

동시 실행 애플리케이션의 서비스 품질 향상을 위한 동적 패킷 스케줄링 기법

임지현¹, 이진민², 이일구³

¹성신여자대학교 AI 융합학부 학부생

²성신여자대학교 미래융합기술공학과 박사과정

³성신여자대학교 융합보안공학과/미래융합기술공학과 교수

ghyim1009@gmail.com, csewa56579@gmail.com, iglee@sungshin.ac.kr

Dynamic Packet Scheduling Techniques to Improve Service Quality in Concurrent Applications

Ji-Hyun Lim¹, Jin-Min Lee², Il-Gu Lee^{2,3}

¹Dept. of AI Convergence, Sungshin Women's University

²Dept. of Future Convergence Technology Engineering, Sungshin Women's University

³Dept. of Convergence Technology Engineering, Sungshin Women's University

요 약

스마트 홈 환경에서 다양한 서비스가 동시에 사용되면서 네트워크 QoS(Quality Of Service)를 고려한 효율적인 패킷 관리 기술의 필요성이 증가하고 있다. 최근 QoS 요구사항을 고려한 패킷 관리 기술에 관한 연구가 진행되고 있으나, 동시에 실행되는 애플리케이션 수가 적은 상황에서 지연이 크다는 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 동시 실행 애플리케이션의 지연 시간과 서로 다른 QoS 요구사항을 동시에 만족시키기 위한 동적 패킷 스케줄링 기법을 제안한다. 실험 결과에 따르면 제안하는 기법은 종래 기법 대비 평균 패킷 지연도를 약 43% 개선했고, 패킷 손실률을 약 29% 감소시켰다.

1. 서론

최근 스마트 홈 시스템은 다양한 기기 및 애플리케이션을 지원하지만, 기기들이 동일한 네트워크에 접속하여 혼잡 문제가 발생한다. 또한, 애플리케이션은 각자 서로 다른 QoS 요구사항을 가지므로, 패킷을 효율적으로 처리하지 않으면 특정 서비스의 품질 저하나 지연 증가로 이어질 수 있다. 또한, 애플리케이션의 트래픽은 네트워크 활동에 대해 검증하는 과정에서 지연이 발생할 수 있다 [1]. M. B. Attia [2]은 동시에 실행되는 세션의 처리 순서나 자원 배분이 특정 세션에 편중되는 스케줄링 불공정성을 해결하기 위해 입찰 기반 스케줄링 기법을 제안했지만, 동시에 활성화된 애플리케이션 수가 적을 때의 지연이 크다는 문제가 있었다. 이를 해결하기 위해, 본 연구에서는 동시 실행 애플리케이션의 서비스 품질 향상을 위한 동적 패킷 스케줄링 기법을 제안한다.

본 논문의 주요 기여점은 다음과 같다.

- 동시 실행 애플리케이션 수가 적은 환경에서 서비스 품질 향상을 위한 동적 패킷 스케줄링 기법을 제안했다.
- 패킷을 QoS에 따라 즉시 처리 그룹, 평가 그룹, 지연 가능 그룹으로 분류하고, 그룹 특성에 기반

한 처리 방식을 적용했다.

- 제안 방식은 패킷 수가 늘어나는 환경에서 종래 기법 대비 평균 패킷 지연 시간을 약 43%, 패킷 손실률을 약 29% 감소시켰다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 동적 패킷 스케줄링 기법을 설명하고, 3장에서는 제안 방식과 종래 방식의 성능 결과를 분석한다. 마지막으로 4장에서는 결론을 맺는다.

2. 동적 패킷 스케줄링 기법

그림 (1)은 제안 기법의 동작 과정이다. n 은 동시 실행 세션 수를 의미한다. 세션은 애플리케이션이 네트워크를 통해 데이터를 송수신하는 하나의 단위이다. 본 연구에서는 스마트 홈 환경에서의 QoS 요구사항 만족도와 동시 실행 세션이 적을 때의 지연을 줄이기 위해 동적 패킷 스케줄링 기법을 제안한다. 제안 기법은 패킷을 즉시 처리 그룹, 평가 그룹, 지연 가능 그룹으로 분류한다. 즉시 처리 그룹은 높은 우선순위의 패킷이다. 해당 그룹으로 처리되는 패킷이 임계값을 넘으면 AQM(Active Queue Management) [3]을 적용하여 전체 버퍼에서 전송 비율을 조정함으로써 그룹 간의 자원 할당 균형을 유지한

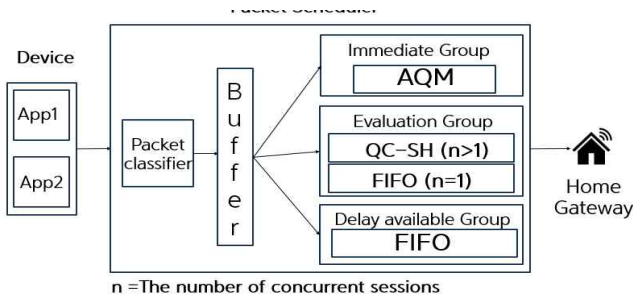


그림 (1) 제안 방식.

다. 가 그룹은 $n=1$ 이면 FIFO(First In First Out), $n>1$ 인 경우 QC-SH(queueing model for single QoS-level concurrent traffic in the smart home network) [2]를 적용한다. 초기 라운드에서는 QoS 우선순위를 기반으로 승자와 패자를 결정해 승리한 세션의 패킷을 전송하고, 이후 라운드에서는 각 동시 실행 세션의 value 값과 입찰 값을 조정해서 모든 세션이 공평하게 스케줄링 되도록 한다. 지연 가능 그룹은 상대적으로 긴 지연 시간이 허용되므로 버퍼에 일정 시간 대기 후 전송한다. 해당 그룹의 비율이 버퍼 80%를 초과하게 되면 게이트웨이로 전송한다.

3. 성능 평가 및 분석

본 연구에서는 NS-3 시뮬레이터에서 종래 QC-SH와 제안하는 동적 패킷 스케줄링 기법을 구현하여 성능을 평가했다. 단일 노드에서 두 가지 애플리케이션이 트래픽을 생성하여 개별 패킷 단위로 나누어 전송한다. 각 패킷은 즉시 처리 그룹, 평가 그룹, 지연 가능 그룹으로 분류되도록 모델링했다. 패킷 수를 70개부터 490개로 70개 간격으로 증가시켜, 각 조건에서 10,000회의 반복 시뮬레이션했다. 이때 버퍼 사이즈를 100으로 가정했다.

그림 (2)는 동일한 시간 내에 증가하는 패킷 수에 따라, 제안 방식과 종래 방식의 패킷 전송 지연 시간을 비교한 실험 결과이다. 실험 결과에 따르면 패킷 수에 상관없이 제안 기법은 종래 기법 대비 지연 시간을 약 43% 감소시켰다. 이때 지연 시간은 패킷이 생성되어 전송된 시점부터 실제로 처리되는 시점의 시간 차이로 설정했다. 제안 기법은 각 그룹의 특성에 따라 선별적으로 패킷을 처리하므로 버퍼 대기 시간이 감소하여 평균 패킷 지연 시간이 약 43% 감소하였다.

반면 종래 기법에서는 패킷 수가 증가하더라도 라운드 당 처리할 수 있는 패킷 수가 w_{max} 로 제한되고, 패킷 손실률이 패킷 증가에 따라 커지면서 실제로 처리되는 패킷 수는 일정하게 유지되어 평균 지연 시간에 큰 영향을 주지 않는 것을 확인했다. 또한, 제안 기법은 패킷이 140개일 때 버퍼가 포화되면서 지연이 증가했으나, 이후에는 AQM이 작동함으로써 전체 평균 패킷 지연 시간이 감소하였다.

그림 (3)은 제안 방식과 종래 방식에서 패킷 수

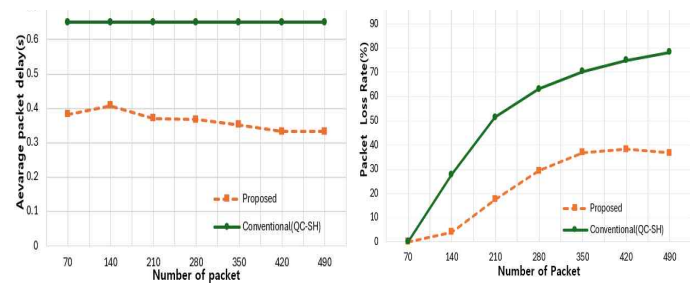


그림 (2) 패킷 수 별 평균

패킷 지연 시간.

그림 (3) 패킷 수 별

패킷 손실률.

변화에 따른 패킷 손실률을 비교한 결과이다. 실험 결과에 따르면 제안 기법은 종래 기법 대비 패킷 손실률이 평균 약 29% 낮게 나타났다. 제안 기법은 입찰을 최소화하고, 그룹의 특성에 따라 AQM과 FIFO 기반 처리 방식을 적용해 전체적인 계산 오버헤드를 줄였다. 이로 인해 애플리케이션에서 생성된 패킷이 증가하는 경우에서 제안 기법은 종래 기법 대비 평균 패킷 지연 시간과 패킷 손실률이 감소했다.

4. 결론

종래 연구에서는 동시 실행 애플리케이션의 수가 적을 경우 지연이 크다는 문제점이 있었다. 본 연구에서는 종래의 QC-SH 방식과 제안하는 동적 패킷 스케줄링 기법 방식을 NS-3 시뮬레이터를 기반으로 비교 분석했다. 실험 결과에 따르면 제안 기법은 종래 기법 대비 평균 패킷 지연 시간이 약 43% 감소하였고, 패킷 손실률이 평균 약 29% 감소했다. 향후 연구에서는 제안 방식과 QC-SH가 아닌 다른 스케줄링 기법을 비교하고, 멀티 노드 환경에서 성능을 평가할 계획이다.

Acknowledgement

본 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국 연구재단의 지원(No. RS-2025-00518150)과 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 ICT혁신인재4.0 사업의 연구결과로 수행되었음(No. IITP-2022-RS-2022-00156310).

참고문헌

- [1] Seo-Yi Kim & Il-Gu Lee, Journal of The Korea Institute of Information Security & Cryptology, Network Traffic-Based Access Control Using Software-Defined Perimeter. 2024.
- [2] Maroua Ben Attia & Mohamed Cheriet & Kim-Khoa Nguyen, IEEE internet of Things Journal, Dynamic QoS-Aware Scheduling for Concurrent Traffic in Smart Home. 2020.
- [3] Wladimir Goncalves de Moraes & Carlos Eduardo Maffini Santos & Carlos Marceo Pedrosa, Application of active queue management for real-time adaptive video Streaming, Telecommunication Systems, Vol.79, p261-270, 2022.