

## SMART ANTENNAS FOR WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS

Mustafa KARAKOÇ\*  
Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar Eğt. Bölümü,  
41300, Kocaeli, TÜRKİYE  
e-mail: mkarakoc@kou.edu.tr

Adnan KAVAK  
Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Müh. Bölümü  
41040, Kocaeli, TÜRKİYE  
e-mail: akavak@kou.edu.tr

### ABSTRACT

Smart antennas are considered to be promising technology for increasing the performance of wireless communication systems. A smart antenna consists of several antenna elements, whose signals are processed adaptively in order to exploit the spatial domain of the mobile radio channel (1). Usually, the signals received at the different antenna elements are multiplied with complex weights  $w$ , and then summed up; the weights are chosen adaptively. Not the antenna itself, but the whole antenna system including the signal processing is called "adaptive" (2). Only the antenna is not smart, the antenna system which contains also antenna elements is called smart.

*Key Words:* Adaptive Algorithms, CDMA, Smart Antennas, Third Generation (3G) Systems.

## KABLOSUZ HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN AKILLI ANTENLER

### ÖZET

Akıllı antenler, kablosuz haberleşme sistemlerinin performanslarını artıracak son temel teknolojik buluşlar arasında yer almaktadır. Bir akıllı anten dizisi, uyarlanabilir olarak gelen sinyali işleyerek gezgin iletişim kanalının uzaysal yayılım alanını en verimli biçimde kullanmayı amaçlayan birçok anten elemanından oluşur (1). Genellikle farklı anten elemanlarından alınan sinyaller karmaşık  $w$  ağırlık katsayısı ile çarpılır ve toplanır. Buradaki ağırlık katsayıları her iterasyon adımında değiştirilerek alınır. Antenin kendisi değil ama sinyal işleme kabiliyetine sahip olan anten sistemi sayesinde "uyarlanabilir" olarak adlandırılan katsayı seçimi olur (2). Akıllı olan sadece anten değil o antenin de içinde bulunduğu anten sistemi akıllı olarak adlandırılır.

*Anahtar Kelimeler:* Uyarlanabilir Algoritmalar, CDMA, Akıllı Antenler, Üçüncü Nesil (3G) Sistemler

## 1. GİRİŞ

Akıllı antenler, aynı baz istasyonu için daha fazla kullanıcıya servis sağlama imkanı vererek, daha yüksek ağ kapasitesine imkan tanır. Bunun sonucu olarak ağ operatörlerinin gelirlerinde artış, müşterilerin aramalarının bloke olma ve hattın kesilme olasılığında azalma eğilimi görülür. Aynı zamanda istenilen sinyalin gücünün artması ve parazit sinyallerin azalması ile iletilen sinyalin kalitesi artırılabilir. Bununla beraber aynı sinyalin farklı yollardan gelmesi sonucu oluşan yayılım gecikmesinde azalma olasılığı, daha yüksek veri iletim oranının sağlanması da diğer faydaları arasındadır. Son olarak akıllı antenler kullanıcının yerinin tespit edilmesinde de kullanılırlar. Otomatik konum tespiti (ALI), Federal Haberleşme Komisyonunun (FCC) gereksinimlerinin yerine getirilmesi için ve konuma bağlı servislerin sunulması için önemlidir (3). Akıllı anten sistemlerinin genel yapıları Şekil 1'de gösterilmektedir.

## 1. INTRODUCTION

Smart antennas can be used to achieve higher network capacity, i.e. the ability to serve more users per base station and higher capacity improvement. This leads to increased revenues of network operators, and a decreased probability of blocked or dropped calls for the customers. Also, the transmission quality can be improved by increasing desired signal power and reducing interference. Further benefits include a possible reduction of the delay spread, allowing higher data rates, and a reduction of the transmit power. Finally, smart antennas can be used to improve the position estimation of users (by determination of the angles), which is important both for fulfillment of FCC requirements (Federal Communications Commission) for Automatic Location Identification (ALI) and the offering of location-based services i.e. city guide with navigation (3). General structure of smart antenna systems are shown in Figure 1.

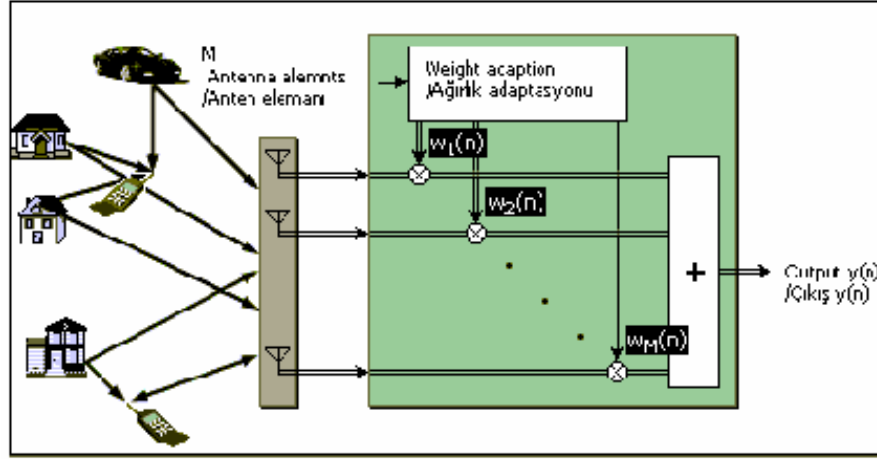


Figure 1. General structure of smart antenna systems  
Şekil 1. Akıllı anten sisteminin genel yapısı

### Genel olarak faydaları:

- daha yüksek kapasite
- daha iyi iletim kalitesi
- yayılım gecikme sürelerindeki azalma
- daha yüksek veri iletim oranı
- kullanıcı konumunun tahmini imkanı

### We can gain :

- Higher capacity
- Better transmission quality
- Reduction of delay spread
- Higher data rates
- Improved user position estimation

## 1. AKILLI ANTENLERİN PERFORMANSI

Bilindiği gibi akıllı antenler üçüncü nesil (3G) kablosuz haberleşme sistemlerinde yukarı ve aşağı bağlantıda ihtiyaç duyulan sistem performansını elde etmek için önemli bir araçtır. Veri iletiminin kablosuz ortam vasıtasıyla sağlanması sonucu ihtiyaç duyulan servis kalitesinde (QoS) azalmalar olur. Sinyal kalitesini en fazla etkileyen nedenler sinyalin çoklu yollarla yayılımı ve diğer kanallardan kaynaklanan parazit olarak tanımlanır.

## 1. PERFORMANCE OF SMART ANTENNA SYSTEMS

As we know, the smart antennas are one better approach to provide desired system performance both uplink and downlink transmissions. Data transmission in the wireless channels causes the increasing quality of service (QoS). Multipath propagation and co-channel interferences are one of the most important factors for quality of signal.

### 1.1. Çok Yollu Yayılım

Kablosuz haberleşme sistemlerinin temel problemlerinin en önemlisi alıcı verici arasındaki sinyalin çok yollu yayılımının olmasıdır (4). Geleneksel bir anten ile gezgin kullanıcıdan baz istasyonuna doğru olan veri iletiminde, sinyale ait tüm yansımalar alıcıda rasgele fazlarla alınır. Bunun sonucu olarak sinyalde zayıflama ve hata olasılığında artış görülür. Bu durumda akıllı anten sistemi gelen sinyali iki şekilde yorumlayabilir: İlk olarak sistem tüm çok yollu bileşenleri zayıflama etkisini engellemek için ayrı ayrı işler. Bunlardan sinyal kalitesi yüksek olanı Şekil 2’de görüldüğü gibi alır ve diğerlerini bastırır ya da doğru faz gecikmelerini göz önüne alarak tüm bileşenleri ekler. Diğer bir olasılık ise akıllı anten uyarlanabilir olarak karmaşık anten örüntüsünü üretir ve yine aynı yolla yani ya güçlü sinyali alıp diğerlerini bastırarak ya da diğerlerini de doğru faz gecikmeleri ile ekleyerek işler.

### 1.1. Multipath Propagation

One of the major problems of mobile communications is the multipath propagation from transmitter to receiver (4). With a conventional antenna, all echoes of the signal are added up at the receiver with arbitrary phases, leading to fading, and thus an increased error probability. The operation of a smart antenna can now be interpreted in two ways: one way is to say that it can process all multipath components separately, thus avoiding fading. We could either select just one component as seen in Figure 2 and suppressing the thin ones. Alternatively, we can add up all components with corrected phases. Another possibility is to say that a smart antenna can adaptively generate a complex antenna pattern, which again can be chosen in such a way that fading is avoided or at least mitigated.

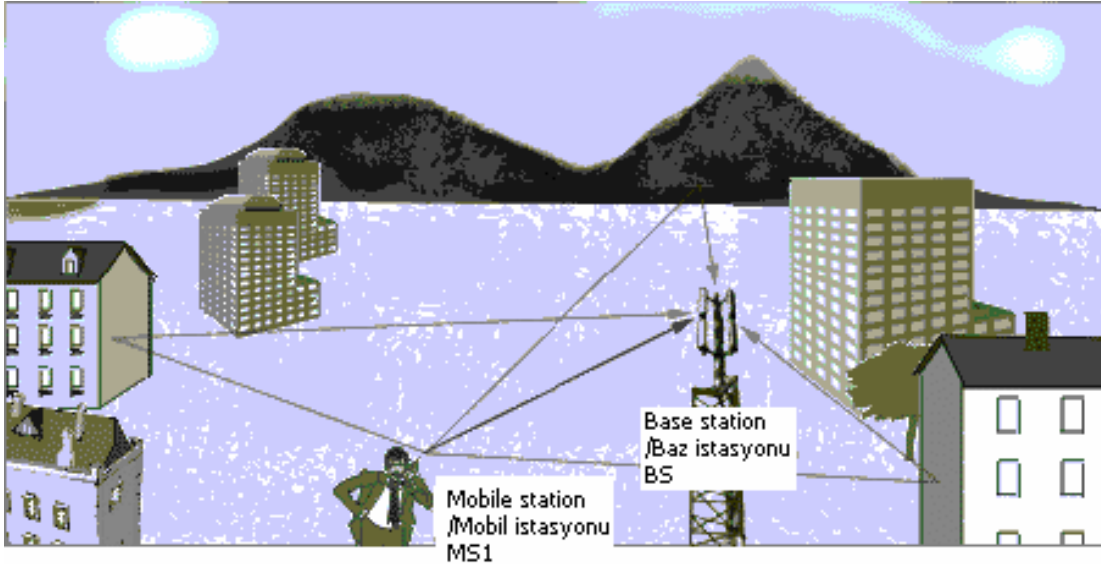


Figure 2. Multipath propagation of a signal from mobile station to base station  
Şekil 2. MS1’den BS’ ye doğru sinyalin çok yollu iletimi

### 1.2. Eş-Kanal Parazit

Kablosuz haberleşme sistemlerinin ikinci büyük problemi olarak bilinen diğer kanalların oluşturduğu parazitin bastırılması için kullanılan yol, bir önceki çok yollu yayılım bölümünde bahsedilen ile aynı işlem prensibine sahiptir. Burada yine uyarlanabilir anten örüntülerinin yorumlanması ile akıllı antenler parazit kullanıcılarından gelen çok yollu bileşenlerin doğrultusunu önemsiz hale getirir. Böylece sınırlı sayıda parazit sinyaller bu teoriye göre kusursuzca bastırılırlar. Şekil 3’de görüldüğü gibi uzaktaki diğer kanala ait kullanıcıların sinyalleri bastırılmıştır.

### 1.2. Co-Channel Interference

The same principle of operation, as mentioned in the previous section about multipath propagation, can also be used for the suppression of co-channel interference, the second big problem of mobile communications. Using again the interpretation of the adaptive antenna pattern, the smart antenna can put *nulls* in the direction of multipath components coming from the interferer. Thereby a limited number of interferers (depending on the number of antenna elements) can be suppressed perfectly - in theory. In the Figure 3, the signals of the far-away co-channel user (MS2) can be suppressed.

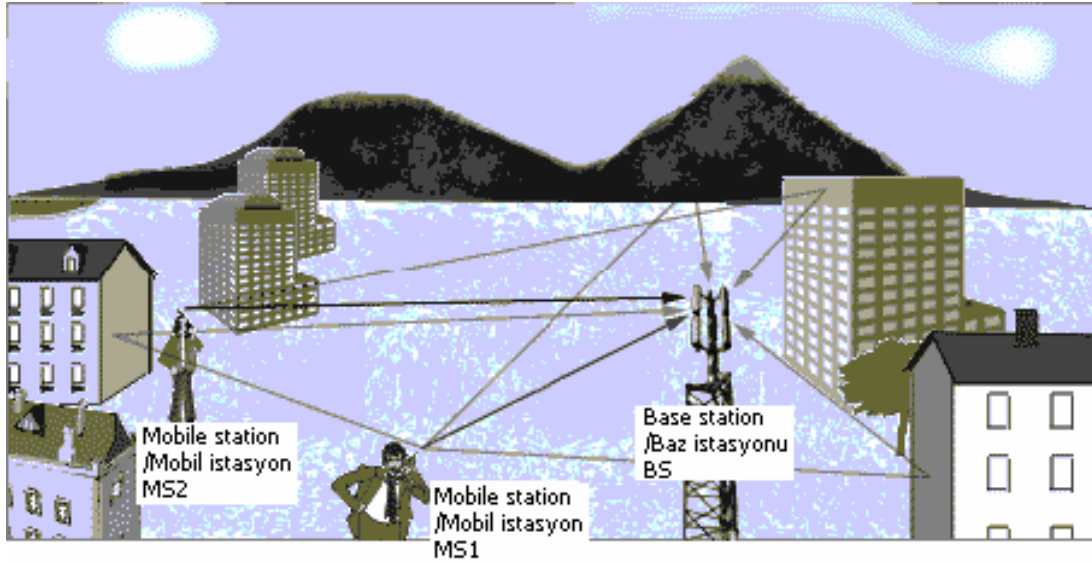


Figure 3. The signal of the far away MS2 can be suppressed by smart antennas  
Şekil 3. Uzakdaki MS2'nin istenmeyen sinyalinin akıllı anten tarafından bastırılması

## 2. TDMA İÇİN AKILLI ANTENLER

Geleneksel zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA=Time Division Multiple Access) ya da frekans bölmeli çoklu erişim (FDMA=Frekans Division Multiple Access) hücresel sisteminde, bir hücre tarafından kullanılan taşıyıcı frekans komşu hücreler tarafından tekrar kullanılamaz. Bunun nedeni komşu kanalın oluşturduğu parazit sinyalin çok güçlü olmasıdır. Bu frekansın tekrar kullanılması, belli bir mesafe şartının sağlanması ile imkan kazanır. Aynı taşıyıcı frekansını kullanan iki baz istasyonu arasındaki bu mesafe, ki hücre yarıçapı ile ilgilidir yeniden kullanım uzaklığı olarak adlandırılır ve  $D/R$  ile gösterilir (5). Farklı taşıyıcı frekansını kullanan hücrelerin sayısı  $N$  boyutlu küme ya da yeniden kullanım faktörü olarak adlandırılırlar (Şekiller 4, 5 ve 6). Tipik olarak her kullanıcı için sinyalin parazit ve gürültü toplamına oranının (SINR) 10dB olması istenir. Bu hücredeki sektörler için küme sayısının 3 yada daha fazla olması ile gerçekleştirilir.

## 2. SMART ANTENNAS FOR TDMA

In a conventional *time division multiple access (TDMA)* or *frequency division multiple access (FDMA)* cellular system, carrier frequencies that are used in one cell cannot be reused in the neighboring cells, because the resulting co-channel interference would be too strong. Rather, those frequencies are reused at a greater distance. The distance (related to cell radius) between two base stations which use the same carrier frequency is named *reuse distance*  $D/R$  (5). The number of cells that have to use different carrier frequencies is called *cluster size*  $N$  or *reuse factor* (Figures 4, 5, and 6). Typically, a signal-to-noise-and-interference ratio (SNIR) of 10dB is required for each user, resulting in a *cluster size* of 3 or more ( $N \geq 3$ ) for sector cells.

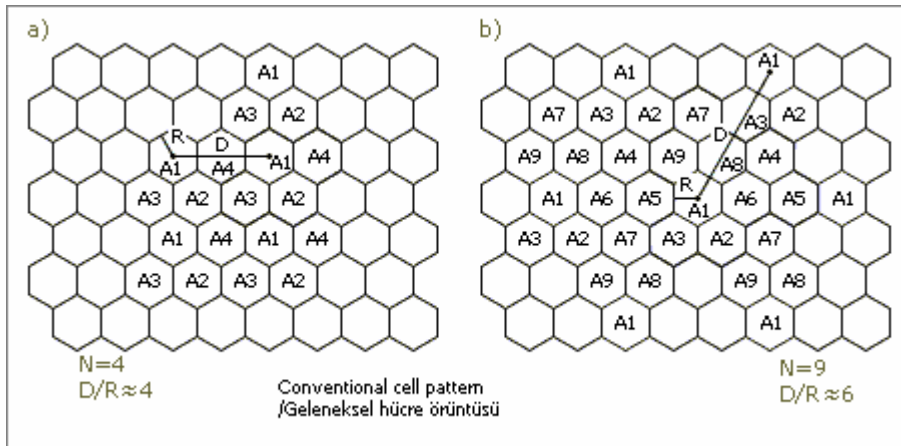
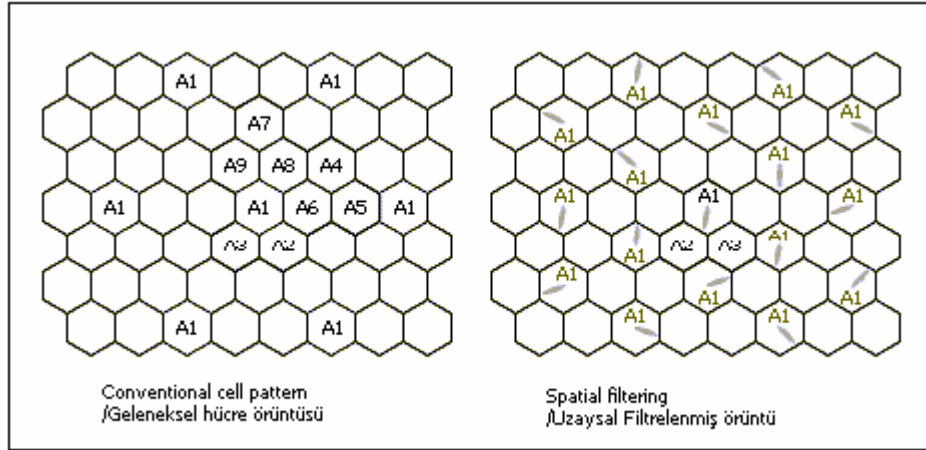


Figure 4 Reuse distance and cluster size in a conventional cell pattern  
Şekil 4 Geleneksel hücre örüntüsünde küme boyutu ve yeniden kullanım mesafesi

Kapasite artışı farklı yollarla gerçekleştirilebilir. Bu yollardan olası bir tanesi parazit azaltılması için uzaysal filtreleme (SFIR) olarak adlandırılabilir. Bu suretle aynı taşıyıcı frekanslara sahip baz istasyonlarını, ihtiyaç duyulan SINR gereksinimi kuralını ihlal etmeden, birbirlerine daha yakın hale getirebiliriz. Bu durumda kapasite artışı, yeniden kullanım faktörünü azaltır diyebiliriz.

The increase in capacity can now be accomplished in different ways. One possibility is so-called *spatial filtering for interference reduction (SFIR)*. Thereby, we can put base stations with the same carrier frequencies closer together, without violating the requirements for the signal-to-interference ratios. The increase in the capacity is then the decrease in the *reuse factor*.

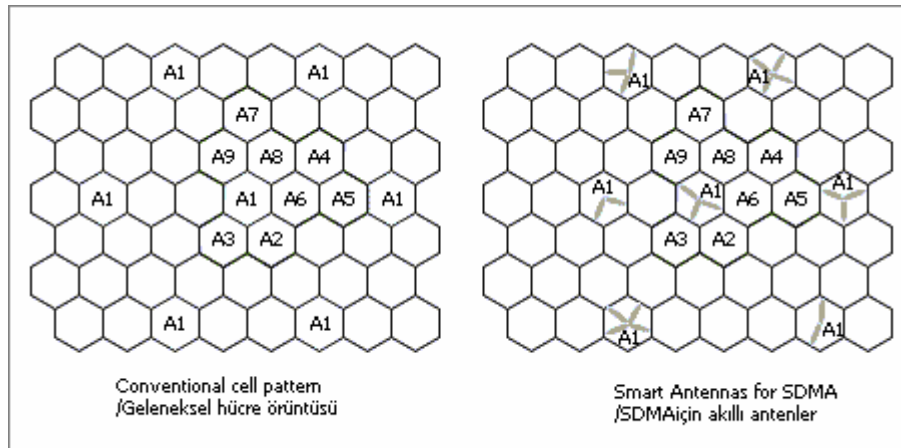


**Figure 5.** SFIR reduces cluster size  $N$  for TDMA/FDMA systems

**Şekil 5.** TDMA/FDMA sistemleri için SFIR küme boyutunu  $N'$  e düşürür

Alternatif bir metod ise *uzay bölme çoklu erişim* (Space Division Multiple Access=SDMA) olarak adlandırılır. Bu metod ile yeniden kullanım faktörü geleneksel sistem ile karşılaştırıldığında değişmeden kalır. Bununla beraber, bir hücre içinde aynı taşıyıcı frekans ve aynı zaman anında, birden fazla kullanıcıya servis sağlanabilir. Tipik olarak aynı hücrede aynı anda üç kullanıcıya kadar arama sağlanabilir. Eğer kullanıcılar birbirlerine çok yakınsa o zaman farklı frekansta erişim sağlanır. SDMA için olası kapasite kazançları uzaysal filtrelemeden daha büyüktür. Ancak baz istasyonunda ihtiyaç duyulan değişimler ve baz istasyonu için kullanılan yazılım oldukça kapsamlı, karmaşık ve güçtür.

An alternative approach is the so-called *space division multiple access (SDMA)*. With this method, the *reuse factor* remains unchanged compared to the conventional system. Rather, several users can operate within one cell on the same carrier frequency and the same time slot. They are just distinguished by their position. Typically, up to three users can be served simultaneously in one cell. If they get too close, a *hand-over* to a different frequency or timeslot is done. Possible capacity gains for *SDMA* are even larger than for spatial filtering. However, the required changes in the base station and base station controller software are more extensive and complicated.



**Figure 6.** SDMA enables several users on the same time/frequency slot in one cell

**Şekil 6.** SDMA bir hücre içinde aynı frekans ve zaman anında birçok kullanıcıya erişim imkanı sağlar

### 3. CDMA İÇİN AKILLI ANTENLER

Kod bölme çoklu erişim (Code Division Multiple Access=CDMA) metodunda kapasite kazancı biraz farklı yollarla etkisini gösterir [6,7]. Tüm hücreler aynı taşıyıcı frekansı kullanırlar. Kullanıcılar 64 bitlik farklı kodlarla birbirlerinden ayrılırlar. Her hücredeki kullanıcı sayısı, kullanıcının diğer kullanıcılar üzerinde oluşturduğu parazit etkisinden dolayı sınırlıdır. İstenilir kullanıcı için uyarlanabilir anten örüntüsünün ana ışınının belirlenmesi ile, akıllı antenler diğer kullanıcıların parazit etkisini artırmadan bir kullanıcı için ihtiyaç duyulan SNIR değerini elde edebilirler.

### 3. SMART ANTENNAS FOR CDMA

In a *code division multiple access* system (*CDMA* system), the capacity gain is effected in a slightly different way [6,7]. All cells use the same carrier frequency. Users are distinguished by their different codes, of which there is a 64 number. The number of users within one cell is limited mainly by the interference that each user generates for all other users. By pointing the *main beam* of the adaptive antenna pattern to the desired user, smart antennas improve the *SNIR* for one user without increasing interference for the other users.

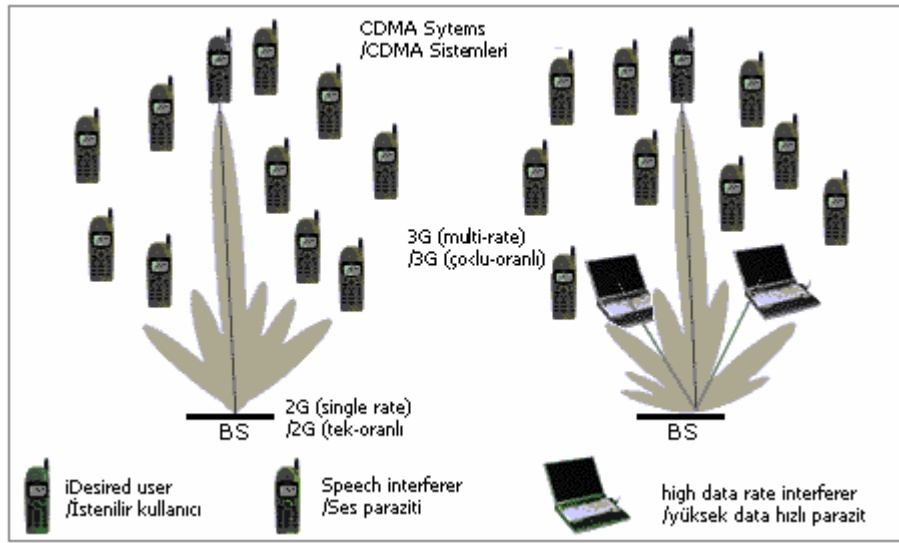


Figure 7. Smart Antennas in 2G and 3G CDMA systems  
Şekil 7. 2G ve 3G sistemler için akıllı antenler

3G CDMA sistemler ile ikinci nesil (2G) CDMA sistemler arasında bazı farklılıklar vardır. Bu yeni CDMA sistemi ağ'a yüksek veri iletim oranıyla erişim imkanı sağlar. Bu yüksek veri iletim oranlı servisler daha yüksek iletim gücüne ihtiyaç duyarlar. Akıllı antenlerde her kullanıcı için aynı anda ayrı ayrı anten örüntüleri üretilebilir. Şekil 7' deki örnekte tek kullanıcı durumu gösterilmiştir.

#### 3.1. Anahtarlanmış Işın Sistemleri

Akıllı antenlerin, gezgin sistemlerinin performanslarını nasıl arttırdıkları hakkında bilgi sahibi olduktan sonra, çok yönlü yayılım ve parazite karşı nasıl mücadele ettiğine ilişkin detaylara dönebiliriz.

Şekil 8'de görülen anahtarlanmış ışın metodu en basit yaklaşımdır. Bir özel doğrusal RF ağ ("Butler-matris" olarak bilinir) ve M adet anten elemanından oluşur. Burada aynı doğrultulara sabitlenmiş farklı ışın örüntüleri vardır. Basit bir RF anahtar vasıtasıyla, standart alıcı tarafından daha sonraki işlemlerde temel olarak alınması için, bu sinyallerden "en iyi" olan seçilir. Bu en iyi sinyal, kaydedilen gücü en yüksek olan ya da bit hata oranı en düşük olan gibi kriterlere göre belirlenir. Bu yapının en büyük avantajı sadece tek bir alıcı/verici dizisine ihtiyaç duyması ve parazit etkisini etkin biçimde indirgemesidir. Bununla beraber, konumu değişen gezgin kullanıcı için aynı seviyede SINR sunamaması ve ışın örüntüleri

For 3<sup>rd</sup> generation (3G) CDMA systems there are in contradictions to 2<sup>th</sup> generation (2G) CDMA systems multi-rate services available. These new CDMA systems allow accessing the network with high data rates. These high data rate services require higher transmission power. Note that for each user an individual antenna pattern is generated at the same time. In Figure 7 just the example of a single user of interest illustrated.

#### 3.1. Switched Beam Systems

After having discussed the general approaches how a smart antenna can improve the performance of a mobile radio system, we next turn to the details of how the required combating of multipath propagation and interference can be achieved.

The switched-beam method is the simplest approach, which seen in Figure 8. A specific linear RF network (called "Butler-matrix") combines the M antenna element signals in such a way as to form different beams, looking into certain directions. At the output, we have available N RF-signals, one for each possible beam or direction. By means of a simple RF-switch, we now select the "best" of those signals for further processing by a standard receiver. The best signal could be the one with the highest received power, or the best bit error ratio, or some other criterion. The big advantage of this structure is that it requires only a single receive/transmit chain. However, beams and nulls

arasında anahtarlama esnasında hattan düşmeler bu sistemler için olumsuz özelliklerdir.

of the antenna pattern cannot be put into arbitrary directions, but can only be chosen from a limited number of positions.

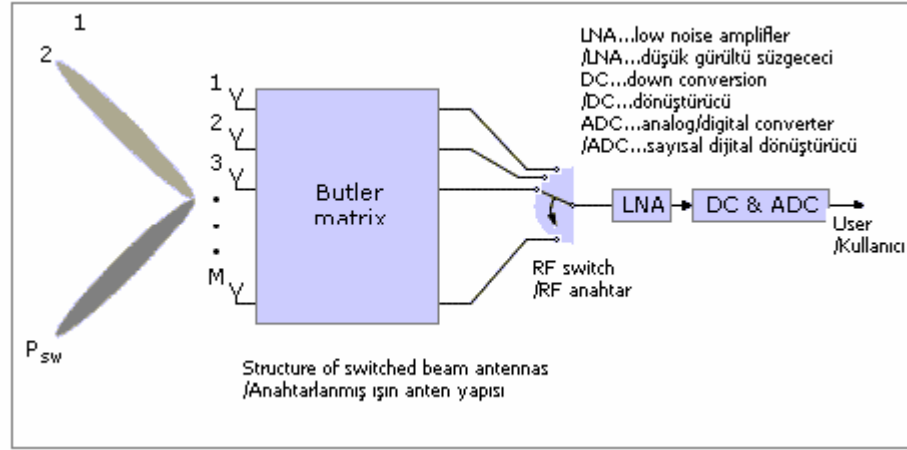


Figure 8. Hardware structure of a receiver with RF-beamforming - "switched beam antenna"  
Şekil 8. RF ışın şekillendirici alıcının donanım yapısı "Anahtarlanmış Işın Anten"

### 3.2. Sadece Uzaysal İşleme

Daha karmaşık yapı ise şekil 9'da tanımlanan uzaysal filtre yada tek alanlı işlemci olarak adlandırılır. Alınan sinyaller ilk olarak temel banda düşürülür ve M alıcı dizisinin ihtiyaç duyacağı bir prosedür için örneklenir. Örnekler  $\mathbf{x}(n)$ , daha sonra kompleks  $\mathbf{w}$  ağırlıklarıyla çarpılır ve toplanır. Elde edilen sonuç çıkış sinyali  $y(n)$  normal bir antenden elde edilen herhangi bir sinyal gibi işlenebilir. Genel olarak, anten ağırlık katsayıları TDMA sistemde data yığınının iletimi için sabit olarak kalırlar. Bu GSM için de böyledir, ancak IS-136 için kesinlikle doğru değildir. Bunun için bazı geçici ağırlık katsayıları izleme algoritmaları kullanılabilir.

### 3.2. Space-Only Processing

A more sophisticated approach is presented in Figure 9, the spatial filter or space-only processing. The received signals are first down-converted to baseband and sampled - a procedure that requires  $M$  receiver chains. The samples  $\mathbf{x}(n)$  are multiplied with complex weights  $\mathbf{w}$ , and then summed up. The resulting output signal  $y(n)$  can then be processed like any signal from a "normal" antenna. It is usually assumed that the antenna weights remain constant for the transmission of a data burst in a TDMA system. This is fulfilled well in GSM, while this is not strictly true for IS-136, and some temporal tracking of the weights might be necessary.

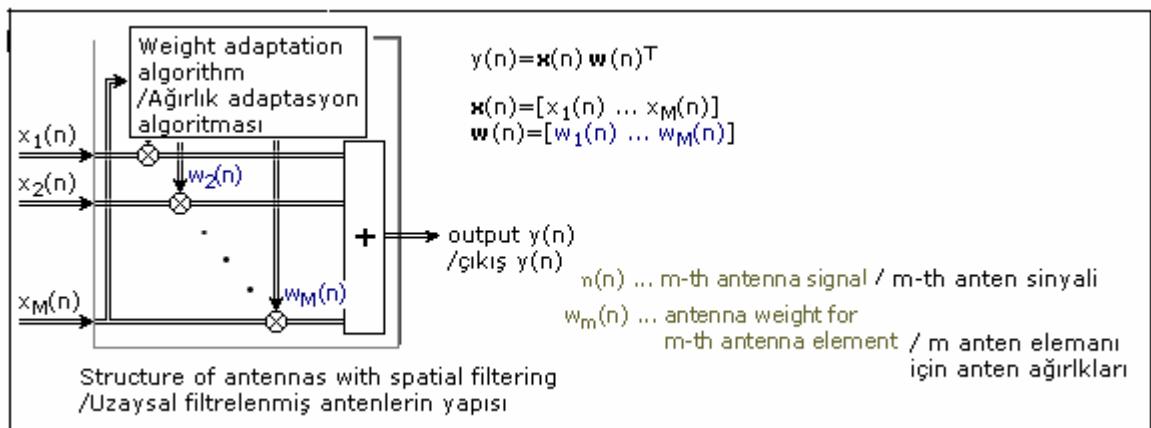


Figure 9. Hardware structure of a receiver with space-only processing  
Şekil 9. Tek alanlı işlemci alıcısının donanım yapısı

### 3.3. Işın Şekillendirme

Işın şekillendirme durumunda (8,9), ilk olarak, bütün çok yönlü bileşenlerin geliş açısı (DOA) kestirilir. Daha sonra, istenilir sinyal kaynağından ve istenmeyen parazit kaynaklardan gelen sinyallerin DOA'ları tayin edilir. Bu işlem genellikle kullanıcıya ait özel bilgiler yardımıyla sağlanır. Bu bilgi ile, uygun SINR değerini elde etmek için anten ağırlıklarını hesaplayabiliriz. Kullanılacak olan bu anten örüntüsü fiziksel olarak parazit doğrultusunda sinyal yayılımını minimize etmek suretiyle kolayca yorumlanabilir (Şekil 10). Bu durumda anten örüntüsünün sadece istenilir sinyal yönünde olacağı açıktır. Bu sayede istenilir sinyal yönünde yüksek hızda veri iletimi daha hızlı sağlanmış olur.

### 3.3. Beamforming

In the beamforming case (8,9), First, we estimate the directions of arrival of all multipath components. Next, we determine whether the signal from a certain direction comes from a desired user or from an interferer. This is usually done with the help of a user identifier. With this knowledge, we can compute the antenna weights that optimize the *SNIR*, and use this pattern for the actual reception of the data. The associated antenna pattern can easily be interpreted physically, exhibiting *nulls* in the directions of the interferers (Figure 10). The antenna pattern can also be formed in such a way that only one of the desired multipath components is received. This reduces the time dispersion of the received signal, which is desirable to achieve very high data-rates.

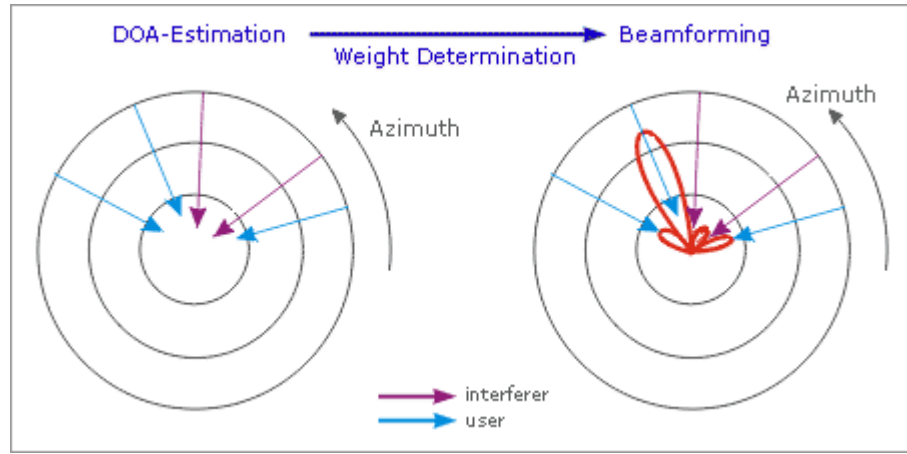


Figure 10. Process of beamforming in several steps

Şekil 10. Adım adım ışın şekillendirme işlemi

### 3.4. Çeşitleme ve Işın Şekillendirme

Akıllı antenler Şekil 11'den de görüldüğü gibi farklı bir yolla da sınıflandırılabilir: ışın şekillendirme ve çeşitleme. Çeşitleme için farklı anten elemanları arasındaki sinyallerin istatistiksel olarak birbirinden bağımsızlığı temeline dayanır (10). Çeşitleme algoritmalarında, SINR değerini optimize etmek için sinyaller ağırlıklarla bir araya getirilir.

Işın şekillendirme için anten elemanları arasındaki mesafe daha kısadır ve bu nedenden dolayı ayrı anten elemanına gelen sinyaller arasında fark edilebilir bir uyumluluk söz konusudur. Anten elemanlarının birbirine daha yakın olmasından dolayı tek bir ana ışın ile anten örüntüsü oluşturulabilir ve böylece istenilir sinyal gücü artırılarak istenmeyen parazitlerin gücü azaltılmış olur.

Matematiksel olarak ifadeler hakkında konuştuğumuzda, çeşitleme ile ışın şekillendirme arasındaki fark her iki durumda da sinyaller doğrusal olarak bir araya geldiğinden, pek de dramatik olarak görülmemektedir. Buna rağmen, ağırlıkları uyarlama algoritmaları birbirinden oldukça farklıdır.

### 3.4. Diversity and Beamforming

Smart antennas can also be classified in a different way which seen in Figure 11: whether they exploit beamforming or diversity. For diversity, we rely essentially on the statistical independence of the signals at the different antenna elements (10). Diversity algorithms combine the signals with such weights that the *SNIR* is optimized.

For beamforming, which we implicitly assumed so far, we exploit the fact that the antenna elements are close together so that appreciable coherence between the antenna signals is present. The closeness of the antenna elements allows us to form an antenna pattern with a single main beam that enhances the desired signal and suppresses the interference.

The antenna pattern can also be formed in such a way that only one of the desired multipath components is received. This reduces the time dispersion of the received signal, which is desirable to achieve very high data-rates.



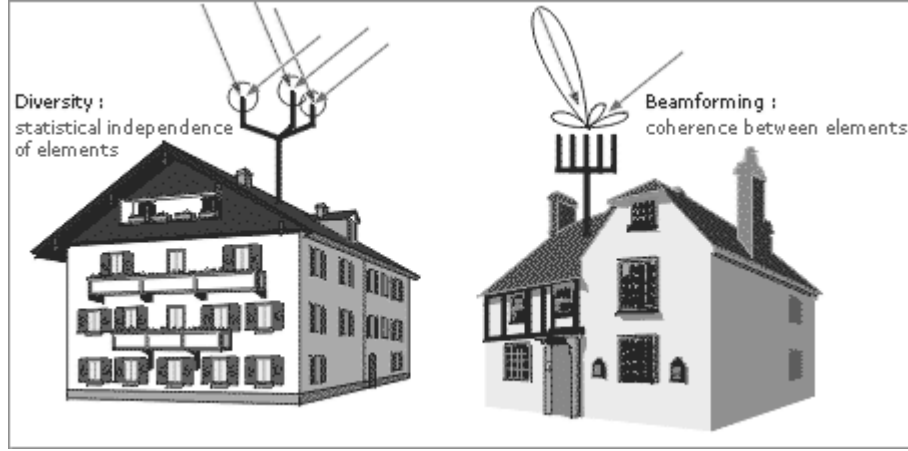


Figure 11. Difference between diversity and beamforming  
Şekil 11. Çeşitleme ile ışın şekillendirme arasındaki fark

### 3.5. Uzaysal Referans Sınıflandırması

Bu işlemin ilk adımı için, yani geliş açılarının tespiti için, son otuz yılda çeşitli metotlar geliştirilmiştir (11,12).

Şekil 12'de biz izgesel tabanlı metotlar ile parametrik metotları gruplayabiliriz. En iyi bilinen algoritmalar ESPRIT, SAGE, MUSIC, ve minimum değişimi (MVM) metodudur.

### 3.5. Spatial Reference (SR) Classification

For the first step in this procedure, namely the determination of the directions of arrival (DOAs), plenty of methods have been developed in the last thirty years. (11,12).

We can distinguish parametric and spectral-based methods seen in Figure 12. The best-known algorithms are ESPRIT, SAGE, MUSIC, and the Minimum Variance or Capon's method (MVM).

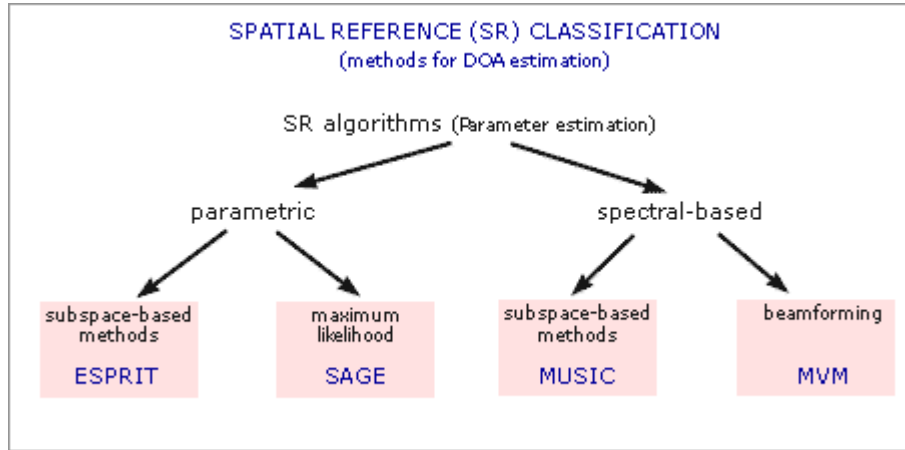


Figure 12. Different SR algorithms for DOA estimation  
Şekil 12. DOA kestirimi için farklı algoritmalar

### 3.6. Zamansal Referans Algoritmaları

Ağırlık tespiti için kullanılan diğer bir algorithmada, şekil 13'de belirtilen, zamansal referans olarak da bilinen ve kullanıcıya ait bilgiyi içeren bir eğitim dizisi kullanılır. Burada ilk adım olarak iletilen eğitim dizisinin alıcı tarafından bilindiği varsayılır ve alıcı  $y(n)$  çıkış sinyali ile eğitim dizisi arasındaki farkı yani hatayı minimize edecek şekilde  $w$  karmaşık ağırlıklarını ayarlar. Daha sonra bu ağırlıklar gerçek data dizisinin elde edilmesinde referans olarak kullanılırlar (13,14).

### 3.6. Temporal Reference (TR) Algorithms

Another approach for the weight determination is the use of a *training sequence*, also known as "temporal reference" algorithms, which is described in Figure 13. In the first step, the training sequence which is known to the receiver is transmitted, and the receiver adjusts the complex weights  $w$  in such a way that the difference between the sum signal  $y(n)$  and the training sequence is minimized. Then, those weights are used for the reception of the actual data (13,14).

Zamansal referans metodu, hem çeşitlilik hem de ışın şekillendirme metotlarında kullanılır. Diğer yandan DOA kestirimi daima ışın şekillendirme ile birlikte kullanılır.

The temporal-reference approach can be used in conjunction with both diversity and beamforming methods, although it is more common with the former. DOA-estimation, on the other hand, is always used together with beamforming.

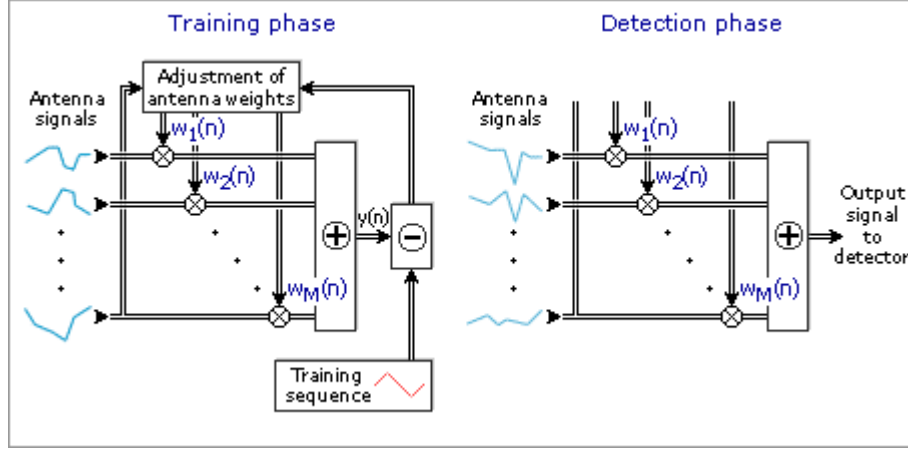


Figure 13. Deviation of array output from transmit signal is minimized  
Şekil 13. Gelen sinyalden dizi çıkışının türetilmesi ve optimizasyonu

### 3.7. Kör Algoritmalar

Bu algoritma, ne alıcı anten dizisinin özelliklerine ne de eğitim sinyal dizisine ihtiyaç duyar (15,16). Zaman etki alanında anten elemanlarında kaydedilen sinyal giriş olarak örneklendir (X dizi çıkış data matrisi gibi). Buradan yola çıkarak, algoritma bilinmeyen  $\mathbf{H}$  kanal yanıt vektörünü ve yine bilinmeyen  $\mathbf{S}$  iletim datasını tam olarak bulmaya çalışır.

Temel olarak,  $\mathbf{X}$ 'in ayrıştırılması için birçok olasılık vardır. Algoritma iletilen sinyalin yapısı hakkında ek bilgiyi kullanır. Bu ek bilgi aslında data bitleri değil iletilen sinyalin zarf, genlik karakteristiği gibi bilgilerdir ve bu yolla  $\mathbf{H}\mathbf{S}$ 'nin ayrıştırılması bize gösterir ki  $\mathbf{S}$  gerçekten sabit zarfa sahiptir. Bunun yanında modüle edilmiş sinyale ait periyodiklik, ya da sembol yapısı gibi farklı istatistiksel bazı özellikler de kullanılır.

Günümüzde bu tür algoritmalar, gerçek zamanlı kablosuz haberleşme için çok fazla hesaplama karmaşıklığı gerektirirler. Bununla beraber eğitim dizisinin de kullanımı ile gerçekleştirilen ve yarı-kör algoritmalar olarak adlandırılan sınıfta veri iletim hızı istenilen seviyeye çekilmiştir.

## 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Buraya kadar anlatılanlar kısaca önemli noktalar ile tekrarlanırsa, akıllı antenler sinyalin zayıflamasını azaltır ve buna neden olacak parazit etkisini ortadan kaldırır. Bu nedenle mevcut kablosuz haberleşme sistemlerinin kapasitelerinde bir artış sağlar. TDMA/FDMA sistemler ya uzaysal filtreleme ile yeniden kullanım faktörünü azaltır ya da aynı zaman/frekans aralığında bir hücrede birden fazla kullanıcıya servis sağlarlar. CDMA yapısı için ise SINR değerinin artışı direk olarak aynı hücre içindeki kullanıcıların sayısındaki artışı sağlamış olur.

### 3.7. Blind Algorithms

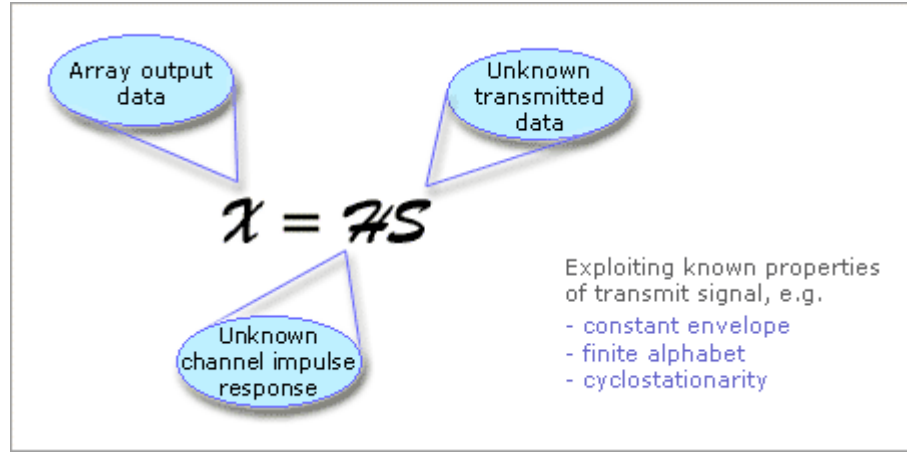
An algorithm that exploits neither a training sequence nor the properties of the receiver array is called a "blind" algorithm (15,16). Essentially, it has as its input the received signals at the antenna elements sampled in time domain, i.e. the array output data matrix  $\mathbf{X}$ . From this, the blind algorithm tries to extract the unknown channel impulse response  $\mathbf{H}$  and the unknown transmitted data  $\mathbf{S}$ .

In principle, there are many possible decompositions of  $\mathbf{X}$ . The algorithm uses additional knowledge about the structure of the transmitted signal. Even though it does not know the actual bits, the receiver knows e.g. that the transmitted signal must have a constant envelope, and thus tries to find that decomposition of  $\mathbf{H}\mathbf{S}$  where  $\mathbf{S}$  really exhibits a constant envelope. Also other statistical properties of the modulated signal, like the finite alphabet of symbols, or even cyclostationarity, can be used.

Currently, all blind algorithms require too many computations to be applied in real-time to mobile radio. But the use of training sequences in so-called semi-blind algorithms speeds up computation considerably.

## 4. RESULTS AND CONCLUSION

Summarizing, we have shown how smart antennas reduce fading and suppress interference. This in turn allows the increase in capacity of existing or future mobile communications networks. In TDMA/FDMA systems, we can either decrease the reuse factor with spatial filtering, or serve several users in one cell on the same time/frequency slot. For CDMA structures, the improvement of the SNIR directly allows the increase in the number of users in a cell.



**Figure 14** .Blind algorithms uses general properties of the transmit signal  
**Şekil 14.** İletilen sinyalin genel özelliklerini kullanan kör algoritma

Bu çalışmamızda daha sonra anahtarlanmış ışın, uzaysal işlemci yada uzay-zaman işlemcisi olarak adlandırılan farklı alıcı yapılarını inceledi.

Daha sonra ağırlık tespiti için kullanılan algoritmaları uzaysal-referans, geçici-referans ve kör algoritmalar olarak sınıflandırıldı. Bunun için ilk olarak anten dizi geometrisi hakkında bilgiyi kullanıldı. İkinci olarak eğitim dizisi kullanıldı ve son olarak da iletilen sinyalin istatistiksel ve yapısal özellikleri hakkındaki bilgi kullanıldı.

We then presented the different receiver structures, namely switched beam, spatial processing, and space-time processing.

The used algorithms for weight determination can be divided into spatial-reference, temporal reference, and blind algorithms. The first use knowledge about the geometry of the antenna array, the second use a training sequence, and the last employ knowledge about the structural and statistical properties of the transmitted signal.

## KAYNAKLAR/ REFERENCES

1. Ponnekonti, S., "An Overview of Smart Antenna Technology for Heterogeneous Networks", *IEEE Communication Surveys*, 2(4): 14-23 (1999).
2. Loadman, C., Chen, Z., Jorgensen, D. "An Overview of Adaptive Antenna Technologies for Wireless Communications", in: *Proc. on Communication Networks and Services Research Conference*, New Brunswick, Canada. (2003).
3. [www.fcc.gov](http://www.fcc.gov), "E-911 Automatic Location Identification Technical Roundtable".
4. Kim, S., W., Ha, D., S., Kim, J., H. "Performance of Smart Antennas with Adaptive Combining at Handset for the cdma2000 System", in: *Proc. on Third Generation Wireless and Beyond*, May/June, San Francisco, USA (2001).
5. Rappaport, T., S., *Wireless Communications second edition*, **Prentice Hall**, NJ, 60 (1999).
6. Kavak, A., Lim, J., D., Cleveland, J. "Forward link capacity increase with adaptive antenna arrays in 3G wireless CDMA", in: *Proc. on IEEE Vehicular Technology Conference*, October (2001).
7. Miya, K. *et al*, "CDMA/TDD Cellular Systems for the 3rd Generation Mobile Communication", in: *Proc. on IEEE VTC'97*, 820-824 (1997).
8. Godara, L., C., "Application of Antenna Arrays to Mobile Communications, Part II: Beamforming and Direction-of-Arrival Considerations", *Reprinted from Proceedings of the IEEE*, 85(8) 1195-1245 (1997).
9. Rong, Z. "Simulation of Adaptive Array Algorithms for CDMA Systems", MS. Thesis, *Virginia PI & S Univ.* (1996).
10. Kavak, A., Torlak, M., Vogel, W., J., Xu, G., "Mobile Transmit Diversity and TDD Downlink Performance for Smart Antennas in Fast Fading Scenarios", in *Proc. on IEEE Int. Symposium on Antennas and Prop.*, 2: 944-947 (2000).

11. Kang, J., Kim, S., Y., Kavak, A., Xu, G., “Improved fast algorithm for spatial signature estimation,” *in Proc. on IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 5: 3085-3088 (2000).
12. Kavak, A., “Vector Propagation Channel Studies for Smart Antenna Wireless Communication Systems,” Ph.D. dissertation, *University of Texas*, Austin (2000).
13. Karakoc, M., Yigit, H., Kavak, A., “Simulation and performance comparison of smart antenna algorithms for 3G wireless communications”, *in Proc. on CCCT 2003* (2003).
14. Kavak, A., Torlak, M., Vogel, W., J, Xu, G., “Vector Channels for Smart Antennas: Measurements, Statistical Modeling, and Directional Properties in Outdoor Environments”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*: 48(6) (2000).
15. Veen, A., V., Paulraj, A., “An Analytical Constant Modulus Algorithm” , *IEEE Trans. Of Signal Proc.*, 44(5): 1-19 (1996).
16. Larimore, M., G., Treichler, J., R., “Convergence Behavior of the Constant Modulus Algorithm,” *IEEE. Int. Conf. on Acoust. Speech and Signal Processing*, Boston, MA (1983).

Received/ Geliş Tarihi:22.05.2003.. Accepted/Kabul Tarihi: 10.05.2004