

# **KABLOSUZ MESH AĞLAR, YÖNLENDİRME METRİKLERİ VE PROTOKOLLERİ**

# İÇERİK

- Kablosuz Mesh Ağ Yapısı ve Mimarisi
- Tasarım Faktörleri
- Kablosuz Mesh Ağlarda
- Yönlendirme Metrikleri ve Algoritmaları

# KABLOSUZ MESH AĞLAR – WIRELESS MESH NETWORKS (WMNs)

## Mobil Kablosuz Ağlar

- ☐ Altyapılı Kablosuz Ağlar
- ☐ Altyapısız – Öz Organizeli Kablosuz Ağlar
- ☐ Sabit olmayan altyapı,
- ☐ Ucuz, kolay, hızlı kurulum,
- ☐ Çoklu sıçramalı iletim,
- ☐ Yüksek sayıda düğüm
- ☐ Mesh Yönlendiriciler
- ☐ Statik
- ☐ Ekstra işlem kapasitesi
- ☐ Birden fazla NIC
- ☐ Mesh Clientlar
- ☐ Dinamik

# KABLOSUZ MESH AĞLAR – WIRELESS MESH NETWORKS (WMNs)

- **Mobil Kablosuz Ağlar**

- ✓ Altyapılı Kablosuz Ağlar

Bu ağlar sabittir ve bunlar için kablolu geçitler, köprüler baz istasyonu olarak adlandırılır.

- ✓ Altyapısız – Öz Organizeli Kablosuz Ağlar

Öz organizeli ağlar, mevcut ağ altyapısına ya da merkezi sistem yönetimine ihtiyaç duymayan mobil radyo düğümlerinden oluşur. Bu ağlar, anlık bir altyapıya ihtiyaç duyulduğu durumlar için uygundur.

# Örgü Ağlar (Mesh Networks)

Geniş bölgelerde veri erişiminin kablo altyapısından bağımsız olarak sağlanması için oluşturulan kablosuz **Ad-Hoc** ağlardır.

Standart haline getirilmesi için yapılan çalışmalar, **IEEE 802.11s** araştırma grubu tarafından yürütülmektedir. Çoğu zaman sabit veya kısıtlı hareket eden kablosuz erişim yapabilen cihazlardan oluşur.

Network mimarisi, erişim noktaları ve kablosuz istemcilerden oluşur.

Sabit noktalarda konumlandırıldıkları için enerji sıkıntıları yoktur.

Ses, görüntü gibi verileri taşıyabilecek kapasitede olması gerektiğinden gecikme ve bant genişliği önemli kriterlerdir.

# Kablosuz Örgü Ağ Mimarisi

Kablosuz örgü ağlar sadece sabit ya da sadece hareketli cihazlarla oluşturulabileceği gibi sabit ve hareketli cihazların beraber kullanılması ile de oluşturulabilir. Bir kablosuz örgü bulutu içerisinde örgü yönlendiriciler ve örgü istemciler bulunmaktadır.

**Örgü yönlendiriciler** kablosuz örgü bulutu içerisinde **omurga görevi** görürler. Ayrıca bazıları farklı ağlara ya da internete geçişin yapılabilmesi için bir **geçit noktası** olarak da kullanılırlar. Örgü yönlendiriciler genelde sabit olurken, örgü istemciler hareket edebilirler. Örgü istemcilere örnek olarak; dizüstü bilgisayarlar, hücresel telefonlar ve kablosuz ağ arayüz kartına sahip olan diğer tüm cihazlar verilebilir.

# Kablosuz Mesh Ağ Mimarisi

WMN yönlendiricilerinin normal yönlendirici görevlerinin yanında, mesh yönlendirme işlemlerini desteklemek için ekstra işlem kapasitesine sahip olması gerekmektedir. Bunun için mesh yönlendiriciler birden fazla ağ arayüz kartıyla (Network Interface Card -NIC) donatılır. Mesh client ların, yönlendiriciler gibi geçit ve köprü özelliklerine sahip olması gerekmediğinden genelde tek bir kablosuz NIC'a sahiptir.

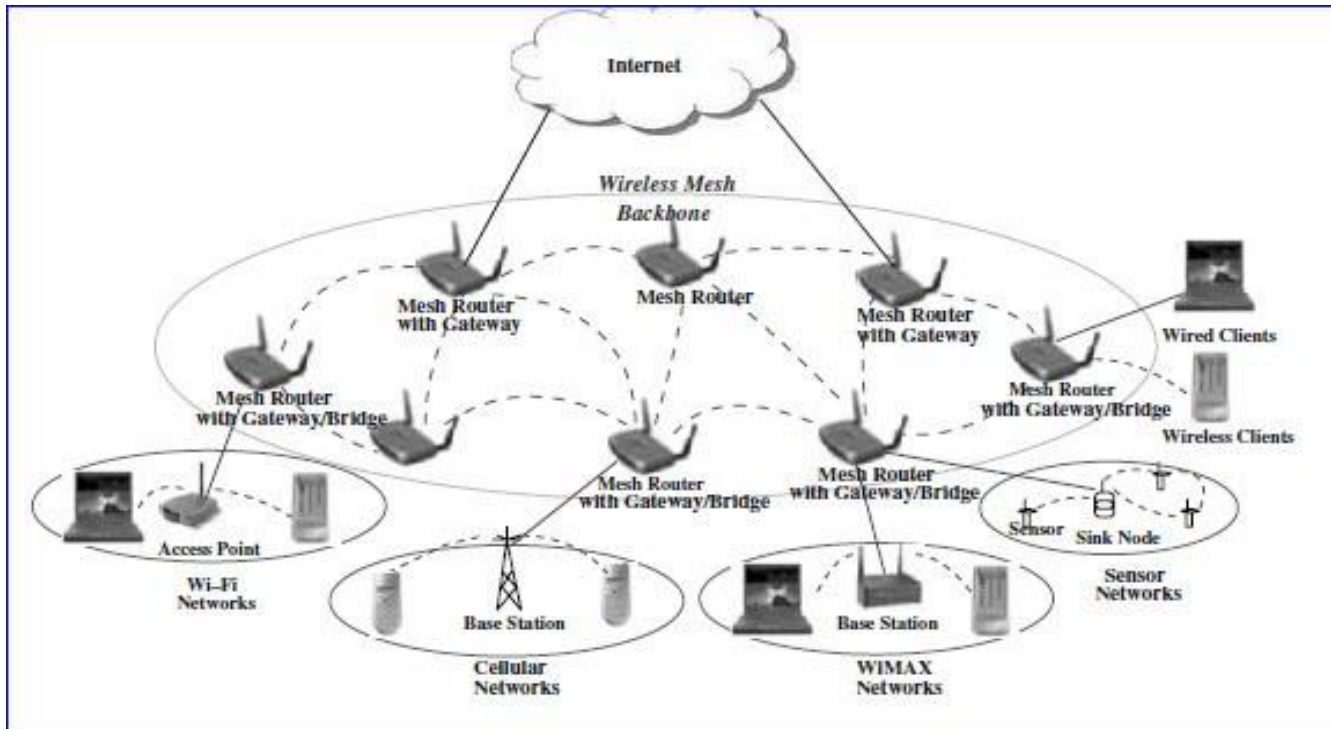
- Sabit olmayan altyapı,
- Ucuz, kolay, hızlı kurulum,
- Çoklu sıçramalı iletim,
- Yüksek sayıda düğüm

WMN'ler üç kısımda incelenebilir

# KABLOSUZ MESH AĞLAR -WMNs

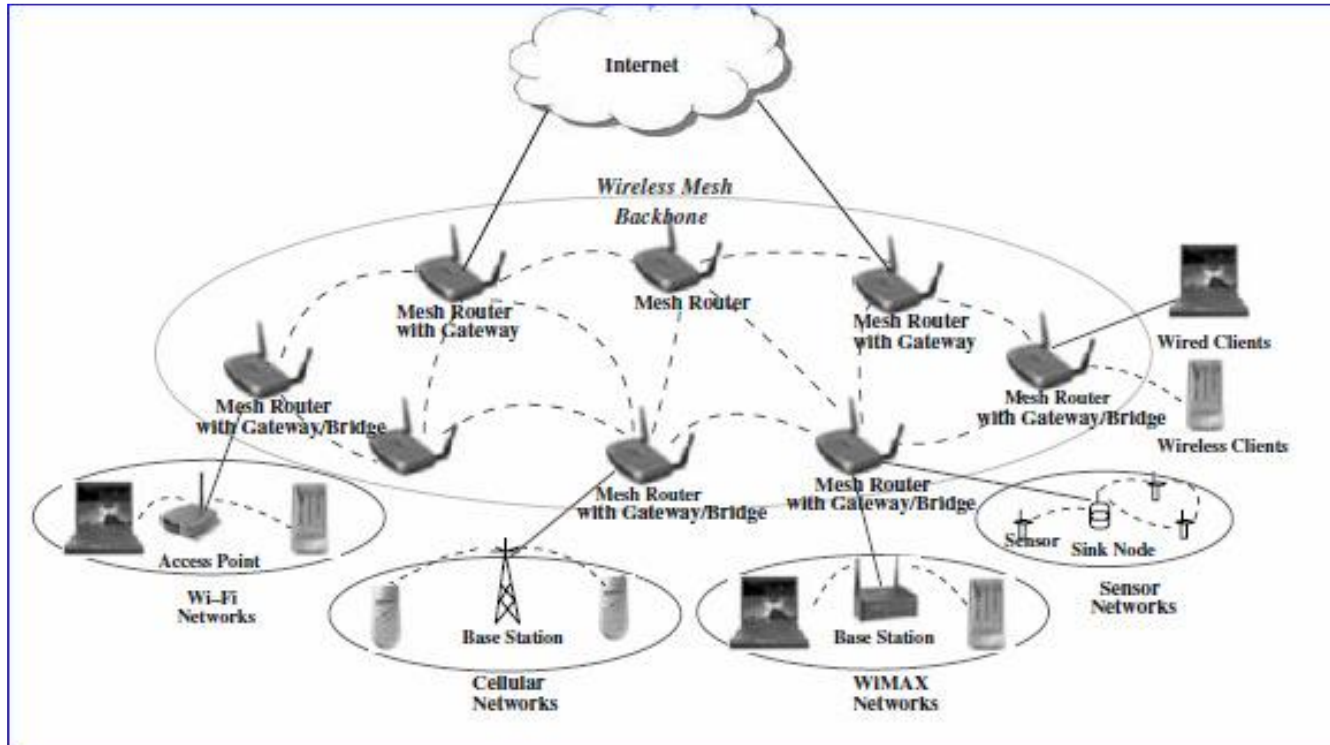
## Mimari

- ✓ Omurga – Altyapı WMNs
- ✓ İstemci WMNs
- ✓ Hibrid WMNs





1. **Altyapı/Omurga WMN'leri:** WMN Şekilde gösterildiği gibidir. Birbirine bağlı birçok istemci araçtan oluşmaktadır. Yönlendiriciler ile internet ağı ve diğer client'lar arasındaki bağlantı kablo ile (Şekilde düz çizgiyle gösterilmiştir) veya kablosuz bağlantı (Şekilde kesikli çizgi ile gösterilmiştir) kurulmaktadır. WMN omurgası çeşitli kablosuz teknolojiler arasında ağırlıklıla IEEE 802.11 teknolojisini kullanır.



2. **İstemci WMN'ler:** İstemciler arasında P2P şeklinde kurulan ağlarda bir yönlendiriciye gerek yoktur. Bu kademede en fazla veri iletişimi gerçekleştirilir. Bir paket kaynaktan çıkıp hedefe ulaşmak için ağ içindeki birden fazla istemciden sıçramalar yapar. Tüm trafik tekil düğümlerden geçirilir. Yönlendirme ve öz yapılandırma gibi özelliklere sahip olmaları gerekmektedir.

3. **Hibrit WMN'ler:** Ek bir ağ yapısı ile temel mesh ağının üzerini örterek uzun mesafe paket trafiğini kontrol eder. Altyapı ve istemcilerden oluşur. **Altyapı** kısmı mesh ağlarla internetin, WiFi ve WiMAX ağlarının iletişimini sağlarken **istemciler** de yönlendirme işlemlerini düzenlerler.

# 1. Kablosuz Omurga Örgü Ağı

Farklı ağ teknolojilerinin ve kablosuz örgü ağı içerisinde bulunan **örgü istemcilerinin birbirleri** ile iletişime geçebilmesi için **alt yapı** sunan yapıdır. **Kablosuz omurga örgü ağı içerisinde** sadece **örgü yönlendiricileri** bulunmaktadır ve bu yönlendiriciler IEEE 802.11'de kullanılan bir çok radyo teknolojisi ile donatılmıştır. Omurga örgü ağı içerisinde bulunan örgü yönlendiricilerin sahip olduğu anten, kablosuz ağ arayüz kartı gibi donanımsal parçaların miktarı örgü istemcilerde bulunanlardan fazladır. Örgü yönlendiricilerinin donanımsal olarak daha fazla parçaya ve radyo teknolojisine gereksinim duymasının sebebi, ağ içeirisindeki her bir örgü yönlendiricisinin farklı kanallar kullanarak birbirleri ile bağlantı sağlaması ve farklı ağ teknolojilerini birleştirebiliyor olmasıdır.

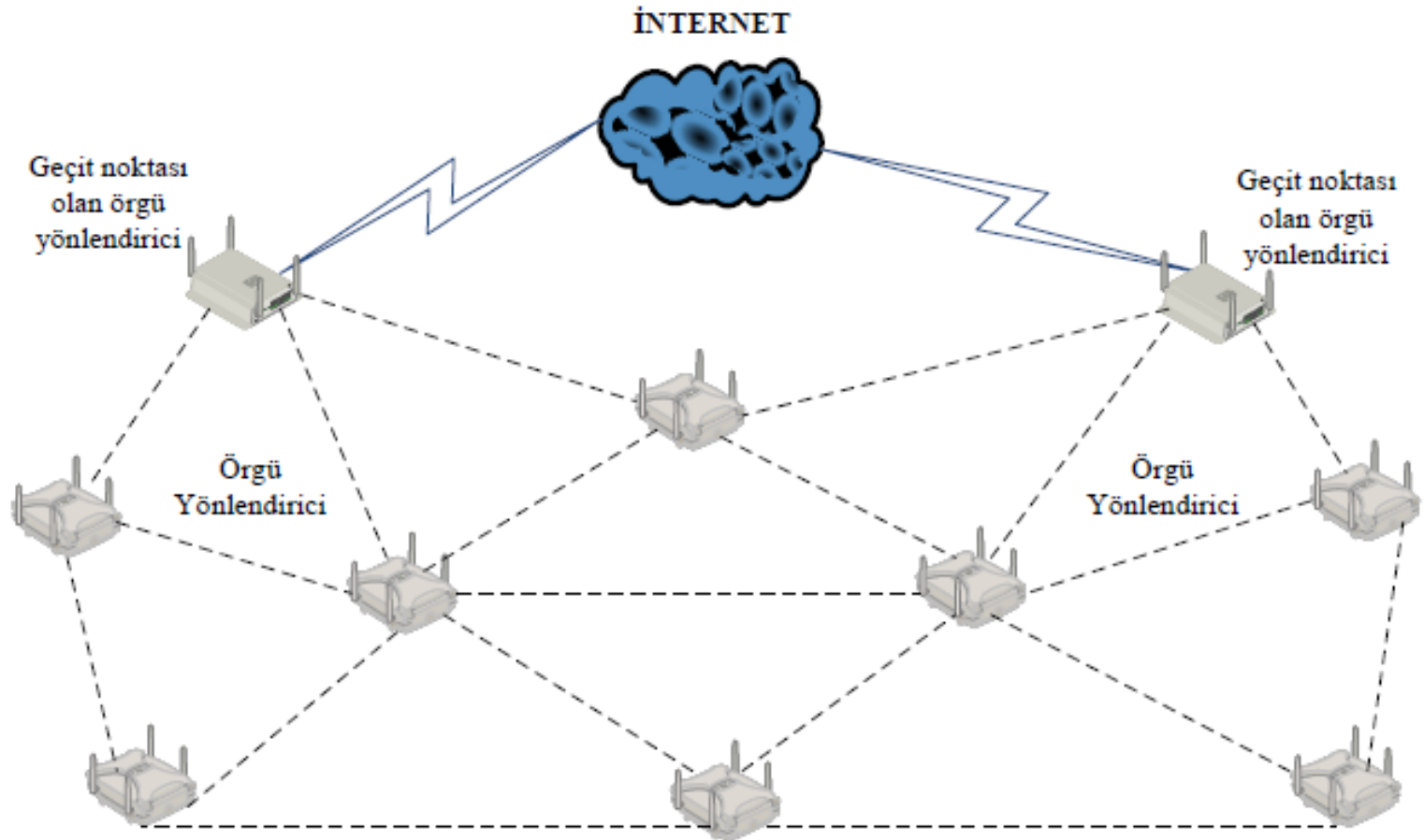
## Kablosuz Omurga Örgü Ağı

- ✓ Örgü yönlendiriciler, birbirleri arasındaki bağlantılarda meydana gelecek olan kopmaları anlayabilecek yeteneğe sahiptir.
- ✓ Geleneksel örgü mimarisinden gelen yedeklilik sayesinde sağlam olan bağlantı ile bir aksama yaşanmadan iletişime devam edilebilir.
- ✓ Omurga örgü ağı içerisinde bulunan geçit noktaları ile internet ya da mevcut olan farklı ağlara bağlantı sağlanır. Eğer bir örgü yönlendiricisi üzerinde kablolu ağ arayüz kartı mevcutsa, geleneksel kablolu kullanıcılar bu kart sayesinde kablosuz örgü ağına dahil olur. Bu açıdan bakıldığı zaman, kablosuz örgü ağı içerisinde en fazla donanıma sahip olan cihaz geçit noktası olarak da görev yapan örgü yönlendiricileridir.

# Kablosuz Omurga Örgü Ağı

**Omurga örgü ağı**, en çok kullanılan kablosuz örgü ağı tipidir. Örneğin, bir **mahalleyi kapsayacak** kablosuz ağ iletişimi omurga örgü ağ mimarisi kullanılarak yapılabilir. Bir mahalledeki evlerin çatılarına örgü yönlendiricileri yerleştirilirse, ilgili mahalledeki tüm kablosuz kullanıcılara erişim noktası gibi hizmet vermesi sağlanabilir. Bu noktada, omurga örgü ağında bulunan örgü yönlendiricilerin birbirleri ile iletişimi yönlü antenler kullanılarak sağlanabilir. Böylece, mahallenin kapsama alanı içerisinde bulunan kişilere internet hizmeti sunulabilir.

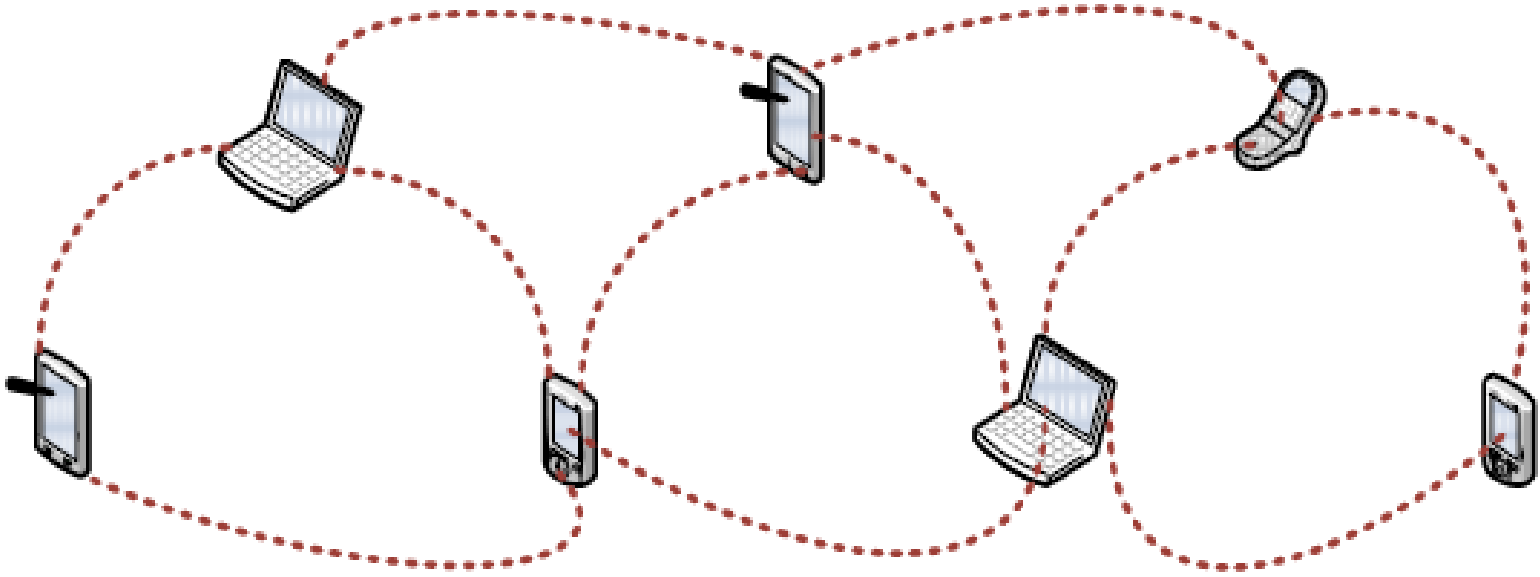
# Kablosuz Omurga Örgü Ağı



## 2. Kablosuz İstemci Örgü Ağı

- Örgü istemci ağı içerisinde örgü yönlendiricilerinin bulunmasına gerek yoktur, örgü ağlar içerisindeki cihazlar **genelde tek bir radyo teknolojisine** sahip olmakla beraber, üzerlerinde tek bir kablosuz ağ arayüz kartı bulundururlar.
- Bu istemciler kullanıcılara son kullanıcı uygulamalarını kullanabilme imkanı sağlamakla birlikte, yönlendirici olarak başka istemcilerin paketlerini de kendi üzerinden gönderebilme imkanı sunar. Bu sayede, bir istemcinin paketi diğer istemciler üzerinden sıçrayarak hedefine ulaşmış olur.
- Böylece, örgü istemciler hem istemci hem de yönlendirici görevi görmüş olur. Bu açıdan bakıldığında, istemci örgü ağı bir **ad-hoc** ağ gibi işlev görür ve ağ mimarisi olarak benzerdir. Bundan dolayı, ad-hoc ağlar için kullanılan yönlendirme protokolleri istemci örgü ağlar için kullanılabilir. İstemci örgü ağlar ile ad-hoc ağlar arasında mimari açıdan en belirgin fark, **istemci örgü ağının ad-hoc ağlardan daha fazla yedek bağlantı sunmasıdır**. Fakat, istemci örgü ağının sağladığı bu avantaj **ölçeklenebilirlik sorununu** da beraberinde getirmektedir.

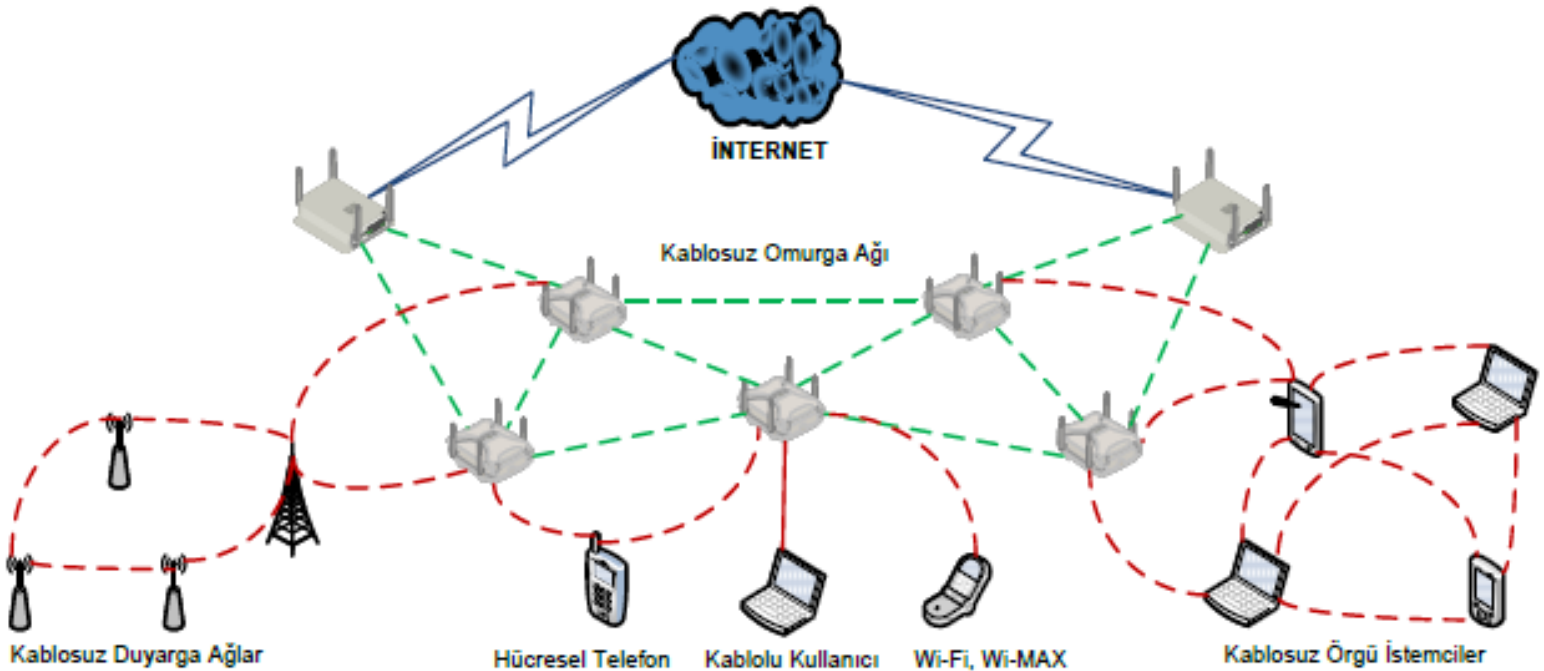
# Kablosuz İstemci Örgü Ağı





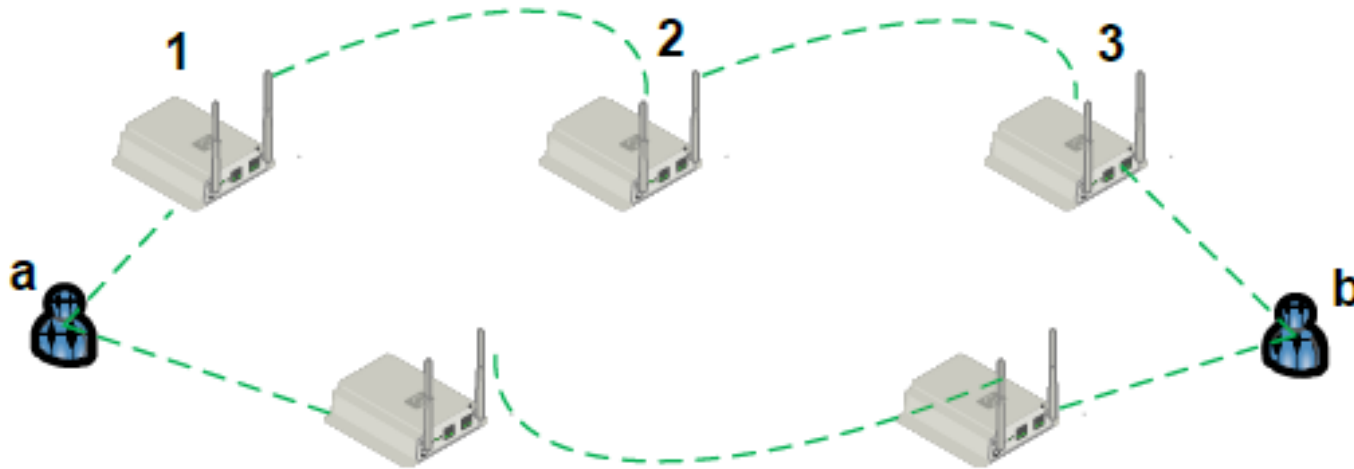
### 3. Kablosuz Melez Örgü Ağı

Yönlendirici örgü ağı ile istemci örgü ağının birleştirilmesi ile oluşturulan ağ yapısıdır. Örgü istemciler doğrudan örgü yönlendiricisine bağlanabileceği gibi, başka bir örgü istemcisi üzerinden de ağı dahil olabilirler. Gelecek nesil kablosuz ağ teknolojisinin melez örgü ağı mimarisi şeklinde olacağı düşünülmektedir.



# Kablosuz Melez Örgü Ağına bir Örnek

- Bir şehrin belli noktalarına internet servis sağlayıcıları kendi merkezlerini kurduğunu ve bu merkezlerin herbirine geçit yolu olarak bir örgü yönlendirici yerleştirilerek bir omurga örgü ağı oluşturulabilir. Bu sayede, şehirdeki tüm kullanıcılar en yakın olan örgü yönlendiricisi vasıtası ile ağı dahil olur ve internete diğer örgü yönlendiricilerden sıçrama yaparak internet servis sağlayıcının geçit yoluna gelerek internete erişimi sağlanmış olacaktır.



*Çoklu Sıçrama (Multi-hop) Yapısı*

# Kablosuz Mesh Ağların Karakteristik Özellikleri

- Özellikle merkezi kablosuz ağlardaki görüş hattı (LoS - Line of Sight) problemini çözmek için, birden fazla düğüm üzerinden paketleri göndererek kayıp oranı minimuma indirilebilir.
- Ağa sonradan ek ya da çıkartma yapılabilir.
- WMN'ler P2P network özelliği taşıırken, farklı ağ ortamları ve teknolojilerine kolaylıkla erişim sağlayabilir.
- Enerji tüketiminde, hâlihazırda geçerli olan protokoller gibi kısıtlamalara sahip değildir.
- Var olan kablosuz ağ teknolojileriyle uyumludur.
- Fonksiyonelliğin sağlanması ve taşınması mesh ile sağlanır. Bu yönlendirme, güvenlik, yönetim ve güç denetimlerini de içerir.
- Düğümler hareketlerinde özgürdürler, çok dinamik bir yapıya sahiptir.
- Hareketliliği desteklemek için kablosuz operasyon gereklidir, bunu sağlamak için sinyaller veya optik donanım kullanılabilir.
- Tüm düğümlerin bir yönlendirme protokolüne katılması gerekir.

## Temel Karakteristik Özellikleri

- **Çok sıçramalı** kablosuz ağ teknolojisi sunar. Kablosuz ağın **kapsama alanı daha az maliyet** ile genişletilebilir.
- Farklı birçok ağ teknolojisi ile birlikte çalışabilirken, aynı zamanda **kendi aralarında bir alt yapı** gereksinimi olmadan P2P bağlantı sağlar.
- Mevcut bulunan bir ağa hiç bir gereksinim olmadan **sonradan ekleme ya da çıkartma** yapılabilir.
- Enerji kısıtlaması gibi bir sorun yoktur.
- Çok sayıda **yedek bağlantı imkanı** sunduğu için güvenilirlik seviyesi oldukça yüksektir.

# KABLOSUZ MESH AĞLAR –WMNs

## Tasarım Faktörleri

- Sinyal iletim teknikleri
- Ölçeklenebilirlik
  - ✓ CDMA/TDMA/ CSMA-CA
- Protokol tasarımı
- Servis Kalitesi
- Güvenlik

Application
Transport
Routing
MAC
PHY

[https://documentation.meraki.com/MR/Wi-Fi\\_Basics\\_and\\_Best\\_Practices/Wireless\\_Mesh\\_Networking](https://documentation.meraki.com/MR/Wi-Fi_Basics_and_Best_Practices/Wireless_Mesh_Networking)

# Mesh teknolojileri Tasarım Faktörleri

İnternet teknolojisi mantıksal bir şekilde düzenlenmiş katmanlardan oluşmuştur. Her katman verilerin doğru bir şekilde iletilebilmesi ve iletişimin düzgün bir şekilde yapılabilmesi için belirli özelliklere sahiptir. Bu katmanları bir yığın yapısı olarak düşünülürse model şeklindeki gibi olacaktır.

Application
Transport
Routing
MAC
PHY

Bir ağ tasarımı ve uygulamasında WMN'ler için önemli olan performans faktörleri şunlardır:

- **Sinyal iletim teknikleri:** İletim teknolojileri geliştikçe kablosuz iletişim alanında da büyük değişimler yaşanmaktadır. Sinyal iletim tekniklerinin yeni protokoller üretildikçe devrimsel çıkışlar yapması gerekmektedir.
- **Ölçeklenebilirlik:** Çoklu sıçramalı ağlarda, iletişim protokolleri ölçeklendirmede problem yaşamaktadır. Ağ boyutu arttıkça performans ciddi anlamda düşmektedir. Bunun ana nedeni ağın boyutunun artmasıyla uçtan uca güvenilirliğin düşmesidir. Ölçeklenebilirliği arttırmak için TDMA ve CDMA ile CSMA-CA karışımı hibrid bir yapı kullanılır.

# WMN'lerin Güçlü ve Zayıf Tarafları

Mesh teknolojisinin en büyük avantajı altyapıya bağlı olmadan çalışabilmesidir. Düşük maliyet, kolay ağ bakımı, sağlamlık, güvenilir servis alanı gibi avantajları var olan teknolojiler arasından sıyrılmasına olanak tanımaktadır.

Mesh ağların özetle avantajları:

- Düşük seviyedeki kullanıcı yoğunluğunda bile yüksek kapsama alanı.
- Mükemmel spectral verim ve kapasite.
- Baz istasyonuna ihtiyaç duyulmaması ve bu nedenle düşük maliyet.
- Düşük seviyede parazit ile sistem performansında görülen artış.
- Servis alımında kompleks esneklik.
- Anten noktalamasının otomatik olarak gerçekleştirilebilmesi.
- Azaltılmış kurulum zamanı.

Mesh ağlarda çok sayıda düğümün bulunması bu ağlardaki kompleksiteyi arttırdığı gibi, bu sistemleri **güvenlik, ölçeklenebilirlik, yönetilebilirlik** gibi konularda da tehditlerin hedefi haline getirmektedir.

# KABLOSUZ MESH AĞLAR –WMNs

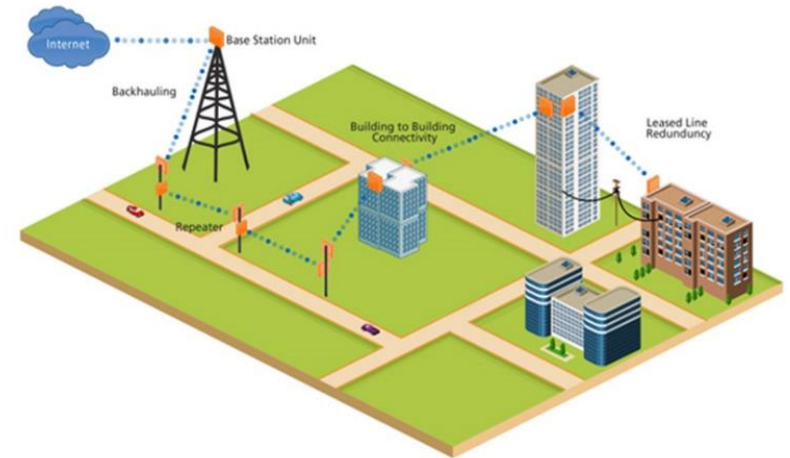
## Kablosuz Mesh Ağ Uygulamaları

- Hücresel ya da WLAN çok sıçramalı bölge
- Topluluk ağı
- Ev ya da ofis kapalı ağı
- Araçlar arası ad-hoc ağlar (Vehicular ad hoc Networks-Vanets)
- Kablosuz Algılayıcı Ağları (Wireless Sensor NetworksWSNs)

### Backhaul (Ana Taşıyıcı) Ne İşe Yarar?

Kablosuz ağlarda baz istasyonu ile merkezi ağ arasındaki bağlantıdır

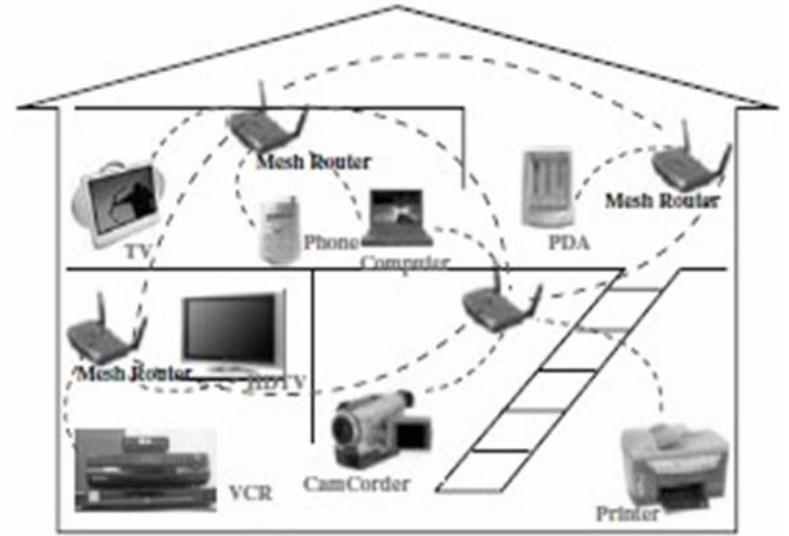
Tipik bir ana taşıyıcı kablolu yüksek hızlı veri bağlantıdır (T1 hattı gibi). Ancak WiMAX ya da P2P microwawe kullanarak kablosuz olarak da sağlanabilirler.



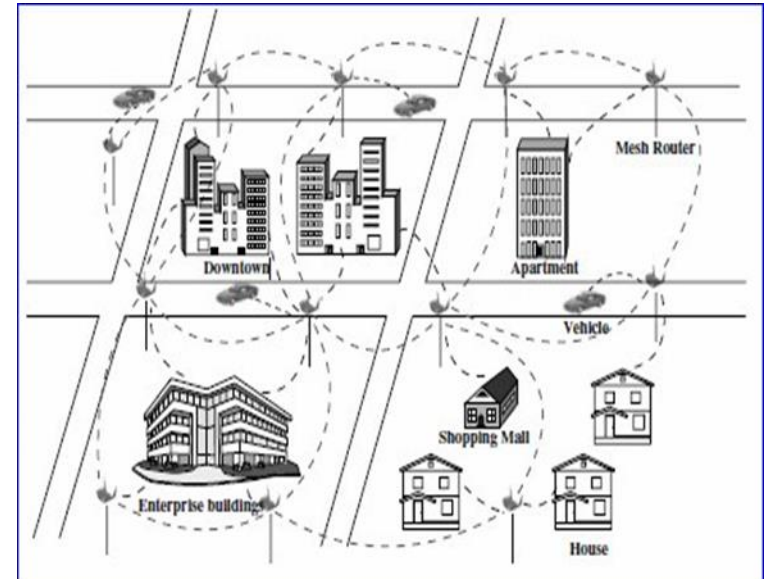


# Kablosuz Mesh Ağ Uygulamaları

Çok yönlülüğünden dolayı birden çok uygulamanın ihtiyaçlarını karşılayabilir. Kablosuz ağ uygulamaları mevcut haliyle evlerde birçok “ölü noktalara” sahiptir. WMN ile kurulan bir geniş bant ev ağında ise kapsamı alanı arttırmak için fazladan fiziksel donanıma gerek kalmadan sadece mesh yönlendiricinin yeri değiştirilerek veya sinyal gücü artırılarak kapsam da genişletilebilir. WMN’ler yük dengeleme sağladığı için idealdir.



Aynı şekilde bir mesh yönlendiriciler zinciriyle birden fazla evi bir mahalleyi, hatta bir şehri kapsayacak şekilde mesh yönlendiriciler konumlandırılabilir. Özellikle maliyet açısından kablo ve mevcut IEEE.802.11 Kablosuz LAN yönlendiricileri ile kurulmaya çalışacak bu kapsamda bir ağın maliyeti, WMN'lere göre çok daha yüksek ve verimsiz olacaktır.



# WMN'lerde Yönlendirme

- Ağ topolojisindeki ve servislerindeki değişiklikleri saptamak ve cevap vermek,
- Bu bilgiyi yönlendirme çalışması için etrafa yaymak,
- Mobilite yönetimini sağlamak,
- Yolların bakımı ve seçimi,
- Seçilen yollara bağlı olarak trafiği iletmek,
- Ağın kapasitesini maksimize etmek,
- Paketlerden alınan gecikmeyi minimuma düşürmek.

# Kablosuz Örgü Ağlar için Yönlendirme Protokolleri

Kablosuz örgü ağlar için kullanılabilecek yönlendirme protokolleri farklı kriterlere göre birçok gruba ayrılabilir. Bu sınıflandırmada kesin sınırlar yoktur. Bir yönlendirme protokolü birçok gurubun altına düşebilir. Genellikle, bu protokoller 4 guruba ayrılır.

- Ad-Hoc Tabanlı Yönlendirme Protokolleri
- Kontrollü Taşma Yönlendirme Protokolleri
- Trafik Farkındalıklı Yönlendirme Protokolleri
- Fırsatçı Yönlendirme Protokolleri

# Yönlendirme Protokolleri

Ad-hoc yönlendirme protokolleri genellikle proaktif, reaktif ya da hibrittir.

- **Proaktif** strateji, kablolu ağlardaki klasik yönlendirme gibi çalışır. Yönlendiriciler, ağdaki herhangi bir hedefe giden en az bir yolu tutarlar.
- **Reaktif protokoller**, bir hedefe giden bir yolu ancak o düğümün gönderecek bir paketi varsa tutarlar.

Bir çok WMN yönlendirme protokolü benzer stratejileri kullanır. Fakat, WMN'lerin özelliklerine uyarlanmıştır.

# 1. Ad-Hoc Tabanlı Yönlendirme Protokolleri

- Kablosuz örgü ağlar, hareketli ad-hoc ağların bir türevi olarak kabul edildiğinden dolayı bu ağlar için geliştirilen yönlendirme protokolleri kablosuz örgü ağlar içinde kullanılabilir. Bu sınıflama yapılırken göz önünde bulundurulan temel kavram protokollerin üzerinde barındırdıkları **yönlendirme tablosunu güncelleme şekline** dayanır. Bu kavrama dayanarak yapılan sınıflama kendi içinde üç ana başlığa ayrılır.
  - Yönlendirme tablosunu periyodik olarak yenileyen yönlendirme protokolleri
  - İstek üzerine hedef rotayı bulan yönlendirme protokolleri
  - Karma yönlendirme protokolleri

# Ad-Hoc Tabanlı WMN Yönlendirme Protokolleri

Bu protokoller link kalitesi değişimlerine ayak uydurabilmek için ad-hoc yönlendirme protokollerine uyarlanmıştır.

**Link kalitesi kaynak yönlendirme protokolü** (Link Quality Source Routing - LQSR), link-konum proaktif yönlendirme ile adhoc'lardaki reaktif stratejiyi birleştirir. LQSR, en kısa yolları hesaplamak için ağın tamamı hakkındaki bilgiyi kullanır.

**SrcRR**, reaktif protokolüne benzeyen, çapraz linklerin yönlendirme bilgilerini güncellemek için sadece bir keşif prosedürü kullanır. Fakat, yolları hesaplamak için ağın bütün bilgisini kullanmaz.

**Çoklu radyo LQSR (MR-LQSR)**, LQSR'ı çoklu kanallar ve ara yüzler üzerinden, ***Weight Cumulative Expected Transmission Time (WCETT)*** yönlendirme protokolü ölçütünü kullanarak çalışabilmesi için uyarlanmıştır.

*İnceleyiniz*

<https://pdos.csail.mit.edu/archive/rtm/srcrr-draft.pdf>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11235-011-9493-5>

<http://ieeexplore.ieee.org/document/7280983/?reload=true>

## 2. Kontrollü Taşma WMN Yönlendirme Protokolleri

- ✓ Merkezi isteğe bağlı link durum Protokolü (Localized On Demand Link State - LOLS)
  - Uzun-kısa süreli masraf
- ✓ Mobil Mesh Yönlendirme Protokolü (Mobile Mesh Routing Protocol MMRP)
  - Open shortest path
- ✓ Optimize edilmiş link durum yönlendirme Protokolü (Optimized Link State Routing OLSR)

Bir ağda bulunan düğümler arasındaki rotaların bulunması için yapılan her işlem ve oluşturulan her paket ağa fazladan yük getirmektedir.

**Ağın ölçeklenebilirliği** açısından düşünüldüğünde fazladan yük getiren her kontrol paketi ağın ölçeklenebilmesini zorlaştırmakta ve verimsiz hala gelmesine neden olmaktadır. Kontrollü taşma protokolleri ağın topolojisini oluşturmak için düğümler tarafından kullanılan her türlü **paketin getirdiği yükü azaltabilmek için tasarlanmıştır.**

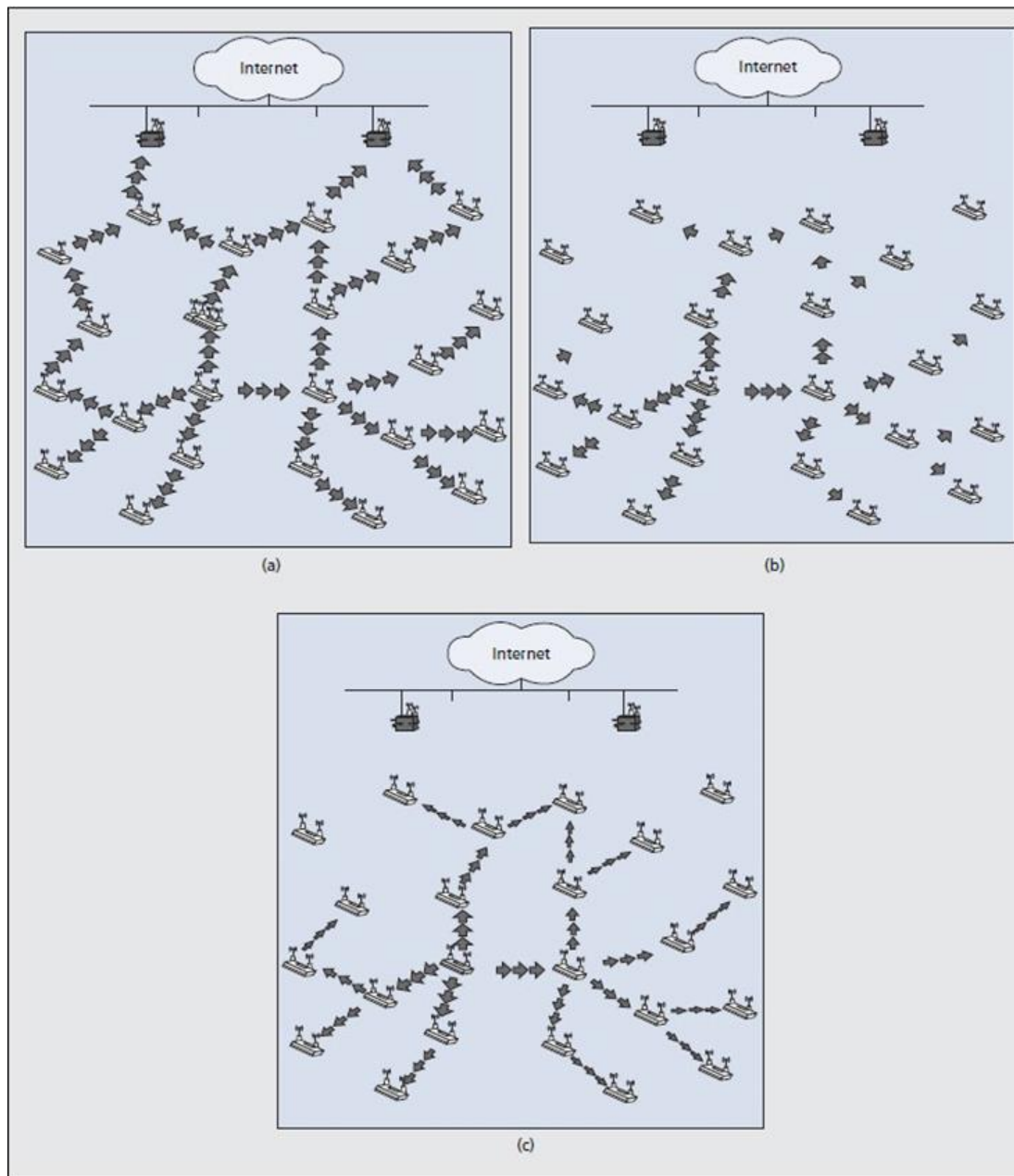


Kontrollü Taşıma WMN Yönlendirme Protokolleri, kontrol masrafını azaltmak amacıyla tasarlanmıştır.

- ✓ Klasik taşımayla karşılaştırıldığında, yönlendirme masrafını azaltacak 2 temel yaklaşım ortaya konulmuştur.
- ✓ Zamansal taşmada frekans (Şekil b), kaynak yönlendiriciye olan uzaklığa göre belirlenmiştir.
- ✓ Diğer taraftan uzamsal taşımayı kullanarak (Şekil c), uzak düğümler kaynaktan daha az kesin ve detaylı bilgileri alırlar. Komşu düğümlere gönderildiği sıklıkta uzak düğümlere paket gönderilmesi gerekmez. Merkezi isteğe bağlı link durum (LOLS), linklere bir uzun süreli bir de kısa süreli masraf etmektedir.

***Mobil Mesh Yönlendirme Protokolü (MMRP)***, yönlendirme protokollerine, open shortest path first (OSPF) protokolünün yaptığı gibi bir yaş ataması yapar. Ne zaman bir düğüm bir yönlendirme mesajı gönderse, mesajı iletmek için gerekli olan zamanı yaşından çıkartır.

***Optimize edilmiş link durum yönlendirme (OLSR)***, kontrollü taşıma protokolünün bir başka örneğidir. Her düğüm ayırıcı düğümlerden alınan yönlendirme bilgisini iletmekle sorumlu düğümlerin bir birleşimi olan kendi Multipoint Relays (MPR)'larını seçerler.



Kontrollü Tasma Biçimleri (a) Klasik tasma, (b) Zamansal tasma, (c) Uzamsal tasma

### 3. Trafik Farkındalıklı Yönlendirme Protokolleri

- Kablosuz örgü ağ topolojisinde düğümler arasındaki bağlantılar üzerinde **akan paket miktarı** farklılık göstermektedir. Ayrıca, ağdan akan her paketin önemi farklı olmaktadır. Ağdaki gecikmeye daha hassas olan paketlerin olması bu paketlere öncelik verilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu sınıftaki protokoller bu farkındalığı anlamaya yönelik yetenekleri olan protokollerdir.
  - Trafik farkındalık ya da ağaç tabanlı protokoller, WMN'lerin genel trafik matrisini dikkate alır. Ad-hoc on demand distance vector-spanning tree (AODV-ST), AODV'yi ad-hoc ağlardan adapte eder. AODV-ST'de, geçit periyodik olarak ağdaki her düğümden yönlendirme tablosunu güncellemek için mevcut yol bilgisini ister.
- ✓ Trafik Farkındalıklı WMN Yönlendirme Protokolleri
- Ad-hoc on demand distance vector-spanning tree (AODV-ST)
    - Her düğümden mevcut yol bilgisini alır.
  - Raniwala ve Chiueh kablolu ağlarda kullanılan yayılım ağacına dayanan bir yönlendirme algoritması önermişlerdir. Yol korunumu isteklerin giriş ve çıkışıyla yapılır.

## 4. Fırsatçı Yönlendirme Protokolleri

Bu sınıfa giren protokoller gönderecekleri paketin **en azından bir sonraki düğüme** gönderilmesini garanti ederler.

Ortam erişim kontrolü ve yönlendirme protokolünün birleştirilmesi ile oluşturulur. Ağdaki yönlendirme işlemini yapacak olan düğüm yayılma paketlerini yığın halinde bir önceki yol hesaplamalarını içermeyecek şekilde gönderirler.

Bir iletimin duyulması için sadece bir ara düğüme ihtiyaç olduğundan, yayılma veri paketlerinin güvenilirliğini arttırır.

Bu sınıftaki protokollerde genel yaklaşım; uzun süreli yolların hesaplanmasıdır ve bu yolların kullanılması sırasında **fırsatçı bir şekilde kısa süreli daha uygun olan yolları kullanabilmek** için sürenin uzatılması yada kısaltılmasıdır.

# Fırsatçı WMN Yönlendirme Protokolleri

Fırsatçı protokoller, işbirlikçi çeşitlilik şemalarına dayanan yönlendirmeyi geliştirir. Bu protokoller, verinin daima en azından bir sıçrayışın olduğu yere iletilmesini garanti eder. Yayılma veri paketleri güvenilirliği arttırır, çünkü bir iletim için sadece bir ara yönlendiriciye ihtiyaç vardır.

**Dirençli Fırsatçı Mesh Yönlendirme Protokolü** (Resilient Opportunistic Mesh Routing Protocol - ROMER) uzun süreli en kısa yol ile anında fırsatçı iletimli minimum gecikme yollarını, dayanıklı yollar sağlamak ve ortam kalitesinde kısa süreli varyasyonların üstesinden gelmek için birleştirir. ROMER, uzun süreli yolları hesaplar ve bunları çalışma anında, fırsatçı bir şekilde kısa süreli daha yüksek kalitede linklerden faydalanmak için uzatır ya da kısaltır. ROMER ortam değişimlerine daha hızlı uyabilmek için paket temelinde iletim yapar.

## ✓ *Fırsatçı WMN Yönlendirme Protokolleri*

- *ExOR Protokolü*
  - *Veri paketleri yığınlar halinde iletilir.*
- *Dirençli Fırsatçı Mesh Yönlendirme Protokolü (Resilient Opportunistic Mesh Routing Protocol - ROMER)*
  - *Uzun süreli yolları çalışma anında hesaplar ve bunları daha kısa süreli yolları kullanmak için uzatır ya da kısaltır.*

# Kablosuz Yönlendirme Algoritmaları

## Tablo Tabanlı

- DSDV
- OLSR
- CGSR
- WRP
- LQSR\*
- MMRP
- LCA
- WAR
- DFR
- DBF
- AWDS
- IARP
- Guesswork
- HSR
- TERP

## İstek Tabanlı

- AODV
- DSR
- TORA\*
- ABR (SSR)
- LMR
- SecRR\*
- LBCR\*
- IALBR\*

## Coğrafi

- LAR\*
- DREAM\*
- OLSR
- GEDIR\*
- BOR
- GPSAL\*
- GLS (Gaidy)\*
- ZHLS
- GPSR\*
- SFT
- SLURP
- GPGFACE\*
- GRLI\*
- ALARM
- BVGF\*
- GDSTR\*
- LBCR\*

## Çoklu-Yol

- MPR-E
- ACMDV
- SMR
- MPDSR
- MDR
- DYMO
- ROAM
- MP-DSR
- OMR

## Geocast

- LBM\*
- GeoORID\*
- GeoTORA\*
- MOBICAST\*
- Abiding Geocast/  
Stored Geocast

## Hiyerarşik

- CBRP
- DDR
- CEDAR
- DART\*
- FSR
- GSR
- HSR
- LANMAR
- ATR\*

## Enerji-bilinçli

- ISAIAH\*
- PARC\*
- EADSR
- PAMAS\*
- DSRPA\*

## Akış-Yönelimli

- GB
- IERP
- LBR
- LMR
- LQSR\*
- LUNAR
- MPRDV
- Quasar
- RDMAR
- SecRR\*
- SSR
- PLBR

## Melez

- HARP
- HRPLS
- HSLS
- OORP
- TORA\*
- ZRP\*

## KÖA

- DSDV
- AODV
- BATMAN
- DSR
- OLSR
- OORP
- TORA\*
- HSLS
- LBRMN\*
- IALBR\*

## Çoklu-gönderim

- ABAM
- ACMR
- AMRIS
- AMRoute
- AQM
- BEMRP
- CAMP
- CEMI
- DCMF
- DDM
- ExOR
- FQMP
- LAM
- MACDV
- MOLSR

# KABLOSUZ MESH AĞLAR –WMNs

## Yönlendirme Metrikleri

1. Sıçrama Sayısı (Hop Count)
2. Bloklama Metriği (Blocking Metric)
3. Beklenen İletim Sayısı (Expected Transmission Count - ETX)
4. Beklenen İletim Zamanı (Expected Transmission Time ETT)
5. Modifiye edilmiş Beklenen İletim Sayısı (Modified Expected Transmission Count - mETX)
6. Ağ Tahsis Vektör Sayısı (Network Allocation Vector Count -NAVC)
7. Arayüz ve Kanal Anahtarlama Metriği (Metric of Interface and Channel Switching - MIC)

# Yönlendirme Metrikleri

Radyo kaynaklarının verimli bir şekilde paylaştırılabilmesi için, kablosuz mesh ağlara yönelik birçok yönlendirme metriği dizaynı yapılmıştır. Bu metrikler arasındaki performans farklılıklarını ölçmeye yönelik çalışmalar yapılmışsa da tam olarak ifade edebilen bir çalışma gerçekleştirilmemiştir.

WMN'ler yüksek servis alanı sağlarken, ucuz kuruluma da olanak tanımaktadır. Mevcut kurulumlar, WMN'lerin yüksek potansiyellerini ve ticari değerlerini ortaya koymuştur. Buna rağmen müşterilerin servis kalitesinin kesinlikle sağlanması için ortaya koydukları artan isteklerini karşılamak için yeterli kaynak yönetimi ve servis sağlama mekanizmaları geliştirilmelidir.



- **Sıçrama Sayısı (Hop Count)**

Sıçrama sayısı, kablosuz çoklu sıçramalı ağlarda en çok kullanılan metriktir. Seçilen yol bir kaynakla hedef arasındaki link sayısından minimize edilmiş olanıdır. Bu metrik, ad-hoc ağlarda uygulaması kolay olduğundan oldukça popülerdir, diğer taraftan belirli kablosuz ortamlarda başarısız olabilir ve tıkanmayı göz önüne almaz.

- **Bloklama Metriği (Blocking Metric)**

Bu teknik, basit olması, komşuların sayı bilgisini korumaktan başka ek bir masraf getirmemesi gibi avantajlara sahiptir. Ama, link kapasitesi ya da trafik akışını göz önüne alan hiçbir karakteristiği ortaya koymamakta ve sadece yüzeysel bir şekilde parazit konusu üzerinde durmaktadır.

# Kablosuz Örgü Ağlarda Kullanılan Metrikler

- En az sıçrama sayısı metriği
- Beklenen İletim Sayısı (ETX) ve
- Beklenen İletim Zamanı (ETT) metriği
- Çoklu kanal atama
- Tek radyo çoklu kanal atama
- Çoklu kanal tek radyo atama problemleri

## En az Sıçrama Sayısı Metriği

Kablolu veya kablosuz tüm ağlarda genel olarak rota kalitesi belirleme ölçütü olarak kabul edilen bir metriktir.

- ✓ Bir rotanın kalitesi bu metriğe göre değerlendirilirken, ilgili rota üzerindeki kaynak ile hedef arasında bulunan düğümlerin sayısı göz önünde bulundurulur.
- ✓ Daha az düğüm geçilerek hedefe ulaşılan rota daha iyi rota olarak değerlendirilir. Bu metriğin en büyük dezavantajı rotanın bantgenişliği bilgisini rotayı değerlendirirken dikkate almamasıdır.

## Beklenen iletim Sayısı (Expected Transmission Count - ETX)

ETX, bir paketin kablosuz bir link üzerinden başarılı bir şekilde teslim edilmesi için gereken iletimlerin sayısıdır. Bir yolun ETX'i yol boyunca yer alan her linkin ETX'lerinin toplamıdır.

ETX, artan self-parazit yüzünden, daha uzun yollar daha düşük yük miktarına sahip oldukları için, yolları daha yüksek yük ve daha az sayıda sıçrama ile destekler.

Bunun yanında, bu metrik, iletim seviyeleri arasındaki farkı göz önünde bulundurmaz. Kontrol paketlerinin iletim seviyesi genellikle düşük olduğundan, bir linkin gerçekten ne kadar meşgul olduğu ile ilgili sağlam bilgi vermez. Ayrıca, verimli link paylaşımıyla ilgili de bir bilgi vermez.

## Beklenen iletim Zamanı (Expected Transmission Time - ETT)

ETT, ETX'deki hesaplamaya bandwidth'in de dahil edilmesiyle yapılmış bir geliştirmedir. ETX'le benzer şekilde, bir yolun beklenen iletim zamanı, yol boyunca tüm linklerin ETT'lerinin toplamına eşittir.

Daha sonra ortaya atılan ağırlıklı birikimli ETT (weighted cumulative ETT - WCETT), çeşitli kanallı yolları dikkate almak için dizayn edilmiştir.

Yine de bu metrik hala efektif link paylaşımını hesaplamadığı için ETX/ETT gibi aynı kısıtlamalardan etkilenir ve inter-flow paraziti tam olarak yakalamaz.

## ETT Metriği

ETT, ETX'in bant genişliğine göre uyarlanmış halidir ve bir paketin iletimi için harcanan zamanı gösterir. ETT hesaplanması için:

$$ETT = ETX * L / R \quad \text{kullanılır.}$$

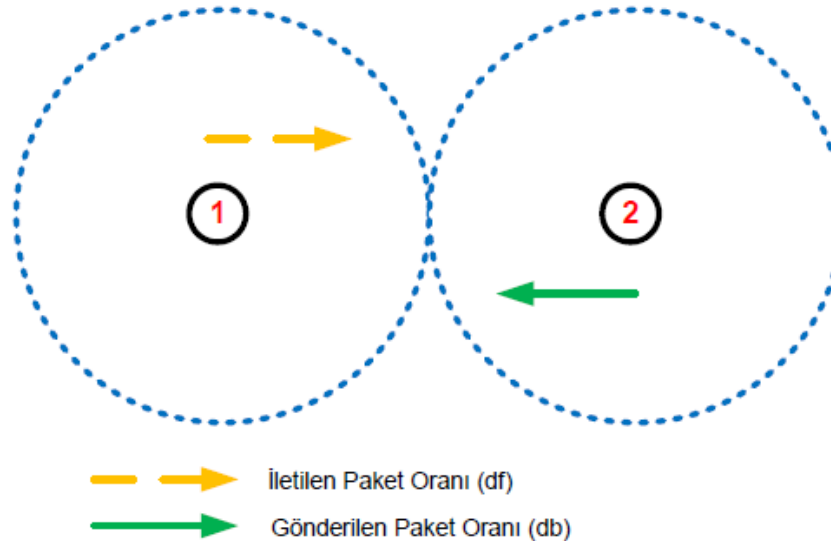
Burada L veri paketinin büyüklüğünü, R ise paket iletimi için kullanılan bağlantı hızını ifade eder.

ETT, ETX'den daha hatasız bir şekilde kablosuz bağlantı kalitesini belirlemek için hız bilgilerini kullanır.

## ETX ve ETT Metriği

- ETX, minimum sıçrama sayısı metriğinin sınırlılıklarını aşmak için tasarlanan kablosuz bir bağlantı metriğidir. Bir bağlantının ETX'i o bağlantı üzerinden başarılı bir şekilde paket gönderim oranıdır. ETX'in elde edilmesi bir bağlantı üzerinden iletilen ve bu iletiye geri dönen paketlerin oranının ölçülmesi ile sağlanır.
- pf ve pr ileri ve geri yönlerdeki paket kayıp olasılığı olmak üzere başarısız bir iletim olasılığı;

$$p=1-(1-pf)(1-pr)$$



- **Modifiye edilmiş Beklenen iletim Sayısı (Modified Expected Transmission Count - mETX)**

ETX, kanal çeşitliliğini göz önüne almadığı ve sadece ortalama kanal davranışını önemsediği için bu eksikliği gidermek için bir genişletme yapılmıştır. Bu metriğin uygulanmasındaki ana engel, iletim kanalının değişkenliğini tam anlamıyla modellemek ve ölçmektir.

- **Ağ Tahsis Vektör Sayısı (network Allocation Network Count - NAVC)**

NAVC, verilen bir inceleme periyodu için, bir link boyunca bir düğüm tarafından gözlemlenen Ağ Tahsis Vektörlerinin ortalamasının alınması ile elde edilen interflow parazit ile ilgilidir.



- **Arayüz ve Kanal Anahtarlama Metriği (Metric of Interface and Channel Switching - MIC)**

MIC, kablosuz iletişim üzerinden verimli link paylaşımı ile ilgili daha fazla bilgi edinerek geliştirme yapmak amacıyla tasarlanmıştır.

N düğümden ve p yoldan oluşan bir ağ için, MIC mevcut tüm linkler üzerinden iletim yapmak için zamanı ortalara. MIC kanal çeşitliliğini hesaba katmak için **Kanal Anahtarlama Masrafı (Channel Switching Cost - CSC)** adı verilen bir terim eklemiştir. Bu metrik, uygulama bakımından, bazı büyük dezavantajlara sahiptir. Her linke ait ETT'nin güncel bilgisini sağlamak için ihtiyaç duyulan masraf trafik yüküne bağlı olarak ağ performansını ciddi şekilde etkileyebilir.

Ayrıca çakışma alanında yer alan tüm linklerin her düğümdeki trafik yükü farklılıklarından habersiz olan aynı seviyedeki parazite katkıda bulunduğunu varsayar. Her ne kadar bir çok yönlendirme ölçütü varsa da, ortak bir görüş yoktur.

# Metriklere Bağlı Olarak Ağ Performansının Değerlendirilmesi

- **Sıçramaların Sayısı**

Minimum Loss (ML) metriğinin link kalitesini ilk sırada tutması nedeniyle en fazla sıçramalı yoları seçtiği, ETX ve ETT metriklerinin ise aynı yolu seçmeden aynı sayıda sıçrayışlı yolları seçtiği gözlenir. Sonuçlar düğümler arasındaki fiziksel uzaklık ve bunlar arasındaki linklerin kaliteleri ile tutarlılık göstermektedir.

- **Paket Kayıp Seviyesi**

Paket gönderimi sırasında, hedef düğüme olan uzaklık arttıkça, sıçrayış ölçütünün kullanımı yüksek paket kayıp oranlarına neden olmaktadır. Bu davranış, sıçrama metriğinin link kalitesini göz önüne almamasından ve paketleri uzun gürültülü linkler boyunca iletmeye dayanmasından kaynaklanmaktadır. ETX ve ETT ölçütleri ise uzaklığa bakmaksızın düşük seviyelerde paket kaybına neden olmaktadır. ML ölçütü, bu dört ölçüt arasında en iyi performansı sergileme eğilimindedir, çünkü dizaynının temeli düşük kayıplı linkleri seçmesine dayanmaktadır.

- **Ağ Gecikmesi**

Bir kaynaktan hedefe paketlerin gönderilmesi ve geri dönme süresine bağlı olarak ağ gecikmesi ölçümünde sıçrama metriğinin kullanılması, ağ gecikmesi değerini artırmaktadır. Bunun temel nedeni, her ne kadar az sıçrayışlı linkler kullanılsa da bu linklerin gürültülü olması katman 2 tekrar gönderilme sayısını arttırması, doğal olarak bunun da katman 3 paketlerinde daha uzun gecikmelerin olmasına neden olmasıdır.

ETX için 150 ms'den az, ML için 75 ms, ETT için ise 35 ms'lik gecikme değerleri gözlenebilir.

ETT metriği iletim zamanını tahmin eden tek metriktir ve bu özellik gecikme açısından en iyi yüksek performansı sağlamasına neden olur.

- **Yük**

Tipik ETT, ETX ve ML metrikleri, sıçrayış metriği ile karşılaştırıldığında daha fazla sayıda sıçramalı yolları seçerler. Paylaşılan ortamdaki çoklu sıçramalı iletimlerde fazladan her bir sıçrayış, çekişme ve çakışma olasılığında bir artışa, bu da yük üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmaktadır.

Kısa mesafeler için, tüm metriklerde yüksek yük değerlerine ulaşılabilir. Uzaklığın artmasıyla beraber, sıçrayış metriğinin performansı gözle görülür bir keskinlikle düşerken, bunun yanında diğer metrikler tatmin edici seviyelerde bir yük sonucu vereceklerdir.

# METRİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

- Parametreleri yol hesaplamasında birleştirecek olan bir yönlendirme algoritmasına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Başta ETX ya da MIC'in eş zamanlı iletimin oluşturduğu paraziti önlemeye çalıştıkları için daha iyi bir performans ortaya koyacağı düşünülse de NAVC hariç diğer tüm metrikler paket kaybı ve uçtan-uca gecikme bakımından tek kanallı bir sistem üzerinde aynı performans değerlerine ulaşabilmektedirler.
- ETX ve MIC'in trafiği daha az sıkışık alanlardan ileterek, sıçrama sayısı ve bloklama metriğinden daha iyi bir trafik dağıtımı sağladıkları görülmektedir.
- Diğer taraftan ML, ETX ve ETT daha iyi performanslar ortaya koymuştur.
- Yönlendirme verimliliğini arttırmanın bir yolu da çapraz katmanlı tasarımıdır.
- Ortaya koyulan mevcut uygulamalar ve protokollerde çok kanallı bir yapıdan ziyade tek kanallı sistemler üzerinden metriklerin değerlendirilmesi yapılmaktadır. Ancak, teorikten pratiğe geçiş sırasında çok kanallı yapının varlığı göz önüne alınmalı ve bu konudaki eksiklikleri giderecek çalışmalara ağırlık verilmelidir.

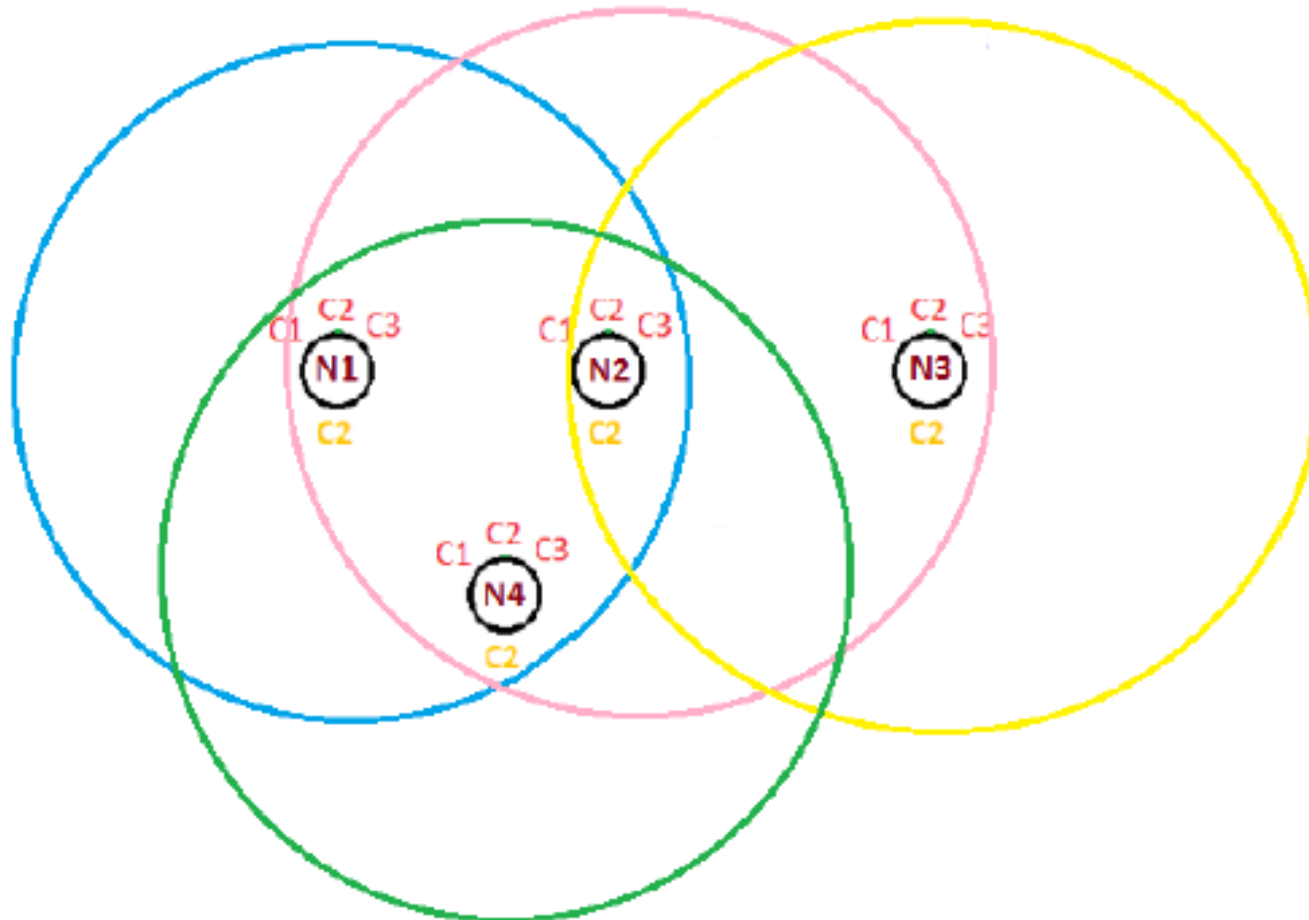
Verilen sınıflandırmaya göre yönlendirme protokolleri ve kullandıkları metrikler gösterilmiştir.

Class	Protocols	Metrics
Ad hoc based	LQSR	ETX
	SrcRR	ETX
	MR-LQSR	WCETT
Controlled flooding	LOLS	ETX or ETT
	MMRP	Not specified
	OLSR	Hop, ETX, ML, or ETT
Traffic-aware	AODV-ST	ETX or ETT
	Raniwala and Chiueh's	Hop or load-balancing metrics
Opportunistic	ExOR	Unidirectional ETX
	ROMER	Hop or delay

# Kablosuz Örgü Ağlardaki Problemler

- - *Çoklu kanal gizli bağlantı problemi*
- - *Sağırılık problemi*
- - *Kanal kördüğüm problemi*
- - *Herkese yayın problemi*
- - *Çok yönlü anten kullanımı*

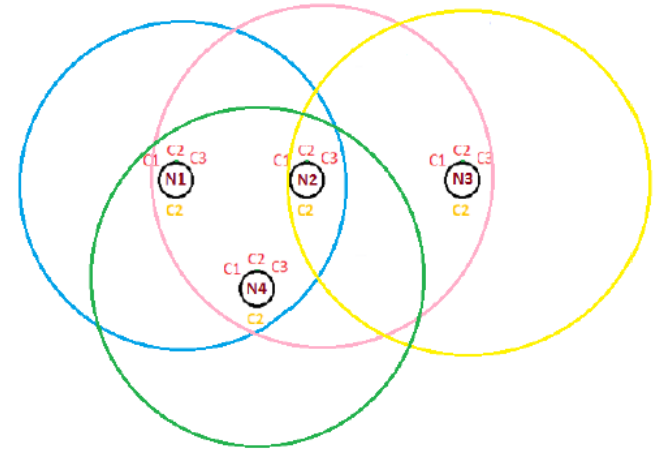
# Kablosuz Örgü Ağlardaki Problemler





# Çoklu Kanal Gizli Bağlantı Problemi

- Statik olarak N1'e C1, N2'ye C2, N3'e C3 ve N4'e C2 kanalı varsayılan olarak atanmıştır. Bir düğüm boşa olduğu zaman bu atanan kanal üzerinden gelecek olan sinyalleri bekler. Düğüm N1, düğüm N2'ye paket göndereceği zaman, kendi kanalını C2 olarak ayarlar ve RTS1 paketi gönderir. Düğüm N2 aldığı bu RTS1 paketine cevap olarak CTS1 paketini N1'e gönderir ve N1'den N2'ye doğru veri paketi gönderilmeye başlanır. Bu anda N3 kendi kanalını (C3) dinlemektedir ve N2 ile N1'in C2 kanalı üzerinden iletişim kurduklarının farkında değildir. Bu nedenle; N3, N4 ile iletişim kurabilmek için N4'ün dinlediği kanal olan C2'yi kullanarak RTS2 paketi gönderebilir. Bu durum N2'de paket çarpışmasına neden olur. Bu problem çoklu kanal ile gizli bağlantı olarak bilinir.



## Sağırılık Problemi

- Düğüm N2'nin düğüm N3 ile C3 kanalı üzerinden veri gönderimi yapıyor olduğunu farz edelim. Aynı anda, düğüm N1 ise düğüm N2 ile iletişime geçebilmek için düğüm N2'nin varsayılan kanalı olan C2 kanalına RTS paketi göndermesi durumunda bu RTS paketini N2 duymaz. Çünkü, N2 düğümü o anda C3 kanalı üzerinden N3 ile haberleşmektedir. Bu durum N2'nin kendi varsayılan kanalını dinlemeye başlamasına kadar sürer. Bu durum **sağırılık problemi** olarak bilinir.

# Kanal Kördüğüm Problemi

- Birbirleri arasında farklı kanal üzerinden haberleşmek isteyen düğümlerin olduğu ortamlarda, her bir düğüm data göndermek isteyeceği düğümün kanalına kendisini ayarlayıp, o kanal üzerinden iletişim yaparken, kendi kanalına gelen isteklere cevap veremez. Böyle bir ortamda, tüm düğümler birbirlerinin kanalını dinlemeye geçerse, düğümler arasında kanal atanamama gibi bir problem ortaya çıkar. Bu durum **kanal kördüğümü** olarak adlandırılır.

## Çok Yönlü Anten Kullanımı

- WMN içerisinde genellikle çok yönlü anten kullanılır. Düğümlerin üzerinde çok yönlü anten kullanılması durumunda bir düğümün yaptığı iletişim kendi kapsama alanı içerisinde bulunan diğer tüm düğümler tarafından duyulacaktır. Şekilde gösterilen zincir toplojisi dikkate alınırsa, düğüm b'nin kanal 1 üzerinden düğüm a ile yaptığı iletişim sırasında eğer düğüm c, düğüm b'nin kapsama alanında ise düğüm c tarafından da anlaşılabacaktır. Bundan dolayı, sanki düğüm b ile c arasında şekildeki gibi kanal 2 bağlantısı atanmış olur.

