

무선 통신망 교차 계층 설계 기술 동향

박운희* 정남호** 오대섭** 장대익***

TCP/IP 네트워크 5 계층의 엄격한 계층 구조는 정보의 캡슐화(capsulation) 기능을 통해 네트워크 통신의 표준 규약을 결정하고, 네트워크 구현을 용이하게 한다. 그러나 정보의 캡슐화는 QoS(Quality of Service) 저하, 지연, 과부하 등 일부 부작용을 초래할 수 있기 때문에 이를 경감시키기 위해 TCP/IP 모델 내 다양한 교차 계층 설계가 제안되고 있다. 기본적으로 교차 계층 설계는 보안, QoS, 이동성 등의 무선 네트워크 성능을 개선시키기 위해 5 계층 간에 정보를 공유한다. 본 고에서는 각각 독립적인 두 가지 분류 방식에 따라 교차 계층 설계의 유형을 분류하고, 교차 계층 기술 간의 공존, 계층 간의 신호 방식, 범용 교차 계층 설계의 필요성, 그리고 기존 계층적 구조의 해체 등 교차 계층 설계 시 발생하는 문제들을 다룬다.

목 차

- I. 서 론
- II. 무선망 교차 계층 설계 목표
- III. 교차 계층 설계의 유형
- IV. 교차 계층 설계의 기술적 난제
- V. 결 론

* ETRI 위성휴대방송통신연구실/연구원
 * ETRI 위성휴대방송통신연구실/선임연구원
 * ETRI 위성휴대방송통신연구실/실장

I. 서 론

TCP/IP 네트워크에서 종단간 연결은 두 계층 간 제안된 인터페이스를 유지하며 설계된 OSI 5 계층(응용, 전송, 네트워크, 데이터 링크, 물리 계층)을 통해 이루어진다 [1]-[4]. 각 계층들은 하향식(top-down) 또는 상향식(bottom-up) 구조를 가지며, 데이터의 교환이나 서비스 요청은 오직 두 인접 계층 간에서 발생하고 TCP/IP 모델 내 블랙박스 형태로 형성된다[5]. TCP/IP 네트워크 고유 특성인 블랙박스는 각 계층 내부의 세부사항을 개념화 한다. 이를 정보 은닉(information hiding)이라고 하고, 이러한 추상적인 개념은 네트워크 내 일부 부작용을 유발할 수 있다. 계층 간의 엄격한 구

분은 보다 쉬운 네트워크 구축을 가능하게 하지만, 각 계층의 캡슐화는 계층 간에 필요한 정보의 공유를 막을 수 있다. 예를 들어, 무선 채널에 잡음이 많이 포함되어 있는 경우 연결이 일시적으로 끊기더라도 링크 경로 중 각 계층의 모든 노드를 거쳐야 하는 경로의 재설정 과정으로 인해 링크 회복 시간이 많이 소요될 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 연결이 끊기기 전에 링크 경로 중에 가장 취약한 링크를 찾아내고, 전체 계층의 연관성 및 구조 변경 시 역량을 고려한 교차 계층 설계가 필요하다[5]. 더욱이 일반적으로 TCP/IP 프로토콜은 종단간 성능을 고려하지 않고, 전체 시스템 내 존재할 수 있는 여러 가지 문제 중 하나의 특정 문제만을 해결하는 것을 목표로 한다. 따라서 기존의 많은 연구들은 무선 통신 네트워크에서 교차 계층 설계를 고려하지 않은 TCP/IP 실행에 대한 성능 감쇠에 대해 제시하였다[6]-[9].

TCP/IP 모델 내 계층 간의 캡슐화로 인한 취약점을 보강하기 위해 다양한 교차 계층 설계 기술들이 제안되고 있으며, 교차 계층 설계는 기존의 TCP/IP 구조를 유지하면서 인접하지 않는 두 계층 간의 통신을 가능하게 하고, 5 계층들 간에 정보 공유를 허락한다. 또한, 하나의 계층이 다른 계층을 검색하거나 수신된 데이터를 기반으로 그들의 행동 및 상황을 결정하므로, 계층적 구조를 무너뜨리지 않고 각 계층이 나머지 계층에 대한 변수, 상태를 포함한 정보들까지 공유할 수 있음을 의미한다. 또한, 계층 간 정보 공유는 다른 계층으로 들어가는 입력 정보의 제어를 통해 처리율의 향상, 지연의 감소, 비트 오류의 최소화 등이 네트워크 성능 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 이를 위해 네트워크 계층, 데이터 링크 계층, 혹은 물리 계층에 대해 기존의 전통적인 방식과 다른 다양한 교차 계층 설계가 제안되고 있다[5],[10],[11]. 예를 들어, 참고문헌 [10], [11]에서는 실시간 비디오 스트리밍과 같은 지연에 민감한 서비스에 대해 최적의 지원이 가능한 교차 계층 설계가 제안되었다. 특히, 참고문헌 [11]에서는 데이터 링크 계층과 물리 계층을 혼합한 교차 계층 설계 기술이 제안되었다.

본 고에서는 무선 망에서의 교차 계층 설계 기술에서 고려하는 세 가지 목표로서 보안, QoS 그리고 이동성 이슈에 대해 다룬다. 이러한 목표를 달성하기 위한 교차 계층 설계는 다른 계층과의 데이터 교환이나 공유를 하나의 계층이나 노드에게만 허락할 수도 있다. 하나의 노드를 통한 공유 방식은 다른 계층과 직접적인 통신을 허락하는 비 관리형 방식과 계층 간 정보의 공개 라이브러리로서 수직적 구조를 적용한 관리형 방식이 있다. 그리

고 하나의 네트워크 내 노드들 간에 공유하는 방식으로 계층 간 데이터 공유를 위해 중심 노드 또는 중간 구조를 사용하는 중앙집중형 방식과 중심 노드 없이 정보 공유를 관리하는 분산형 방식이 있다.

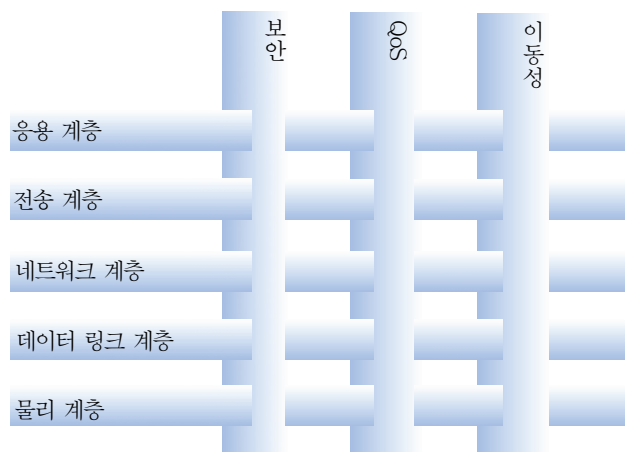
한편, 교차 계층 설계의 계층화된 구조의 해체는 오버 헤드, 계층 간 신호 방식, 범용성의 부족 등 네트워크 내 불가피한 취약점을 야기할 수 있기 때문에, 이에 대해 검토하도록 한다[4].

II. 무선망 교차 계층 설계 목표

(그림 1)은 기존의 TCP/IP 프로토콜 5 계층 구조에 보안, QoS, 이동성 측면을 추가한 정합 평면(coordination plane) 모델이다[5]. 각 평면은 무선 망에서의 특정 문제를 해결하기 위해 교차 계층 설계 기능을 지원하는 기존에 설계된 프로토콜, 수정된 프로토콜 또는 알고리즘들을 요약한 것이다[5]. 일반적으로 교차 계층 설계 시 보안, QoS, 이동성의 세 가지 중 하나 이상의 달성을 목표로 한다.

1. 보안

보안(Security) 평면은 TCP/IP 5 계층 내 보안 이슈에 관한 프로토콜의 캡슐화에 관련된 것으로서 SSH, Wi-Fi 접근 보호와 같은 암호화 방식은 보안 통신을 목표로 하는 교차



(그림 1) 교차 계층 설계의 세 가지 목표: 보안, QoS, 이동성

계층 설계 기술에 해당한다[5].

참고문헌 [12]에서는 TCP/IP 네트워크의 추상적 특성이 무선 센서 네트워크에서 중요시되는 보안의 유지를 위해 비 효율화를 초래할 수 있다고 지적하였으며, 보안 측면에서 이에 맞는 적절한 교차 계층 설계를 제안하였다. 참고문헌 [13]에서는 멀티 홉 네트워크에서 보안 방식을 위해 교차 계층 설계의 중요성을 논의하였으며, 다계층의 공격을 피하기 위해 각 계층의 정보를 공유하는 방식이다. 또한, 참고문헌 [14]에서는 현재 ‘Wireless Metropolitan Area Network(WirelessMAN)’에서 사용하고 있는 보안 방식의 단점을 지적하고, 완벽한 보안(perfect secrecy)을 위한 부선형 키 재분배(sub-linear rekey) 관련 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션 결과는 메시지 수와 전체 통신 모두에 대해 교차 계층 설계를 고려하지 않은 경우보다 4~7%의 성능 이득을 보여준다.

2. QoS

QoS(Quality of Service) 정합 평면에서는 무선 망 내 물리 계층과 데이터 링크 계층 고유의 특성으로 인해 상위 계층은 특정 환경에서 QoS 를 향상시키기 위해 가장 낮은 두 계층에서의 정보를 인지하고 있어야 한다[5]. 그러나 현재 무선 망의 선형 순차(waterfall) 적 구조 하에서는 가장 낮은 두 계층과 나머지 상위 계층들 간에 정보 공유에 대한 요구 사항이 지원될 수 없으므로, QoS 향상을 위해 교차 계층 설계를 적용한다.

무선 네트워크 내 전송 오류는 QoS 개선을 위해 고려해야 하는 대표적인 문제이다. 예를 들어, 계층 프로토콜로서 TCP 를 사용하는 무선망에서 MAC 계층과 물리 계층 성능의 저하는 패킷 손실을 야기할 수 있다[5],[10]. 전송 오류를 줄이는 방법으로 전송 계층에서 ‘Explicit Loss Notification(ELN)’에 기초한 프로토콜이 제시되었으며, 패킷 오류의 원인에 대해 패킷 전송자에게 알리는 방식이다[6]. 특히, 이 방식은 네트워크가 혼잡하지 않음에도 불구하고 전송 오류가 발생했음을 전송자에게 알림으로써 별도의 혼잡 제어 없이 재전송할 수 있다. ELN 방식을 적용한 교차 계층 설계에서는 TCP 와 MAC 계층 간에 정보를 공유한다.

기존의 계층적 구조에서의 물리 계층의 성능은 전송 계층 프로토콜로서 TCP 를 사용하는 네트워크 성능에 많은 영향을 미친다. 이는 채널 페이딩이 경로 재설정을 야기하고, 전송 지연과 높은 비트 오류는 TCP 연결 부분에서 재전송을 발생시킨다. 이는 잦은 재전



(그림 2) 스펙트럼 효율의 최대화를 위한 물리 계층의 AMC와 데이터 링크 계층의 ARQ 기법의 결합

송이 바쁜 무선 네트워크 내 혼잡 상황을 야기하기 때문이며, 교차 계층 설계를 통해 채널 페이딩, 채널 간섭, 비트 오류, 전송 지연 등의 문제를 해결해야 한다.

참고문헌 [6]에서는 MAC 계층과 물리 계층에서 발생하는 전송 오류를 다른 계층들과 공유할 수 있는 FEC(순방향 오류 정정) 방법을 제안하였다. 이 방식에서는 무선 셀룰러 네트워크에서 TCP 성능을 향상시키기 위해 ELN과 함께 FEC 기법을 사용한다. FEC 방식은 상위 계층에 의한 전송 오류 정보를 줄이기 위한 해법으로서 TCP 네트워크의 성능을 10% 정도 향상시킨다. 이와 유사한 방법으로 FEC 방식과 ‘Automatic Repeat reQuest (ARQ)’를 결합한 하이브리드 ARQ 방식이 제안되었다. 이는 QoS 개선을 위해 ‘Signal-to-Interference-and Noise Ratio(SINR)’과 변조 및 부호화 방식 간에 매핑을 최적화하는 AMC(Adaptive Modulation and Coding) 기법을 적용한다[7].

QoS를 향상시키는 또 다른 방법으로 사용자들의 통신 용량을 최대화하는 방식이 있다. 최적의 스펙트럼 효율을 위해 데이터 링크 계층의 차단(truncated) ARQ와 물리 계층의 AMC를 접목한 교차 계층 설계 방식이 제안되었다. 이는 시변 채널 특성을 갖는 무선 망에서 처리율을 증가시키고 데이터 링크에서의 ARQ 프로토콜은 채널 페이딩의 영향을 경감시키기 위해 사용된다. (그림 2)는 물리 계층에서의 AMC 방식과 데이터 링크의 ARQ 기법을 결합한 교차 계층 설계 개념을 보여준다[8].

3. 이동성

이동성(Mobility) 정합 평면은 무선 네트워크 내 연속적인 통신의 보장을 목표로 한다. 채널 스위치 및 라우팅 변경 등은 ad-hoc 네트워크에서 발생하는 일반적인 문제이며, 연속적인 통신을 보장하기 위해 반드시 해결되어야 한다. 이와 같은 노드 이동의 종류를 설

명하기 위해 참고문헌 [5]에서는 두 가지 핸드오버의 형태인 수평 핸드 오버와 수직 핸드 오버를 제시하고 있다. 전자는 동일한 무선 액세스 기술인 ‘Access Point(AP)’들 간에 하나의 노드 이동을 의미하며, 후자는 서로 다른 무선 액세스 기술의 AP 들 간에 노드의 이동을 의미한다. 교차 계층 설계 시 상위 계층은 통신이 중단되지 않도록 채널 스위치와 라우팅 변경 같은 하위 계층에서 발생하는 사건에 대해 인지하고 있어야 한다.

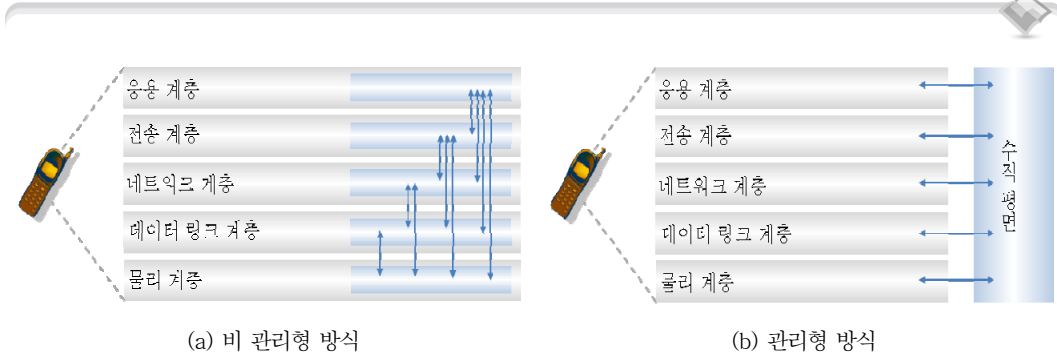
예를 들어, 교차 계층 설계에서 이동성과 관련된 문제 중의 하나는 서비스 받는 사용자의 비율이다. Wi-Fi 나 셀룰러 망과 같은 중앙 집중화된 네트워크에서는 채널 수, 간섭 등의 제약으로 인해 사용자 수가 제한된다[15]. 이를 개선하기 위해 ‘Time-Division Multiple Access(TDMA)’ 방식이 제안되었으나, TDMA 의 기술적인 특징으로 인해 기지국과 이동 단말 간에 데이터 전송이 없을 경우에도 시각동기를 유지시키기 위해 타임 슬롯과 대역폭의 낭비를 야기한다. 이때 교차 계층 설계 시 정보 공유의 이점을 통해 이와 같은 불필요한 자원 낭비를 줄일 수 있다.

III. 교차 계층 설계의 유형

교차 계층 설계는 TCP/IP 5 계층 모델에서 계층 간의 정보 공유를 허락하고, 자신 외의 다른 계층으로부터 정보를 검색하거나 수신된 정보를 기반으로 통신 시스템을 구축한다. 그러므로 교차 계층 설계에서 각 계층은 계층적 구조를 유지하면서 나머지 계층에 대한 변수, 상태를 포함하는 그들의 정보를 공유한다. (그림 1)에서 QoS 정합 면을 적용한 무선 네트워크 내 QoS 개선 관점에서 다음의 질문에 대해 고찰할 필요가 있다.

- 교차 계층 설계는 모든 노드 또는 일부 노드에 걸쳐 적용해야 하는가?
- 전체 또는 일부 계층의 프로토콜에 배치되어야 하는가?
- 교차 계층 설계를 위해 현재 프로토콜을 수정하거나 완전히 새로운 아키텍처를 구축해야 하는가?
- QoS 를 위해 중앙집중형 노드가 필요한가?

이와 같은 질문에 대한 답을 얻기 위해 기존의 교차 계층 설계 방식은 다음의 두 가지 범주로 구분할 수 있다. 먼저 한 노드에서 5 계층 간의 정보를 공유하는 방식에 따라 비관리형/관리형 방식으로 나눌 수 있고, 교차 계층 정보 공유를 위한 네트워크 조직 방식에

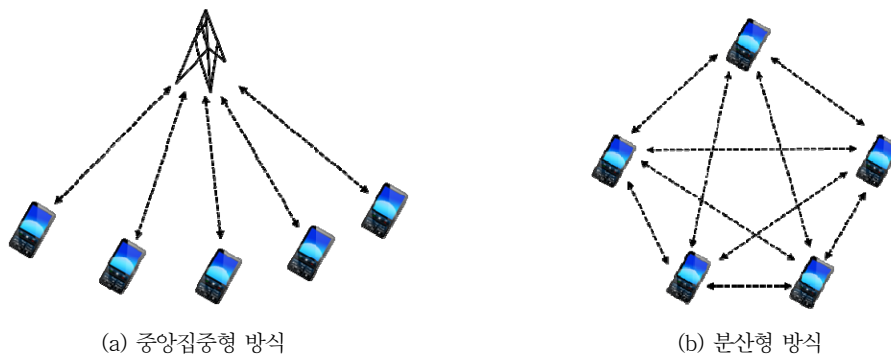


(그림 3) 정보 공유 방식에 따른 교차 계층 설계

의해 중앙집중형 방식과 분산형 방식으로 구분할 수 있다. 비 관리형과 관리형 방식은 하나의 노드에서 계층 간 정보를 공유하기 위한 것이며, 중앙집중형과 분산형 방식은 네트워크 노드 간에 계층 사이의 정보를 공유하기 위해 사용된다.

(그림 3)은 하나의 노드에서 다섯 계층 간의 정보를 공유하는 방식에 따른 분류를 나타낸다. (그림 3 (a))는 TCP/IP 프로토콜 스택에 있는 한 쌍의 계층 사이에 직접 통신을 허락하는 비 관리 방식을 보여주는 것으로 TCP/IP 5 계층 구조의 변화 없이 계층 간 직접 통신을 허락함으로써 특정 계층의 프로토콜 기능을 변경한다. (그림 3 (b))는 TCP/IP 프로토콜 스택 내 일부 또는 전체 계층에 대한 정보를 공유하는 감독자로서 수직적 평면을 도입한 것이다[5],[16].

(그림 4 (a))는 기지국으로 사용하는 중앙 노드 또는 계층 방식에서 계층적 구조를 도입하는 중앙집중형 방식을 보여준다[9]. 중앙 노드 또는 계층은 두 개의 노드 간에 TCP/IP 5 계층 정보 공유를 관리하기 위한 것으로 중앙집중화 방식은 일반적으로 셀룰러 네트워크에서 사용된다. (그림 4 (b))는 계층 간 정보 공유를 위해 중앙형 노드나 기지국을



(그림 4) 네트워크 조직 형태에 의한 교차 계층 유형

사용하지 않는 분산형 구조이기 때문에 계층 간 정보 공유 중에 멀티 홉 경로가 가능하다 [5],[16],[17]. 각각의 범주에 따른 교차 계층 설계 기술은 다음과 같다.

1. 정보 공유 방식에 따른 교차 계층 설계

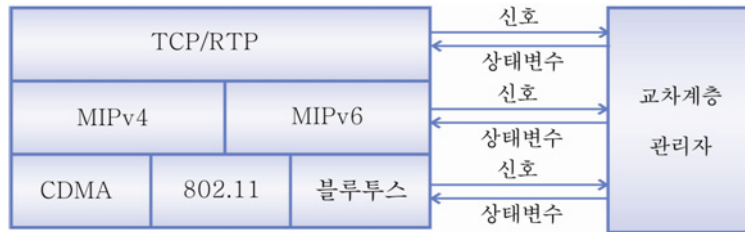
가. 비 관리형 방식

(그림 3 (a))는 TCP/IP 프로토콜 스택에서 어느 한 쌍의 계층 간 직접 통신을 허용하는 비 관리형 방식을 나타낸 것으로, 이 방식은 TCP/IP 모델의 5 계층 구조를 변화시키지 않지만 두 계층 간의 직접 통신을 허락함으로써 프로토콜 기능을 변화시킨다[5]. 예를 들어, 참고문헌 [18]에서는 ‘Orthogonal Frequency Division Multiple Access(OFDMA)’ 시스템을 위한 교차 계층 설계 기술을 제안하였고, MAC 과 PHY 사이 계층 간 운용을 위한 기본적인 교차 계층 설계 기본 구조를 설명하였다. 제안된 구조는 사용자의 그룹, MAC 스케줄러, 자원 제어부로 구성된다. 사용자 그룹은 사용자들을 구분 짓고, MAC 스케줄러는 사용자의 스케줄 및 현재 프레임 내 패킷을 할당하는 방법을 결정하며 각 데이터의 QoS 레벨에 따라 적절한 데이터 전송을 하기 위한 메커니즘을 다룬다. 자원 제어부는 스케줄러에 의해 선택된 사용자에게 주파수 대역을 할당한다.

나. 관리형 방식

(그림 3 (b))는 TCP/IP 내 일부 또는 전체 계층에서 데이터를 공유하는 관리형 방식을 보여주는 것이다. 이 방식은 수직 평면적으로 데이터 공유를 허락함으로써 각 계층 프로토콜 기능을 변형시킨다. 비 관리 방식과 관리형 방식의 주된 차이점은 전자는 두 계층 간에 직접 통신이 가능하고, 후자는 통신을 위해 수직 평면 메커니즘이 필요하다는 것이다. 예를 들어, 사전 적응 교차 계층 재구성 방식은 계층 간 통신을 관리하는 수직 평면으로서 적응형 상호 작용 인터페이스가 요구된다.

참고문헌 [16]에서는 무선 링크와 이동 단말의 높은 오류율, 전력 절감 요구 사항, 동적 네트워크 환경에서의 예측 불가능한 QoS 등에 대한 성능 문제를 해결하기 위해 관리형 교차 계층 방식이 제안되었다. 또한 4G 네트워크를 위한 교차 계층 설계 구조를 제시하고, 현재 엄격히 계층화된 프로토콜 구조와 관련된 문제점을 지적하였다. (그림 5)는 교차 계층 관리자를 나타낸 것으로 각 계층은 (그림 3 (b))에서 수직 평면으로 간주되는 교차 계



(그림 5) 무선 링크와 이동 단말의 성능 개선을 위한 교차 계층

층 관리자와 함께 TCP/IP 와 셀룰러 망 내 계층에 대한 모든 상태 변수를 공유한다.

비 감독 방식은 두 계층 간의 직접 통신이 가능하고, 관리형 방식은 정보 공유를 위한 관리 기술이 필요하지만, 두 방식 모두 계층 간 정보를 공유하는 것은 동일하다. 몇몇 관리형 방식은 선형 순차형 계층 구조를 변경하지 않을 수 있지만, 계층의 각 기능은 변경될 수 있다.

2. 계층 간 정보 공유를 위한 네트워크 조직에 따른 교차 계층 설계

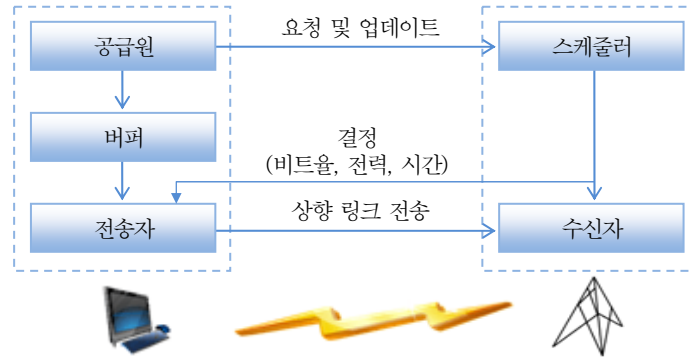
교차 계층 설계를 분류하는 두 번째 방식은 계층간 정보 공유를 위해 구성된 네트워크 조직에 따라 중앙집중형 방식과 분산형 방식으로 구분된다. 앞서 설명한 바와 같이 비 관리형/관리형 방식은 계층 간 정보 공유가 한 노드에서 발생하지만, 중앙집중형과 분산형 방식은 하나의 네트워크 내에 존재하는 모든 노드들 간에 정보를 공유한다.

가. 중앙집중형 방식

(그림 4 (a))는 셀룰러 망에서 기지국으로 사용하는 중앙 노드 또는 계층 식에서 계층 구조를 도입한 중앙집중형 방식을 보여준다. 중앙 노드 또는 계층들은 두 노드 사이에 TCP/IP 5 계층 정보 공유에 관여한다.

참고문헌 [19]에서는 시변 CDMA 채널 환경에서 실시간 비디오 스트리밍 서비스를 위한 교차 계층 설계를 제시하였다. 데이터 링크 계층에서는 물리 계층과 응용 계층으로부터 수신된 정보를 통해 자원 할당을 결정한다. 계층 간 신호 방식은 패킷 헤더에 저장되는 교차 계층 정보와 계층 간 정보를 타 네트워크에서 관리하는 방식을 통해 개선된다.

TCP/IP 계층은 교차 계층 정보를 저장하는 시스템 정보를 읽고 쓸 수 있고, (그림 6)은 이러한 중앙집중형 교차 계층 설계 방식을 나타낸다. 기지국의 중앙 스케줄러는 모든

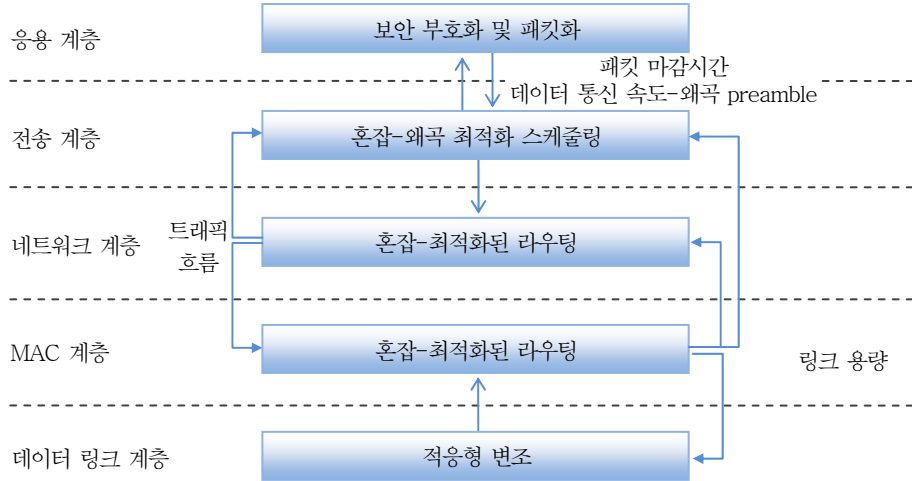


(그림 6) 시변 CDMA 채널 환경에서 실시간 비디오 스트리밍 서비스를 위한 교차 계층 설계

이동국들의 QoS 요구사항과 교차 계층 정보를 관리하며, 각 이동국의 트래픽 상태 정보를 유지한다. (그림 6)과 같이 이동국에서 기지국으로 정보를 요청하는 경우, 업데이트 되는 정보는 충돌을 피하기 위해 상향 링크 패킷에서 피지백(piggybacked) 채널을 통해 전송된다. 기지국에서는 시스템 정보로서 각 이동국들의 교차 계층 정보를 수집할 수 있고, 이동국에 응답하는 방법은 방송 전송 결정 방식으로 비교적 쉽다. 교차 계층 정보 관리를 위해 기지국은 중앙 노드의 역할을 수행하므로 기지국은 각 이동국으로부터 모인 중앙 정보를 바탕으로 이동국을 위한 데이터 링크 계층의 자원 할당량을 결정한다[19]. 기지국에서는 네트워크 내 간섭 및 자원 할당을 하게 되며, 중앙 집중화된 네트워크의 단점은 불안정한 기지국에서 발생된 정보가 자원할당에 반영된다는 것이다. 그러나 중앙 집중화된 구조로 설계된 셀룰러 망에서는 중앙집중형 교차 계층 설계 방식이 보다 적합할 수 있다.

나. 분산형 방식

참고문헌 [10]에서는 분산형 교차 계층 설계 방식으로 주어진 네트워크 자원에 대해 여러 프로토콜 계층들을 공동 설계함으로써 ad-hoc 네트워크의 종단간 성능을 개선하고자 하였다. 예를 들어, ad-hoc 네트워크에서 비디오 스트리밍과 같은 지연에 민감한 서비스를 지원하기 위해 다양한 링크와 네트워크 상태에 적절한 전략을 적용하기 위한 상위 계층을 필요로 한다. (그림 7)은 ad-hoc 네트워크에서 저 지연 미디어 스트리밍 서비스를 위한 교차 계층 설계의 기본 구조를 보여준다. 중앙 노드가 없기 때문에 본 방식은 비 관리형 방식으로 간주될 수 있으며, (그림 7)과 같이 데이터 링크 계층에서는 네트워크 통신 용량의 증대를 위해 다양한 채널 상태에 따른 적응형 변조 방식을 사용한다.



(그림 7) ad-hoc 네트워크에서의 짧은 지연 시간이 요구되는 서비스를 위한 교차 계층 설계 구조[7]

IV. 교차 계층 설계의 기술적 난제

교차 계층 설계는 기존의 TCP/IP 모델이 가지고 있는 기술적 한계를 해결하는데 그 목적이 있다. 그러나 원활한 교차 계층 설계를 위해서는 우선적으로 해결되어야 하는 기술적 난제들이 존재하며, 본 장에서는 이러한 사항들에 대해 설명한다.

1. 교차 계층 설계의 공존

교차 계층 설계에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으나, 현재까지 교차 계층 설계에 있어서 일반적으로 널리 인정되는 공존 방안이 존재하지 않는다. 이는 각각의 교차 계층 기술이 저마다 특정 통신 규격을 따르기 때문이다. 따라서 서로 다른 교차 계층 설계 기술을 하나로 통합할 수 있는 공존 방안이 필요하며, 교차 계층 설계 기술 구현을 위해서 반드시 해결되어야 할 문제이다[5].

2. 계층 간 신호 방식

교차 계층 정보를 하나의 노드에 저장하기 위해서는 참고문헌 [19]에서 제안된 시스템 정보와 같은 로컬 파일들을 사용해야 하고, 특정 교차 계층 신호 방식에 의해 노드들 간의 교차 계층 정보를 교환해야 한다. 교차 계층 신호 방식은 계층 간 정보의 포맷 형태

와 교환 방식을 제어하기 때문에, 이는 전체 시스템에서 교차 계층 정보를 전송하고 공유하는 방식을 제어함을 의미한다.

참고문헌 [21]에서는 교차 계층 신호 방식에 대한 새로운 네트워크 서비스를 설계하였다. 또, 참고문헌 [22]에서는 이동 단말들 간에 교차 계층 변수를 수집하고 교환하기 위해 무선 채널 정보 서비스를 제시하였고, 무선 채널 정보 서비스의 간단한 형태에 대해 실험 가능성을 입증하기 위해 구현하였다.

3. 범용 교차 계층 설계의 필요성

현재까지 교차 계층 설계를 기반으로 하는 다양한 응용 기술이 제안되었으며, 일반적으로 비디오 스트리밍, 보안 송신 등과 같은 특정 서비스 분야에 초점을 맞추어 왔으나, 이는 서로 다른 서비스에는 적합하지 않을 수 있다. 예를 들어, 비디오 스트리밍 서비스는 낮은 TCP retry value 를 요구하지만 문자 전송의 경우 채널 간섭의 영향으로 네트워크 연결이 원활하지 못할 수 있기 때문에 오랜 TCP retry value 를 보장할 수 있어야 한다 [22]. 이와 같이 서로 다른 응용 분야에 자동적으로 적용될 수 있는 범용 교차 계층 설계에 대한 기술 개발이 필요하다.

4. 계층적 구조의 해체

TCP/IP 모델의 계층화된 구조는 다른 계층들로부터 방해 받지 않고, 각 단일 계층의 기능과 성능을 쉽게 개선시킬 수 있다. 이와 대조적으로 교차 계층 설계는 여러 계층들 간에 동적인 상호 작용을 고려해야 하기 때문에, 시스템 내 모든 계층들에 걸쳐 작은 변형도 심사 숙고해야 한다. 계층화된 구조의 해체는 교차 계층 설계 시 발생하는 가장 어려운 문제이자 근본적인 단점이 될 수 있다[23].

V. 결 론

현재의 TCP/IP 5 계층 모델에서는 오직 인접 계층 간의 통신만 가능하다. 교차 계층 설계 기술은 5 계층 간에 정보의 공유를 통해 기존의 TCP/IP 모델이 가지고 있는 기술적 한계를 극복하고 네트워크 성능을 향상시키기 위해 제안되었다.

본 고에서는 정보 공유 방식에 따라 교차 계층 설계기술을 비 관리 방식과 관리형 방식으로 나누고, 네트워크 노드 간 공유 방식에 따라 중앙집중형과 분산형 방식으로 구분하였다. 또한, 원활한 교차 계층 설계를 위해 해결되어야 하는 기술적인 난제에 대해 교차 계층 기술 간의 공존, 계층 간의 신호 방식, 범용 교차 계층 설계의 필요성, 그리고 기존 계층적 구조 해체 등의 측면에서 대안을 제시하였다.

<참 고 문 헌>

- [1] K. S. Babulal, and R. R. Tewari, "Cross Layer Design for Cooperative Transmission in Wireless Sensor Networks," *Wireless Sensor Network*, Vol.3, 2011, pp.209-214.
- [2] C. Luo, F. R. Yu, H. Ji, and V. C. M. Leung, "Cross-Layer Design for TCP Performance Improvement in Cognitive Radio Networks," *IEEE Trans. Veh.Technol.*, Vol.59, No.5, 2010, pp.2485-2495.
- [3] U. Korger, C. Hartmann, K. Kusume, and J. Widmer, "Quality of service implications of power control and multiuser detection-based crosslayer design," *EURASIP J. Wireless Communications and Networking*, Jun. 2011.
- [4] R.W. Thomas, D.H. Friend, L.A. DaSilva, and A.B. MacKenzie, "Cognitive Networks: Adaptation and Learning to Achieve End-to-End Performance Objectives," *IEEE Commun. Mag.*, Dec. 2006.
- [5] F. Foukalas, V. Gazis, and N. Alonistioti, "Cross-Layer Design Proposals for Wireless Mobile Networks: A Survey and Taxonomy," *IEEE Commun. Surveys & Tutorials*, 2008, pp.70-85.
- [6] M. Miyoshi, M. Sugano, and M. Murata, "Improving TCP Performance for Wireless Cellular Networks by Adaptive FEC Combined with Explicit Loss Notification," *IEICE Communications Society: Transactions on Communications*, Vol.E85-B, No.10, Oct. 2002.
- [7] Q. Liu, S. Zhou, and G.B. Giannakis, "Cross-Layer Combining of Adaptive Modulation and Coding With Truncated ARQ Over Wireless Links," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol.3, No.5, Sep. 2004.
- [8] D. Wu, and S. Ci, "Cross-Layer Design for Combining Adaptive Modulation and Coding with Hybrid ARQ," *Proc. Internal Conference on Communications and Mobile Computing*, Jul. 2006, pp.147-152.
- [9] P. Bender et al., "CDMA/HDR: A Bandwidth Efficient High-Speed Wireless Data Service for Nomadic Users," *IEEE Commun. Mag.*, Jul. 2000.
- [10] E. Setton, T. Yoo, X. Zhu, A. Goldsmith, and B. Girod, "Cross-Layer Design of Ad Hoc Networks for Real-Time Video Streaming," *IEEE Wireless Communications*, Aug. 2005.
- [11] Y. Xiao, Y. Zhang, M Nolen, H Deng, and J Zhang, "A Cross-layer Approach for Prioritized

- Frame Transmissions of MPEG-4 over the IEEE 802.11 and IEEE 802.11e Wireless Local Area Networks,” IEEE Systems J., Vol.5, No.4, Dec. 2011, pp.474-485.
- [12] M. Xiao, X. Wang, and G. Yang, “Cross-Layer Design for the Security of Wireless Sensor Networks,” The 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2006, pp.104-108.
- [13] S. Khan, K. Loo, Z. Din, “Cross Layer Design for Routing and Security in Multi-hop Wireless Networks,” J. Information Assurance and Security, 2009, pp.170-173.
- [14] C. Huang, M. Matthews, M. Ginley, X. Zheng, C. Chen, M. Chang, “Efficient and Secure Multicast in WirelessMAN: A Cross-Layer Design,” Journal of Communications Software and Systems 3(3), 2007, pp.199-206.
- [15] T. Goff et al., “A true End-to-End TCP Enhancement Mechanism For Mobile Environments,” Proc. 19th INFOCOM, Sep. 2000, pp.1537-1545.
- [16] G. Carneiro, J. Ruela, and M. Ricardo, “Cross-Layer Design in 4GWireless Terminals,” IEEE Wireless Commun., Vol.11, No.2, Apr. 2004, pp.7-13.
- [17] V. Srivastava, “Cross-Layer Design: A Survey and the Road Ahead,” IEEE Communications, Dec. 2005.
- [18] T. Kwon, H. Lee, S. Choi, J. Kim, D. Cho, S. Cho, S. Yun, W. Park, and K. Kim, “Design and Implementation of a Simulator Based on a Cross-layer Protocol between MAC and PHY Layers in a WiBro Compatible IEEE 802.16e OFDMA System,” IEEE Commun. Mag., Dec. 2005, pp.136-146.
- [19] H. Jiang, W. Zhuang, and X. Shen, “Cross-Layer Design for Resource Allocation in 3G Wireless Networks and Beyond,” IEEE Commun. Mag., Dec. 2005.
- [20] Q. Wang, and M. A. Abu-Rgheff, “Cross-Layer Signalling for Next Generation Wireless Systems,” IEEE Wireless Commun. & Networking Conference, Vol.2, No.16C20, Mar. 2003, pp.1084-1089.
- [21] B-J. Kim, “A network service providing wireless channel information for adaptive mobile applications: part I: proposal,” Proc. IEEE ICC '01, Jun. 2001.
- [22] S. Khan et al., “Application-Driven Cross-Layer Optimization for Video Streaming Over Wireless Networks,” IEEE Commun. Mag., Vol.44, No.1, 2006, pp.122-130.
- [23] V. Kawadia, and P. R. Kumar, “A cautionary perspective on cross-layer design,” Wireless Commun., Vol.12, No.1, 2005, pp. 3-11.

* 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.