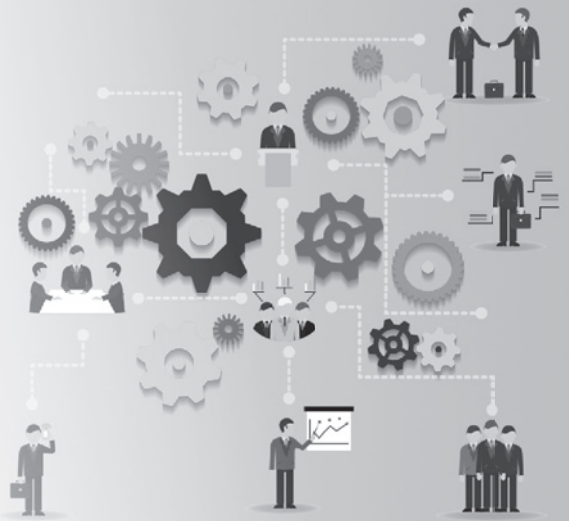


# LTE/WiFi Multipath Aggregation

## 기술 동향



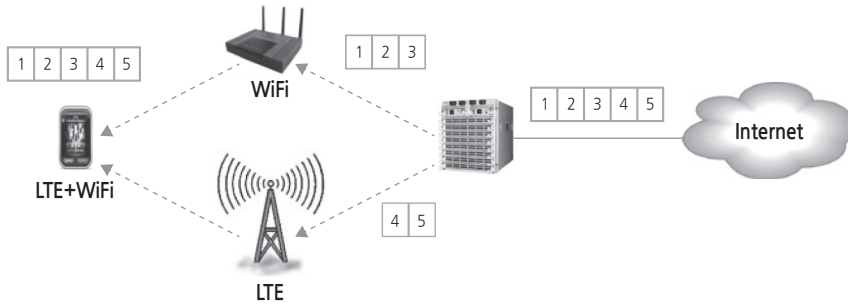
**이동기** TTA정보통신표준화위원회 모바일응용서비스 PG(910)의장  
SK텔레콤 ICT시너지 담당

### 1. 머리말

2009년 11월 국내 최초 출시된 아이폰과 2010년 그 뒤를 이은 갤럭시 A와 S 출시로 국내에서도 비로소 무선 인터넷이 널리 사용되기 시작하였다. 그러나 스마트폰 특성상 PC에서와 비슷한 수준의 경험을 기대하는 소비자와 모바일의 특성을 고려하지 않고 브로드밴드에 적합한 수준의 대역폭이 필요한 콘텐츠를 제공하는 콘텐츠 공급자로 인해, 트래픽 수요가 폭발적으로 증가했고, 통신사업자들이 주파수 경쟁 및 무선망에 대한 투자비를 감당하기 어려운 상황에 이르렀다[1].

이러한 트래픽 폭증에 대응하는 무선 기술은 크게 두 가지 유형으로 진화한다. 첫째, 무선 기술 자체의 속도가 빨라지는 방향이다. 이동전화 무선 인터넷 기술은 HSPA에서 HSPA+, LTE로 진화함에 따라 최고 75Mbps까지 속도가 빨라졌고, WiFi 기술은 IEEE 802.11 a, b, g, n, ac 및 ad로 진화함에

따라 ac는 최대 6.9Gbps, ad는 최대 6.7Gbps 수준까지 빨라졌다. 둘째, 무선 채널을 여러 개 묶는 방식으로 속도가 빨라지는 방향이다. 동일한 무선 기술을 사용하는 주파수 대역을 하나로 묶는 LTE-A가 대표적이다. LTE-A는 LTE의 세 개 무선 채널을 CA(Carrier Aggregation)이라는 기술을 사용하여 2014년 6월 30일 현재 최고 속도 225Mbps를 지원한다. 무선 채널을 묶어 고속 인터넷을 지원하는 또 다른 기술은 LTE, WiFi와 같이 서로 다른 특성을 가지는 무선 기술을 묶어서 데이터를 전송하는 방식이다. 이중 무선 인터넷 묶음 전송 기술을 표현하는 Link Aggregation[2], Bandwidth Aggregation[3], Multipath Aggregation[4]과 같이 여러 가지 용어들이 사용되고 있으나, Multipath Aggregation이 여러 개의 무선 경로 혹은 무선 기술을 사용한다는 측면을 가장 잘 나타내고 있으므로 본 고에서는 이를 사용하고자 한다. [3], [4]에는 다양한 Multipath Aggregation 기술에 대한 조사분석 결과를 보여주고 있다.



[그림 1] WiFi와 LTE를 이용한 Multipath Aggregation 개념도

본 고에서는 이러한 Multipath Aggregation 기술 중에서 최근에 상용화되었거나 상용화될 예정인 응용, 전송 및 링크 계층 Aggregation 기술 중 대표적인 몇 개의 기술에 대해서 소개하고 이동통신 사업자의 망 구축 관점에서 이들 기술의 장단점을 분석하고자 한다.

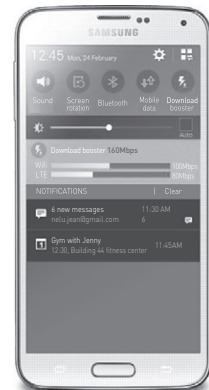
## 2. Multipath Aggregation 기술

### 2.1 Application 계층 Aggregation 기술인 HTTP Range Retrieval Request

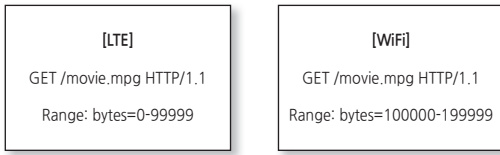
2014년 3월 27일 SK텔레콤을 통해서 출시된 삼성전자의 갤럭시 S 5의 주요 특징 중의 하나는 [그림 2]에서 보여주는 다운로드 부스터(Download Booster)라는 기술이다. 다운로드 부스터는 30Mbyte 이상의 파일을 HTTP/1.1 프로토콜의 Range Retrieval Request를 사용하여 다운로드할 때 LTE와 WiFi를 동시에 사용하여 속도를 증가시킨다고 한다. HTTPS나 FTP에는 적용되지 않고 HTTP/1.1을 지원하는 HTTP만 지원한다. 따라서 스트리밍 방식을 사용하는 Youtube 등에는 적용되지 않는다[5].

RFC 2616에 정의되어 있는 HTTP/1.1 규격의 주요 특징은 단일 연결(connection)을 사용하여 여러

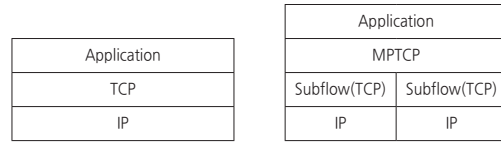
개의 request를 보낼 수 있도록 함으로써 TCP 세션을 생성하고 종료하는 오버헤드를 최소화했다는 점이다. 특히, 이러한 특징은 다수의 작은 파일(파일 세그먼트)을 전송할 때 성능을 상당히 향상시킨다. 또한, HTTP/1.1은 특정 콘텐츠의 일부분만 다운로드할 수 있도록 하는 기능인 Range Retrieval Requests를 지원한다. Range Retrieval Request는 클라이언트가 Range 헤더를 통해 어떤 리소스의 일부분만을 요청하면, 서버는 그 부분만을 반환하는 방식으로 동작한다. 따라서 갤럭시 S 5의 다운로드 부스터는 클라이언트 주도하에 수신할 파일을 나누어서 일부 Range는 웹서버에 LTE를 통해 요청하고, 또 다른 Range는 웹서버에 WiFi를 통해 요청하는 방법을 사용하고



[그림 2] 갤럭시 S 5의 다운로드부스터 사용 화면



[그림 3] Range Retrieval Request를 이용한 LTE/WiFi Multipath Aggregation



[그림 4] TCP와 MPTCP 프로토콜 스택 비교

있다. [그림 3]은 클라이언트가 movie.mpg라는 파일의 첫 100kilobyte 세그먼트를 LTE를 통해서 요청하고, 그 다음 100kilobyte 세그먼트는 WiFi를 통해서 요청하는 예를 보여주고 있다.

[그림 3] Range Retrieval Request를 이용한 LTE/WiFi Multipath Aggregation

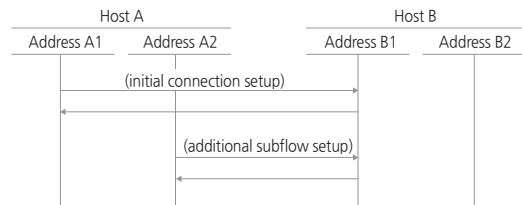
HTTP/1.1은 1999년에 RFC 2616으로 표준화 완료되었고, 2013년 5월 현재 전 세계 웹 서버 점유율 53%로 가장 인기 있는 아파치 웹 서버에는 1997년 경 버전(version) 1.2에 포함되었고 현재 버전 2.4.9가 사용 가능하므로 거의 모든 웹 서버가 HTTP/1.1을 지원하는 것으로 가정해도 무방하다. 따라서 대부분의 웹서버는 HTTP/1.1을 지원하므로 스마트폰만 HTTP/1.1을 지원하면 HTTP Aggregation 기술을 활용할 수 있다. 다만, HTTP Aggregation기술의 핵심인 최적 세그먼트 크기를 결정하는 것을 포함하여 데이터를 얼마만큼 언제 각각의 네트워크 인터페이스별로 나누어 요구할지를 결정하는 혼잡 제어, 스케줄링 등은 오로지 클라이언트의 몫이다.

## 2.2 MPTCP(Multipath TCP)

iOS 7의 음성 인식 비서 서비스인 시리(Siri)에 대규모로 최초 적용된 MPTCP는 동시에 여러 개의 인터페이스를 이용하여 데이터를 전송할 수 있도록 하므로, 하나의 세션이 종료되어도 연결(connection)이 끊기지 않고 유지될 수 있도록 하는 기술이다. MPTCP는 종단 간의 협상에 의해 여러 개의 서브

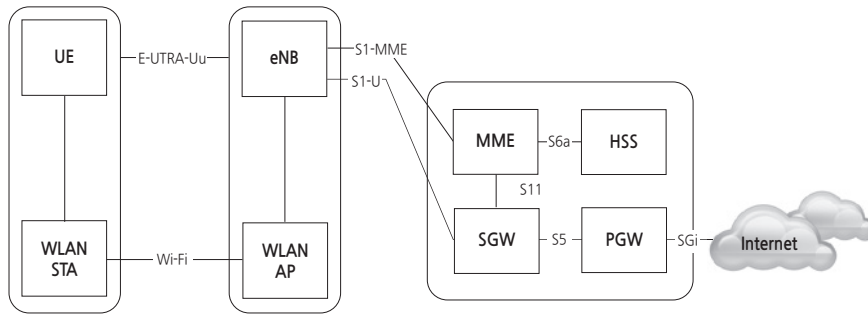
플로우(subflow)를 하나의 연결(connection)에 추가 또는 삭제하는 방식으로 사용된다.

iOS 7에 적용된 MPTCP는 동시에 두 개의 서브플로우를 구성하지만, 시리에 사용하는 데이터를 우선적으로 WiFi에 보내고 WiFi를 사용할 수 없는 경우에만 3G나 LTE에 보낸다. 따라서 iOS 7에 적용된 MPTCP는 동시 전송을 위한 목적이 아니라 끊김 없는 연결(Seamless Connection)을 위한 목적으로만 사용되고 있다[7].



[그림 5] MPTCP에서 TCP 연결 설정 후 서브플로우 설정 절차

TCP의 확장 옵션 방식으로 사용되는 MPTCP는 IETF의 MPTCP WG에서 RFC 6824(TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses)로 표준화 완료되었으나, 혼잡 제어나 스케줄링 기술 등은 현재 표준화 진행 중이다. MPTCP는 벨기에의 Louvain대학교에서 Linux Kernel에 개발하여 배포하고 있으며, 안드로이드에도 적용된 사례들이 있다. MPTCP를 갤럭시 S2, 넥서스 S/4/5 등의 안드로이드에 적용하는 절차가



[그림 6] RAN 계층 Aggregation

Github에 소개되고 있다[6]. Louvain대학교에 따르면 MPTCP를 적용한 웹 서버는 극소수이므로, 스마트폰에 MPTCP를 적용하더라도 Youtube, 네이버 등의 콘텐츠에 대해서 Aggregation 기술을 사용할 수 없다. 따라서 이동통신사업자 측면에서는 MPTCP 연결을 대행해주는 프록시(proxy) 서버를 고려할 수도 있으나, 이는 종단 간 MPTCP가 적용되기까지 임시적인 해결책이며 패킷망 장비인 SGW나 PGW에 버금가는 비용 투자를 유발하기에 의사 결정 시 중요하게 고려하여야 한다.

MPTCP에서의 혼잡 제어는 하나의 인터페이스를 사용할 때보다 더 높은 전송 속도를 제공해야 하며 가급적 혼잡이 적은 인터페이스로 더 많은 데이터를 전송하여야 한다. MPTCP에서의 혼잡 제어에는 각각의 서브플로우별로 혼잡 제어하는 방식과 서브플로우를 묶어서 혼잡 제어하는 방법이 있을 수 있으며, IETF에서의 표준화는 후자의 방식 위주로 이루어지고 있다. 혼잡 제어 기술인 LIA(Linked-Increases Algorithm)라고 불리는 RFC 6356(Coupled Congestion Control for Multipath Transport Protocols)이 2011년 표준 완료되었고, LIA를 개선한 OLIA(Opportunistic Linked-Increases Congestion Control Algorithm)[8] 등의 혼잡 제어 기술이 현재 표준화 진행 중이다.

### 2.3 RAN Aggregation

최근 일부 제조사에 의해 검토되고 있는 RAN (Radio Access Network) Aggregation 기술은 링크 계층에서 LTE와 WiFi를 통해 데이터를 동시에 전송할 수 있도록 하는 데이터 묶음 전송 기술이다. 링크 계층에서 Aggregation을 수행하므로 상위 계층인 Network, Transport, Application 계층에서 사용하는 프로토콜에 제한을 받지 않으므로 가장 광범위하게 적용될 수 있는 기술이다. 그러나 RAN Aggregation 기술 적용 시 [그림 6]에서 보는 바와 같이 모든 WiFi 트래픽이 SGW, PGW와 같은 이동통신망 장비로 처리되어야함에 따라 추가 요구되는 투자비를 고려할 때 통신사업자 입장에서 LTE/WiFi Traffic Aggregation을 통해 연계 되는 효용과의 트레이드오프를 신중하게 고려할 필요가 있다.

### 2.4 Multipath Aggregation 평가기준

어떤 기술이든 그 기술이 현실에 뿌리를 내리기 위해서는 사용자와 통신사업자를 충분히 설득할 수 있는 기술이어야 하며, 그러한 기술은 기술 자체의 우수성뿐만 아니라 기존 네트워크에의 영향, 비용 효율적인 측면 등 다양한 관점에서의 검토 결과 우수한 기술이어야 한다. Dominik Kaspar는 Multipath Aggregation을 비교할 때 사용할 비교

<표 1> Multipath Aggregation 기술 비교

	구분	HTTP Aggregation	MPTCP	RAN Aggregation
주요 특징	Aggregation Layer	HTTP에만 적용되므로, 적용 대상이 제한적	TCP를 사용하는 모든 프로토콜에 적용	Link
	이동통신망과 연동	없음	E2E의 경우 망연동 없으나, 웹서버에 MPTCP 도입되기 전에는 프락시 서버 도입 필요	eNB와 WLAN AP 간의 연동 필요
	주도업체	삼성전자	Belgium Louvain대학교	Chip 제조사
	기타	FTP 등 HTTP 프로토콜이 아닌 경우 지원 안됨		WiFi를 사용할 때도, EPC 등 이동통신망의 자원 소요 및 투자비 증가
평가 기준	C1, C2, C3	우수	우수	우수
	C4	보통	우수	최우수
	C5, C6, C7	최우수	우수	열위

평가 기준을 다음과 같이 제시하고 있다[4].


- C1: Multipath Aggregation 솔루션의 평균 속도는 하나의 무선 전송 기술이 제공하는 최대 평균 속도보다 더 고속이어야 한다.
- C2: Multipath Aggregation 솔루션은 개별 연결이 확보할 수 있는 속도를 더한 합 이상을 평균 속도로 제공하여야 한다. 한쪽 네트워크 장애로 인해, 다른 쪽 경로를 통해 얻는 속도 이상으로 제공되어야 한다는 의미이다.
- C3: Multipath Aggregation 솔루션은 어떤 종류의 개별 연결 묶음이나 속도의 변동 및 지터에도 대처할 수 있어야 한다.
- C4: Multipath Aggregation 솔루션은 기존의 모든 전송 계층 프로토콜 및 응용 서비스와 호환될 뿐만 아니라 이들을 지원할 수 있어야 한다. TCP만 지원한다면, 또는 UDP만 지원할 경우 광범위하게 사용되기는 어려울 것이라는 의미이다.
- C5: Multipath Aggregation 솔루션은 third-party 장비와 소프트웨어에 상당한 변경을 유발

하지 않아야 한다.

- C6: Multipath Aggregation 솔루션은 중단 호스트에 상당한 변화를 일으키지 않아야 한다.
- C7: Multipath Aggregation 솔루션에 의해 추가 인프라의 도입이 없어야 한다.

위의 기준에 따라 본 고에서 설명한 세 가지 Aggregation 기술을 <표 1>에 비교하였다. HTTP Aggregation은 투자비나 기존 망에 대한 영향도 측면에서 가장 뛰어나지만, HTTP에만 제한된다는 점이 약점으로 지적된다. MPTCP는 TCP를 사용하는 모든 프로토콜에 적용될 수 있으므로, 상대적으로 더 낫지만 현재 MPTCP를 사용하는 웹 서버가 극소수이며 MPTCP가 확산하기 전에 이를 활용하기 위해서는 통신사업자가 프락시 서버를 도입하여야 하는 점이 약점이다. 마지막으로, RAN Aggregation은 모든 프로토콜에 적용 가능한 범용성이 장점이지만, 기존 망에 대한 영향도 및 이에 따른 투자비가 상용화의 걸림돌이 될 수 있다.

### 3. 맺음말

본 고에서는 이중 무선 기술을 동시에 이용하여 데이터를 전송하는 기술인 Multipath Aggregation 기술 중에서 최근에 상용화되었거나 상용화될 예정인 HTTP/1.1의 Range Retrieval Request를 이용하는 응용 계층 Aggregation 기술, TCP 프로토콜의 확장 옵션인 MPTCP를 이용하는 전송 계층 Aggregation 기술 및 RAN 구간에서 데이터를 동시 전송하도록 하는 링크 계층 Aggregation 기술을 소개하였다. 전송속도 효율성 측면에서 Aggregation의 특성상 낮은 계층에서 Aggregation이 이루어지는 RAN Aggregation이 가장 효과적으로 추정되지만, HTTP/1.1 및 종단 간 통신(E2E) 방식의 MPTCP가 기존 네트워크에 거의 영향을 주지 않고 적용될 수 있을 것이다. 즉, 이동통신 사업자가 Aggregation 기술을 적용함에 있어서 해당 Aggregation 기술이 제공하는 최대 전송 속도뿐만 아니라 기존 네트워크에 대한 영향 및 투자비도 중요한 고려 요소임을 주장하였다. 그러나 본 고에서는 자세히 다루지 않은 버퍼 사이즈, 재전송, 혼잡 제어나 스케줄링 알고리즘 등의 기술 발전이 Aggregation 기술 확산에 무엇보다도 중요하므로 IETF 등에서 활발히 논의되고 있는 이들 기술 표준화에 대한 지속적인 관심이 필요하다. 

### [참고 문헌]

- [1] 이동기, '트래픽 최적화 기술 및 표준화 동향기술 연구 동향 분석,' TTA 저널 제148권, 2013년 7월
- [2] Bala Murali Krishna K et al, 'A Dynamic Link Aggregation Scheme for Heterogeneous Wireless Networks,' IEEE CONECCT, 2014.
- [3] Karim Habak, Khaled A. Harras, Moustafa Youssef, 'Bandwidth Aggregation Techniques in Heterogeneous Multi-homed Devices: A Survey,' arXiv preprint arXiv:1309.0542.
- [4] Dominik Kaspar, 'Multipath Aggregation of Heterogeneous Access Networks,' Doctoral Dissertation, University of Oslo, September 2011.
- [5] 삼성 갤럭시 S5 SM-G900S, <http://www.samsung.com/sec/consumer/mobile-phone/mobile-phone/skt/SM-G900SZKESKO-features>
- [6] mptcp-galaxys2/android, <https://github.com/mptcp-galaxys2/android>
- [7] iOS: Multipath TCP Support in iOS 7, <http://support.apple.com/kb/ht5977>
- [8] Opportunistic Linked-Increases Congestion Control Algorithm for MPTCP, <http://tools.ietf.org/html/draft-khalili-mptcp-congestion-control-04>