

ROS2 QoS 및 주기 변화에 따른 지연 특성 분석

박재원, 남승우, 유경민, 김성현, 백의준, 김명섭*
고려대학교, *고려대학교 세종캠퍼스

{ 2018270614, nam131119, rudals2710, honeybeelawn, pb1069, tmskim* }@korea.ac.kr

Latency Analysis According to ROS2 QoS and Publishing Rate Variations

Jae-Won Park, Seungwoo Nam, Gyeong-Min Yu, Sung-Hyun Kim, Ui-Jun Baek, Myung-Sup Kim*

Korea Univ.

요 약

본 연구는 ROS2 기반의 퍼블리셔-서브스크라이버 통신 구조에서 QoS 설정(BEST_EFFORT, RELIABLE)과 퍼블리시 주기(10Hz~100Hz)가 지연 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 동일 노드 내 실험을 통해 평균 지연, 최대 지연, 지연 편차, 시스템 지연 등을 정량적으로 측정하였으며, BEST_EFFORT는 낮은 지연과 변동성을 보인 반면 RELIABLE은 특정 주기에서 큰 지연을 보였다. 그러나 100Hz 환경에서는 RELIABLE이 오히려 안정적인 성능을 나타내었다. 본 결과는 ROS2 실시간 시스템 설계 시 QoS와 주기의 선택이 성능에 미치는 영향을 정량적으로 설명하며, 향후 네트워크 환경, 메시지 크기, DDS 간 비교 등으로 연구를 확장할 수 있다.

I. 서 론

로봇 시스템에서의 실시간 통신은 자율주행, 협업 제어, 센서 융합 등의 다양한 응용 분야에서 필수적인 요소이다. 이러한 통신 요구를 충족하기 위해 ROS(Robot Operating System)는 최신 버전인 ROS2에서 DDS(Data Distribution Service)를 기반으로 한 퍼블리셔-서브스크라이버 통신 구조를 도입하여 더욱 확장 가능하고 신뢰성 높은 통신을 제공한다[1][2][4].

ROS2는 메시지 전송 품질을 제어하기 위해 다양한 QoS(Quality of Service) 정책을 제공한다[3]. 대표적으로 BEST_EFFORT는 지연을 최소화하는 반면 신뢰성은 보장하지 않으며, RELIABLE은 패킷 손실 없이 모든 메시지를 보장하지만 지연이 발생할 수 있다. 그러나 실제 환경에서 이러한 QoS 설정이 지연 특성과 시스템 자원 사용에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 정량적 분석은 충분히 이루어지지 않았다.

본 연구는 ROS2 환경에서 퍼블리시 주기(10Hz~100Hz)와 QoS 설정(BEST_EFFORT, RELIABLE)의 조합에 따라 통신 지연, 시스템 지연, 메모리 사용량 등 다양한 성능 지표를 수집하고 비교 분석하였다. 특히, 동일 머신 내의 이상적인 환경에서 실험을 수행하여 네트워크 외적 요인을 배제하고, 순수한 QoS 및 주기의 영향만을 정밀하게 분석하는 데 중점을 두었다.

II. 본론

본 연구는 ROS2 Galactic 버전과 Fast DDS 미들웨어를 기반으로 실험을 수행하였다. 실험 환경은 Ubuntu 22.04 운영체제를 탑재한 동일 컴퓨터 상의 단일 노드 시스템으로 구성되었으며, 하드웨어는 Intel i7 프로세서와 32GB RAM을 사용하였다. 네트워크 간섭이나 외부 트래픽의 영향을 배제하기 위해 퍼블리셔(Publisher)와 서브스크라이버(Subscriber)는 동일 머신에서 실행되었다.

퍼블리시 주기는 10Hz부터 100Hz까지 10Hz 간격으로 조정하였으며, 각 주기에서 ROS2 QoS 프로파일 중 BEST_EFFORT와 RELIABLE을 각각 적용하였다. 각 실험 조건에서 약 200개에서 최대 2000개에 이르는 메시지를 송수신하여 통계적으로 신뢰할 수 있는 결과를 수집하였다.

측정 항목은 다음과 같다.

- Delay_Mean (ms): ROS2 메시지의 평균 지연 시간
- Delay_Max (ms): 실험 중 관측된 최대 지연 시간
- Delay_Std (ms): 지연의 표준편차, 즉 안정성의 척도
- Sys_Delay_Mean (ms): 시스템 단의 평균 지연

(1) 평균 지연(Average Delay)

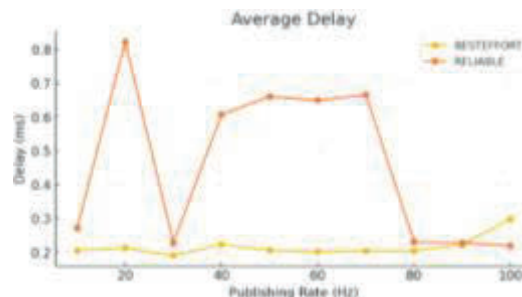


그림 1. 퍼블리시 주기별 QoS 설정에 따른 평균 ROS2 지연 시간 비교
Fig. 1. Comparison of average ROS2 delay under different QoS settings and publishing rates.

그림 1에 나타난 바와 같이, RELIABLE 설정은 20Hz에서 70Hz 사이 구간에서 평균 지연이 0.60~0.82ms 수준으로 급격히 증가하였다. 이는 메시지 신뢰성을 보장하기 위한 내부 재전송 로직에 기인한 것으로 해석된다. 반면, BEST_EFFORT 설정은 모든 주기에서 약 0.2ms 내외의 낮은 평균 지연을 안정적으로 유지하였다. 주목할 만한 점은, 100Hz 구간에서 RELIABLE의 평균 지연이 0.22ms로 BEST_EFFORT(0.298ms)보다 더 낮게 나타난 점으로, 고속 송신 환경에서는 RELIABLE이 더 효율적일 수 있음을 시사한다.

(2) 최대 지연 (Delay_Max)

그림 2는 최대 지연을 비교한 결과로, RELIABLE 설정은 중간 주기 구간(20~70Hz)에서 120ms 이상의 큰 지연이 발생하였다. 이는 패킷 누락 시의 재전송 지연이나 큐잉 대기시간 때문으로 분석된다. 반면, BEST_EFFORT 설정은 대부분 구간에서 15ms 사이의 안정적인 최대 지연을 보였으나, 100Hz에서는 55.374ms까지 급등하여 일시적인 성능 저하가 발생하였다.



그림 2 . 퍼블리시 주기별 최대 ROS2 지연 시간 비교

Fig. 2. Maximum delay observed acROS2s QoS profiles by publishing frequency.

(3) 지연 표준편차 (Delay_Std)



그림 3 퍼블리시 주기별 지연 시간 표준편차 비교

Fig. 4. Standard deviation of ROS2 delay under varying conditions.

그림 3은 각 설정의 지연 표준편차를 보여준다. RELIABLE은 20Hz~70Hz 구간에서 67ms 수준의 높은 변동성을 나타냈으며, 이는 통신 안정성 측면에서 부정적인 영향을 줄 수 있다. BEST_EFFORT은 전 구간에서 0.2ms 이하의 낮은 변동성을 유지하였으며, 100Hz에서만 1.94ms로 소폭 증가하였다.

(4) 시스템 지연 (Sys_Delay_Mean)

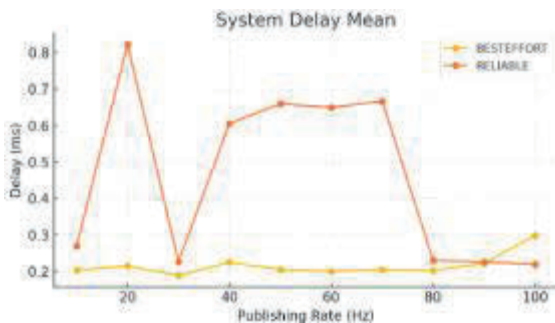


그림 4 퍼블리시 주기별 시스템 지연 평균 비교

Fig. 3. Standard deviation of ROS2 delay under varying conditions.

시스템 레벨의 평균 지연 결과는 그림 4에 제시되어 있다. RELIABLE 설정은 Delay_Mean과 유사한 경향을 보이며 20Hz~70Hz에서 0.60.8ms 수준으로 증가하였다. 반면 BEST_EFFORT는 전반적으로 0.2ms 내외의 안정적인 시스템 지연을 유지하였다. 이는 ROS2 내부 QoS 처리 로직의 복잡성이 시스템 지연에도 직접적인 영향을 미친다는 점을 시사한다.

III. 결론

본 연구에서는 ROS2 기반 퍼블리셔-서브스크라이버 통신 구조에서 QoS 설정(BEST_EFFORT, RELIABLE)과 퍼블리시 주기(10Hz~100Hz)가 통신 지연 성능에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 동일 머신 내

단일 노드 환경에서 평균 지연, 최대 지연, 지연 표준편차, 시스템 지연, 메모리 사용량 등의 성능 지표를 수집하여 비교 실험을 수행하였다.

실험 결과, BEST_EFFORT는 전반적으로 낮은 평균 지연과 작은 편차를 유지하며 실시간성 측면에서 유리한 특성을 보였다. 반면 RELIABLE은 중간 주기(20Hz~70Hz)에서 지연이 급격히 증가하였으나, 고속 주기(100Hz)에서는 오히려 BEST_EFFORT보다 낮은 평균 지연을 기록하여 특정 조건 하에서는 더 효율적인 통신이 가능함을 확인하였다. 시스템 지연에서도 유사한 경향이 나타났으며, 메모리 사용량은 두 설정 간에 큰 차이를 보이지 않았다.

본 연구는 ROS2 기반 실시간 응용 시스템에서 퍼블리시 주기와 QoS 정책의 선택이 성능에 직접적인 영향을 미친다는 점을 실험적으로 입증하였으며, 향후 ROS2 통신 구조 설계 시 유용한 기준을 제공할 수 있다.

향후 연구에서는 다음과 같은 방향으로 실험 범위를 확장할 계획이다. 첫째, 실제 분산 환경(LAN/WAN)에서 노드 간 통신 지연 특성을 분석하고, 네트워크 트래픽, 혼잡도, 패킷 손실률 등의 외부 요인을 반영한 실험을 수행할 예정이다. 둘째, 메시지 크기와 주제 수(topic 수)가 증가하는 상황에서의 지연 변화 및 자원 사용량을 분석하여 보다 현실적인 통신 부하를 고려한 결과를 도출하고자 한다. 셋째, 다양한 DDS 미들웨어(Fast DDS, Cyclone DDS, RTI Connex 등) 간 성능 비교를 통해 RMW 선택에 대한 실용적인 지침을 제시할 수 있도록 확장할 것이다. 마지막으로, 주기와 네트워크 상태에 따라 QoS 설정을 동적으로 최적화하는 자동 튜닝 알고리즘 개발을 통해, 시스템의 적응성과 안정성을 동시에 향상시키는 연구로 발전시킬 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(No.RS-2023-00230661, 하이브리드 양자키분배 방법 및 망 관리 기술 표준개발)과 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술평가특별위원회의 지원 (P0024177, 2023년 지역혁신클러스터육성)을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] Maruyama, Y., Kato, S., & Azumi, T. "Exploring the performance of ROS2," Proceedings of the 13th International Conference on Embedded Software (EMSOFT), pp. 1 - 10, 2016.
- [2] Woodall, W. "ROS on DDS," ROS 2 Design Articles, 2014. https://design.ros2.org/articles/ros_on_dds.html
- [3] ROS 2 Documentation. "Quality of Service settings," ROS 2 Documentation, 2025. <https://docs.ros.org/en/rolling/Concepts/Intermediate/About-Quality-of-Service-Settings.html>
- [4] Paul, S., Le Phuoc, D., & Hauswirth, M. "Performance Evaluation of ROS2-DDS middleware implementations facilitating Cooperative Driving in Autonomous Vehicle," arXiv preprint arXiv:2412.07485, 2024