

ÖZET

ÇOK-KATMANLI MERKEZİ RADYO İLETİŞİM ŞEBEKELERİNDE KULLANICI ÜSTÜNLÜĞÜNE DAYALI GİRİŞİM AZALTMA YÖNTEMİ

5

10

Söz konusu olan buluş, çok-katmanlı merkezi radyo iletişim şebekelerinde kullanıcının üstünlüğüne dayalı girişim azaltma yöntemi ile ilgili olup, 5. Nesil (5G) merkezi radyo iletişim ağları (Centralized-RAN, Centralized Radio Access Network) için, makro baz istasyonu ile haberleşen kullanıcı ekipmanları (UEs, User Equipments) üzerindeki çapraz-katman girişim problemini azaltırken, küçük baz istasyonu ile haberleşen UEs'in performansını da önemsenerek yüksek veri hızları korunduğu, hibrit yapıda bir yöntem sunmaktadır.

İSTEMLER

1. Çok-katmanlı merkezi radyo iletişim şebekelerinde kullanıcı üstünlüğüne dayalı girişim azaltma yöntemi olup özelliği;
 - Makro baz istasyonu ile haberleşen ancak küçük baz istasyonu tarafından dominant girişime maruz kalan kullanıcının (U_m^u), işaretin girişim ve gürültüye oranı (SINR)'nın limit değerinden düşük olması durumunun belirlenmesi ($\gamma_m^{u,k} < \gamma_{th}$),
 - U_m^u SINR değerinin, limit değerinden düşük olduğu durumda, U_m^u ile aynı frekansı kullanan ve dominant girişim kaynağı olan femto baz istasyonu (B_f^j) kullanıcısının (U_f^u), U_m^u 'ya göre üstünlük durumuna ve gereksinimlerine bakılarak girişim azaltma yönteminin belirlenmesi,
 - Makro baz istasyonu ile haberleşen ancak küçük baz istasyonu tarafından dominant girişime maruz kalan kullanıcı (U_m^u) ile aynı frekansı kullanan ve dominant girişim kaynağı olan femto baz istasyonu (B_f^j) kullanıcısı (U_f^u) düşük öncelikliyse PC yöntemi veya geleneksel hücreler arası girişim azaltma (ICIC) yönteminin uygulanması,
 - Makro baz istasyonu ile haberleşen ancak küçük baz istasyonu tarafından dominant girişime maruz kalan kullanıcı (U_m^u) ile aynı frekansı kullanan ve dominant girişim kaynağı olan femto baz istasyonu (B_f^j) kullanıcısı (U_f^u) yüksek öncelikli olması durumunda; makro baz istasyonu (B_m)'nin, makro baz istasyonu ile haberleşen ancak küçük baz istasyonu tarafından dominant girişime maruz kalan kullanıcının (U_m^u) veri sinyali için kullanması gereken gücün, ön kodlama sonucu üretilecek sinyalin iletimi için kullanılacak olan gücü temsil eden α 'nın optimum değerinin $\alpha_{optimum} = \max_{\alpha}(\text{SINR}_m)$ uygulanarak belirlenmesi,
 - Sonrasında kanal durum bilgileri (CSI) ve makro baz istasyonu ile haberleşen ancak küçük baz istasyonu tarafından dominant girişime maruz kalan kullanıcı (U_m^u) ile aynı frekansı kullanan ve dominant girişim kaynağı olan femto baz istasyonu (B_f^j) kullanıcısının (U_f^u) veri bilgilerinin kullanıldığı ön kodlama işleminin yapılması ve sinyalinin üretilmesi $p_{prec}^k = \sqrt{\alpha} \left(D_{f,u}^{j,k} \frac{H_{f,u}^{j,k} \overline{H_{m,u}^{1,k}}}{|H_{m,u}^{1,k}|^2} \right), k = [1, 2, \dots, N_{FFT}]$.

- Makro baz istasyonu ile haberleşen ancak küçük baz istasyonu tarafından dominant girişime maruz kalan kullanıcı (U_m^u) veri sinyaliyle girişim baskılayıcı sinyalin üst üste toplanarak U_m^u 'ya $TX_{sembol} = (\sqrt{1 - \alpha} D_{m,u}^{1,k} - P_{prec}^k)$ gönderilmesi,

işlem adımlarını içermesidir.

2. İstem 1'e göre yöntem olup özelliği; hem girişim azaltma hem de kullanıcı fiziksel katman güvenliğini arttırmak için yöntemde bahsi geçen üretilen ön kodlama işleminin, kullanıcının iki farklı haberleşme kanalına ($H_{f,u}^{j,k}$ ve $H_{m,u}^{1,k}$) bağlı olmasıdır.
3. İstem 1'e göre yöntem olup özelliği; bahsi geçen küçük baz istasyonun piko, femto veya mikro baz istasyonu olmasıdır.
4. İstem 1'e göre yöntem olup özelliği; bahsi geçen dominant girişim kaynağı olan femto baz istasyonu yerine dominant girişim kaynağı olan piko baz istasyonu veya dominant girişim kaynağı olan mikro baz istasyonu kullanılmasıdır.

TARİFNAME

ÇOK-KATMANLI MERKEZİ RADYO İLETİŞİM ŞEBEKELERİNDE KULLANICI ÜSTÜNLÜĞÜNE DAYALI GİRİŞİM AZALTMA YÖNTEMİ

5

BULUŞUN İLGİLİ OLDUĞU TEKNİK ALAN

Söz konusu olan buluş, çok-katmanlı merkezi radyo iletişim şebekelerinde kullanıcı üstünlüğüne dayalı girişim azaltma yöntemi ile ilgili olup, 5. Nesil (5G) merkezi radyo iletişim ağları (Centralized-RAN, Centralized Radio Access Network) için, makro baz istasyonu ile haberleşen kullanıcı ekipmanları (UEs, User Equipments) üzerindeki çapraz-katman girişim problemini azaltırken, küçük baz istasyonu ile haberleşen UEs'in performansının da önemsenerek yüksek veri hızlarının korunduğu, hibrit yapıda bir yöntem sunmaktadır.

15

TEKNİĞİN BİLİNER DURUMU

Hücreler arası girişim problemleri için literatürde; farklı stratejilerde tekrar kullanım (reuse), kısmi frekans tekrar kullanım (FFR), yumuşak yeniden kullanım (SFR), hücreler arası girişim azaltma (ICIC) ve koordine çok nokta sinyal iletimi (CoMP) gibi çeşitli teknikler mevcuttur. Ancak çapraz-katmanlı girişim olarak adlandırılan, kullanıcıya farklı katmanda bulunan bir baz istasyonunun neden olduğu girişim problemi, hücreler arası girişim problemine göre kullanıcının girişim yapan diğer katmandaki baz istasyonuna daha yakın olabilme gibi durumlardan ötürü çözümü daha zor olan bir girişim problemidir.

Güç kontrolü (PC), küçük baz istasyonlarına yakın konumda olan makro baz istasyonu kullanıcıları üzerinde oluşan çapraz-katman problemi için önerilen ve oldukça bilinen bir yöntemdir. Bu teknik, makro baz istasyonu kullanıcılarının haberleşme servis kalitesini arttırırken, küçük baz istasyonu kullanıcılarının veri hacminde ciddi boyutta azalma neden olmaktadır. PC ile çözüm yaklaşımına sahip, literatürde çok fazla çeşitte teknikler bulunmaktadır. Bunlar arasından en verimli çalışan yöntemlerden birisi, kısaca; farklı katmanlarda bulunan baz istasyonları arasında koordinasyonun sağlanarak, dinamik bir şekilde

makro baz istasyonu kullanıcısının maruz kaldığı girişim bilgisinin küçük baz istasyonuna makro baz istasyonu tarafından iletilmesi ve aynı frekans bandıyla haberleşen küçük baz istasyonunun kullanıcısına, küçük baz istasyonu tarafından daha düşük güçte sinyal gönderilmesidir.

- 5 PC teknikleri, makro baz istasyonları kullanıcılarının üzerinde oluşan çapraz-katman girişimini azaltmak için oldukça etkili olmakla birlikte, yöntemin uygulandığı küçük baz istasyonu ile haberleşen kullanıcılarda önemli ölçüde performans düşüklüğü meydana gelmektedir. Küçük baz istasyonu kullanıcılarının, yüksek veri hacmi gereksinimi durumunda, PC dezavantajından etkilenmemesi için farklı bir frekans spektrumuna yönlendirilmesi gerekmektedir. Ancak bu da
- 10 spektral olarak verimli bir yöntem değildir. Ayrıca küçük baz istasyonu kullanıcı yoğunluğunun yüksek olduğu senaryolarda problem büyüyecektir.

BULUŞUN KISA AÇIKLAMASI

- Mevcut buluş yukarıda bahsedilen dezavantajları ortadan kaldırmak ve ilgili teknik alana yeni
- 15 avantajlar getirmek üzere, çok-katmanlı merkezi radyo iletişim şebekelerinde kullanıcı üstünlüğüne dayalı girişim azaltma yöntemi ile ilgilidir.

- Artan kapasite ihtiyacını karşılayabilmek ve baz istasyonlarındaki trafik yükünü azaltabilmek için, şebeke operatörleri baz istasyonlarını homojen/heterojen sık bir şekilde, dar aralıklarla
- 20 konumlandırmaktadır. Hücre kenarlarındaki kullanıcıların servis kalitesini (QoS, Quality of Service) arttırmak amacıyla, baz istasyonlarının kapsama alanları, kısmen üst üste gelecek şekilde, heterojen yapıdaysa tamamen örtüşecek biçimde yerleştirilebilmektedir. Heterojen yapıdaki kablosuz hücresel haberleşme mimarisinde, yüksek güç iletimi ve geniş kapsama alanına sahip makro baz istasyonları, daha düşük güç iletimine sahip olan ve kapsama alanı daha
- 25 dar olup femto, piko vb. şekilde adlandırılan küçük baz istasyonları bulunmaktadır. Bu heterojen yapı, çok-katmanlı hücresel haberleşme olarak da açıklanmaktadır ve çok-katmanlı hücresel haberleşme sistemlerinde katmanlar içerisindeki girişim problemlerinin yanında, daha büyük sorunlara yol açan çapraz-katman girişim problemleri de meydana gelmektedir. Buluş, çapraz-katman girişim problemlerini azaltmak için, 5G teknolojisiyle gelen kontrol ünitesine sahip
- 30 merkezi radyo iletişim ağ yapısının avantajlarından faydalananarak, ön kodlamaya dayalı yeni bir çözüm sunmaktadır.

Buluşun amacı, çapraz-katman girişim problemi azaltılırken küçük baz istasyonunun performans değerlerini korumaktır. Buluş, çapraz-katman girişim probleminde hibrit bir yapı önermektedir. Hibrit yapıda aynı frekans bandını kullanan makro ve küçük baz istasyonu kullanıcılarının önceliklerine ve gereksinimlerine göre çapraz-katman girişim yöntemi önerilmektedir. Makro baz istasyonu kullanıcısının performans önceliği durumunda PC yöntemi, küçük baz istasyonu kullanıcısının performans önceliği durumunda ise doküman içerisinde açıklanan yeni bir SLP yöntemi önerilmektedir.

- 10 Buluş yöntemi kısaca, çapraz-katman girişim problemine sahip kullanıcılarla haberleşen makro baz istasyonunun her bir sembol için ön kodlama (SLP, symbol-level precoding (p_{prec})) yaparak bu girişimin azaltılmasıdır. Makro baz istasyonunda yapılan ön kodlama, küçük baz istasyonlarından gelen girişim sinyallerinin, üst üste bindirme (superposition) teoremine göre, makro baz istasyonu kullanıcıları alıcısı üzerinde tahrip olmasını sağlamaktadır. Buluş, kullanıcı alıcılarında fazladan bir işlem yükü oluşturmamaktadır

- 20 Buluş yönteminde, PC tekniklerinde yapılan küçük baz istasyonlarının iletim gücünün düşürülmesi uygulanmaz. Bu nedenle küçük baz istasyonu kullanıcılarının performansları, PC yöntemine göre daha iyi bir performansa sahip olmaktadır. Dolayısıyla buluş, makro baz istasyonu kullanıcılarının çapraz-katman girişim problemlerinin azaltılmasını ve geleneksel PC yöntemine kıyasla küçük baz istasyonu kullanıcılarının performansının daha iyi korunmasını vadetmektedir.

- 25 Ayrıca buluş kapsamında çapraz-katman girişim azalımı için hibrit bir yapı önerilmektedir. Hibrit yapı da aynı frekans bandını kullanan makro ve küçük baz istasyonu kullanıcılarının önceliklerine ve gereksinimlerine göre çapraz-katman girişim yöntemi önerilmektedir. Makro baz istasyonu kullanıcısının performans önceliği durumunda PC benzeri geleneksel ICIC yöntemleri, küçük baz istasyonu kullanıcısının performans önceliği durumunda ise buluşun detaylı açıklamasında anlatılan yeni bir SLP yöntemi önerilmektedir. Analiz sonuçları, şekil 3, 30 şekil 4 ve şekil 5 de yer almaktadır.

Buluş ile önerilen hibrit mimari de farklı kapsama alanlarında olan kullanıcılar arasında, kullanıcıların üstünlüklerine ve gereksinimlerine dayalı esnek bir girişim azaltma yöntemi önerilmektedir.

5 Buluş, 5G merkezi radyo iletişim ağına sahip hücreli haberleşme sistemlerinde, şebeke operatörleri tarafından girişim azaltma yöntemi olarak uygulanma imkanına sahiptir. Ancak yöntemin uygulanması bununla sınırlı değildir. Buluş, merkezi kontrol ünitesine sahip tüm haberleşme sistemlerinde kullanılabilir. Haberleşme teknoloji dünyasında giderek artan erişim noktaları arasında koordinasyonların gelişimi ve farklı haberleşme sistemleri arasında aynı spektrumun kullanımının (co-existence) artmasıyla oluşan girişim problemleri, buluşun 10 uygulanma alanlarını artırmaktadır.

ŞEKİLLERİN KISA AÇIKLAMASI

Çok-katmanlı merkezi radyo iletişim şebekelerinde kullanıcı üstünlüğüne dayalı girişim azaltma yönteminin daha iyi anlaşılabilmesi için hazırlanan şekiller aşağıda açıklanmaktadır.

15 Şekil 1. İki-katmanlı heterojen şebeke sistem modeli.

Şekil 2. Söz konusu buluş tekniğinde yapılacak olan SLP şeması.

Şekil 3. U_m^u kesinti olasılığının analitik hesaplama ve simülasyon çalışması performans sonuçları.

20 Şekil 4. U_m^u için veri hacmi - kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF, cumulative distribution function) simülasyon çalışması sonuçlarını göstermektedir.

Şekil 5. U_f^u için veri hacmi – CDF simülasyon çalışması sonuçlarını göstermektedir.

Şekil 6. Buluşun akış diyagramı.

REFERANS NUMARALARI

25 Bu buluşla geliştirilen, çok-katmanlı merkezi radyo iletişim şebekelerinde kullanıcı üstünlüğüne dayalı girişim azaltma yönteminin daha iyi açıklanabilmesi için parçalar/kısımlar/unsurlar ayrı ayrı numaralandırılmış olup her bir numaranın açıklaması aşağıda verilmektedir.

R_f femto baz istasyonunun kapsama alanı

- R_m : makro baz istasyonunun kapsama alanı
 U_f : femto baz istasyonu ile haberleşen kullanıcılar
 U_m : makro baz istasyonu ile haberleşen kullanıcılar
 U_m^u : makro baz istasyonu ile haberleşen ancak küçük baz istasyonu tarafından dominant girişime maruz kalan kullanıcı
5 U_f^u : U_m^u ile aynı frekansı kullanan B_f^j kullanıcısı
 B_m : makro baz istasyonu.
 B_f : femto baz istasyonları.
 B_f^j : dominant girişim kaynağı olan femto baz istasyonu
10 $CSI_{m,f}^j$: j. femto baz istasyonundan dominant girişime maruz kalan kullanıcının makro ve femto baz istasyonu kanal durum bilgisi

BULUŞUN DETAYLI AÇIKLAMASI

- Bu detaylı açıklamada buluş konusu yenilik sadece konunun daha iyi anlaşılmasına yönelik
15 hiçbir sınırlayıcı etki oluşturmayacak örneklerle açıklanmaktadır.

- Makro ve küçük baz istasyonlarının aynı frekans bandını kullandığı çok katmanlı kablosuz hücreli haberleşme sistemlerinde, makro baz istasyonu ile haberleşen kullanıcı ekipmanları (UEs, user equipments), küçük baz istasyonlarından gelen sinyaller dolayısıyla, çapraz-katman girişim problemiyle karşılaşmaktadır. Güç kontrol (PC) yöntemleri, bu girişimi azaltmak için kullanılan verimli bir yöntem olmakla birlikte, yöntemde küçük baz istasyonunun sinyal iletim gücü indirildiği için küçük baz istasyonu ile haberleşen UEs mağdur olmakta ve performansları olumsuz olarak etkilenmektedir. Buluşun 5. Nesil (5G) merkezi radyo iletişim ağları (Centralized-RAN, Centralized Radio Access Network) için önerdiği yöntemde,
20 geleneksel PC yöntemlerinin küçük baz istasyonu UEs performansları mağduriyeti konusunda daha iyi sonuçlar vermektedir. Dolayısıyla buluş, makro UEs üzerindeki çapraz-katman girişimin probleminin azaltılması sağlanırken, küçük UEs'in performansının da önemsenerek yüksek veri hızlarının korunduğu, yeni bir çapraz-katman girişim azaltma yöntemidir. Ayrıca yine buluş kapsamında çapraz-katman girişim azaltımı için hibrit bir yapı/sistem önerilmektedir. Buluşta yer alan sistem için teorik ve simülasyon analizleri gerçekleştirilmiş, buluşun avantajları gösterilerek
30 açıklanmıştır.

Söz konusu olan buluşta yer alan yöntem anlatımı için kullanılacak basitleştirilmiş senaryonun sistem modeli şekil 1’de gösterilmiştir. B_m^i , i. B_m ’yi temsil etmektedir (Örnek şekil1 de yer alan B_m^1 gösterilmiştir). B_f^i , i. B_f ’yi temsil etmektedir (Örnek şekil 1 de B_f^{i+1} , B_f^{i-1} gösterilmiştir.)

5

Buluş yöntemi, bir adet makro baz istasyonuna ve birden fazla küçük baz istasyonuna (femto) sahip iki-katmanlı heterojen şebeke senaryosu üzerinden basitleştirilmiş bir şekilde anlatılmaktadır. Örnek senaryoda makro baz istasyonu yönlü anten (directional antenna), femto baz istasyonları ise yöneltmesiz anten (omnidirectional antenna) teknolojilerine sahiptir. R_m makro baz istasyonunun, R_f ise femto baz istasyonunun kapsama alanını temsil etmekle birlikte, makro ve femto baz istasyonları, $R_m > R_f$ şeklinde farklı kapsama alanlarına sahiptir. Şekil 1’de gösterilen U_m , makro baz istasyonu ile haberleşen kullanıcıları, U_f femto baz istasyonu ile haberleşen kullanıcıları temsil etmektedir. Ayrıca B_m makro baz istasyonunu, B_f ise femto baz istasyonlarını temsil etmektedir. Yine şekil 1’de görülen U_m^u , çözüm için yeni bir yöntemin önerildiği çapraz-katman girişim probleminden dolayı mağdur olan makro baz istasyonu ile haberleşen ancak femto baz istasyonuna daha yakın konumda bulunan kullanıcıyı temsil etmektedir. U_f^u ise, U_m^u ile aynı frekansı kullanan ve bahsedilen girişim problemleri için literatürde tavsiye edilen PC yöntemi dolayısıyla mağdur olan femto baz istasyonu kullanıcılarını temsil etmektedir.

U_m^u : makro baz istasyonu ile haberleşen ancak küçük baz istasyonu tarafından dominant (güçlü) girişime maruz kalan kullanıcıdır. U_m^u dominant (güçlü) girişim kaynağı B_f^j tarafından girişime maruz kalır. Ayrıca U_m^u , femto baz istasyonuna daha yakın konumda bulunması nedeniyle güçlü girişime maruz olabilir. Bahsi geçen küçük baz istasyonları, femto, piko, mikro vb. baz istasyonu olabilir. Tarifname içerisinde anlatım femto baz istasyonları ile örneklendirilerek sağlanmıştır.

Söz konusu buluş tekniğinde yapılacak olan işlem şeması, şekil 2’de gösterilmiştir. Şekil 2 de yer alan CSI_m^j ve CSI_f^j , j. femto baz istasyonundan dominant girişime maruz kalan kullanıcının sırasıyla, makro baz istasyonu ve femto baz istasyonu kanal durum bilgisini ifade etmektedir.

Buluşta hem hesaplama karmaşıklığını azaltmak hem de diğer girişim etkenlerinin çok daha zayıf olmasından dolayı, U_m^u üzerindeki sadece en dominant girişim sinyali (interference) bastırılmaya çalışılır. Bunun için U_m^u 'ya en yakın olan B_f 'den gelen girişim sinyali (interference) dikkate alınmaktadır. SLP işleminde, U_f^u veri bilgisiyle birlikte, aynı frekansı kullanan U_f^u ve U_m^u 'ya ait kanal durum bilgileri (CSI, channel state information), giriş datası olarak verilmektedir. Buluşun içerdiği anahtar yöntem, B_f 'den U_m^u 'ya gelmesi beklenen girişim sinyalini azaltmak amacıyla ön kodlama yapmak ve B_m 'den U_m^u verisiyle birlikte girişim yıkıcı bir sinyal göndermektir. CSI bilgileriye, B_f 'den gelen girişim sinyalinin ve B_m 'den U_m^u 'ya ait veri bilgisiyle birlikte gönderilecek girişim yıkıcı sinyalin kanal etkenlerini de hesaba katmak suretiyle U_m^u 'nun alıcısında girişimin bastırılmasını sağlamaktadır.

Ön kodlama işlemindeki veri paylaşımı gereksinimi nedeniyle oluşacak ana taşıyıcı (backhaul) trafik yükünü azaltmak ve zaman senkronizasyonu sağlamak için, merkezi radyo iletişim şebeke yapısı kullanılacaktır. Bu yapıda, kullanıcılara iletilecek olan veriler, zaten radyo iletişim şebekesinin işlemlerini gerçekleştiren merkezi kontrol biriminde bulunmaktadır. Bu durumda yalnızca, B_f - U_m^u girişim sinyalinin kanal bilgisinin SLP için paylaşılması gerekmektedir.

Buluş, merkezi radyo haberleşme şebekesinin özelliklerinden faydalanan, çok katmanlı hücreli haberleşme yapılarına yönelik tasarlanmış olmasına rağmen, merkezi kontrol ünitesine sahip birden fazla erişim noktasının olduğu tüm haberleşme sistemlerinde, girişim azalımı için kullanılabilir.

Buluş, çapraz-katman girişim sinyalini azaltmak için, PC tekniğinde olduğu gibi B_f 'de iletim gücünün azaltılmasını uygulamadığı gibi, ön kodlama işlemiyle üretilen girişim yıkıcı sinyalin üretimi içinde ekstra bir güç gereksiniminin uygulanmasını da gerektirmemektedir. Şekil 2'de de gösterildiği gibi, B_m 'nin kendi verisi için kullanması gereken güçten α kadarlık bir miktarını fedakarlık etmesi ve SLP sonucu elde edilen sinyalin iletiminde kullanması, geriye kalan $1 - \alpha$ miktarınca gücü veri sinyalinin iletiminde kullanması, buluştan kabul edilebilir bir performans almak için yeterlidir. Şekil 3, şekil 4 ve şekil 5 figürleri bunu kanıtlamaktadır.

Ön kodlama, merkezi radyo iletişim şebekesinin kontrol biriminin bulunduğu makro baz istasyonunda, girişim seviyesine göre dinamik olarak adapte olan bir α değeriyle, her bir Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) alt taşıyıcısı (subcarrier) için gerçekleştirilmektedir. Burada önemli olan konu, hem kullanıcı veri iletimi kalitesi hemde girişim sinyalinin bastırılması için gereken gücün birlikte dikkate alınarak, optimum bir α ε (0 ~ 1) normalize değerinin belirlenmesidir. Optimum α değeri, maksimum U_m^u sinyalin girişim ve gürültüye oranı (SINR, signal-to-interference-plus-noise ratio) değerine göre belirlenir, $\alpha_{\text{optimum}} = \max_{\alpha}(\text{SINR}_m)$.

10 Buluşun basitleştirilmiş SLP formülü,

$$p_{\text{prec}}^k = \sqrt{\alpha} \left(D_{f,u}^{j,k} \frac{H_{f,u}^{j,k} * \overline{H_{m,u}^{1,k}}}{|H_{m,u}^{1,k}|^2} \right), k = [1, 2, \dots, N_{FFT}]$$

şeklinde gösterilmektedir.

15 Denklemden, k alt taşıyıcı sayısını, N ise hızlı Fourier dönüşümü (FFT, Fast Fourier Transform) boyutunu göstermektedir. j. femto baz istasyonunun, u. kullanıcısının, k. alt taşıyıcısına ait olan $D_{f,u}^{j,k}$ veriyi, $H_{f,u}^{j,k}$ ve $H_{m,u}^{1,k}$ kanal bilgilerini temsil etmektedir. $\overline{[.]}$ ise karmaşık eşlenik (complex conjugate) operatörünü ifade etmektedir.

20 Buluşun akış diyagramı şekil 6'da gösterilmiştir. U_m^u , γ_m^u SINR değerini merkezi kontrol birimine rapor eder. Merkezi kontrol birimi, makro ve küçük baz istasyonlarını kontrol eden ve kullanıcı bilgilerinin bulunduğu bir birimdir. U_m^u SINR'ının (γ_m^u) limit değerinden (γ_{th}) düşük olması durumunda ($\gamma_m^{u,k} < \gamma_{th}$), U_f^u 'nin U_m^u 'ya göre üstünlük durumuna ve gereksinimlerine (user priority) bakılarak girişim azaltma yöntemi belirlenir. U_f^u düşük öncelikli kullanıcıysa (secondary user) PC gibi geleneksel ICIC yöntemleri uygulanır. Ancak U_f^u 'nin yüksek öncelikli kullanıcı (primary user) olması durumunda buluş içerisinde açıklanan teknik için işlemler başlatılır. α , B_m 'nin U_m^u veri sinyali için kullanması gereken güçten fedakârlık edilmesi sonucu ön kodlama sonucu üretilcek sinyalin iletimi için kullanılacak olan gücü temsil etmektedir. Öncelikle optimum α değeri belirlenir. Sonrasında CSI ve U_f^u veri bilgilerinin kullanıldığı ön kodlama işlemi yapılarak, U_m^u alıcısında girişim baskılayıcısı olacak olan sinyal üretilir ve U_m^u

veri sinyaliyle üst üste toplanarak gönderilir. Buluş, U_m^u alıcısında, fazladan bir iş yükü gerektirmemektedir. Buluş ile önerilen mimari de farklı baz istasyonlarıyla haberleşen ve farklı baz istasyonlarının kapsama alanlarında bulunan kullanıcılar arasında, kullanıcıların üstünlüklerine ve gereksinimlerine dayalı esnek bir girişim azaltma yöntemi önerilmektedir.

5

Buluşun Rayleigh sönümlemeli kanaldaki 10 hatlı (10-taps) OFDM performans analizi, analitik hesaplamalarla ve simülasyon çalışmalarıyla incelenmiştir. Performans analizi için kesinti olasılığı (outage probability) ve veri hacmi (throughput) metrik olarak kullanılmıştır. Buluş yönteminin performansı, girişim azaltma tekniği kullanılmayan sistemin (No-ICIC) performansı ve 3GPP R1-106009 “Further Discussion on HeNB Downlink PowerSetting in HetNet,” MediaTek Inc. dokümanında detaylıca açıklanan $P_f = \max(\min(\Theta * P_{SINR} + \Phi, P_{max}), P_{min})$ PC yönteminin performansı ile karşılaştırılmaktadır. Şekil 3 U_m^u kesinti olasılığının analitik hesaplama ve simülasyon çalışması performans sonuçlarını, şekil 4 ve şekil 5 ise sırasıyla U_m^u ve U_f^u için veri hacmi simülasyon çalışması sonuçlarını göstermektedir. Şekil 3’e bakıldığında buluş yönteminin, özellikle biraz daha yüksek SIR değerleri için, PC’ye göre bazı şartlarda 3dB’ye varan üstünlüğe ulaştığı anlaşılmaktadır. Şekil 4’e bakıldığında, PC U_m^u performansının buluş yöntemine kıyasla çok yakın bir performans göstermekle birlikte biraz daha üstün olduğu, şekil 5’e bakıldığında, buluş yöntemi U_f^u performansının No-ICIC (ICIC yok) performansı kadar iyi sonuç verdiği ispatlanmıştır.

20

Sonuç olarak buluş, optimum $\propto$ gücüne bağlı olarak, her bir OFDM modülasyonu alt taşıyıcısı için ön kodlama yapılmasıyla, U_m^u çapraz-katman girişimi azalttığını ve U_f^u veri hızını korumadaki üstünlüğünü göstermiştir. Yukarıda bahsedilen performans sonuçlarına bakılarak, buluş kapsamında çapraz-katman girişim probleminin çözümü için aynı frekans bandını kullanan U_f^u ve U_m^u öncelikleri ve gereksinimlerine göre PC ve SLP hibrit bir yapısı önerilmektedir.

25

Yukarıda yer alan detaylı bilgilerden yola çıkarak çok-katmanlı merkezi radyo iletişim şebekelerinde kullanıcı üstünlüğüne dayalı girişim azaltma yöntemi olup özelliği;

- Makro baz istasyonu ile haberleşen ancak küçük baz istasyonu (anlatım için femto baz istasyonu olarak örneklendirilmiştir) tarafından dominant girişime maruz kalan

30

(örneğin, küçük baz istasyonuna daha yakın konumda bulunması) kullanıcının (U_m^u), işaretin girişim ve gürültüye oranı (SINR)'nın limit değerinden düşük olması durumunun belirlenmesi ($\gamma_m^{u,k} < \gamma_{th}$),

- U_m^u SINR değerinin, limit değerinden düşük olduğu durumda, U_m^u ile aynı frekansı kullanan ve dominant girişim kaynağı olan femto baz istasyonu (B_f^j) kullanıcısının (U_f^u), U_m^u 'ya göre üstünlük durumuna ve gereksinimlerine bakılarak girişim azaltma yönteminin belirlenmesi,

- Makro baz istasyonu ile haberleşen ancak femto baz istasyonu (küçük baz istasyonu) tarafından dominant girişime maruz kalan kullanıcı (U_m^u) ile aynı frekansı kullanan ve dominant girişim kaynağı olan femto baz istasyonu (B_f^j) kullanıcısı (U_f^u) düşük öncelikliyse PC veya geleneksel hücreler arası girişim azaltma (ICIC) yöntemlerinin uygulanması,

- Makro baz istasyonu ile haberleşen ancak femto baz istasyonu (küçük baz istasyonu) tarafından dominant girişime maruz kalan kullanıcı (U_m^u) ile aynı frekansı kullanan ve dominant girişim kaynağı olan femto baz istasyonu (B_f^j) kullanıcısının (U_f^u) yüksek öncelikli olması durumunda; makro baz istasyonu (B_m)'nin, makro baz istasyonu ile haberleşen ancak femto baz istasyonu (küçük baz istasyonu) tarafından dominant girişime maruz kalan kullanıcının (U_m^u) veri sinyali için kullanması gereken gücün, ön kodlama sonucu üretilecek sinyalin iletimi için kullanılacak olan gücü temsil eden α 'nın optimum değerinin $\alpha_{optimum} = \max_{\alpha}(\text{SINR}_m)$ uygulanarak belirlenmesi,

- Sonrasında kanal durum bilgileri (CSI) ve makro baz istasyonu ile haberleşen ancak femto baz istasyonu (küçük baz istasyonu) tarafından dominant girişime maruz kalan kullanıcı (U_m^u) ile aynı frekansı kullanan dominant girişim kaynağı olan ve femto baz istasyonu (B_f^j) kullanıcısının (U_f^u) veri bilgilerinin kullanıldığı ön kodlama işleminin yapılması ve sinyalinin üretilmesi

$$p_{prec}^k = \sqrt{\alpha} \left(D_{f,u}^{j,k} \frac{H_{f,u}^{j,k} \overline{H_{m,u}^{1,k}}}{|H_{m,u}^{1,k}|^2} \right), k = [1, 2, \dots, N_{FFT}].$$

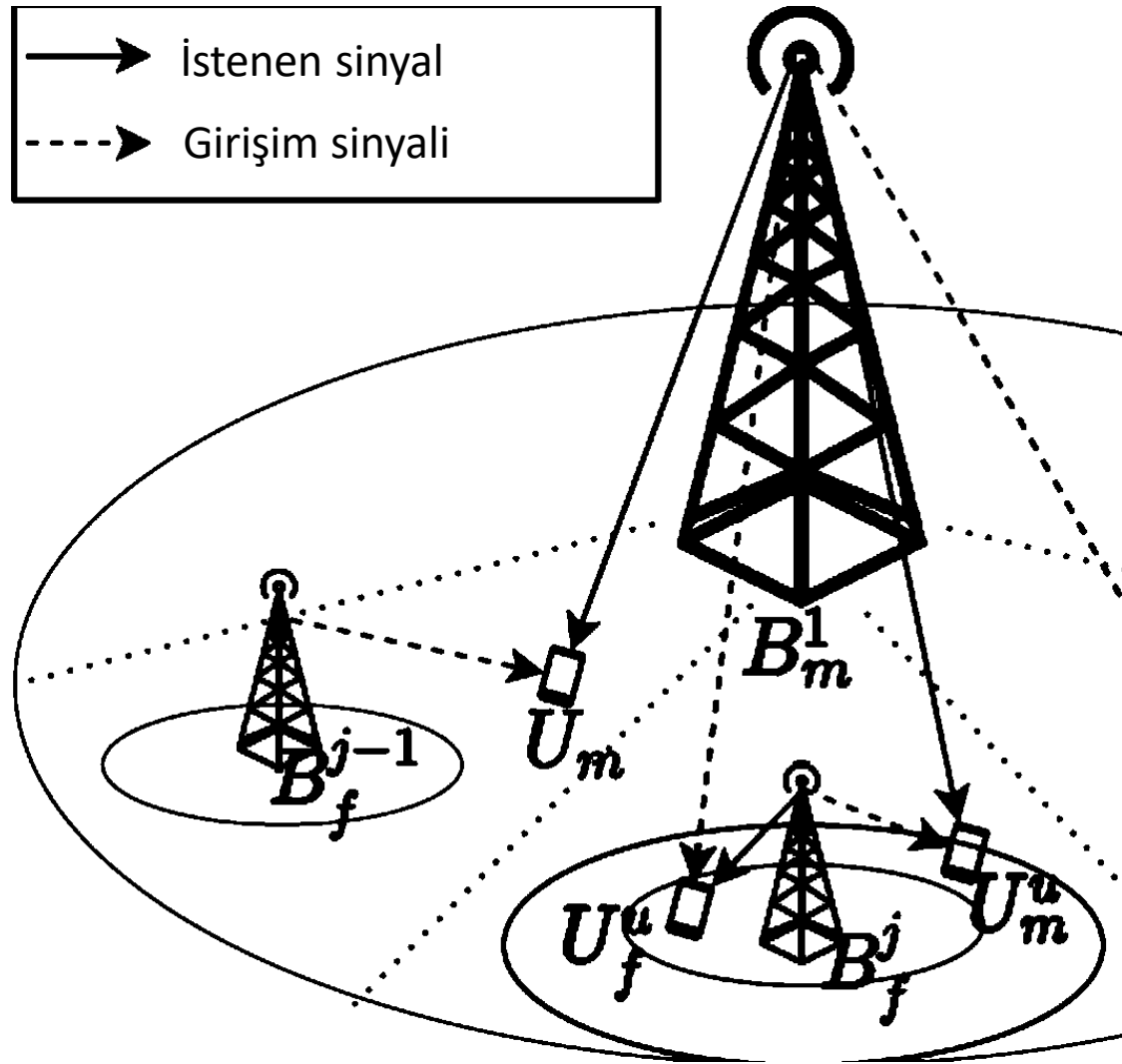
- Makro baz istasyonu ile haberleşen ancak femto baz istasyonu tarafından dominant girişime maruz kalan kullanıcı (U_m^u) veri sinyaliyle girişim baskılayıcı sinyalin üst üste toplanarak U_m^u ya $TX_{sembol} = (\sqrt{1 - \alpha} D_{m,u}^{1,k} - p_{prec}^k)$ gönderilmesi,

işlem adımlarını içermesidir.

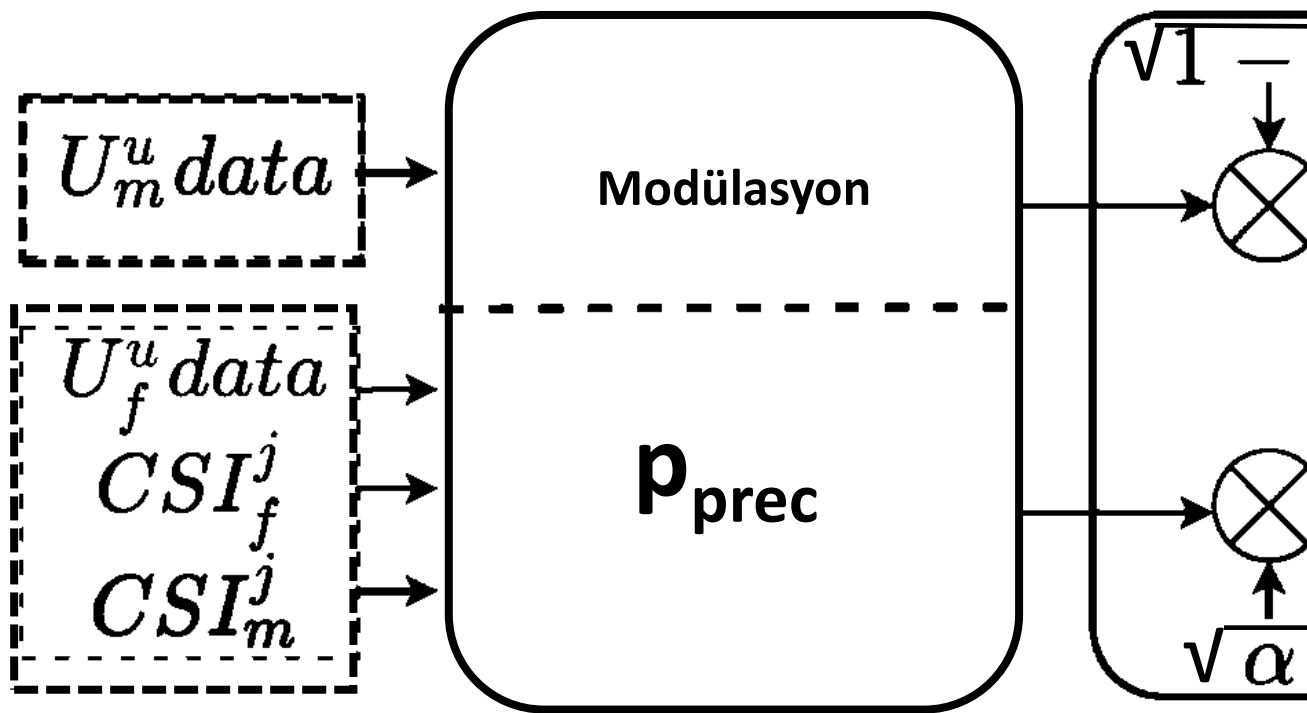
Söz konusu önerilen yöntemde, üretilen ön kodlama işleminin, kullanıcının iki farklı haberleşme kanalına ($H_{f,u}^{j,k}$ ve $H_{m,u}^{1,k}$) bağlı olması, kullanıcının fiziksel katman güvenliğini arttırmaktadır.

- 5 Dolayısıyla, buluş hem girişim azaltma hem de kullanıcı fiziksel katman güvenliğini arttırmak amacıyla kullanılabilir.

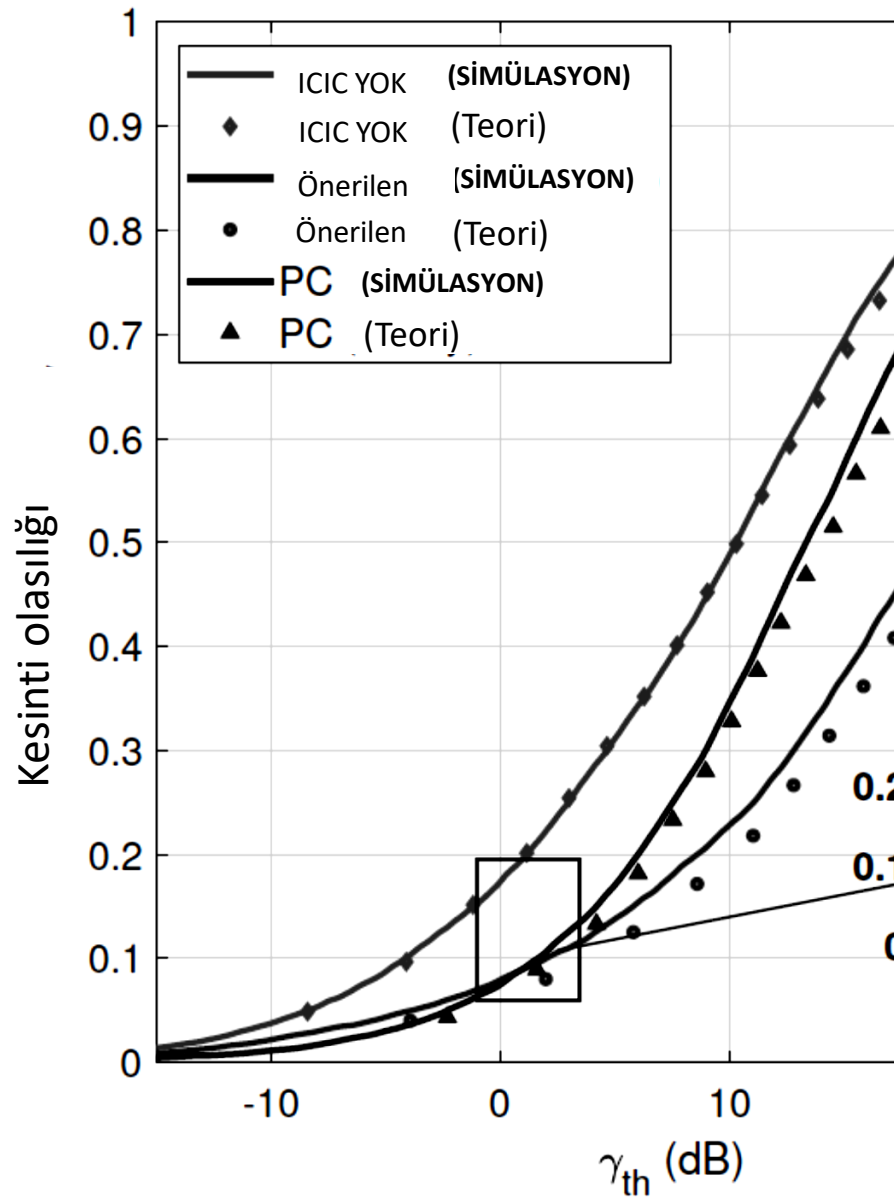
Buluşun bir diğer düzenlemesi, bahsi geçen dominant girişim kaynağı olan femto baz istasyonu yerine dominant girişim kaynağı olan piko baz istasyonu veya dominant girişim kaynağı olan mikro baz istasyonu kullanılmasıdır.



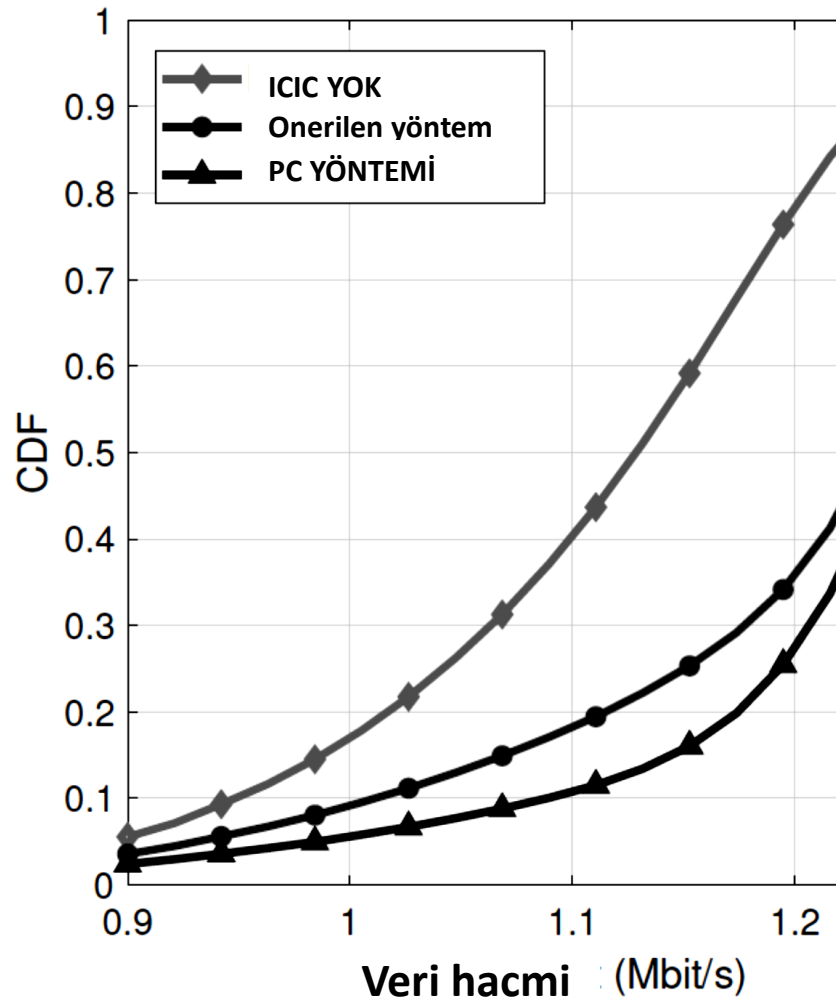
Şekil 1



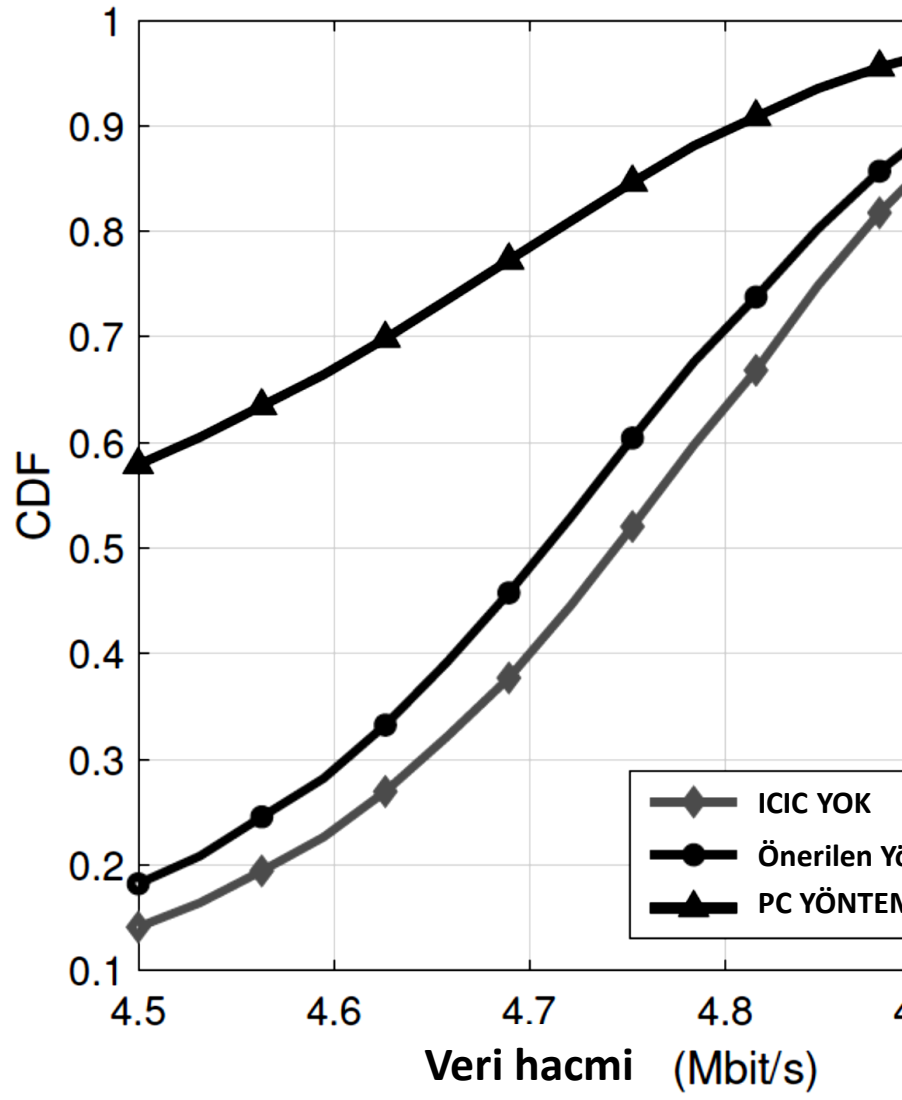
Şekil 2



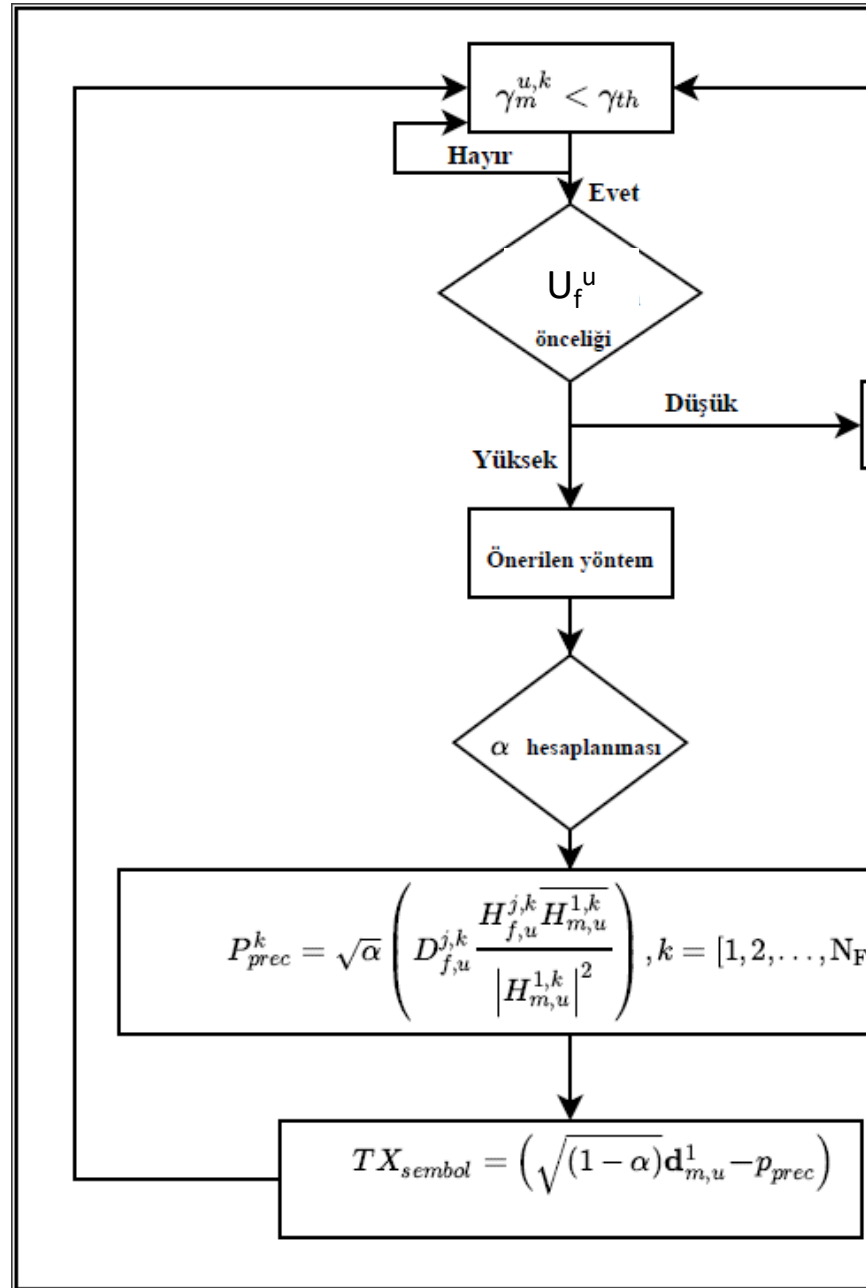
Şekil 3



Şekil 4



Şekil 5



Şekil 6