forwarding: router의 input으로 들어온 packet을 적절한 output으로 내보내는 것(data plane)

routing: source부터 destination까지 packet의 경로를 결정하는 것(control plane)

Network Control Plane

* Per-Router Control
* traditional
* 각 router(monolithic router) 마다 individual routing algorithm component 가지고 있음
* router들끼리 서로 interact하여 forwarding table 계산
* 이를 이용해서 routing
* Control Plane과 Data Plane이 tightly coupled(하나의 router에 있음)
* Logically Centralized Control
* Software Defined Networking(SDN)
* Control Plane을 Router에서 분리
* Logically Centralized Controller
* Remote Controller가 각 router의 Control agent와 상호작용
* Remote Controller가 forwarding table을 계산

Routing Algorithm

* least cost path를 찾는 Algorithm
* cost는 bandwidth나 congestion 상태 등으로 계산됨.

Routing Algorithm 분류 기준

* Global or Decentralized?
* Global
  1. 모든 Router가 Network 전체의 정보를 가지고 있음
  2. 각 Router가 가지고 있는 정보들이 Consistent해야 함
  3. Link State Algorithm(다익스트라)
* Decentralized
  1. Router는 물리적으로 연결된 이웃들과, 이웃들로 향하는 Cost만을 알고 있음
  2. 즉, 지역적인 정보만 알고 있음(Network 전체의 정보를 알지 못함)
  3. 이웃들과 distance vector를 교환하며 전달되며 계산(iterative)
  4. Distance Vector Algorithm(벨만 포드)
* Static or Dynamic?
* Static
  1. 한번 정해진 경로가 바뀌는 것이 느림(Link Cost가 변하지 않음)
* Dynamic
  1. 정해진 경로가 자주 바뀜(주기적 Update, Link Cost가 자주 변함)
  2. Routing Algorithm 자주 실행
  3. Software Defined Networking(SDN)

Link State Routing Algorithm

* Global Routing Algorithm
* 다익스트라 알고리즘
* D(v) = min( D(v), D(w) + c(w,v) )
* 모든 Router들이 link state broadcast에 의해 Net topology, link costs를 다 알고 있음
* 모든 Router들이 같은 정보 가지고 있음
* 하나의 node로부터 다른 모든 node로 가는 최소 비용 경로를 계산
* K번 iteration한 후에는, K개의 Node로의 최소비용 경로가 계산되게 됨
* O(N2), 효율적으로 하면 O(NlogN)
* Oscillation Possible
* 목적지에 대한 경로가 계속해서 바뀌게 된다는 문제가 생길 수 있음
* TCP에서 Out-of-Order가 생길 수 있음(중간에 경로가 바뀌었을 때 앞의 것이 먼저 도착한다는 보장이 없음)

Distance Vector Algorithm

* Decentralized Routing Algorithm (Distributed)
* 벨만포드 알고리즘
* dx(y) = *minv* {c(x,v) + dv(y) }
* c(x,v) -> x부터 neighbor v로의 cost
* dv(y) = neighbor v로부터 y까지의 비용
* dx(y) -> x에서 y로의 최소 비용 경로
* 자신의 이웃에 대한 정보를 가지고 있으므로 자신의 이웃 중 하나를 relay node로 두어 목적지로 감.
* Node x는
* 자신으로부터 이웃으로의 비용을 알고 있음, c(x, v)
* 자신의 이웃들의 distance vector들을 알고 있음, dv
* 이웃으로부터 새로운 Distance Vector를 받게 되면 자신의 Distance Vector를 업데이트
* 자신의 Distance Vector가 변경된 경우에만, 이웃에게 Notify
* Iterative and Asynchronous
* 자신의 Local link Cost가 변하거나
* 이웃이 새로운 Distance vector를 보내는 경우
* 자신의 Distance Vector가 바뀔 수 있음
* 각 node에서는 wait->recompute->notify neighbors 과정이 반복됨
* Link Cost가 감소한 것에 대해서는 전달이 빠름(Good News travels fast)
* Link Cost가 증가한 것에 대해서는 전달이 느림
* Count to Infinity Problem 발생(Oscillation보다 문제 큼)
* 이를 해결하기위해 Poisoned Reverse를 사용할 수 있지만 Count to Infinity Problem을 완전히 해결하지는 못함
* Poisoned Reverse: 어떤 목적지로 가기 위해 거쳐야 하는 next hop에게는 그 목적지에 대해서는 모른척 함.(비용이 무한대인척 함)

Link State와 Distance Vector의 비교

* LS
* O(nE)의 message가 보내짐
* O(n2) 알고리즘을 돌리면 모든 router가 일치하는 경로 그림.
* Oscillation 문제 발생
* Router가 Malfunction인 경우 Locally 수습이 되므로 괜찮음(오류가 발생한 Router 근처만 문제가 생김)
* DV
* 이웃들 사이에서만 메시지를 교환
* 시간이 지남에 따라 정답에 수렴하게 됨.(case에 따라 얼마나 걸릴지 다름)
* 자기 자신이 경로에 포함되어 있는 Loop 있을 수 있음.
* Count to Infinity 문제 발생
* Router가 Malfunction인 경우 error가 network를 타고 전파되기 때문에 큰일날 수 있음.

Scalable Routing

* 앞의 알고리즘들은 이상적인 것을 가정한 것임(Real world에서는 맞지 않음)
* Autonomous System(AS, a.k.a. “domains”)
* 제한된 지역 내에 있는 router들의 집합
* Intra-AS Routing
* 같은 AS내에서의 routing
* 같은 AS안의 router들은 같은 intra domain protocol을 돌려야 함
* 서로 다른 AS에서는 서로 다른 intra domain protocol 돌릴 수 있음
* Inter-AS Routing
* AS들 사이에서의 routing
* gateway router: 다른 AS와 연결되어 있는 edge router
* gateway router는 inter-domain routing과 intra-domain routing 모두 수행
* 같은 AS내의 목적지로 packet을 보낼 때는 intra AS routing 사용
* 다른 AS에 있는 destination으로 Packet을 보낼 때는 Inter와 Intra AS Routing 모두 사용

Inter-AS Routing

* Border Gateway Protocol(BGP)
* AS1(ex)은 연결된 AS들을 통해서 어떤 목적지가 reachable한지를 배움
* 배운 reachability 정보를 AS1안의 모든 router에게 전파
* eBGP
* subnet reachability 정보를 이웃한 AS들로부터 배움(획득)
* iBGP
* 배운 reachability 정보를 AS안의 internal router들에게 전파
* 다른 network로의 good route는 reachability 정보와 policy에 의해 결정
* gateway router는 eBGP와 iBGP를 둘 다 run 함
* BGP session: 두 BGP(gateway) router들은 semi-permanent TCP connection을 통해 메시지 주고받음(prefix[destination] + attributes=”route”)
* two important attributes
* AS-PATH: Subnet Prefix의 advertisement가 여기로 오기까지 거친 AS들의 list
* NEXT-HOP: internal-AS router중에 자기의 next-hop AS로 갈 수 있는 것을 알려줌
* Policy-based routing
* path를 accept/decline할지의 여부는 import policy에 따라 결정
* policy는 다른 neighbor AS에 path를 advertise할지 말지도 결정.
* destination AS로 가는 여러 route가 있는 경우

1. Policy Decision
2. Shortest AS-PATH
3. closest Next-HOP router: hot potato routing
   1. 자기 AS에서는 리소스를 조금만 사용하고 빠르게 빠져나가도록
   2. intra domain cost가 가장 작은 local gateway를 고름
   3. intra domain cost는 intra AS Protocol을 통해 알 수 있음
4. additional criteria

* 강의자료 50page, 51page 확인하기[ISP는 customer network로/로부터 트래픽을 라우팅 하기만 원한다고 가정(다른 ISP간의 전송 트래픽을 전달하고 싶어하지 않음)]

Intra-AS Routing

* Interior gateway Protocol (IGP)라고도 함
* RIP, OSPF(Open Shortest Path First), IGRP
* OSPF
* IGP의 대표주자로 상당히 규모가 커도 적용 가능
* Link State Algorithm 이용
* 모든 Router들은 topology map 가지고 있음
* TCP나 UDP를 쓰지않고 직접적으로 IP 프로토콜을 이용해 OSPF message 전달(속도 때문에)
* IS-IS Routing Protocol: nearly identical to OSPF
* Large Domain에서는 Hierarchical OSPF 사용
  1. AS를 몇 개의 area로 나누고 Link State Broadcasting은 area 내에서만 하게 됨
  2. 다른 area로 보낼 때는 자신의 area border router로 보내고 이는 backbone을 거쳐 다른 area로 가게 됨
  3. two level hierarchy: local area, backbone
  4. area border router: 자신의 area 안의 net들로의 distance를 요약하고, 다른 area border router들에게 advertise
  5. backbone routers: backbone으로 제한된 OSPF 라우팅 실행[area border router 포함]
  6. boundary router: 다른 AS로의 연결.

Inter AS와 Intra AS Routing의 차이

* Policy
* inter: Policy 있음
* intra: Policy 없음
* Scale: hierarchical routing은 table size와 update traffic을 감소시킴
* Performance
* Inter: policy가 performance를 지배할 수 있음
* Intra: performance에 집중 가능.

Software Defined Networking (SDN)

* logically centralized controller
* Network Management가 쉬움
* Path를 Dynamically 변경가능(Allow “programming” router).
* Open(Non-proprietary) implementation of control plane
* 관점: Data plane switches, SDN controller, Control Application
* Data Plane Switches
  1. generalized(flow based) data-plane in hardware
  2. fast, simple, commodity
  3. controller에 의해 계산되고 설치된 flow table
  4. OpenFlow: table based switch control을 위한 API, Controller와 communicating하기 위한 protocol
* SDN controller
  1. network state information을 유지
  2. northbound API를 통해서 윗단의 network control applications과 상호작용
  3. southbound API를 통해서 아랫단의 network switches와 상호작용
  4. 성능, 확장성, 내결함성, 견고성을 위해 분산시스템으로 구현됨
* Network Control Application
  1. SDN Controller에서 제공하는 하위 서비스, API를 이용하여 제어 기능 구현
  2. brain 역할
  3. unbundled: 타사에서 제공 가능, 라우팅 공급 업체 또는 SDN Controller와 구분

Traffic Engineering

* traditional Routing: 하나의 traffic flow를 여러 개로 나누는 것은 불가능하고, 특정 traffic flow를 지정하려면 link weight을 업데이트 해줘야 함(어려움)

ICMP

* Internet Control Message Protocol
* Network Layer의 Protocol
* error reporting이나 echo request/reply와 같은 network level information의 communication을 위해 사용됨
* ICMP msgs carried in IP datagrams.

Network Management를 위한 구조

* managed devices는 데이터가 MIB(Management Information Base)로 수집되는 managed objects를 포함.

Chapter 6

Link Layer Service: error detection, Correction, Sharing a broadcast channel(multiple access), link layer addressing, LAN(Ethernet, VLANs)

Link Layer

* 모든 node에 다 구현되어 있음
* Link: 인접 node를 연결하는 Communication Channel
* wired links, wireless links, LANs
* datagram을 frame으로 encapsulate
* Link를 통해 한 node에서 물리적으로 인접한 node로 datagram을 전송하는 역할
* 어떤 Link를 쓰냐에 따라서 Link Protocol이 달라짐.
* Link는 Multiple Node에 의해 Share 됨
* Source와 Destination을 식별하기 위해서 MAC address 사용
* Link Layer Service
* framing, 인접한 node사이의 reliable delivery, flow control, error detection, error correction, half-duplex(동시는 아니지만 양방향) and full-duplex(동시 양방향)
* Link Layer는 NIC(Network Interface Card, “adaptor”)에 구현되어 있음
  1. Firmware: Hardware 와 Software의 사이로 Chip에 Install되어 나오며, Low Level Code로 작성되어 속도가 빠르다

Error Detection

* Data에 EDC(Error Detection and Correction bits) field를 붙여서 보냄
* EDC field가 클 수록 detection 과 correction에 좋음
* Parity Checking
* Single bit parity: single bit error를 detect함
* Two-dimensional bit parity: Single bit error를 detect하고 correct함.
* Internet Checksum(Transport layer에서 사용됨)
* CRC
* CRC 비트의 수(r bits)가 늘어나면 error detection 능력 좋아짐.
* r+1비트보다 작은 연속적인 error를 detect할 수 있음
* 보내는 쪽: d bits(Data) + r bits(0으로 채움)를 Generator(r+1 bits)로 나눈 나머지를 CRC bits로 채움
* 받는 쪽: 받은 것을 Generator(r+1 bits)로 나눠서 나머지가 0이면 Error 없는 것

Link Type(2가지)

* point-to-point
* Link가 Dedicated
* Dial-up Access(Telephone)
* Ethernet Switch와 Host사이
* Broadcast(Shared wire or medium)
* Node들이 Link를 Share
* upstream HFC
* 802.11 wireless LAN

Collision(node가 두 개 이상의 signal을 동시에 받는 것)

Multiple Access Protocol

* 추가적인 Channel을 사용하지 않고 그 자체 Channel을 이용해서(No out-of-band channel)
* 어떻게 Node가 Channel을 공유할지를 결정하는 분산 알고리즘
* 즉, 언제 Node가 전송할 수 있는지를 결정하는 분산 알고리즘
* MAC(Media Access Control) Protocols
* Channel Partitioning
  1. traffic이 많을수록 효율적이고 공평함
  2. traffic이 적으면 효율적이지 못함, 낭비가 생김
* Random Access
  1. traffic이 적을수록 효율적(하나의 node가 channel을 fully 이용하므로)
  2. traffic이 많으면 collision overhead에 의해 효율적이지 못함
* Taking Turns

**Channel Partitioning Protocol**

* Channel을 작은 조각으로 쪼개 해당 조각을 Node에 할당하여 독점적으로 사용할 수 있도록 함
* TDMA(time division multiple access)
* 각 station들은 각 round마다 fixed length slot을 얻음.
* 사용되지 않는 slot은 idle하므로 waste
* FDMA(frequency division multiple access)
* Channel Spectrum을 frequency band로 나눔
* 각 station들은 fixed frequency band를 할당받음
* 사용되지 않는 transmission time만큼 해당 frequency band는 idle하므로 waste
* CDMA(code division multiple access)

**Random Access**

* Channel을 나누지 않고 Collision 허용하는데 효율적으로 Collision을 극복할 수 있도록 함
* node가 보낼 packet이 있는 경우 full channel data rate R로 전송
* 두 개 이상의 node가 전송하는 경우 collision 발생
* Collision이 발생한 경우 이를 발견해서 Recover
* Slotted ALOHA
* 가정
  1. 모든 frame은 같은 size
  2. time은 같은 size의 slot(하나의 frame을 보내는 시간)으로 나뉨
  3. node는 time slot의 시작에만 보낼 수 있음
  4. node들은 synchronized 되어 있음
  5. 두 개 이상의 node들이 전송하는 경우 모든 node들이 collision detect
* 동작
  1. node가 new frame이 도착하면 next time slot에 보냄
  2. collision이 발생한 경우: node는 성공할 때까지 확률 p로 각 후속 슬롯에서 frame을 재전송함
  3. collision이 발생하지 않은 경우: Node는 new frame을 next slot에 보낼 수 있음
* 장점: Link를 channel의 full rate으로 사용 가능, highly decentralized(node의 slot만 동기화 하면 됨), 간단함
* 단점: Collision, Slot의 낭비, Idle한 slot 생김, Clock Synchronization이 필요함
* 효율성: Np(1-p)N-1 -> 하나의 node라도 collision 없이 보낼 확률(최대 37%)
* Pure(unslotted) ALOHA
* Synchronization이 필요 없음, simpler
* new frame이 도착하면 그 순간 전송
* time slot이 시작할 때만 보낼 수있는 것이 아니라 언제나 보낼 수 있음
* Collision의 확률이 높아짐
* t0에 보내지는 frame은 [t0-1, t0+1] 구간에서 보내지는 frame들과 collision이 발생하게 됨
* 효율성: Np(1-p)N-1(1-p)N-1 -> (최대 18%)
* Slotted ALOHA보다 더 나쁨
* CSMA(Carrier-sense multiple access)
* 전송하기 전에 Channel을 Sensing함
  1. Channel이 idle한 경우: entire frame 전송
  2. Channel이 busy한 경우: transmission 미룸
* Propagation delay에 의해 Collision이 일어날 수 있음
  1. 두 node가 서로의 전송을 모를 수 있음
  2. 이 경우 전체 Packet transmission time만큼 낭비임
* CSMA/CD(Collision Detection)
* 짧은 시간 안에 Collision 발견됨
  1. Wired LAN에서는 쉬움
  2. Wireless LAN에서는 어려움
* NIC가 transmitting중에 다른 transmission을 발견(Collision 발견)하면 abort 시켜, channel 낭비를 줄임
* abort후에는 Binary(exponential) backoff
  1. m번째 collision 이후, NIC는 {0, 1, 2,3, … ,2m-1} 사이에서 k값 고름
  2. k\*512bit time만큼 기다린 이후에 다시 channel을 sensing하여 보냄
  3. m이 늘어나면 (충돌이 많아지면) backoff interval이 길어짐.
* ALOHA보다 좋은 performance, cheap, decentralized
* CSMA/CA(Collision Avoidance)

**Taking turns**

* Node들이 돌아가면서 보낼 수 있도록 함, 보낼 것이 많은 node가 longer turn을 얻을 수 있음.
* Polling
* Master Node가 slave node들에게 poll이라는 turn을 줌
* slave node는 poll을 받으면 data 전송
* polling overhead, latency, master node가 이상이 생기면 전체가 이상이 생긴다는 문제
* Token passing
* Control Token이 한 node에서 다음 node로 순차적으로 전달
* token overhead, latency, token이 이상이 생기면 전체가 이상이 생긴다는 문제

MAC address

* LAN/physical/Ethernet Address라고도 함
* 한 interface에서 다른 물리적으로 연결된 interface로 프레임을 가져오는데 locally 사용
* Linked Layer에서 사용
* 48bit(12hex) Mac Address는 일반적으로 NIC Rom에 burned(심어져서)되어 나옴
* LAN안의 각 adapter(NIC)는 unique한 LAN address를 가지고 있음

MAC address와 IP address의 비교

* MAC address
* SSN과 같음(내가 이사해도 주민등록번호는 그대로임)
* Portable
  1. LAN card를 다른 LAN area으로 MAC address가 바뀌지 않고 옮길 수 있음
* IP Address
* Postal Address와 같음(내가 이사하면 주소가 바뀌게 됨)
* Not Portable
  1. IP subnet에 depend하기 때문에 옮기게 되면 IP address가 바뀌게 됨

Address Resolution Protocol(ARP)

* ARP table
* LAN의 각 IP node(host, router)는 ARP table을 가지고 있음
* LAN node들의 IP/MAC address Mapping 정보와 TTL정보가 저장되어 있음
* TTL(time to live): TTL시간만큼만 mapping 정보를 가지고 있음(soft state)
* A(sender)와 B(receiver)가 같은 LAN에 있는 경우
* A는 B의 IP Address를 담고 있는 ARP query packet를 Broadcast
* B는 ARP packet을 받아서 A에게 B의 MAC 주소를 Unicast
  1. 이 때 B는 자신의 ARP Table에 A의 IP/MAC주소를 caching
* A는 자신의 ARP Table에 B의 IP/MAC주소를 caching
* A(sender)와 B(receiver)가 서로 다른 LAN에 있는 경우
* 전제
  1. A는 DNS를 통해 B의 IP Address를 알고 있음
  2. A는 DHCP를 통해 first hop router R의 IP Address를 알고 있음
  3. A는 ARP를 통해 R의 MAC Address를 알고 있음
* Router R을 거쳐서 보내게 됨

Ethernet

* Wired Net의 표준
* 간단하고 가격이 쌈
* 10Mbps – 10Gbps
* Physical Topology
* Bus
  1. 모든 node들이 같은 collision domain에 있음(서로 충돌이 일어날 수 있음)
* Star
  1. Switch가 Center에서 Node들을 Organize
  2. Node들끼리 Collision 일어나지 않음
* Ethernet Switch
* Link layer device
* Ethernet frame을 store하고 forward함
* 수신한 frame의 MAC주소를 검사하고, frame이 전달될 때 하나 이상의 송신 링크로 선택적으로 프레임을 전달하고, CSMA/CD를 사용
* Transparent-> host들은 switch의 존재를 모름
* plug-and-play, self-learning -> switch들은 configured 될 필요가 없음

Switch

* Host는 Switch에 Dedicated, Directly 연결되어 있음(Star Topology)
* Switch는 Packet을 Buffer함
* 수신 link에서는 Ethernet Protocol 사용(No Collision, Full Duplex)
* Switch Table
* 각 Switch는 Switch table을 가지고 있음
* Switch Table의 각 Entry는 (host의 Mac Address, host로 가기 위한 Interface, timestamp)
* Self Learning.
* Switch는 어떤 Interface를 통해 도달할 수 있는 호스트를 학습
* frame이 도착하면 switch는 sender의 location을 알게 되고 이를 switch table에 기록
* Flood
* Destination MAC Address를 Table에서 찾지 못하면 해당 frame을
* arriving interface를 제외한 모든 interface로 forward
* Interconnecting Switches: Self-learning switch들은 같이 connected 될 수 있음

Switch와 Router

* Switch와 Router 모두 Forwarding Table 가지고 있고 Store-and-Forward
* Router
* Network Layer Device(IP Address)
* Routing Algorithm을 이용해서 Table 계산
* Switch
* Link Layer Device(MAC Address)
* Forwarding Table 학습

VLANs

* 비록 물리적인 Switch는 서로 다르더라도 논리적으로 하나의 Switch인 것처럼 만들어주거나(Overhead를 줄여줌)
* 하나의 Switch를 사용하지만 논리적으로 서로 다른 Switch를 사용하는 것처럼 만들어 줌(Security를 위해서)
* Port-based VLAN: Port 번호에 의한 VLAN 구별 방법
* traffic isolation
  1. frames to/from ports 1-8 can only reach ports 1-8.
* dynamic membership
  1. VLAN간에 Port를 동적으로 할당 가능
* VLAN들 사이에서의 Forwarding
  1. Router를 거쳐서 이루어짐.
* trunk port: 여러 물리적 Switch들에 정의된 VLAN간에 frame을 전달해 줌

Multiprotocol Label Switching(MPLS) -> Protocol 이름 아님

* Link Virtualization
* IP Address 대신 Fixed Length Label을 이용해서 빠르게 IP forwarding을 해줌
* 하지만, IP Datagram은 여전히 IP Address 담고 있음
* MPLS capable Router
* a.k.a. Label Switched Router(MPLS 가능)
* Packet을 Forwarding 할 때 IP Address 말고 MPLS Header 이용
* Traffic Engineering(flexibility)
  1. source IP와 destination IP를 모두 고려하여 서로 같은 Destination으로 향하는 flow를 서로 다르게 routing해줄 수 있음
  2. Link fail이 일어난 경우 빠르게 re-route를 해줄 수 있음

IP Routing과 MPLS Routing의 차이

* IP Routing
* destination address만을 이용해서 경로 결정
* MPLS Routing
* source와 destination address를 이용해서 경로 결정
* link fail에 대비해 backup route를 precompute하여 fast reroute가능

MPLS Signaling 이부분은 잘 모르겠답

Data Center Network

* Load Balancer
* Application layer routing
* Balancing the traffic

Chapter7

Wireless Challenges

* wireless
* wireless link를 통해 어떻게 communication을 할 것인지(전자공학)
* mobility
* mobile user가 network에 대한 attachment point를 변경할 때(이동할 때) 어떻게 handling 할 것인지(computer science)

Elements of a wireless network

* wireless hosts
* laptop, smartphone ( stationary 거나 mobile)
* base station
* 일반적으로 wired network에 연결되어 있음
* area에서 wired network와 wireless host간의 packet 전송을 담당하는 relay node 역할
* Wireless link
* 주로 last one hop
* 일반적으로 wireless host로부터 연결된 access point(802.11)또는 base station(cellular)까지만 wireless network이고 그 외는 wired network(때때로 wireless 일 수 도 있음).
* backbone link로 사용됨
* Infrastructure mode
* base station connects mobiles into wired network.
* hand off: host가 connection을 유지하면서 base station을 옮기는 것
* ad hoc mode
* Infra structure가 없이 특정 시간, 공간에, 특정 목적으로 잠시 모이는 것
* Base Station 없음
* Node는 Link Coverage안의 다른 노드로만 전성할 수 있음
* Node는 스스로를 네트워크로 구성
* 통신이 끝나면 흩어져서 Network 없어짐.

Wireless network taxonomy

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Single hop(wireless)** | **Multiple hops(wireless)** |
| **Infrastructure** | Wifi, Cellular  (connection to larger Internet) | Mesh net  (connection to larger internet)  (relay 필요) |
| **No infrastructure** | Ad hoc network, Bluetooth  (No connection to larger internet) | MANET, VANET  (No connection to larger internet)  (relay 필요) |

Wireless Link Characteristics

* Propagate하면서 signal의 strength가 감소
* 다른 source로부터 간섭을 받음
* multipath propagation: 똑같은 정보가 반사 등에 의하여 시간차를 두고 destination에 도착하게 됨
* 위의 3가지 특성때문에 wired보다 어려움
* SNR
  1. Signal-to-noise ratio(noise에 대한 Signal의 세기)
  2. 높을 수록 Signal을 추출하기 쉽기 때문에 좋음
* BER
  1. Bit error ratio(낮을 수록 좋음)
  2. SNR이 높아지면 BER은 낮아짐
* Physical Layer가 주어진 경우: Power를 올리면 SNR이 증가하고, BER은 낮아지지만 energy efficiency는 떨어지므로 적절한 Power를 골라냄.
* SNR이 주어진 경우: BER requirement를 만족하는 physical layer를 선택

Wireless network characteristics

* Hidden terminal Problem
* 무선 LAN에서 3개의 노드가 있을 때, 중간 1개 노드는 양 노드가 보여 통신이 가능하나 장애물 또는 거리가 먼 2개 노드들 간에는 서로 통신이 되지 않게 되는 현상
* Signal attenuation
* 무선 LAN에서 3개의 노드가 있을 때, 중간 노드는 양 노드들과 통신이 가능하나 양 노드들 간에는 중간 노드에 의해 신호가 감쇠되어 서로 통신이 되지 않게 되는 현상

Code Division Multiple Access(CDMA)

* 각 user에 unique한 code가 assign됨
* 모든 user는 same frequency를 공유하지만 각 user는 data를 encoding하기 위한 own chipping sequence code를 가지고 있음
* 여러 사용자가 공존하도록 해주고 간섭을 최소화하면서 동시에 전송할 수 있도록 해줌.
* encoded signal=original data \* chipping sequence
* decoding: 받은 encoded signal에 같은 chipping sequence를 정확히 sync된 시간에 곱해줌
* 간섭이 일어나더라도 Sender의 Original Data를 recover할 수 있음

IEEE 802.11 Wireless LAN

* multiple access를 위해 CSMA/CA를 이용
* base-station version과 ad-hoc network version이 있음
* wireless host는 base station과 통신함
* base station = access point(AP)
* Basic Service Set(BSS, a.k.a. cell)은 아래를 포함하고 있음
* wireless host
* access point(AP): Base Station
* ad-hoc mode인 경우에는 host만 포함하고 있음
* Host는 여러 Access Point중 하나와 연결되어야 함
* Host는 AP의 이름(SSID) 및 MAC address가 포함된 beacon frame을 수신, 채널 스캔
* Host는연결할 AP를 선택
* Host는 일반적으로 DHCP를 실행하여 AP의 Subnet에서 IP주소를 가져옴
* Passive Scanning
  1. Host는 기다리고 있는데 AP가 먼저 beacon frame을 보냄
  2. Host가 AP를 골라 association Request frame을 보냄
  3. 선택된 AP가 association Response frame을 보냄
* Active Scanning
  1. Host가 Active하게 Probe Request frame을 broadcasting
  2. 여러 AP가 Probe Response frames를 보냄
  3. Host가 AP를 골라 association Request frame을 보냄
  4. 선택된 AP가 association Response frame을 보냄

IEEE 802.11: multiple access

* Wireless에서는 간섭이 심해 신호가 약해져 Collision Detection을 하기 어려움.
* 모든 Collision을 Sensing하기 어려움(Hidden terminal, fading 문제)
* CSMA/CA(Collision Avoidance)
* Sender

1. DIFS만큼 channel을 sensing하여 Idle이면 전체 프레임 보냄(NO Collision Detection)
2. Busy이면 random backoff time만큼 timer를 가동하고, timer가 만료되면 다시 sensing
3. 보냈는데 ACK신호가 오지 않으면 random backoff interval을 증가시키고 2번을 반복

* Receiver
  1. frame을 잘 받은 경우 SIFS만큼 기다린 후에 ACK 신호를 보냄
  2. Hidden terminal Problem 때문에 ACK 신호를 반드시 보내주어야 함.
* CSMA/CA(향상된 버전)
* Sender는 먼저 작은 Request-to-Send(RTS) Packet을 CSMA를 통해 Base Station에 보냄.
  + - * RTS는 CSMA로 보내기 때문에 collision이 일어날 수 있지만 small packet이므로 damage가 별로 없음
* Base Station은 RTS에 대한 응답으로 Clear-to-send(CTS)를 모든 노드들에 broadcast함.
* CTS가 모든 node들에 받아짐
  + - * Sender는 data frame을 transmit
      * 다른 node(station)들은 transmission을 미룸
* RTS/CTS Mechanism을 쓰면 frame collision을 완벽하게 효율적으로 피할 수 있음

mobility within same subnet

* 어떤 host가 동일한 IP Subnet에서 AP를 이동한다면 IP address를 바꾸지 않고 그대로 유지
* Switch는 self learning을 통하여 host가 어떤 AP와 연결되어 있는지를 알게 됨.

Power management

* to save energy
* Node는 Next beacon frame 전에 일어남.
* AP-to-mobile frames이 전송되면 node는 깨어 있음, 그렇지 않으면 Next Beacon frame 전까지 sleep

Personal Area Network(Bluetooth)

* ad hoc
* master/slave
* slave는 master에게 보낼 수 있는 권한을 요청하고 master는 요청을 승인

Components of cellular network architecture

* Cell
* Base station이 cell이라고 불리는 특정 area를 cover
* Base Station(BS) : 802.11의 AP와 유사
* Mobile Users: BS를 통해 network에 attach됨
* air interface: mobile과 BS 사이의 physical and link layer protocol
* MSC
* a set of base station이 묶여서 연결된 곳
* cell에 wired tel.net을 통해 연결
* call setup을 manage
* mobility를 handling

Cellular networks

* mobile-to-BS radio spectrum을 sharing하는 방법(2가지)
* combined FDMA/TDMA
  1. Spectrum을 frequency channel들로 나누고 각 channel을 time slot들로 나눔
  2. 결합하는 것이 FDMA/TDMA를 각자 사용하는 것보다 성능이 좋음
* CDMA
* 2G Network Architecture
* Voice만 Support 함
* Base Station System(BSS)=BTS(Base Transceiver Station)+BSC(Base Station Controller)
* Mobile Switching Center(MSC)
* 3G Network Architecture
* Core Part에서 Voice와 Data 분리(Edge Part는 제외)
* Voice는 기존의 Public Telcom Network를 사용
* Data는 Internet을 사용하여 Voice와 Data를 병렬적으로 같이 운영
* 4G Network Architecture
* Data와 Voice를 분리하지 않고 모든 traffic이 IP Core를 통해 게이트웨이로 전달
* MME(Mobile Management Entity)
* HSS(Home Subscriber Server)= MSC와 하는 역할 동일

Mobility

* Home Network: mobile의 Permanent Home Network
* Home Agent: mobile이 원격일 때 Mobility Function을 수행하여주는 Entity(Gateway 같음)
* Permanent Address: Home Network에서 mobile에 할당된 address
* mobile에 reach하기 위해서 사용될 수 있음
* Visited Network: 현재 mobile이 위치하는 Network
* Foreign agent: Mobility Function을 수행하여주는 visited network 안의 Entity
* Care-Of-Address: Visited Network에서 temporary assign된 주소
* Correspondent: mobile과 communication하고 싶어하는 개체

Mobility

* Router가 handling(Mobile이 많은 곳에서 적합하지 않음)
* router가 permanent address를 이용해 mobile user의 위치를 계속 advertise하면서 routing table을 업데이트해서 permanent address를 통해 communication 가능
* routing table이 각 mobile이 어디에 위치해 있는지 나타냄
* End-System에는 변화가 없음
* End-System이 Handling
* Indirect Routing
  1. Correspondent는 mobile의 Permanent(Home) Address이용해서 packet addressing
  2. Home agent는 packet을 foreign agent로 forwarding
  3. Foreign Agent는 packet을 받아서 mobile로 forwarding
  4. mobile은 correspondent에게 directly reply
* Direct Routing
  1. Correspondent가 Home Agent로부터 Care-of Address를 받음
  2. Correspondent가 packet을 directly foreign agent에게 보냄
  3. Foreign agent는 packet을 받아 mobile로 forwarding
  4. mobile은 correspondent에게 directly reply

Indirect Routing 분석

* mobile은 두 개의 address를 사용
* permanent address: correspondent에 의해 이용됨(따라서 correspondent는 실제 mobile의 location을 몰라도 됨[transparent])
* care-of-address: packet을 mobile로 forwarding하기 위해 home agent에서 사용
* foreign agent의 역할은 mobile 자체에 의해 수행될 수 있음
* triangle routing: correspondent와 mobile이 같은 network에 있으면 비효율적
* mobile이 visited network를 change하여도 transparent하기 때문에 on-going connection은 유지됨

Direct Routing 분석

* Triangle Routing Problem을 극복
* Correspondent에게 transparent하지 않음(Correspondent는 care-of-address를 home agent로부터 받아야 함)
* mobile이 visited network를 change하면
* anchor foreign agent: 가장 처음의 visited network의 Foreign agent
* data는 먼저 anchor FA로 routing됨
* 새로운 visited network의 FA는 old FA로부터 data를 전달 받음(chaining)

Mobile IP: Agent Discovery

* Agent Advertisement: foreign/home agent는 ICMP message를 broadcasting함으로써 advertise
* ICMP : network layer protocol

Handling mobility in cellular networks

* Home Network: KT와 SKT같은 현재 사용하는 Cellular Provider의 Network
* Home Location Register(HLR): permanent cell phone#, profile information, current location 정보를 포함하는 home network안의 database
* Visited Network: 현재 mobile이 위치하는 Network
* Visitor Location Register(VLR): visited network안에 현재 있는 각 user들에 대한 entry의 database
* Home Network도 될 수 있음
* GSM
* Indirect routing to mobile
  1. call이 home network로 routing 됨
  2. home MSC는 HLR로부터 mobile의 roaming number(care-of-address)를 받아옴
  3. home MSC는 visited network의 MSC로 2nd leg of call을 설정
  4. visited network안의 MSC가 base station to mobile을 통해 call을 완료
* handoff with common MSC
  + - * strong signal을 위해서 handoff를 함
      * 한 쪽 base station으로 몰리는 것을 막기 위해 hand off를 함
      * hand off는 old BSS에 의해 initiate됨
  1. old BSS가 MSC에게 handoff가 임박했음을 알리고 1개 이상의 새로운 BSS목록을 제공
  2. MSC가 새로운 BSS로의 경로를 설정(자원 할당)
  3. 새로운 BSS는 mobile에서 사용할 radio channel을 할당
  4. 새로운 BSS는 MSC와, old BSS에게 준비되었다고 신호보냄
  5. old BSS는 mobile에게 새로운 BSS로 handoff하라고 알림
  6. mobile, new BSS는 새로운 channel을 활성화하기 위해 signal
  7. mobile은 handoff가 완료되었다고 new BSS를 거쳐 MSC에 알림, MSC는 call을 reroute
  8. MSC-old-BSS 자원을 풀어줌.
* Handoff between MSCs(3G)
  + - * Anchor MSC: call중에 처음 방문한 MSC
      * call은 Anchor MSC를 통해 routing됨
      * chaining
* Handling Mobility in LTE
  + - * Paging: idle한 user agent는 cell에서 cell로 이동할 수 있음, network는 idle한 user agent가 어디에 있는지 알지 못함. 따라서 user agent를 찾기 위해 모든 eNodeB에 의해 MME로부터 broad cast.
      * handoff는 3G와 같음

Wireless, Mobility

* high level로의 영향을 최소화 해야함
* 성능이 wired에 비해 나빠짐(packet loss, delay, bit-error 등)