인터넷에서 사용되는 여러 기술

DHCP 이야기 5

Dynamic
Host
Configuration
Protocol

글
조인준
KBS 미디어기술연구부 수석연구원

지난 내용을 통해 동적 IP 주소 할당이 DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol)의 가장 중요한 특징이며, DHCP가 등장함으로써 네트워크 관리 패러다임이 IP 주소의 소유 중심에서 IP 주소의 임대 중심으로 전환되었다고 말씀드렸습니다. 또한, 이러한 변화가 갖는 중요성에 대해서도 반복적으로 강조했습니다. 이전까지의 내용은 주로 IP 주소의 동적 할당 및 임대의 개념적 원리를 이해하는 데 초점을 맞추었다면, 이제부터는 한 걸음 더 나아가 DHCP 환경에서 IP 주소 임대를 구현하기 위해 클라이언트와 서버가 어떻게 동작하며 어떤 메시지를 주고받는지 구체적으로 살펴보겠습니다.

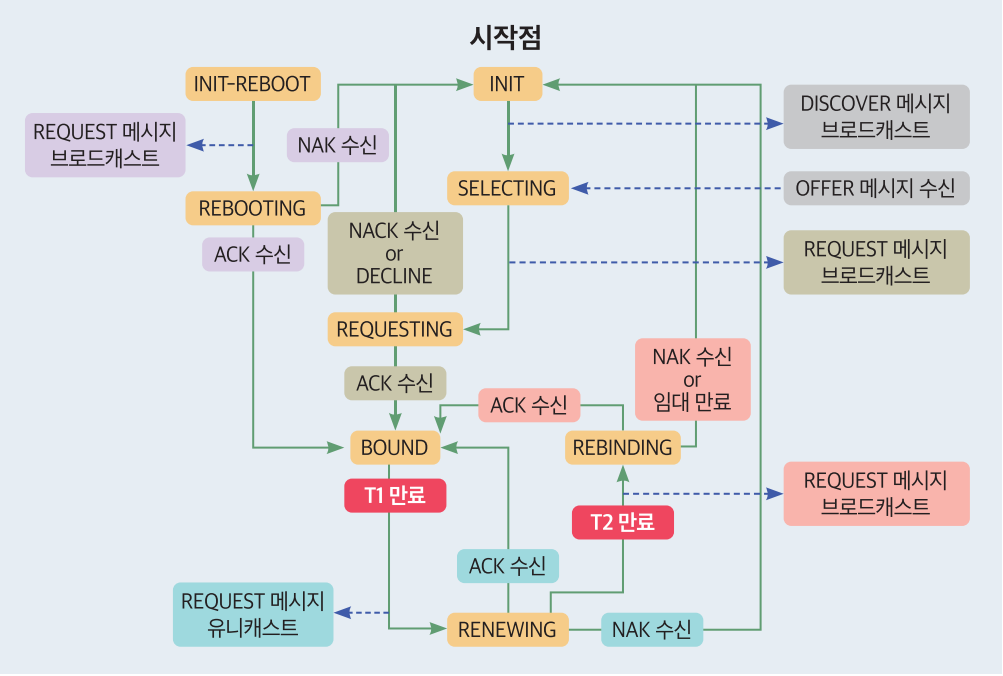

그림 1. DHCP의 동적 IP 주소 할당 및 임대 갱신 상태 전이 다이어그램

[그림 1]의 DHCP 클라이언트 상태 전이 다이어그램은 클라이언트가 네트워크 환경에서 동적으로 IP 주소를 할당받고, 이를 유지, 갱신 및 반환하는 전 과정을 상태별로 표현하고 있습니다. 이 다이어그램은 각 상태에서 발생하는 DHCP 메시지 교환과 상태 전이 조건을 보여주며, 클라이언트가 네트워크 관리자의 개입 없이도 IP 주소를 효율적으로 확보하고 지속해서 사용할 수 있도록 하는 DHCP의 자동화된 동작 원리를 잘 나타내고 있습니다.

다만, [그림 1]에서 명심해야 할 점은 상태 다이어그램이 일반적인 동적 할당(Dynamic Allocation) 방식으로 동작하고 있는 DHCP 환경을 전제로 하고 있다는 것입니다. 자동 할당(Automatic Allocation) 방식으로 설정된 클라이언트는 한 번 부여된 IP 주소를 영구적으로 사용하므로 임대 갱신 절차가 불필요합니다. 또한, 수동 할당(Manual Allocation) 환경에서는 네트워크 관리자가 사전에 정의한 주소를 클라이언트에게 고정적으로 제공하기 때문에 동적 할당 방식의 다이어그램과는 다른 단계를 거치게 됩니다.
[그림 1]을 사용하여 IP 주소의 동적 할당 방식만을 설명하는 이유는 DHCP가 가져온 가장 큰 변화가 DHCP라는 이름에서도 보이듯이 동적 IP 주소 할당이며, 실제 다양한 단말이 빈번하게 연결 및 해제되는 대부분의 회사나 가정의 네트워크 환경에서 DHCP가 주로 동적 할당 모드로 동작하기 때문입니다. 또한, IP 주소를 영구 사용하여 갱신 절차가 필요 없는 자동 할당이나 DHCP 서버가 주소를 관리하지 않으므로 상태 변화가 거의 없는 수동 할당의 경우 동적 할당과 비교해 일부 상태나 절차가 생략되거나 단순화되어 동적 할당 방식에서의 클라이언트 동작을 이해하면 다른 방식에서의 클라이언트 동작도 쉽게 이해할 수 있기 때문입니다.

동적 할당 방식을 중점적으로 설명하는 이유에 대해 말씀드렸으니, 이제부터 [그림 1]의 상태별 동작 원리, 전이 조건, 메시지 유형, 그리고 예외 처리 등에 대해 구체적으로 설명해보겠습니다. 참고로 [그림 1]에서 요청 메시지와 이에 해당하는 응답 메시지는 같은 색으로 표시하여 각각의 묶음으로 구분되도록 하였습니다.

INIT

☑ DHCP 클라이언트가 네트워크에 새로 접속했지만, 아직 유효한 IP 주소를 보유하지 못한 초기 상태로, 네트워크상에 어떤 DHCP 서버가 있는지에 대해 전혀 모르는 상태

☑ DHCP 서버를 찾기 위해 DISCOVER 메시지를 네트워크에 브로드캐스트하며 DISCOVER 메시지에는 다음과 같은 정보 필드가 포함될 수 있음

- CHAddr(Client Hardware Address) 필드 : 자신의 하드웨어 주소(MAC)를 넣어 식별
- XID(Transaction ID) 필드 : 임의의 트랜잭션 ID를 넣어 이후 동일한 XID를 포함한 응답이 해당 요청에 대한 것임을 식별
- 특정 IP 주소 요청 시 Requested IP Address 필드 사용
- 원하는 임대 기간 요청 시 IP Address Lease Time 필드 사용
- 필요로 하는 구성 매개변수 지정 시 Parameter Request List 필드 사용

☑ 이후 클라이언트 상태는 SELECTING으로 전환되어 응답을 기다림

☑ 클라이언트가 INIT 상태에서 보낸 DISCOVER 메시지에 대해 서버는 다음과 같은 작업을 수행

- 네트워크상의 모든 DHCP 서버가 클라이언트의 DISCOVER 메시지를 받고 분석
- 서버는 데이터베이스에서 해당 클라이언트의 MAC 주소를 조회하여 임대를 제안할 수 있는지 여부와 임대 조건을 결정

- 클라이언트가 특정 IP 주소나 임대 기간, 기타 네트워크 설정 파라미터를 요청했을 경우, 가능하면 이를 반영하지만, 반드시 따를 필요는 없음
- 서버는 임대 가능한 IP 주소가 부족하거나 클라이언트가 요청한 서비스의 미지원 등으로 해당 클라이언트에게 IP 주소 임대를 하지 못할 수도 있음

☑ DISCOVER 메시지 수신 후 서버가 수행하는 관련 작업 (OFFER 메시지 생성 과정)

- INIT 상태의 클라이언트가 보낸 DISCOVER 메시지를 분석하고 이에 응답하기로 한 서버는 DISCOVER 메시지에 포함된 XID와 동일한 XID를 OFFER 응답에 포함해 클라이언트 요청에 대해 자신의 OFFER 응답을 매칭함
- OFFER 메시지의 YIAddr(Your IP Address) 필드는 서버가 클라이언트에게 임시로 할당을 제안하는 IP 주소를 전달하며, ① 과거 동일 클라이언트에 할당했던 IP 주소, ② 클라이언트가 요청한 IP 주소, ③ IP 주소 풀에서 선택된 할당 가능한 임의의 주소 등으로 채워질 수 있음
- OFFER 메시지에는 해당 IP가 속한 네트워크의 서브넷 마스크, 기본 게이트웨이 IP 주소, IP 주소 임대 기간, IP 주소 임대 갱신 관련 시점 (T1, T2) 등의 정보도 포함
- DHCP 표준에서는 OFFER 메시지 전송 전에 해당 IP가 이미 사용 중인지 확인할 것을 권장

SELECTING

☑ SELECTING 상태는 클라이언트가 INIT 상태에서 전송한 DISCOVER에 대한 응답(OFFER 메시지)을 하나 이상 수신하고, 그중 하나를 선택하는 단계

☑ 이 상태에서 클라이언트는 여러 DHCP 서버가 제안한 임대 조건을 비교하고, 최종적으로 하나의 서버를 선택하여 REQUEST 메시지를 브로드캐스트로 전송

☑ REQUEST 메시지를 브로드캐스트하는 이유는 선택된 DHCP 서버에게는 제안을 수락한다는 의사를 전달하고 선택되지 않은 다른 서버들에게는 제안을 거절한다는 의사를 전달하여 불필요한 주소 예약이 진행되지 않도록 유도

- REQUEST 메시지의 DHCP Server Identifier 옵션에 선택된 DHCP 서버의 IP 주소를 명시하여 수신 측이 자신이 선택된 서버인지 판별할 수 있도록 함
- Requested IP Address 옵션에는 OFFER 메시지에서 제안받은 IP 주소를 다시 명시하여 수락 의사와 함께 서버 측의 제안이 중간에 변조되거나 잘못 전달되지 않았음을 확인
- Parameter Request List를 통해 클라이언트가 필요한 추가 네트워크 구성 파라미터(서브넷 마스크, 기본 게이트웨이 IP 주소, IP 주소 임대 기간 등)를 나열
- OFFER 메시지에서 제공된 Parameter Request List 정보는 제안일 뿐, REQUEST에서 명시적으로 요구하지 않으면 제공되지 않을 수 있음

☑ REQUEST 메시지를 통해 나머지 서버들은 클라이언트가 자신들을 선택하지 않은 것을 인지하고 OFFER를 철회하거나 무시

☑ 서버로부터 OFFER 메시지가 없으면 클라이언트는 DISCOVER 메시지 재전송 모드로 들어가 DHCP 서버 발견을 재시도

REQUESTING

☑ 클라이언트는 SELECTING 단계에서 하나의 DHCP 서버를 선택한 후, 해당 서버의 제안을 수락하기 위해 REQUEST 메시지를 전송하고 REQUESTING 상태로 이동

☑ 선택된 DHCP 서버로부터 ACK(Acknowledgement, 승인)이나 NAK(Negative Acknowledgement, 거부) 메시지를 받음

☑ ACK 메시지 수신

- IP 주소 임대를 최종 승인한다는 의미
- ACK 메시지에는 할당된 IP 주소(YIAddr), 임대 기간, 임대 갱신을 위한 T1/T2, 그리고 클라이언트가 요청한 네트워크 설정 관련 정보가 포함
- 클라이언트는 ACK 메시지를 수신하면 BOUND 상태로 전이하고, 네트워크 설정을 적용하여 정상적인 IP 통신을 시작

☑ NAK 메시지 수신

- 요청이 거부되었음을 의미
- NAK 메시지를 받은 클라이언트는 IP 구성을 폐기하고 INIT 상태로 되돌아가 DISCOVER 과정을 다시 시작

☑ 클라이언트가 IP 주소 최종 사용 가능 여부 확인

- ARP 요청을 보내 해당 IP 주소가 다른 장치에서 사용 중인지 최종 확인
- IP 주소가 이미 사용 중이면 서버에 DECLINE 전송 후 INIT 상태로 복귀

☑ 클라이언트는 ACK 또는 NAK이 도착할 때까지 일정 시간 대기후에도 서버로부터 응답이 없으면 REQUEST 메시지를 동일 조건으로 재전송

☑ 여러 차례 재시도 후에도 응답이 없으면 현재 시도를 포기하고 INIT 상태로 복귀하여 새로운 DISCOVER 메시지를 전송

BOUND

☑ 클라이언트가 성공적으로 IP 주소를 할당받고, 관련 네트워크 구성 정보가 최종 확정된 상태

☑ 클라이언트는 네트워크 인터페이스에 할당된 IP 주소를 적용하고, 서브넷 마스크, 게이트웨이, DNS 서버, 임대 기간 등의 설정을 반영하여 정상적인 양방향 네트워크 통신이 가능한 상태

☑ BOUND 상태 유지 조건

- IP 주소의 유효한 임대 기간만 BOUND 상태가 유지
- 임대 기간은 DHCP 서버가 ACK 메시지에서 제공한 값으로 결정되며, 몇 시간, 며칠, 몇 주까지 다양하게 설정될 수 있음
- BOUND 상태에서는 1차 임대 갱신 시점인 T1(기본값은 전체 임대 기간의 50% 시점)이 도래하기

전까지 네트워크 자원을 정상적으로 사용할 수 있음

- T1 만료 시 클라이언트는 RENEWING 상태로 전이하여 현재 사용 중인 IP 주소를 임대해준 DHCP 서버에게만 유니캐스트로 REQUEST 메시지를 보내어 임대 갱신을 시도하며 성공 시 BOUND 상태로 복귀

RENEWING

- ☑ 클라이언트가 유효한 IP 주소를 사용 중인 BOUND 상태에서 1차 임대 갱신 시점인 T1이 만료되었을 때 진입하는 상태
- ☑ 클라이언트는 IP 주소와 네트워크 설정을 변경하지 않은 채, 현재의 DHCP 서버에 REQUEST 메시지를 유니캐스트하여 직접 협상을 통한 임대 기간 연장을 시도하는 상태
- ☑ ACK 메시지 수신 : 임대 기간이 연장되고 BOUND 상태로 복귀
- ☑ NAK 메시지 수신 : 임대 연장이 거부되었으므로 클라이언트는 IP 주소를 해제하고 INIT 상태로 복귀하여 새로운 주소 할당 절차 시작
- ☑ 서버 응답 없음 : T2 만료 시점까지 기다린 후 REBINDING 상태로 전이하여 네트워크 내의 모든 DHCP 서버를 대상으로 REQUEST 메시지를 브로드캐스트하여 임대 갱신 재시도

REBINDING

- ☑ 클라이언트가 T1 만료 후 기존 임대 갱신을 위해 전송한 REQUEST 메시지에 대한 응답을 받지 못한 상태에서 T2마저 만료되면 진입하는 상태(T2는 특별한 사정이 없으면 기본값인 전체 IP 주소 임대 기간의 87.5% 시점으로 설정)
- ☑ 네트워크 내의 모든 DHCP 서버에게 임대 연장을 요청하는 단계로 목적은 현재 사용 중인 IP 주소를 임대한 DHCP 서버가 응답하지 않는 상황에서도 다른 DHCP 서버로부터 임대 연장을 받아 네트워크 연결을 끊김 없이 유지하는 것임
- ☑ 현재 사용 중인 IP 주소를 임대해준 DHCP 서버뿐 아니라 네트워크 내의 모든 DHCP 서버가 요청을 수신할 수 있도록 REQUEST 메시지를 브로드캐스트로 전송
- ☑ ACK 수신 : 임대 기간이 연장되고 BOUND 상태로 복귀
- ☑ NAK 수신 : 현재 사용 중인 IP 주소의 지속적인 사용이 허용되지 않으므로 즉시 IP 주소 해제 후 INIT 상태로 복귀하여 신규 주소 할당 절차 재개
- ☑ 서버 응답 없음 : 임대 만료 시점까지 기다리고, 만료 후 INIT 상태로 이동

INIT-REBOOT

- ☑ DHCP 클라이언트가 재부팅 또는 네트워크 재연결 직후, 과거에 임대받아 사용하던 IP 주소가 여전히 유효하다고 가정하고 이를 다시 사용하려고 시도하는 상태
- ☑ 불필요한 새 IP 주소 할당 절차를 생략하고 기존 IP 주소를 빠르게 재확보하여 네트워크 연결 시간을 최소화하는 데 목적이 있음
- ☑ INIT-REBOOT 상태 진입 조건 예시

- 운영 체제 재부팅(소프트웨어 업데이트, 설정 변경, 장애 복구 등)
- 네트워크 인터페이스의 일시적인 비활성화 후 재활성화
- 임대 기간이 아직 만료되지 않은 상태에서 네트워크에 재접속 등

☑ 클라이언트는 REQUEST 메시지를 브로드캐스트하여 이전에 사용하던 IP 주소를 다시 사용하고 싶다는 의사를 DHCP 서버들에 알림

☑ REQUEST 메시지 전송과 동시에 클라이언트는 서버의 응답을 기다리는 대기 상태에 들어가고, 이 응답 대기 상태가 REBOOTING 상태임

REBOOTING

☑ 클라이언트가 INIT-REBOOT 상태에서 REQUEST 메시지를 브로드캐스트하고 DHCP 서버의 응답을 기다리는 상태

☑ ACK 메시지 수신 : 요청한 IP 주소가 여전히 사용 가능하고 임대 연장이 허용되는 상태이므로 클라이언트는 즉시 BOUND 상태로 전환하여 네트워크 사용 시작

☑ NAK 메시지 수신 : 요청한 IP 주소가 더 이상 사용 불가(임대 만료, 다른 장치가 사용 중, 네트워크 변경 등)한 경우이므로 클라이언트는 INIT 상태로 전환하여 새 주소를 할당받음

지금까지 [그림 1]을 통해 DHCP 클라이언트의 IP 주소 임대 및 갱신 과정을 살펴보았습니다. 하지만 [그림 1]의 내용은 매우 질서 있는 상황에서 동작하는 클라이언트의 상태 전이 다이어그램일 뿐이며, 실제 동작에서 나타날 수 있는 모든 가능한 상황과 이에 대한 처리 방법이 다 나타나 있지는 않습니다. 예를 들면 SELECTING 상태에서 두 개의 DHCP 서버로부터 OFFER 메시지를 받은 클라이언트가 REQUESTING 상태에서 선택한 서버로부터 NAK 응답을 받은 경우, INIT으로 돌아가서 처음부터 다시 시작하는 대신 두 번째로 선택한 서버에 새롭게 REQUEST 메시지를 보내는 경우도 있을 수 있습니다. 또한 클라이언트는 여러 상태에서 요청에 대한 응답이 오지 않을 경우 타임아웃을 적용하는 등의 대비도 갖추고 있어야 합니다. 이런 이야기를 독자 여러분께 드리는 이유는 실제 상황은 우리가 생각하는 것보다 훨씬 복잡할 수 있으며, 상상하지 못했던 상황도 일어날 수 있기 때문입니다. 이런 관점에서 볼 때 우리가 일상에서 DHCP를 아무 문제 없이 사용하고 있다는 것은 그만큼 기술이 성숙해서 모든 경우에 어떤 방식으로든 대처가 되고 있다는 의미이기도 합니다.

다음 편에서도 좀 더 유용하고 신선한 소재로 찾아뵙도록 노력하겠다는 약속을 드리며, 지난 내용 중 세심하지 못한 부분이 있어 아래와 같이 정정합니다.

[DHCP 이야기 3]에서 T1과 T2 타이머 만료에 대한 내용 중 T2에 관해 설명하며 'T1이 실패한 경우에만 의미를 가지며, 이때 클라이언트는 네트워크상에 존재하는 다른 DHCP 서버에 연결하여 임대를 연장을 시도합니다.'라고 설명한 부분에서 **'네트워크상에 존재하는 다른 DHCP 서버' → '네트워크상에 존재하는 모든 DHCP 서버'**로 정정합니다. T1 만료 후 접속을 실패한 원래의 DHCP 서버는 T2 만료 후에도 다시 접속이 불가능할 가능성이 높지만, 100% 접속 불가라 단언할 수 없으므로 엄밀한 내용 전달을 위해 위와 같이 정정합니다.

P.S.

C군이 여러분께 전하는 내용 중 전문적 성격이 짙은 것은 엄밀한 언어를 사용하여 설명하기에는 한계가 있습니다. 본 내용은 설명하는 대상에 대한 전체적 맥락의 이해에만 이용하시고, 그 이상은 권위 있는 전문자료를 참고하시기 바랍니다.