

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilgisayar Ağları Dersi

Bölüm 5 *Yönlendirme*

Halil ARSLAN

Bölümün hedefleri

- Yönlendirme kavramını anlamak
- Yönlendirme algoritmaları
 - Uzaklık vektörü,
 - En kısa yol
 - Taşkın
 - Bağlantı durumu
- Yönlendirme protokolleri
 - RIP, OSPF, BGP
- IPv6 yönlendirme

Yönlendirme

IP ağları gibi datagram yapısına sahip ağlarda her bir paket için yönlendirme gereklidir. Yani ağ katmanında router, iletilmek istenen paketin hedef adresine bakmalı ve bu paketi iletebileceği en iyi yolu yönlendirme tabloları yardımıyla seçmelidir.

Bu açıdan yönlendiricilerin hedefe giden uygun yolları belirleme sürecinde yönlendirme tabloları önem taşır. Asıl problem bu yönlendirme tablolarının nasıl oluşturulduğudur.

Kısaca, datagram ağlarında hedefe giden uygun yolun belirlenmesi için yönlendirme tablolarının oluşturulması ve bu tablolara bakılarak datagramın bir sonraki uygun düğüme aktarım işlevi **yönlendirme (routing)** olarak tanımlanabilir.

Ancak veri bağı katmanında benzer bir süreç gibi görünen switch ise iletim tabloları yardımıyla iletim (forwarding) yapar. Bu açıdan **routing** ile **forwarding** birbirine karıştırılmamalıdır.

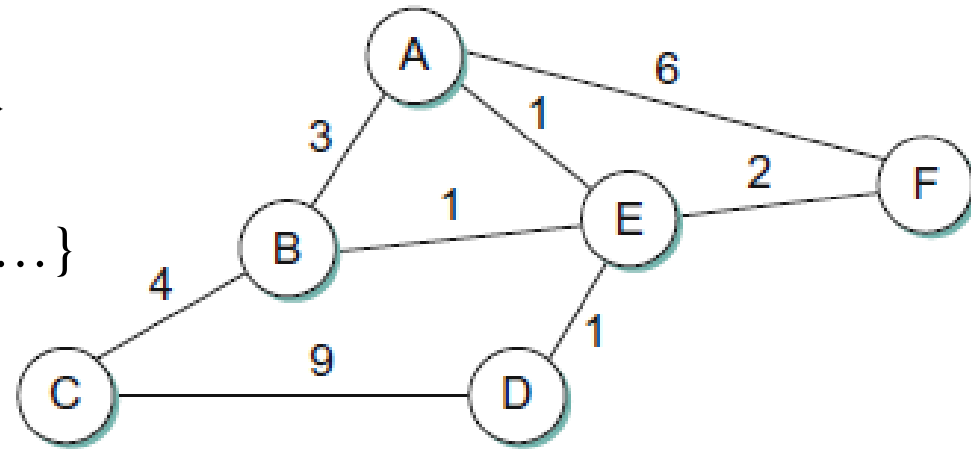
Yönlendirme - Grafik Teorisi

Yönlendirmedeki temel problem, iki düğüm arasındaki en düşük maliyetli yolu bulmaktır.

Şekildeki ağın grafik gösteriminde A'dan F'ye kadar olan düğümler, kenar maliyetleri ile etiketlenmiştir.

Grafikteki her bağlantı iki düğüm arasındaki kenar maliyetlerini ifade etmektedir.

- Yönlendiriciler: {A, B, C, D, E, F}
- Bağlantılar = { (A,B), (A,E), (A,F), ... }



- Maliyet(Cost) = $C(A,B) = 3$

- A-C arası maliyet $C(A,C) = C(A,E) + C(E,B) + C(B,C) = 1 + 1 + 4 = 6$ birim

Algoritmalar-Uzaklık Vektör (Distance Vector)

Uzaklık vektör algoritmasındaki temel yaklaşım her düğüm, diğer tüm düğümlerle olan mesafeleri tanımladığı tek boyutlu (vektör) dizi oluşturur.

Bu tanımlar, komşu düğümlere dağıtılır.

Başlangıçta tüm düğümler kendilerine doğrudan bağlı komşularının uzaklıklarını bildiği varsayılır.

Bu maliyetler yönlendiricinin yapılandırılması sırasında ağ yöneticisi tarafından tanımlanabilir.

Bir düğüm eğer erişilemez ise maliyeti, sonsuz (∞) olarak atanır.

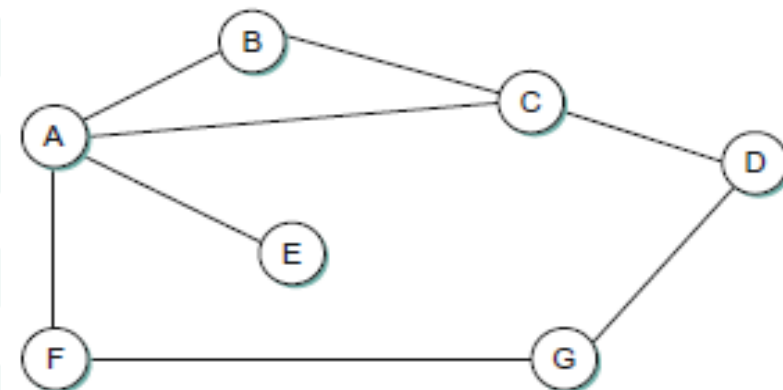
Uzaklık Vektör (Distance Vector)

Aşağıdaki network grafi için uzaklı vektör algoritması örneği;

Tüm düğümler arasındaki maliyet 1 birim olduğu için graf gösteriminde etiketlenmemiştir.

Tüm düğümler sadece komşu düğümleri ile olan mesafelerini tanımlarken, bağlı olmadığı düğümlerle olan mesafeleri sonsuz kabul edilir.

Information Stored at Node	Distance to Reach Node						
	A	B	C	D	E	F	G
A	0	1	1	∞	1	1	∞
B	1	0	1	∞	∞	∞	∞
C	1	1	0	1	∞	∞	∞
D	∞	∞	1	0	∞	∞	1
E	1	∞	∞	∞	0	∞	∞
F	1	∞	∞	∞	∞	0	1
G	∞	∞	∞	1	∞	1	0



Her düğümün başlangıçta mesafe tanımları

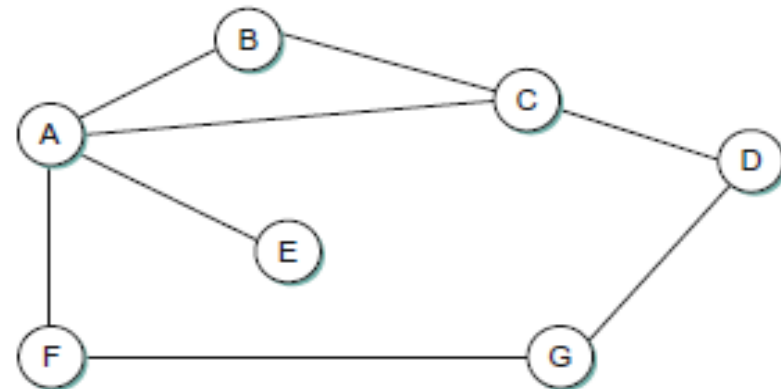
Uzaklık Vektör (Distance Vector)

Başlangıçta genel görünümünün aksine her düğüm sadece doğrudan bağlı olduğu komşuları ile bağlantı maliyetlerini içeren kayıtları bilmektedir.

Örnek ağ modelinde tüm düğümlerin birbirleri arasındaki bağlantı maliyeti 1 birim kabul edilirse, başlangıçta A düğümünde tanımlanan maliyet vektörü aşağıda görülmektedir.

Destination	Cost	NextHop
B	1	B
C	1	C
D	∞	—
E	1	E
F	1	F
G	∞	—

Başlangıçta A düğümü için maliyet vektörü

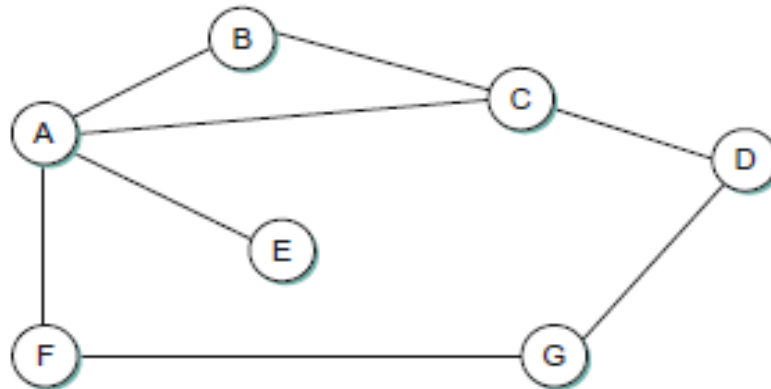


Uzaklık Vektör (Distance Vector)

Sonraki adımda her düğüm tanımladığı mesafe vektörünü kendisine doğrudan bağlı komşularına iletmektedir.

Örneğin F düğümü, A düğümüne, G'ye 1 birim maliyetle erişebileceğini bildirir. A, F'ye 1 birim maliyetle erişebileceğini bildiği için F'nin G'ye erişim maliyetine bu maliyete ekler. Yani G'ye erişim maliyetini 2 birim olarak hesaplar.

Benzer şekilde A, C'den D'ye 1 birim mesafe ile erişebileceğini öğrenir. C'ye olan maliyetide ekleyerek D'ye 2 birim ile erişebileceğini hesaplar. Aynı şekilde C üzerinden B'ye 1 birim ile erişebileceğini öğrenir ve B'ye toplam maliyet 2 birim olarak hesaplanır ancak B'ye erişimin mevcut mesafe maliyeti daha iyi olduğu için bu bildirim dikkate alınmaz.



Uzaklık Vektör (Distance Vector)

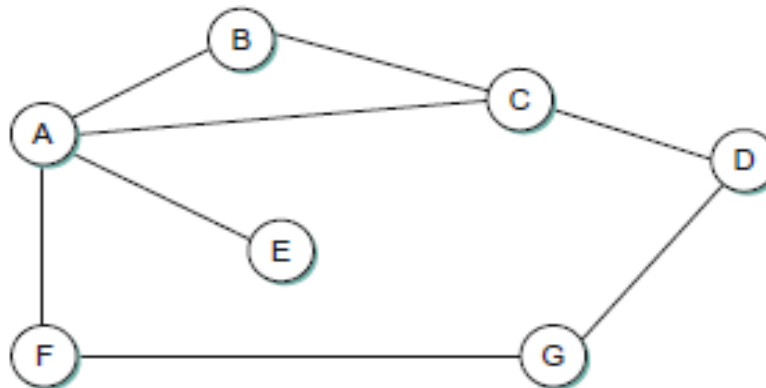
Son aşamada, bir ağdaki tüm düğümler için sonraki düğüm ve maliyet bilgilerini içeren yönlendirme tabloları güncellenmiş olur.

Information Stored at Node	Distance to Reach Node						
	A	B	C	D	E	F	G
A	0	1	1	2	1	1	2
B	1	0	1	2	2	2	3
C	1	1	0	1	2	2	2
D	2	2	1	0	3	2	1
E	1	2	2	3	0	2	3
F	1	2	2	2	2	0	1
G	2	3	2	1	3	1	0

Son maliyet tanımları (Genel görünüm)

Destination	Cost	NextHop
B	1	B
C	1	C
D	2	C
E	1	E
F	1	F
G	2	F

A düğümü için maliyet vektörü



Uzaklık Vektör (Distance Vector)

Bu algorithma mesafe vektörlerinin dağıtımını birkaç saniye yada birkaç dakikada arasında tanımlanan belirli T-periyotlarda komşular arasında gerçekleşirken, bir yönlendiricinin tanımlarında ortaya çıkan değişimle de bu dağıtım tetiklenebilir (trigger).

Bu durum herhangi bir yönlendiricinin arızalanması durumunda **sonsuz sayma** problemine neden olabilir.

Bir yönlendiricinin arızalı olduğuna, belirli periyotlarla alınması gereken mesafe vektörlerinin gelemediği yada kontrol mesajlarına onay (ack) alınmadığı durumlarda karar verilir.

Bu durumda bir düğümün bir yönlendiricinin arızalı olduğuna karar vermesi sonrasında yönlendirme tablosunu güncelleyecek ve bu yeni bilgiyi komşularına iletacaktır.

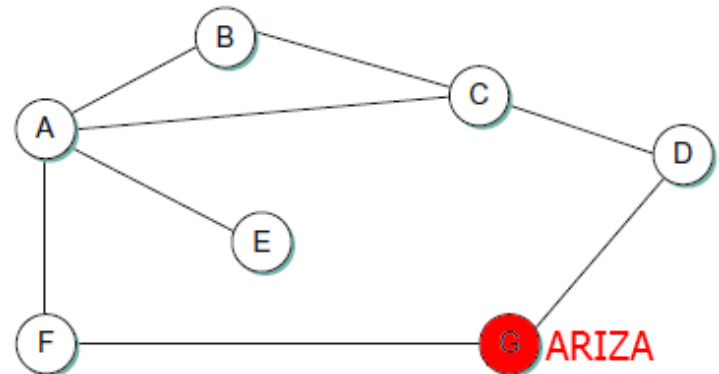
Uzaklık Vektör (Distance Vector)

F düğümü, G'nin arızalı olduğunu algıladığında, G'nin mesafe tanımını, sonsuz olarak ayarlar ve bu vektörü komşusu olan A'ya iletir.

A düğümü, G'ye F üzerinden eriştiği için yönlendirme tablosunda G'yi sonsuz olarak günceller.

Ancak A'ya C üzerinden gelen mesafe tanımında C üzerinden G'ye, 2 birimlik yol, mevcut sonsuz tanımından daha iyi bir yol olduğu için A düğümü yönlendirme tablosunu G'ye C üzerinden 3 birim olarak günceller.

Benzer şekilde F düğümü de A üzerinden G'ye 4 birimle güncellenecektir ve sistem stabilize olacaktır.



Uzaklık Vektör - Sonsuza sayma

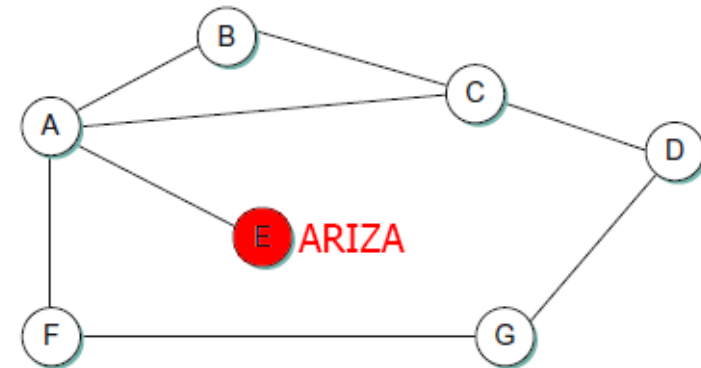
Örneğin E düğümünün arızalı olduğunu tespit eden A düğümü mesafe tanımını sonsuz olarak işaretleyecektir.

B düğümü A'dan sonsuz olarak gördüğü E düğümüne, C üzerinden 2 birimle erişebileceğini belirleyip E'nin mesafesini C üzerinden 3 birim olarak tanımlayacaktır.

B'deki bu tanım önce A düğümüne 4 birim olarak yansıyacak, ardından A üzerinden C düğümüne 5 birim şeklinde iletilecektir.

Sonraki adımda B'ye E düğümü için mesafe tanımını C üzerinden 5 birim olarak gelecek ve tablo C üzerinden 6 birim şeklinde güncellenecektir. Ortaya çıkan bu durum **sonsuz sayma** olarak isimlendirilir.

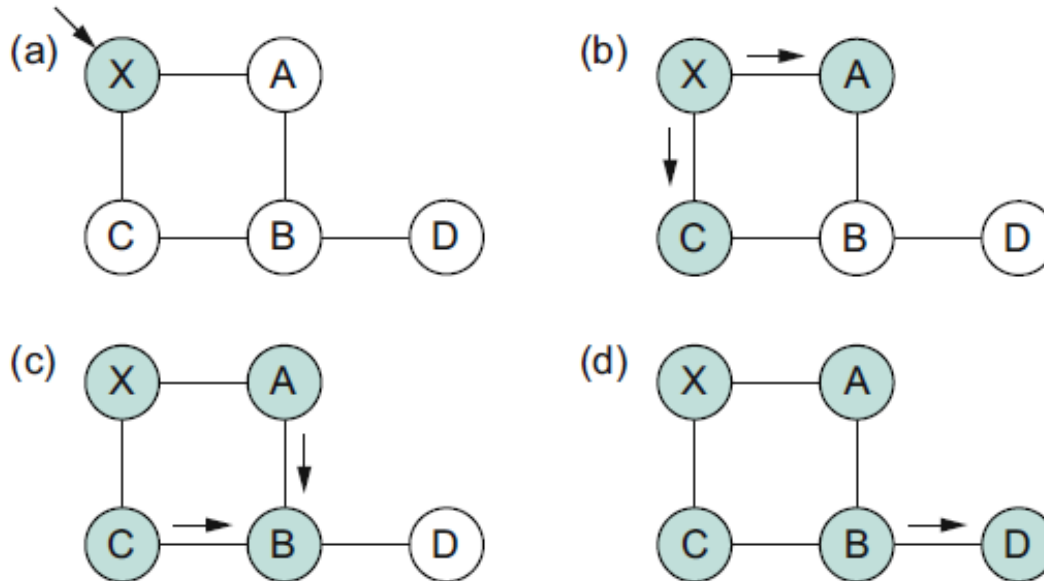
Bu sorunun en basit çözümü maksimum atlama mesafesini 16 gibi bir rakamla sınırlandırmaktır. Diğer yöntem ise öğrendiği yönlendirme tanımını, öğrendiği komşusuna göndermemektir. Yada bu tanım komşu düğümden gelen negatif tanım olarak tanımlanır.



Taşkın Algoritması (Flooding)

Bu algoritmadaki temel fikir, kendisine doğrudan bağlı tüm komşularına bağlantı durum bilgilerini göndermeye dayanır. Bu paketi alan diğer bir düğüm, paketi aldığı düğüm dışındaki diğer komşularına iletir. Bu bilgi akışı tüm ağı kapsayınca kadar devam edecektir.

Bir bağlantı durum paketi; NodeID, Komşu Bağlantı Maliyet Listesi, Sıra Numarası ve TTL değerlerini içerir. Durum paketleri listede bir değişim olduğunda yada belirli periyotlarla oluşturulmaya devam eder.



Bir yönlendiriciye, aynı komşusundan daha düşük yada aynı sıra numarasına sahip bir paket gelirse, iletilmeden atılır. Benzer şekilde TTL'si sıfıra ulaşan paket atılır.

En Kısa Yol Algoritması (Dijkstra's Shortest path)

Taşkın algoritması bağlamında her düğüm komşusuyla olan maliyet listesini diğer düğümlerle paylaştığı için her bir düğüm mevcut ağın topolojisine hakimdir. Ancak bu topolojiye uygun en kısa yolların belirlenmesi gerekmektedir.

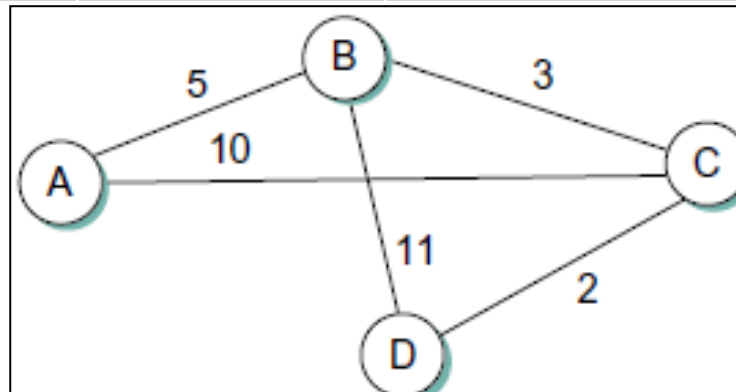
Bunun çözümü Dijkstra's Shortest path algoritmasıdır. Algoritma **Geçici** ve **Onaylanmış** olmak üzere iki tane liste (Hedef, Maliyet, SonrakiDüğüm) tutar. Algoritmanın işlem adımları;

1. İlgili düğüm kendisi için Onaylanmış ve maliyeti sıfır olan bir kayıtla başlar.
2. Önceki adımda Onaylanmış listeye eklenen düğüm için doğrudan bağlı komşularının maliyetlerini içeren bağlantı durum paketleri çağrılır.
3. Gelen her komşu maliyetine, kendisi ile o bilginin geldiği komşu arasındaki maliyet de eklenerek yeni maliyet hesaplanır.
 - a. Eğer hesaplanan komşu Onaylı ve Geçici listede yoksa bu kayıt Geçici listeye eklenir.
 - b. Eğer Geçici listede var ve yeni maliyet daha düşükse kayıt değiştirilir.
4. Eğer Geçici liste boşsa bitirilir. Dolu ise geçici listedeki en düşük maliyetli düğüm Onaylı listeye alınır ve 2. adımdan işleme devam edilir.

En Kısa Yol Algoritması (Dijkstra's Shortest path)

Bu algoritmayı aşağıda graf modeli verilen örnekteki D düğümü için koşturursak;

Adım	Onaylı List	Geçici List	Komut
1	(D,0,-)		Onaylı listeye kendisi eklenir
2	(D,0,-)	(B,11,B) (C,2,C)	Onaylı listeye eklenen son kayıt üzerinden gelen komşu maliyetleri hesaplanır ve daha iyi olanlar ve onaylı listede olmayanlar geçici listeye alınır.
3	(D,0,-) (C,2,C)	(B,11,B)	Geçici listedeki en düşük maliyetli kayıt, Onaylı listeye eklenir
4	(D,0,-) (C,2,C)	(B,5,C) (A,12,C)	Bkz. Adım 2
5	(D,0,-) (C,2,C) (B,5,C)	(A,12,C)	Bkz. Adım 3
6	(D,0,-) (C,2,C) (B,5,C)	(A,10,C)	Bkz. Adım 2
7	(D,0,-) (C,2,C) (B,5,C) (A,10,C)		Geçici liste boş olduğu için işlem tamamlanır.



Bağlantı Durum Algoritması (link-state)

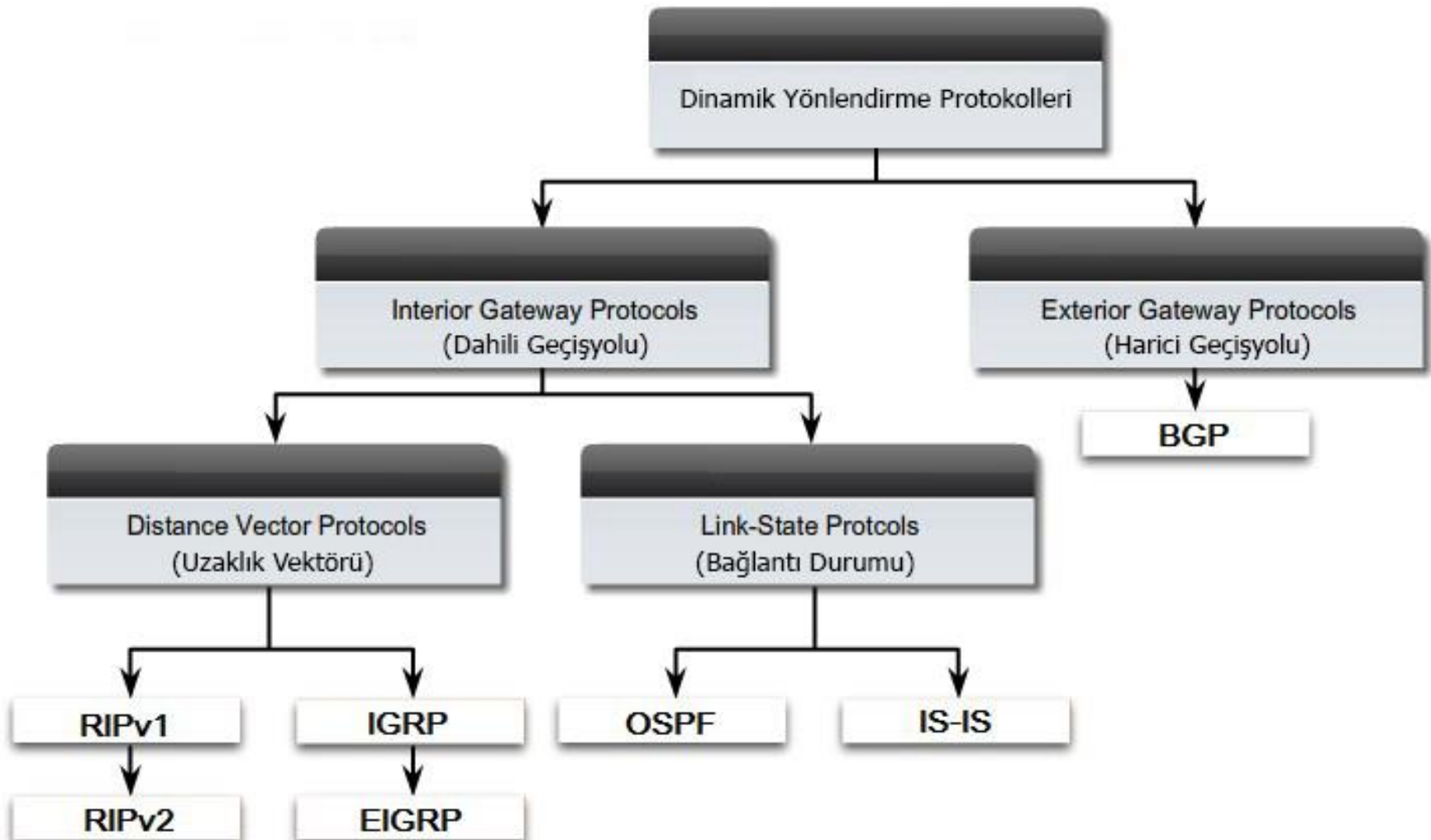
Bu algoritma, taşkın (flooding) ve en kısa yol (Shortest path) algoritmalarının birlikte kullanıldığı algoritmadır.

Bu algoritma En kısa yol algoritmasının dinamik hali olarak da ifade edilebilir.

Belli periyotlarla bağlantı durum paketi (link-state packet - LSP) olarak isimlendirilen komşu düğümler için mesafe tanımlarının taşkın algoritması ile diğer düğümlere dağıtım sonrasında en kısa yolların dijkstra algoritması ile belirlenmesine dayanır.

Modern anlamda OSPF ve IS-IS protokollerinde kullanılır.

YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ



RIP Protokolü

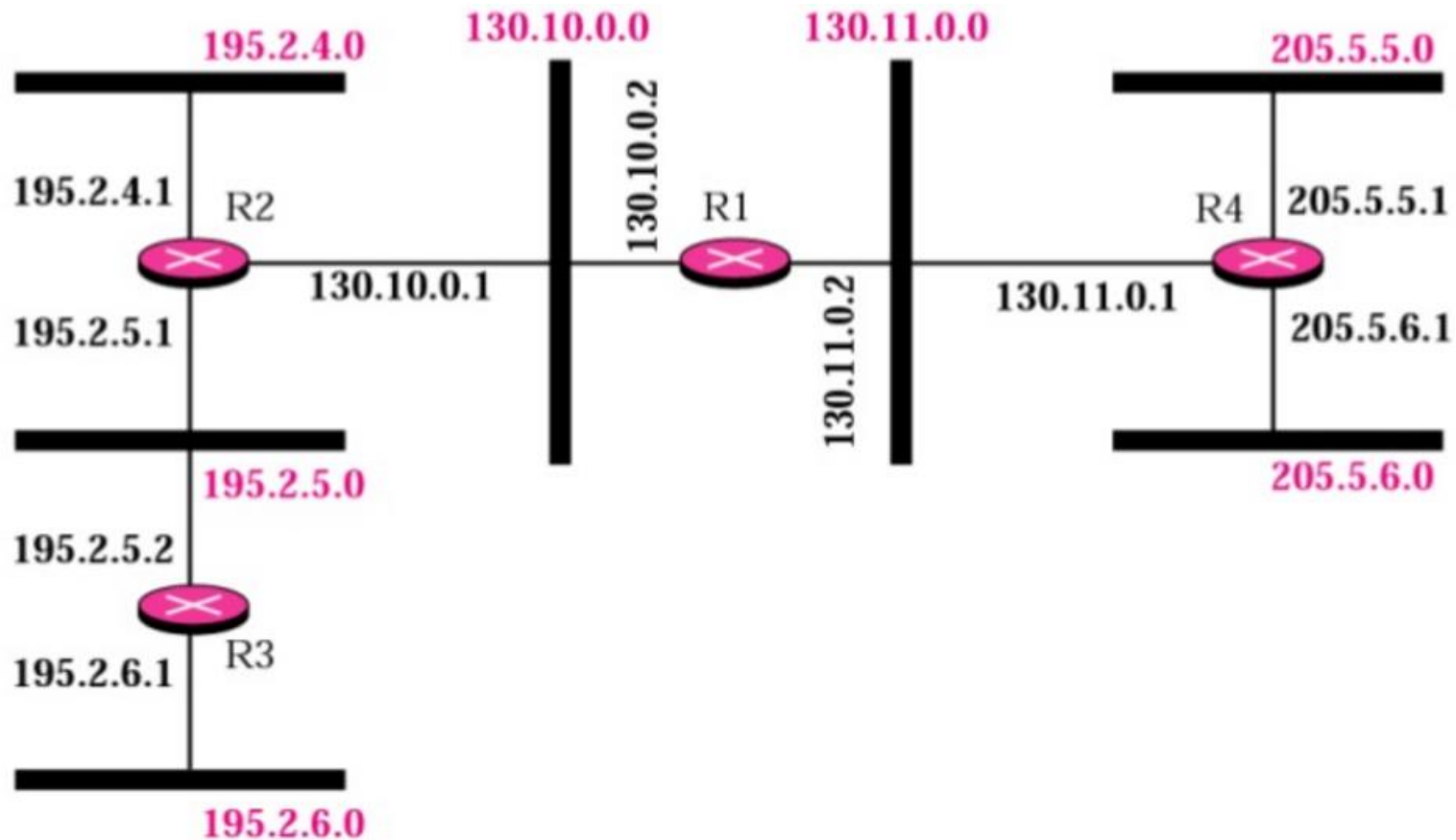
Routing Information Protocol (RIP), Unix sistemlerde kullanılan bir dahili (IGP) yönlendirme protokolüdür.

RIP, uzaklık-vektör algoritmasına dayanan bir protokoldür. Ağlar arası mesafe maliyetini atlama sayısına bakarak belirler.

Maksimum atlama mesafesini (maliyet), sonsuza sayma problemine düşmemek için 16 olarak kabul eder. 16 ve üzeri atlama mesafesine sahip yönlendiricileri ulaşılamaz olarak tanımlar ve 180 sn. bilgi alınamayan düğümler de ulaşılamaz olarak işaretlenir.

Uzaklık-vektör protokolüne uygun olarak 30 sn.'de bir komşular arası bilgi paylaşımı yapılır.

RIP Protokolü



Dest.	Hop	Next
130.10.0.0	1	_____
130.11.0.0	1	_____
195.2.4.0	2	130.10.0.1
195.2.5.0	2	130.10.0.1
195.2.6.0	3	130.10.0.1
205.5.5.0	2	130.11.0.1
205.5.6.0	2	130.11.0.1

R1 Table

Dest.	Hop	Next
130.10.0.0	1	_____
130.11.0.0	2	130.10.0.2
195.2.4.0	1	_____
195.2.5.0	1	_____
195.2.6.0	2	195.2.5.2
205.5.5.0	3	130.10.0.2
205.5.6.0	3	130.10.0.2

R2 Table

Dest.	Hop	Next
130.10.0.0	2	195.2.5.1
130.11.0.0	3	195.2.5.1
195.2.4.0	2	195.2.5.1
195.2.5.0	1	_____
195.2.6.0	1	_____
205.5.5.0	4	195.2.5.1
205.5.6.0	4	195.2.5.1

R3 Table

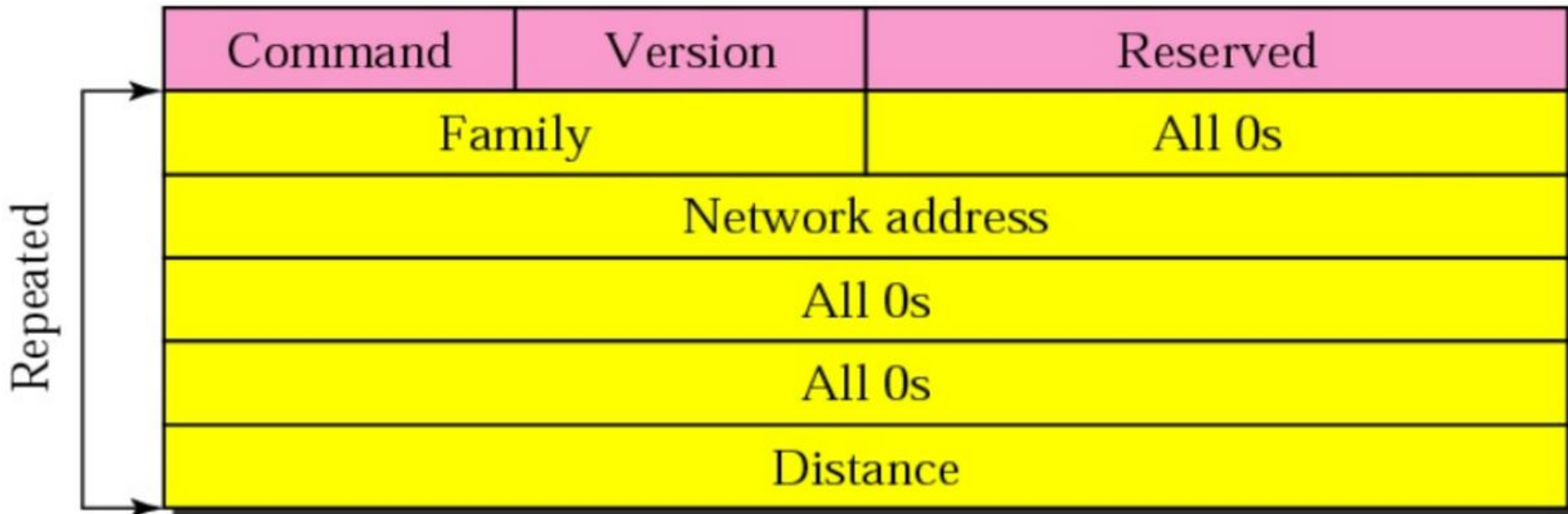
Dest.	Hop	Next
130.10.0.0	2	130.11.0.2
130.11.0.0	1	_____
195.2.4.0	3	130.11.0.2
195.2.5.0	3	130.11.0.2
195.2.6.0	4	130.11.0.2
205.5.5.0	1	_____
205.5.6.0	1	_____

R4 Table

RIP Protokolü - Paket formatı

Command: 1→istek, 2→cevap

Family: Kimlik doğrulama için kullanılır



OSPF (Open Shortest Path First Protocol) Protokolü

OSPF, temelde bağlantı-durum (link-state) bilgilerinin taşkın algoritmasıyla dağıtıldığı ve Dijkstra algoritması ile en kısa yolların belirlendiği bir durum tabanlı protokoldür.

OSPF kullanan yönlendiriciler, 10 sn.'de bir tüm portlarından «hello» paketi gönderirler. Bu paket üzerinden alınan cevaplarla komşular arası LSA (link-state advertisement) dağıtımı taşkın algoritmasına uygun yapılır.

LSA paketleri değişim tetiklemelidir. Eğer değişim yoksa 30 dk.'da bir gönderilir.

OSPF'nin temel özellikleri;

Kimlik doğrulama: Yönlendiriciler arasında kimlik doğrulama olanağı sunmaktadır.

Hiyerarşik yönlendirme: Ölçeklenebilir sistemler için *area* olarak isimlendirilen etki alanları tanımlanır ve yönlendiricilerin haritalaması gereken ağ boyutu azaltılmıştır.

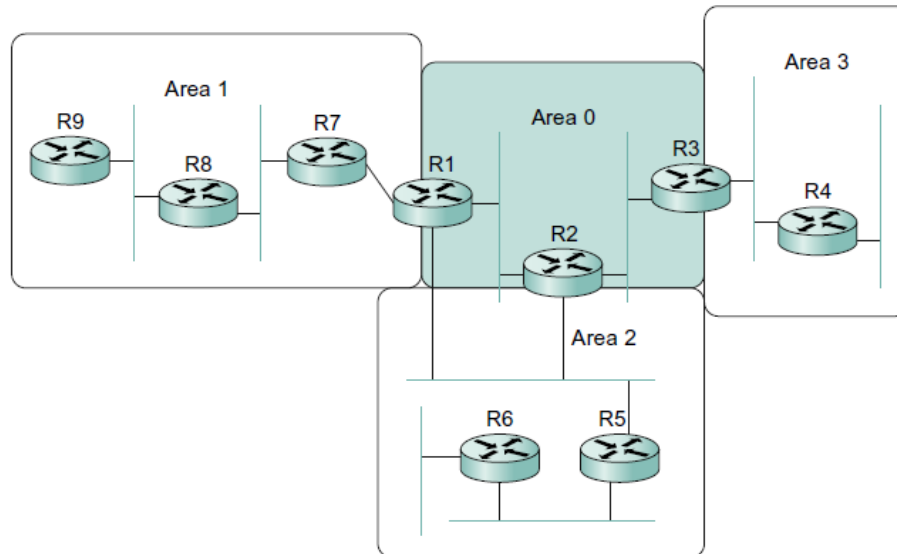
Yük dengeleme: Bir hedefe yönelik, aynı maliyete sahip birden fazla tanıma izin vererek, bu yönlendiriciler arasında yük dengeleme yapabilir.

Yönlendirme Alanı - İnternette yönlendirme

Bir yönlendiricinin internete bağlı tüm ağları bilmesi pratikte mümkün değildir. Ancak şuana kadar gördüğümüz protokoller bu yapıda çalışır.

Bir «*area*», bağlantı durum bilgilerinin değişimi için yapılandırılmış bir yönlendirici kümesidir. Şekil için Area-0 omurga (backbone) olarak isimlendirilir. Bu yönlendiriciler de en az bir omurga olmayan *area* üyesidir.

Bir yönlendirici hem backbone hem de backbone olmayan area üyesi ise bu yönlendirciye *area border router (ABR)* adı verilir.

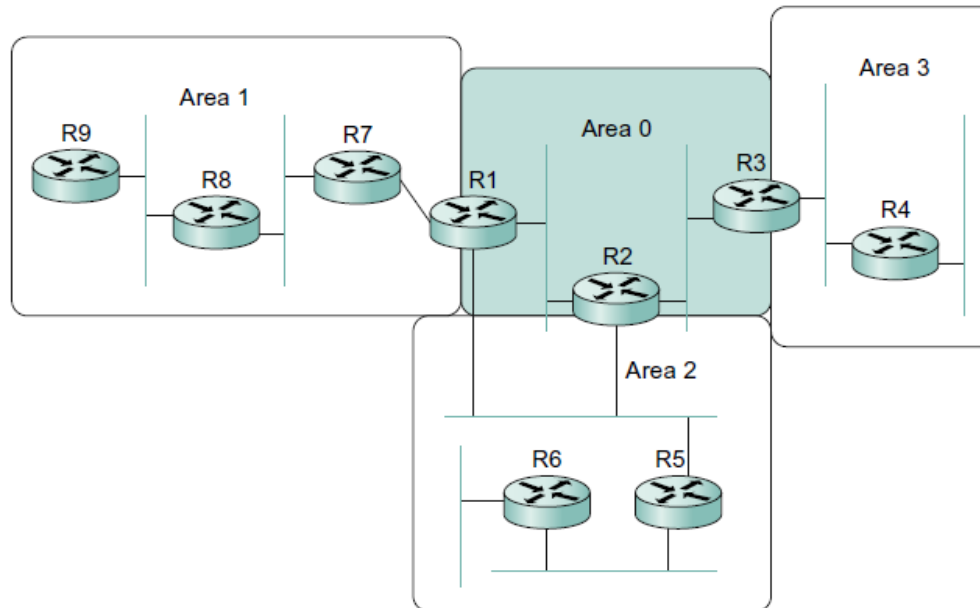


Yönlendirme Alanı - İnternette yönlendirme

Area içi yönlendirme, area içi yönlendiricilerin birbirlerinden aldıkları link-state ilanları ile gerçekleştirilir. Ancak ABR yönlendiriciler, alan içi bağlantı durum ilanları iletilmez.

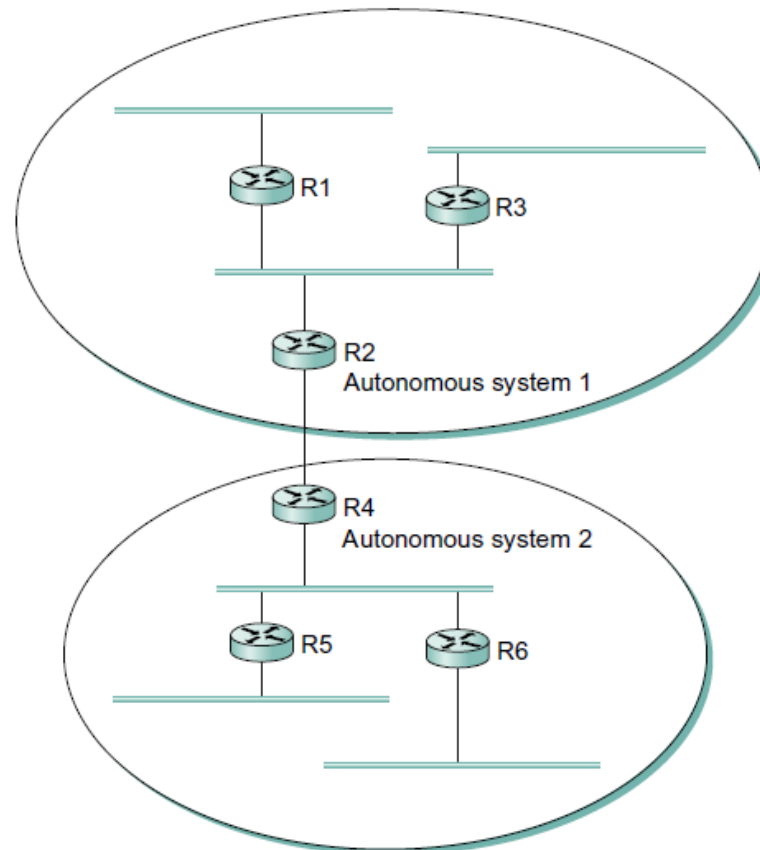
Bir area'daki yönlendiricinin başka bir area'daki yönlendiriciyi tanımlayabilmesi için, ABR'lerin bağlı oldukları area'ların yönlendirme bilgilerini özetlemeleri gerekir.

Örneğin R1, area-1'deki tüm yönlendiricilerin LSA bilgilerini alır ve özetler. Böylece R1, area-0'daki omurga yönlendiricilere, area-1 içindeki tüm yönlendiricilerin kendisi ile aynı maliyette olduğunu bildirir.



BGP (Border Gateway Protocol) Protokolü

İnternet gibi büyük ağlarda yönlendirme bilgisini özetlemek için alt ağlar, otonom sistem «*autonomous systems -AS*» olarak yapılandırılmıştır. Dolayısıyla yönlendirme sorunu otonom sistem içinde (intra network) ve otonom sistemler arasında (inter network) olarak iki yapı üzerine odaklanmıştır. AS içi yönlendirmede, istenilen yönlendirme protokolü konumlandırılabilir.



BGP (Border Gateway Protocol) Protokolü

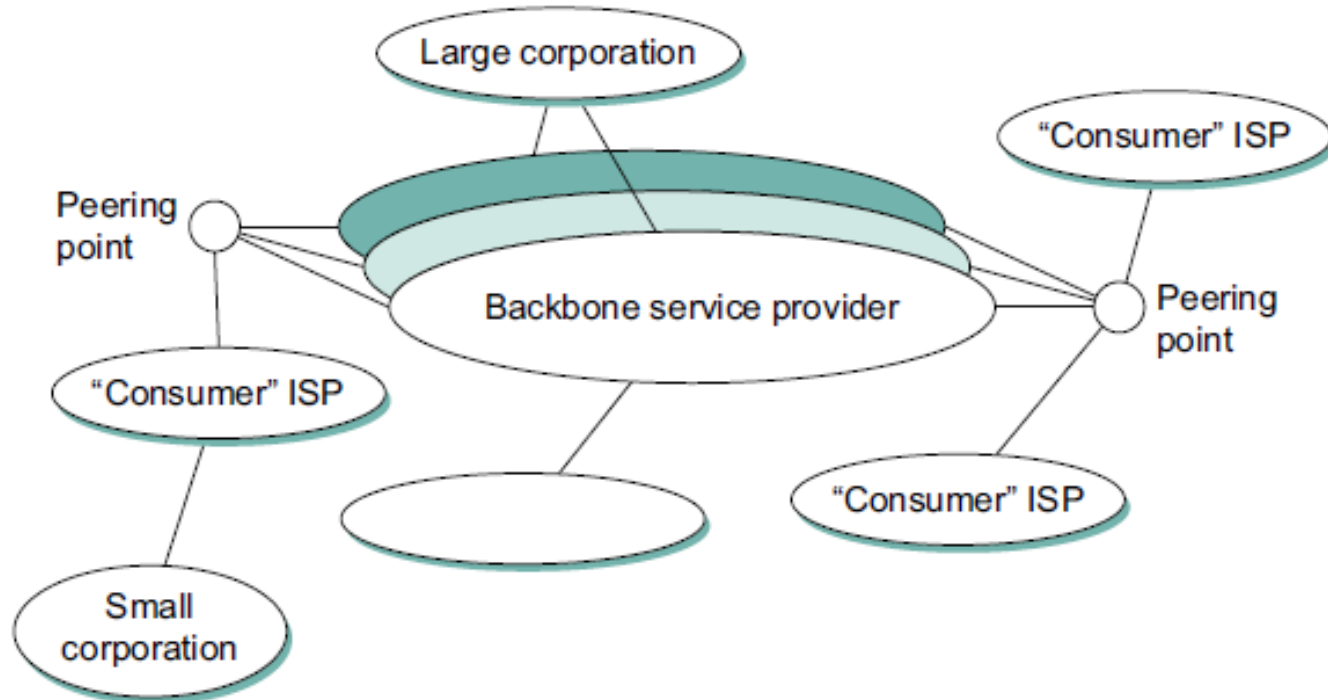
3 çeşit otonom sistem (AS) tanımlanabilir.

Stub AS: Başka AS'lere tek bağlantısı olanlar. (Bkz. Small corporation)

Multihomed AS: Birden fazla AS'ye bağlantısı olanlar. (Bkz. Large corporation)

Transit AS: Diğer AS'lere pek çok bağlantısı olanlar. (Bkz. Backbone)

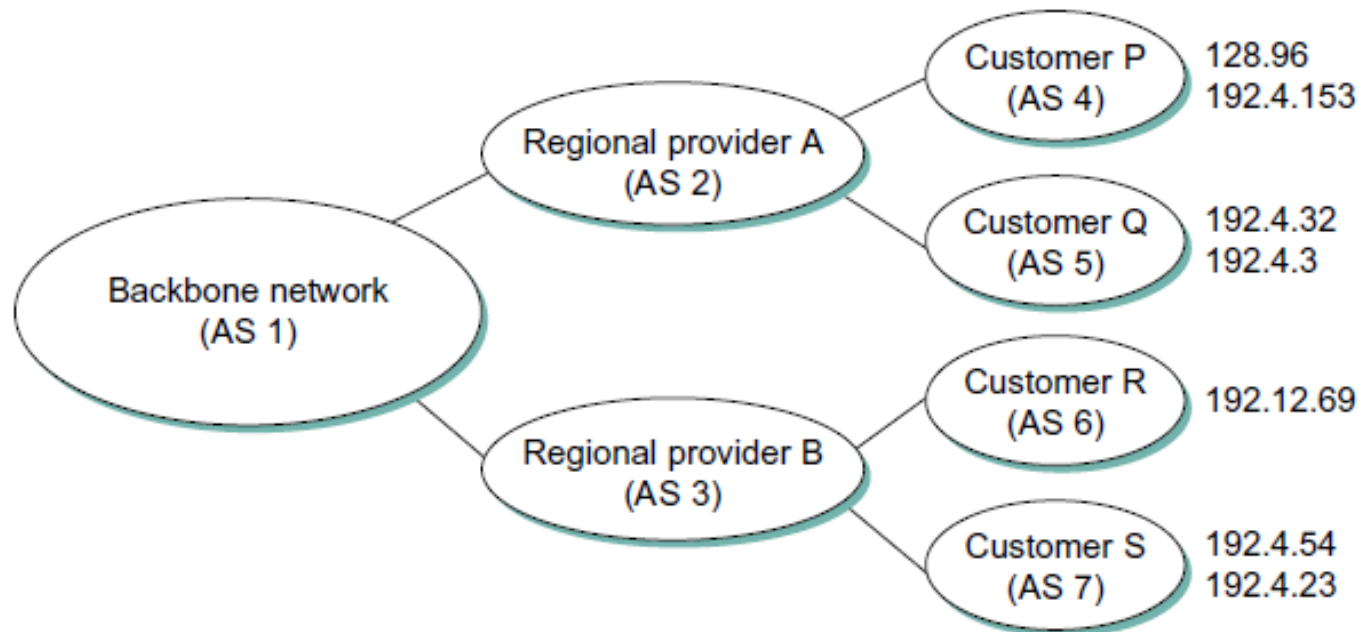
AS'ler arası yol tanımları BGP-speaker'lar aracılığı ile duyurulur.



BGP (Border Gateway Protocol) Protokolü

BGP’de önceki bölümlerde tanıtılan yönlendirme algoritmaları kullanılmaz. BGP’de özel bir ağa erişmek için otonom sistemlerin yol tanımını tutulur. Aşağıdaki şekilde Customer ağları Stub-AS iken Provider ağları Multihomed-AS’dır.

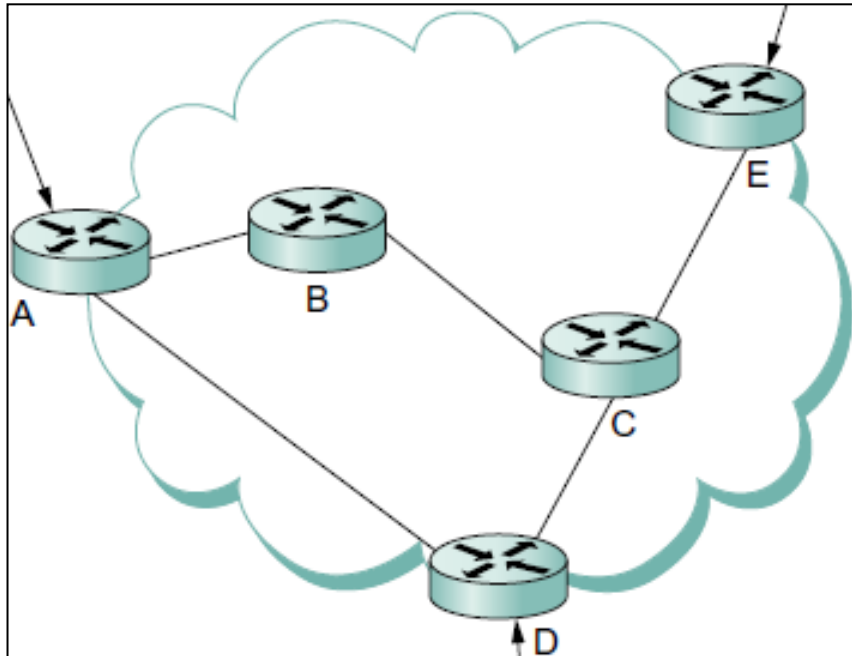
Provider-A nın yer aldığı AS-2, P ve Q müşterilerine atanan her bir ağ numarası için erişilebilirlik bilgisini ilan edecektir. Bu ilanı alan omurga AS-1, belirtilen ağlara AS-1 → AS-2 şeklinde erişilebileceğini bilir.



BGP (Border Gateway Protocol) Protokolü

Şekilde diğer AS'lerle konuşan (A, D ve E) 3 tane sınır yönlendiricisi vardır. B yönlendiricisinin dış network prefix'lerini diğer AS'lere nasıl ileteceğini BGP ile sol üstteki tabloda görüldüğü gibi, RIP yada OSPF ile de AS içindeki tüm yönlendiricileri sağ üstteki tabloda görüldüğü gibi öğrendiğini düşünelim.

Son olarak B yönlendiricisi alt tabloda, bütün grafi tanımladığı tam bir yönlendirme tablosu oluşturabilmiştir.



Prefix	BGP Next Hop
18.0/16	E
12.5.5/24	A
128.34/16	D
128.69./16	A

BGP table for the AS

Router	IGP Path
A	A
C	C
D	C
E	C

IGP table for router B

Prefix	IGP Path
18.0/16	C
12.5.5/24	A
128.34/16	C
128.69./16	A

Combined table for router B

IPv6 ve Yönlendirme

Yönlendirmede, IPv6 ile gelen en önemli değişiklik extension header seçeneği ile yönlendirme bilgilerini datagramın içerebilmesinin sağlanmasıdır. Uzatma başlığı, hedefe ulaşmak için geçilmesi gereken topolojileri yada düğümleri tanımlayan adresleri içerebilir (Örn: IPv6 Type-0 routing extension header).

Ayrıca IPv6, anycast yayın adresi tanımlamıştır. Böylece omurga routerlara yönlendirme yapmak için tek bir anycast adres üzerinden tanımlama yapılabilir.

Bunun dışında mevcut yönlendirme protokolleri IPv6 için revize edilmiştir;

RIPng: Standart RIP protokolünün yeni neslidir. Distance-vector algoritmasına dayanan bu protokol IPv6 için güncellenmiştir.

OSPFv3: link-state tabanlı ve Djikrasta'nın en yakın yol algoritmasına dayanan dahili yönlendirme protokolünün IPv6'ya güncellenmiş halidir.

BGPv4: Harici geçiş protokollerinin açık standardı olan ve AS'ler arası distance-vector yaklaşımına dayanan BGP protokolünün IPv6'ya güncellenmiş sürümüdür.

MPLS - MultiProtocol Label Switching

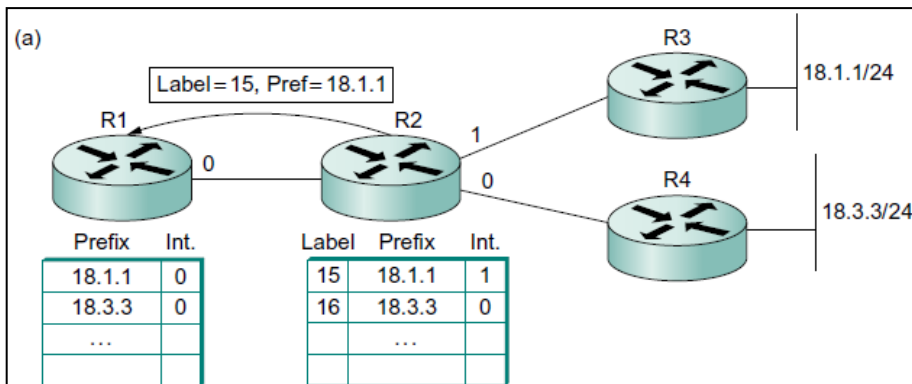
MPLS, IP datagram ağlarının esnekliği ile sanal devre ağlarının performansını birleştirmek için ileri sürülmüş bir Layer 2,5 protokolü olarak düşünülebilir.

MPLS, sanal devre ağlarındaymış gibi sadece ilgili Area'larda geçerli sabit uzunluktaki etiketleri kullanarak, yönlendiricilerde paket yönlendirme güçlüğüne, anahtarlardaki paket iletim performansı kazandırmayı hedeflemektedir.

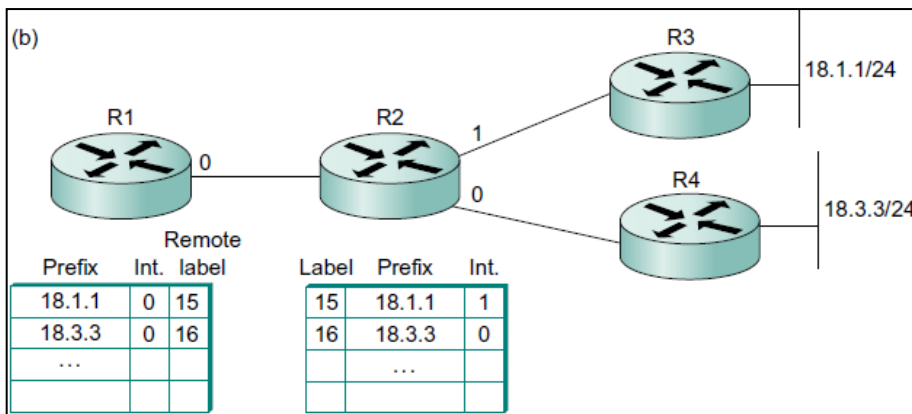
Günümüzde MPLS, üç ana tema üzerinde kurgulanmıştır;

- IP datagramlarını iletme yeteği olmayan cihazlara (router) datagramları yüksek performansla iletim yeteneği kazandırmak,
- Yönlendirme protokollerinin belirlediği tablolara bağlı kalmaksızın, önceden hesaplanmış uygun güzergahlar üzerinden IP datagramlarını iletme,
- VPN hizmetlerinin belirli tiplerini desteklemek için.

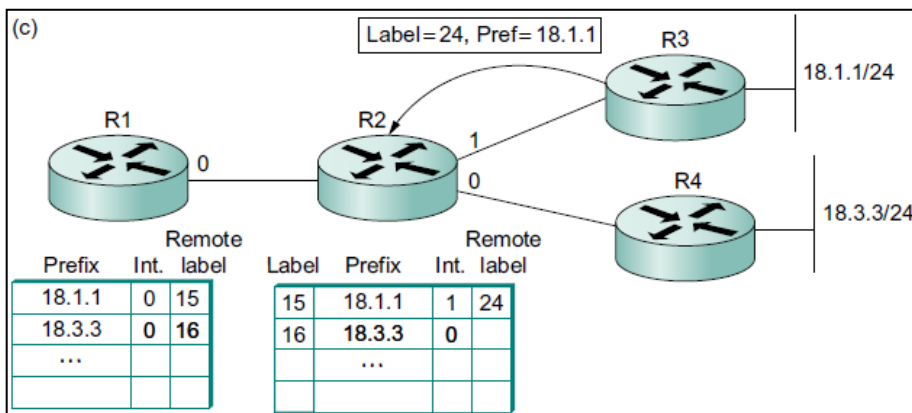
MPLS - MultiProtocol Label Switching



MPLS kullanan yönlendiriciler, kendi yönlendirme tablosundaki her ön-ek için bir etiket tanımlar ve bu etiketleri *Label Distribute Protocol (LDP)* aracılığıyla komşularına dağıtır.



(a) Şekil a'da R2, yön. tablosundaki kayıtları etiketleyerek R1'e duyurmuştur. Bu kayıtlar artık yönlendirme tablosunun *index*'leri gibi işlenebilir.



(b) R1, bu etiketleri *Remote Label* olarak tanımlayarak, R2'ye iletilecek her datagramı bu değerlerle etiketleyecektir.

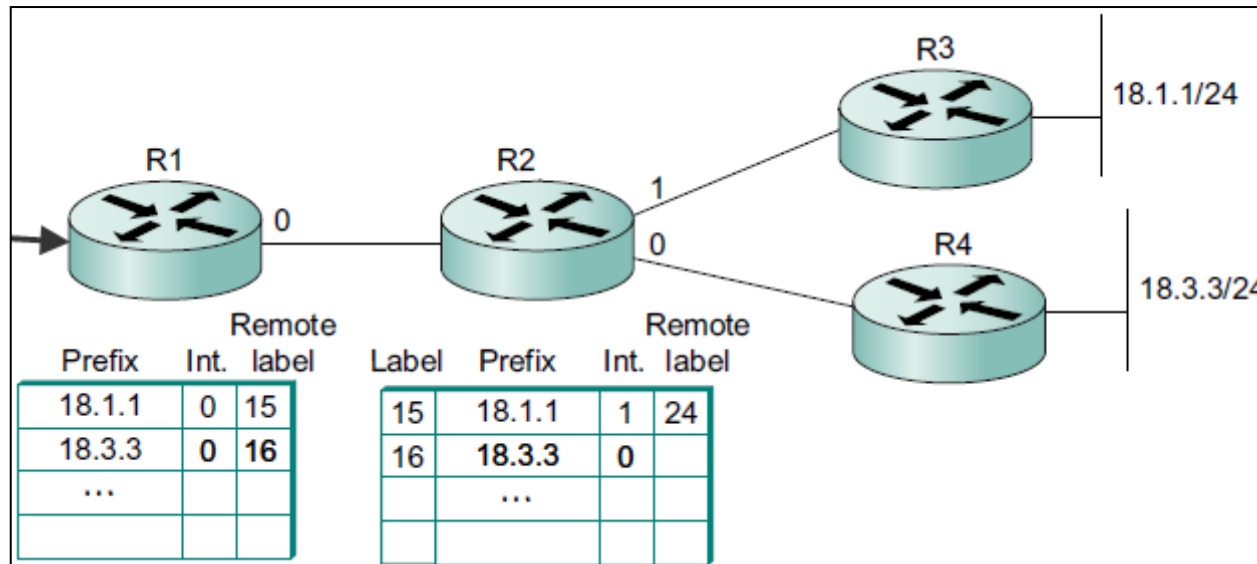
(c) R3'de R2 için etiket ilanını yapmış ve R2'de R3'e iletileceği her datagram için kullanacağı etiketleri *Remote Label* değerleri ile tanımlar.

MPLS - MultiProtocol Label Switching

Bu örnekte, R1 yönlendiricisine sol taraftan hedef IP adresi 18.1.1.5 olan bir datagram geldiğini varsayalım. Bu durumda R1 yönlendiricisi *Label Edge Router (LER)* olarak isimlendirilir ve R1 yönlendirme tablosunda hedef network araması yapar ve uygun kayıt varsa bu datagramı ilgili *Remote Label (15)* ile etiketleyerek R2 yönlendiricisine iletir.

Paket R2'ye geldiğinde R2, sadece paket etiketine bakar ve bu datagramı 1 nolu arayüzünden etiket değerini 24 ile değiştirerek iletir.

Bu durum, IP örneklerinin en iyi benzerlik karşılaştırmasına göre çok daha performanslı bir şekilde tam eşleme yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Böylece her MPLS etiket, bir İletim Denklik Sınıfı (*forwarding equivalence class - FEC*) ile ilişkilendirilmiştir.

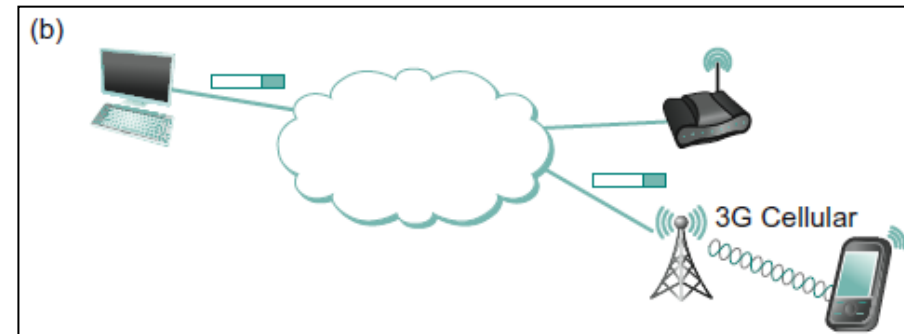
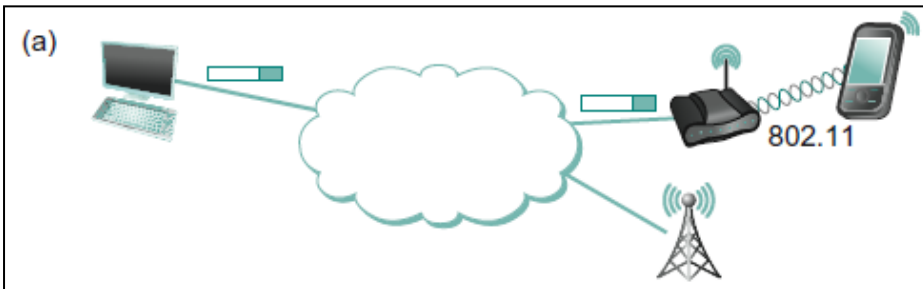


Mobil Cihazlarda Yönlendirme

İnternet tasarımcıları, internet mimarisini tasarlarken Mobil Aygıtları dikkate almış olamazlar. Bu nedenle mobil cihazlar internet mimarisi açısından önemli zorluklar çıkarmaktadırlar.

Şekil (a)'da bir 802.11 ağından iletişim kuran düğüm, hareket halindeyken Şekil (b)'deki gibi 3G hücresel ağa geçtiğinde ilgili düğümle olan datagram iletimini yeni bağlantısı üzerinden sürdürülebilmelidir.

Mobil düğüm, yeni bağlandığı ağ'da yeni bir IP adresi almamalıdır. Çünkü aktarım katmanı protokolleri (TCP) uzun ömürlü bağlantı kurduklarında oturumlarını bu bağlantı üzerinden sürdüregerler.

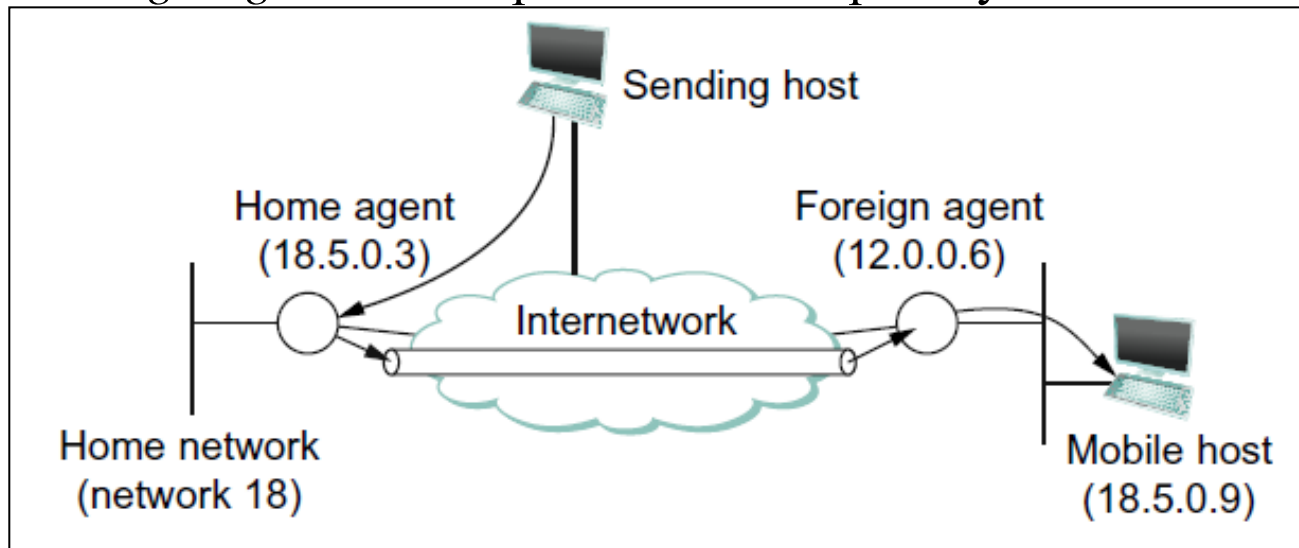


Mobil Cihazlarda Yönlendirme

Mobil düğüm, *Mobile Address* olarak isimlendirilen kalıcı bir IP adresine sahiptir. Yani mobil düğüm yeni bir ağa taşınsa bile adresini değiştirmemektedir.

Mobil düğüm yeni bir ağa bağlandığında, yabancı düğüme (*Foreign Agent*) ilan mesajları ile kendi *Home Network* (*home agent*)'ünü ilan eder. Böylelikle Mobil düğümün başlangıçta tanımladığı IP adresi değişmeksizin bağlantı sürdürülmeye devam eder.

Mobil düğüme iletilen her paket öncelikle *Home Agent*'a iletdikten sonra, home agent bu paketleri *Foreign Agent*'a tunel protokolü ile kapsülleyerek iletir.



Mobil Cihazlarda Yönlendirme

Başka bir ağa bağlanan Mobil Düğüm, yeni ağ, care-of-address (COA)'ini bildirir.

COA adres, Home agent'ta tanımlanacak mobil düğüm için geçici konak adresi olarak işlem görür.

Mobile düğümü hedef alan bir datagram iletiminde, datagram öncelikle Home agent'a iletilir. İlgili datagramı alan Home agent bu datagramı COA adresine iletacaktır.

Bu datagram Foreign Agent üzerinden mobile düğümüne MAC adresi üzerinden iletilecektir.

