

QUIC 기반 우선순위를 고려한 CoAP 메시지 전달 기법 설계

박정민, 남혜빈, 고석주*

경북대학교 컴퓨터학부

pjm9562@naver.com, *sjkoh@knu.ac.kr

Design of Priority-based CoAP Message Delivery Scheme

Jung-Min Park, Hye-Been Nam, Seok-Joo Koh*

Kyungpook National Univ.

요약

사물인터넷(IoT) 기술의 발전은 다양한 분야에서 놀라운 진보를 가져왔으나, 이와 동시에 네트워크 효율성과 안정성에 대한 새로운 도전과제도 제시하고 있다. 기존의 프로토콜이 제한적인 성능을 보여주는 가운데, QUIC (Quick UDP Internet Connections) 프로토콜은 TCP의 신뢰성과 UDP의 효율성을 결합하여 이러한 도전과제에 대한 해결책을 제시하고 있는 차세대 수송 프로토콜이다. 본 논문은 사물인터넷(IoT) 서비스의 통신 효율성과 안정성 향상을 위한 QUIC 프로토콜 활용 방안을 제시한다. 특히, 메시지 우선순위 기반 패킷 및 ACK 메시지 생성 빈도 조절 기법을 통해 사물인터넷 네트워크 환경에서 효과적인 데이터 전송을 가능하게 한다. 성능 검증을 위해 Mininet 기반의 가상 에뮬레이션 환경에서 테스트베드가 구축 및 성능 검증이 수행되었으며, 수행된 실험 결과는 제안 기법이 더 우수한 응답 속도와 낮은 트래픽을 가진다는 것을 보여준다.

I. 서론

사물인터넷은 인터넷으로 연결된 다양한 객체들이 이를 통해 데이터를 교환하는 기술이다. 사물인터넷 서비스의 발전은 놀라울 정도로 빠르게 진행되어 왔다. 초기에는 주로 간단한 센서 및 연결 장치에 초점을 맞추었지만, 현재는 향상된 컴퓨팅 능력, 더 작고 효율적인 센서, 그리고 무엇보다도 향상된 네트워크 기술 덕분에 더 복잡하고 지능적인 기능을 수행할 수 있게 되었다.

이러한 기술적 진보는 IoT 서비스의 적용 범위를 빠르게 넓혔지만, 이로 인해 다양한 도전과제에 직면하고 있다. 그 중 하나는 네트워크의 효율성과 안정성이다. 기존 사물인터넷 서비스에서 주로 사용되는 CoAP, MQTT, AMQP와 같은 응용 프로토콜은 UDP 또는 TCP를 기반으로 동작한다. 하지만 UDP는 신뢰성 있는 통신을 지원하지 않고, TCP는 Head-of-Line Blocking과 같은 문제로 인해 점점 커지는 사물인터넷 서비스의 통신 요구사항을 만족시키기에 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 최근 QUIC이라는 새로운 네트워크 프로토콜이 개발되었다 [1]. QUIC은 UDP 기반의 프로토콜이지만, TCP와 같은 신뢰성을 보장하면서도 Head-of-Line Blocking과 같은 문제점을 해결하였다. 이미 많은 연구들이 QUIC을 사물인터넷 서비스에 적용했을 때 얻을 수 있는 이점을 다방면에서 제시하고 있다.

QUIC 프로토콜은 UDP를 기반으로 하지만, 신뢰성 있는 데이터 전송을 보장하기 위해 TCP와 유사한 방식으로 두 단말 간의 연결을 지원한다. 이는 QUIC이 UDP의 속도와 효율성은 유지하면서도 TCP의 신뢰성을 결합한 구조를 갖추고 있음을 의미한다.

몇몇 구분되는 특징으로 QUIC은 TCP보다 좋은 성능을 보여주고 있으며, 이러한 이점을 활용하기 위한 연구들이 다양한 서비스 분야에서 수행되고 있다. 특히 QUIC이 저지연 웹 서비스를 위해 고안된 만큼 웹 서비스에서 QUIC의 도입은 매우 빠르게 이루어지고 있으며, HTTP/3는 TCP가 아닌 QUIC을 하위 프로토콜로 채택하여 개발되었다.

사물인터넷 서비스 분야에서도 QUIC을 적용하여 안정적이면서 저지연 통신을 지원하기 위한 다양한 연구들이 수행되고 있다. 본 논문은 이러한 연구의 일환으로, QUIC을 이용하여 사물인터넷 서비스에서 생성되는 트래픽을 효율적으로 전달하기 위한 우선순위를 고려한 QUIC 기반 CoAP 메시지 전송 기법을 제안한다.

본 논문은 2장에서 QUIC을 사물인터넷 서비스에 활용하기 위한 관련 연구 소개와 이 연구를 기반으로 고안한 제안 기법을 간략히 소개하고, 3장에서 간단한 테스트베드를 통해 제안 기법의 성능 검증을 수행한 후 결론을 맺는다.

II. 본론

2.1 관련 연구

몇몇 구분되는 특징으로 QUIC은 TCP보다 좋은 성능을 보여주고 있으며, 이러한 이점을 활용하기 위한 연구들이 다양한 서비스 분야에서 수행되고 있다. 특히 QUIC이 저지연 웹 서비스를 위해 고안된 만큼 웹 서비스에서 QUIC의 도입은 매우 빠르게 이루어지고 있으며, HTTP/3는 TCP가 아닌 QUIC을 하위 프로토콜로 채택하여 개발되었다. 그러나 QUIC에서는 최소 혼잡 창을 두 개의 패킷으로 권장하여 지속적인 혼잡 상황에서도 발신자가 전송 속도를 기하급수적으로 줄일 수 있어 네트워크의 안정성을 높일 수 있다.

사물인터넷 서비스에서도 빠르게 증가하는 QUIC을 적용하여 안정적인 저지연 통신을 지원하기 위한 연구들이 수행되었다. 이러한 연구들로 인해 지능형 사물인터넷 (Artificial Intelligence of Things, AIoT), 드론, 원격 의료 서비스와 같은 차세대 서비스가 요구하는 통신 요구사항이 충족될 것이라 기대받고 있다.

[2]에서 저자는 QUIC을 이용하여 사물인터넷 대표 프로토콜 CoAP 메시지를 전달하기 위한 기법을 제안하고 있다. 이 기법에서는 서로 다른 사물인터넷 장치로부터 전달된 CoAP 메시지를 효율적으로 취합하여 전달하

기 위해 사물인터넷 장치와 서버 근처에 각각 클라이언트 프록시와 서버 프록시를 두고, 클라이언트 및 서버 간 교환되는 메시지를 두 프록시 사이 하나의 QUIC 연결로 전달한다. 이에 더해 클라이언트마다 스트림을 할당함으로써 Head-of-Line Blocking 문제를 완화하여 메시지를 취합하여 적은 패킷으로 메시지들을 전달하면서도 Head-of-Line Blocking으로 인한 성능 저하를 줄임으로써 9% 빠른 응답 속도를 보여주었다.

2.2 제안 기법

제안 기법은 CoAP 메시지를 통해 전송되는 작은 사이즈 메시지의 효율적인 전송을 위해 고안되었다. QUIC은 TCP에 비해 다방면에서 진보된 기능과 성능을 제공하지만 여전히 TCP의 ACK 전송 메커니즘을 상속하고 있다. 이는 높은 대역폭을 가지는 강력한 네트워크에서 좋은 성능을 보여주지만 Thread Network와 같은 저전력 네트워크에서 사물인터넷 장치에 의해 전송되는 작은 메시지 전송에는 적합하지 않다. 이는 너무 잦은 빈도의 패킷과 ACK 전송으로 인해 패킷 전송 경험 및 충돌이 발생하여 성능 저하의 요인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 밴드위스 지연 곱 기반 ACK-Frequency를 제어하는 기법들이 연구되고 있다. 본 논문에서는 이러한 연구의 일환으로 메시지 우선순위 기반 패킷과 ACK 메시지 생성 빈도 조절 기법을 제안한다.

그림 1은 제안 기법의 개요를 보여준다. 제안 기법은 [2]에서와 같이 IoT Client와 Server 사이에 두 게이트웨이를 위치시켜 발행된 메시지를 취합하고, 여러 개의 메시지를 한 개의 패킷으로 전달함으로써 트래픽을 줄인다. 이때 서로 다른 장치로부터 전송된 메시지는 다른 QUIC Stream을 통해 전송됨으로써 Head-of-Line Blocking 문제를 완화한다.

하지만 [2]에서와 달리 제안 기법에서는 두 게이트웨이 사이에 다수의 연결이 존재하며, 각 연결은 서로 다른 우선순위를 가진다. 우선순위가 높은 연결은 짧은 패킷 및 ACK 전송 간격을 가져 신속한 메시지 전송을 보장하며, 낮은 우선순위를 가지는 연결은 긴 패킷 및 ACK 전송 간격을 가져 같은 수의 메시지를 전송하는 동안 더 낮은 트래픽을 발생시킨다.

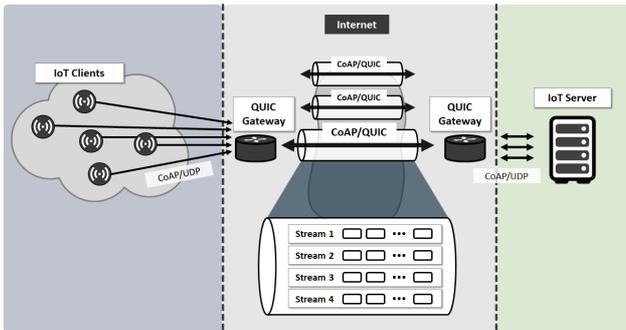


그림 1. 우선순위를 고려한 QUIC 기반 메시지 전달 기법 개요

IoT Client와 Server 사이 교환되는 메시지는 CoAP 메시지이며, 각 메시지는 Option 필드를 통해 메시지의 우선순위를 게이트웨이에 알릴 수 있다. 제안 기법에서는 우선순위 정보를 위한 Option 필드가 없는 메시지의 전송에는 중간 우선순위를 가지는 메시지를 위한 연결을 통해 전송함으로써 이미 제공되고 있는 서비스와 호환성을 가질 수 있도록 한다.

III. 결론

본 논문에서는 간단한 테스트베드를 통해 얻은 결과를 통해 제안 기법의 성능을 검증한다. 테스트베드는 Mininet을 통해 가상 에뮬레이션 환경으로 구축되었으며, IoT Server, Client 그리고 두 게이트웨이는 quic-go와 go-coap 라이브러리를 통해 구현하였다. 제안 기법 성능 검증 테스트베드에서는 두 게이트웨이 사이에 다른 우선순위를 가지는 3개의 연결이 사용

되었다. 표 1은 연결 별 파라미터를 보여준다.

	전달 메시지 기대 응답 시간	패킷 전송 간격	최대 ACK 지연
높은 우선순위 연결	100ms 이내	10ms	100ms
중간 우선순위 연결	500ms 이내	100ms	250ms
낮은 우선순위 연결	1s 이내	500ms	1s

표 1. 두 게이트웨이 사이 연결 별 파라미터

성능 검증을 위해 우리는 제안 기법의 성능을 라운드 로빈 기반 메시지 전송 기법과 비교하며, 테스트에서 네트워크 파라미터는 IoT client와 server 사이 밴드위스 지연 곱을 25MBytes, 오류율을 2%로 설정하였다.

그림 2와 3은 각각 두 게이트웨이 사이 교환된 패킷의 수와 IoT Client 별 기대 응답 시간 내 빠른 응답 메시지 전송률의 평균을 보여준다. 성능 검증을 통해 우리는 제안 기법이 더 우수한 성공적인 응답 수와 적은 트래픽을 보여준다는 것을 확인하였다.

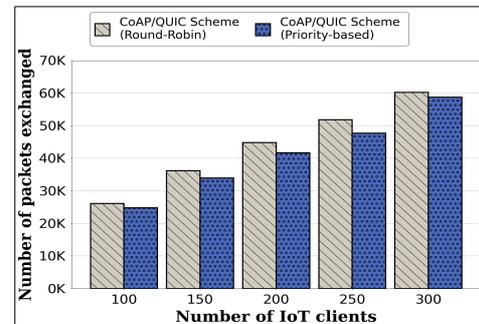


그림 2. IoT Client 증가에 따른 교환 패킷 수 비교

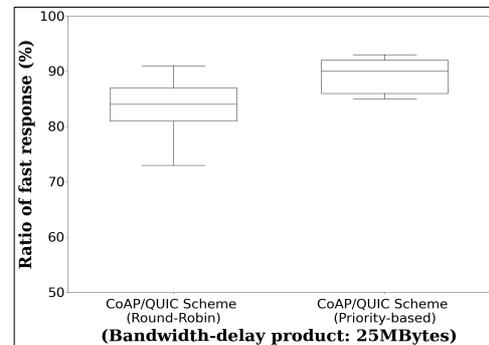


그림 3. WiFi 및 Thread 기반 장치 통신 성능 비교

제안 기법의 이점은 메시지를 QUIC을 통해 효율적으로 취합하여 전달함과 동시에 제안 기법의 메시지의 우선순위를 고려한 유연한 메시지 처리 기능을 통해 얻을 수 있었다.

ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 한국연구재단 기초연구사업(NRF-2021R111A3057509) 지원을 받아 수행됨

참고 문헌

- [1] Iyengar, J., and Thomson, M. "QUIC: A UDP-Based Multiplexed and Secure Transport," RFC 9000, 2021, (<https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc9000>).
- [2] J.H Jung, H.B Nam, and S.J Koh, "Use of QUIC for CoAP transport in IoT networks," Internet of Things, Vol. 24, pp. 1-16, 2023