidir:

sistem bant genişliği (B) = 3 GHz,

taşıyıcı frekansı (fc) = 60 GHz,

20

$$\hat{\theta} = \pi/4,$$

$$M = 128,$$

- 25 alt taşıyıcıların toplam sayısı (N) = 2048 ve

kanal katsayısı, karmaşık Gauss dağılımını (CN) takip etmektedir (0, 1).

- 30 Şekil 4’te normal frekansa karşı hüzme kazancı sunulmaktadır, burada uygun ve yetersiz anten seçimine sahip sunulan LAS tasarımı ile hüzme kaymasının olduğu ve olmadığı konvansiyonel masif MIMO sistemi arasındaki bir karşılaştırma gösterilmektedir. Sunulan LAS tasarımı, her bir bantta toplam sinyal bant genişliğini 256 alt taşıyıcısına sahip 8 alt banda bölen $N_L = 4$ ve $L = 8$ ’e sahiptir. Burada kullanılan eşik değeri fonksiyonu, $\zeta(k_0) = |\eta(1 - f_{k_0} / f_c) \sin \hat{\theta}|$ olarak verilmektedir, burada η sabit bir değerdir, daha hızlı

değerlendirmeye sahip daha yüksek kazanç elde etmek üzere deneysel olarak $\eta = 100.6$ olacak şekilde seçilmektedir. Şekil 4'te, sunulan LAS tasarımının f_c 'den uzağa yerleştirilen alt taşıyıcı frekanslarının hüzme kazancını önemli derecede artırdığı görülmektedir. Böylece bütün alt taşıyıcılar, alıcı tarafında maksimum güç kazancı elde etmektedir. Örneğin hüzme kazancı, kaymış hüzme ile karşılaştırıldığında taşıyıcı frekansının sol ve sağ tarafında en kötü alt taşıyıcı kazancına yönelik yaklaşık 15 dB artırılmaktadır. Konvansiyonel LAS tasarımında, merceklerin sayısı aynı toplam anten elemanı miktarında arttığında sistem performansı da belirli bir seviyeye kadar artmaktadır. Ancak sunulan tasarımda, her bir mercek altındaki anten elemanlarının sayısının sabit bir sayıda analog alt bant filtresi ile azaltılması nedeniyle sabit M'ye sahip sistemde merceklerin sayısının artırılması, hüzme kayma etkisinin kontrol seviyesini sınırlandırmaktadır ve böylece tasarım kapasitesini azaltmaktadır.

Bu temel kavramlar çerçevesinde, buluşun konusuna ilişkin birkaç yapılandırmanın geliştirilmesi mümkündür; bu nedenle buluş, burada açıklanan örnekler ile sınırlandırılmamaktadır ve buluş esas olarak istemlerde tanımlandığı gibidir.

Teknikte uzman bir kişinin benzer yapılandırmaları kullanarak buluşun yeniliğini iletebileceği ve/veya bu tür yapılandırmaların ilgili teknikte kullanılanlara benzer diğer alanlara uygulanabileceği açıktır. Bu nedenle aynı zamanda bu türdeki yapılandırmaların yenilik kriterlerinden ve tekniğin bilinen durumunu aşma kriterinden yoksun olduğu açıktır.

Buluşun Endüstriyel Uygulaması

Mevcut buluş, algılama ve iletişim ağlarına yönelik masif çok girdili çok çıktı (MIMO) sistemlerinde uzamsal geniş bant etkisini kontrol etmek/dengelemek üzere yeni bir alıcı-verici tasarımına yöneliktir.

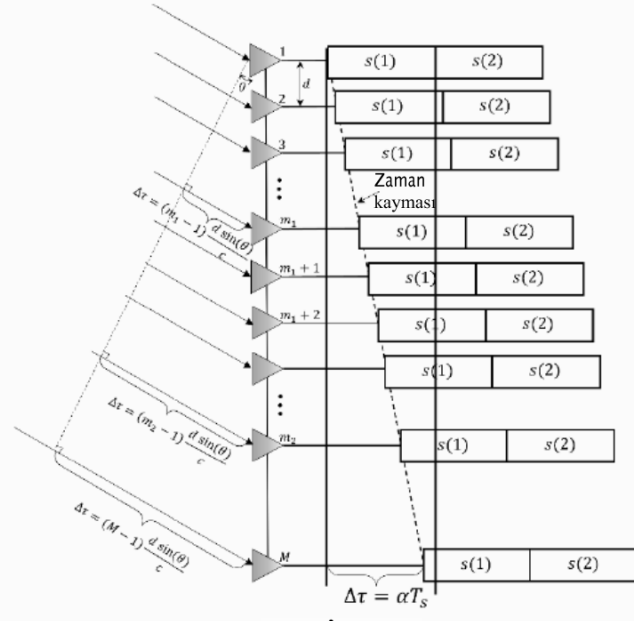
Bu bağlamda buluşun yöntemi, MIMO teknolojisine sahip herhangi bir kablosuz algılama ve/veya iletişim ağları için uygundur. Buluşun alıcı-verici tasarım yöntemi, konvansiyonel masif MIMO sistemlerine kıyasla daha az donanım karmaşıklığına sahip enerji ve spektrum verimli sistemler sağlamaktadır.

Standartlar, örneğin 3GPP tabanlı hücresel ve IEEE 802.11 tabanlı Wi-Fi ağları veya herhangi bir kablosuz ağ, her iki standartta sağlanan birden çok anten teknolojisi desteği nedeniyle

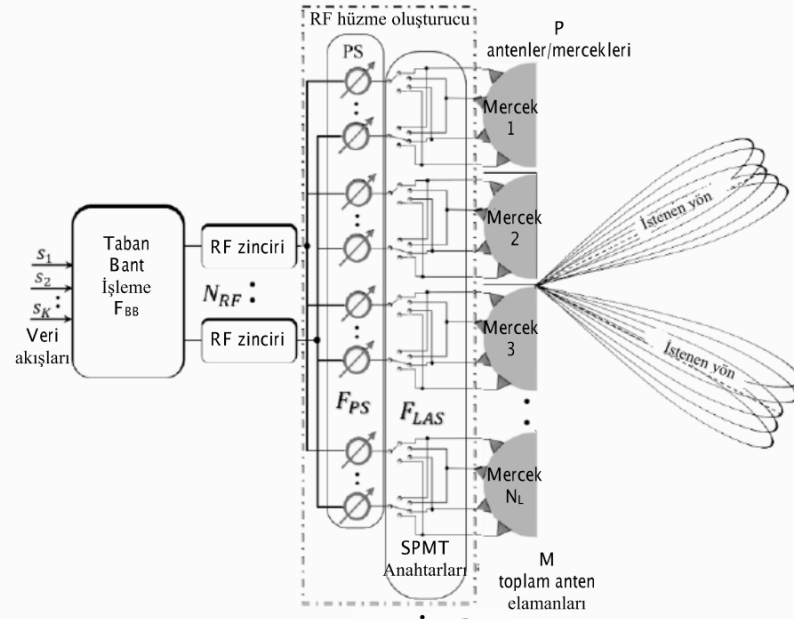
özellikle buluş ile ilgilidir.

Ayrıca bu buluşta açıklanan yöntem, yukarıda bahsedilen standartlardan herhangi birini destekleyebilen herhangi bir cihaz, sistem veya ağ üzerinde uygulanabilmektedir, örneğin:

- 5 Uzun Dönem Evrim (LTE), LTE-gelişmiş, AMPS, 5G Yeni Radyo (NR).



ŞEKİL 1



ŞEKİL 2

