

IoT에서 중요한 데이터를 위한 쿼럼 기반 적응적 전파 알고리즘의 설계 및 평가

배인한[†], 노흥태^{**}

Design and Evaluation of a Quorum-Based Adaptive Dissemination Algorithm for Critical Data in IoTs

Ihn Han Bae[†], Heung Tae Noh^{**}

ABSTRACT

The Internet of Things (IoT) envisions smart objects collecting and sharing data at a massive scale via the Internet. One challenging issue is how to disseminate data to relevant data consuming objects efficiently. In such a massive IoT network, Mission critical data dissemination imposes constraints on the message transfer delay between objects. Due to the low power and communication range of IoT objects, data is relayed over multi-hops before arriving at the destination. In this paper, we propose a quorum-based adaptive dissemination algorithm (QADA) for the critical data in the monitoring-based applications of massive IoTs. To design QADA, we first design a new stepped-triangular grid structures (sT-grid) that support data dissemination, then construct a triangular grid overlay in the fog layer on the lower IoT layer and propose the data dissemination algorithm of the publish/subscribe model that adaptively uses triangle (T-grid) and sT-grid quorums depending on the mission critical in the overlay constructed to disseminate the critical data, and evaluate its performance as an analytical model.

Key words: Mission Critical Data Dissemination, Fog Computing, IoT, Publish/Subscribe Model, Quorum Structure.

1. 서 론

사물인터넷 (IoT)은 개방형 글로벌 플랫폼으로서의 인터넷이 가전제품, 기계, 의료 기기 및 차량과 같은 물리적 객체에 센서 및 액추에이터를 내장하고 통신, 컴퓨팅, 조정하여 물리적 영역으로 확장되는 비전을 보여준다. IoT는 기계, 사람 및 비즈니스 실시간 액세스에 사물의 상태와 제어를 제공할 수 있으므로 광범위한 혁신적인 응용과 서비스를 가능하도록 하는 큰 잠재력을 가지고 있다. IoT가 새로운 비즈니스와 일상생활에 혁신을 가져올 엄청난 잠재력을 가

지고 있음에도 불구하고 IoT는 이기종 장치, 제한된 스펙트럼, 하드웨어 소형화, 에너지 하베스팅, 개인 정보 보호 및 보안 등과 관련된 미해결 된 기술적 문제에 직면해 있다. 여기서 가장 중요한 문제는 핵심 업무(mission critical) 응용을 위한 통신이다[1].

사물인터넷 패러다임은 스마트시티, 홈오토메이션, 그리고 농산물 감시와 같은 분야에서 대형 배치로 급속히 발달하고 있다. 그러한 대형 IoT 응용들은 원거리 상에서 확장 가능한 저 전력 연결성을 요구한다. 최근에, 헬스케어, 보안, 에너지 그리고 산업 자동화와 같은 중요한 분야에서 IoT에 대한 요구가 증가

※ Corresponding Author: Heung Tae Noh, Address: (39160) Gangdong-ro 730, Sandong-myeon, Gumi-si, Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea, TEL: +82-54-479-4139, E-mail: roht@ikw.ac.kr

Receipt date: July 16, 2019, Approval date: Aug. 5, 2019

** School of IT Eng., Catholic University of Daegu (E-mail: ihbae@cu.ac.kr)

** Dept. of Aeronautical Software Eng., KyungWoon University

	Monitoring-based	Control-oriented
Mission-critical	Low latency Carrier grade reliability Approx. 100% availability	Ultra-low latency Carrier grade reliability Approx. 100% availability
Non Mission-critical	Moderate latency Moderate reliability High availability	Ultra-low latency Moderate reliability High availability

Fig. 1. The matrix of IoT classification and the performance requirements [1].

하고 있다. 그것들을 핵심 업무 IoT 응용이라 하고, 그리고 지연, 처리력 또는 신뢰성 측면에서 특정 QoS 보장을 추가적으로 요구한다. 그런 이유로 근원 지로부터 목적지까지 최소 지연으로 데이터의 성공적인 전송은 대형 IoT 시스템의 효과적인 동작을 위해 매우 필수적이다[2, 3]. 여기서 핵심 업무는 생명의 위험뿐만 아니라 공공 서비스를 중단하고 공공질서를 방해하며 기업 운영을 위태롭게 하고 사업 및 자산에 커다란 손실을 발생시키는 위험들을 포함한다. IoT 응용들은 Fig. 1과 같이 신뢰성, 가용성, 중단 간 지연에서 차별화 되는 모니터링-기반과 제어-지향 또는 핵심 업무와 비 핵심 업무로 기본적으로 분류될 수 있다[1].

본 논문에서는 대형 IoTs의 모니터링 기반 IoT 응용들에서 중요한 데이터를 위한 출판/구독 모델의 쿼럼 기반 적응적 전파 알고리즘 QADA를 제안한다. QADA 설계를 위해, 우리는 먼저 데이터 전파를 지원하는 새로운 계단식 삼각형 격자 쿼럼 구조를 설계한다. 그리고 하위 IoT 계층상의 포그 계층에 삼각형 격자 오버레이를 구축하고, 데이터를 전파하기 위하여 그 데이터가 임무 수행에 필수적인지 여부와 데이터 인기도에 따라 계단식 삼각형 격자 쿼럼인 sT-grid와 삼각형 격자인 t-grid를 적응적으로 사용하는 출판/구독 모델의 데이터 전파 알고리즘을 제안한다. 그리고 분석적 모델로 그것의 성능을 평가한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 QADA가 실행되는 포그 컴퓨팅과 QADA에서 데이터 전파를 지원하는 쿼럼 시스템, 그리고 IoT 데이터 전파에 대한 관련 연구들을 살펴본다. 3장에서는 제안된 QADA에 의해 사용되는 쿼럼 구조인 sT-grid를 설계하고 대형 IoTs에서 중요한 데이터를 위한 쿼럼 기반 적응적 전파 알고리즘을 제안한다. 그리고 4장에서 분석적 모델을 통하여 제안된 sT-grid와 QADA의 성능을 평가한다. 마지막으로 5장에서 본 본문의

결론과 향후 연구 과제에 대하여 기술한다.

2. 관련 연구

2장에서는 3가지 영역: 포그 컴퓨팅, 쿼럼 시스템 그리고 IoT 데이터 전파에 대한 이전 연구들에 대한 관련연구들을 살펴본다.

2.1 포그 컴퓨팅

포그 컴퓨팅은 다른 단말장치와 일반적인 클라우드 컴퓨팅 간에 분산 방식으로 컴퓨팅, 저장 및 네트워킹 서비스와 같은 제한된 기능을 갖춘 페러다임이다. 지연 시간에 민감한 IoT 응용에 적합한 솔루션을 제공한다. 본질적으로 포그 컴퓨팅은 클라우드의 확장이지만 IoT 데이터로 작업하는 사물에 더 가깝다.

Fig. 2에서 볼 수 있듯이 포그 컴퓨팅은 클라우드와 단말장치 간의 중개자 역할을 하여 단말장치 근처의 네트워크에서 처리, 저장 및 네트워킹 서비스를

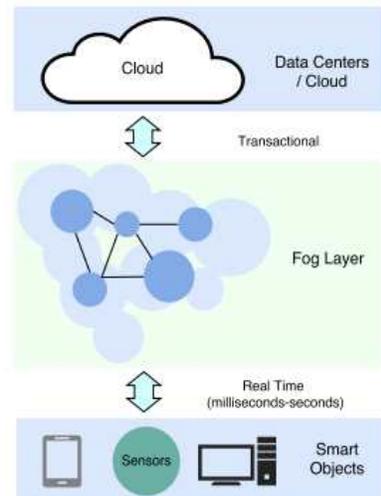


Fig. 2. Fog Computing paradigm.

제공한다. 이러한 장치들을 포그 노드라 한다. 그것들은 네트워크 연결을 통해 어디에나 배치될 수 있다 [4, 5].

포그 컴퓨팅은 지연, 전력 소비 감소 측면에서 이점을 제공하며 네트워크를 통한 데이터 트래픽을 감소시킨다. 포그 컴퓨팅의 몇 가지 장점은 다음과 같다[5].

- 지리적으로 분산
- 대규모 센서 네트워크 및 엔드 노드 지원
- 클라우드 기반 모델보다 향상된 실시간 응답을 제공
- 이 기종 및 상호 운용성을 지원
- 온라인 분석 및 클라우드와의 상호 작용

2.2 쿼럼 시스템

쿼럼 시스템은 분산 시스템에서 프로세서 간의 조정을 달성하기 위한 일관되고 안정적인 방법을 제공하는 기본 도구로 사용된다. 쿼럼 시스템 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ 은 교집합 속성: $P \cap R \neq \emptyset, \forall P, R \in S$ 을 만족하는 전체집합 $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$ 의 부분집합 $S_i \subseteq U$ 의 모음이다. 부분집합 $S_i \in S$ 를 쿼럼이라 한다[6]. 본 논문의 관련 연구에서는 격자, 삼각형 격자, 그리고 계단형 격자 쿼럼들을 설명한다.

격자 시스템 [7]에서, 요소들은 정사각형으로 배열된다. 쿼럼은 배열의 열과 행을 포함하는 모든 집합이 될 수 있다. 격자 시스템의 쿼럼 크기는 $2\sqrt{N}-1$ 이다. 삼각형 모양 격자 쿼럼 시스템 [7]에서, 논리적 삼각형은 에지 노드들로 구성되고, 쿼럼은 Fig. 3과 같이 행 기반 구축과 열 기반 구축으로 구성된다. Fig.

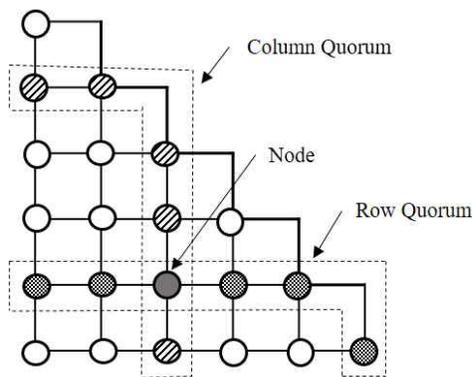


Fig. 3. Triangle grid quorums.

3은 $N=21$ 을 위한 삼각형 구성을 보여준다.

행과 열 기반으로 구축되었던 쿼럼들을 각각 행 쿼럼과 열 쿼럼이라 한다. Fig. 3에서, 어떤 2개의 선은 정확히 하나의 노드에서 만난다. 따라서 어떤 2개의 쿼럼들은 정확히 하나의 교차점 노드를 가진다. 또한, 모든 쿼럼들은 거의 $\sqrt{2N}$ 의 동일한 크기를 가진다. 여기서 N 은 어떤 포그 서버하의 에지 오버레이 망 내의 에지 노드들의 개수를 나타낸다.

계단식 격자 시스템인 s-grid [8]은 매우 유연하고 구현하기 쉬운 쿼럼이다. 전체 집합이 주어지면, 원소들은 가장 왼쪽 열로 행 바꿈으로 간주하는 가장 오른쪽 열을 갖는 $t \times w$ 배열로 배치되고, s-격자 ($t \times w$) 쿼럼 시스템의 쿼럼은 (a) 행 $i, 0 \leq i \leq t-1$ 의 모든 요소들; (b) 첫 번째 요소에서 시작하여 선택된 행의 첫 번째 요소까지 열 0내의 모든 요소들; (c) 선택된 행의 마지막 요소에서 시작하여 마지막 요소까지 마지막 열 w-1내의 모든 요소들을 선택하여 형성되어진다.

2.3 데이터 전파

IoT 플랫폼은 4G와 LPWAN(Low Power Wide Area Network)과 같은 고정망 인프라에 의존하지 않고 수 킬로미터 까지 센서들로부터 싱크까지 그리고 역방향으로 실시간 데이터의 중단 간 전파를 지원한다. 송신 전력 제한과 소스와 싱크 간의 직접 교신이 가능한 회선의 부족에 기인하여 중단 간 연결성은 멀티 홉 통신을 요구할 것이다.

G. Daneels 등 [1]은 LoWPAN과 멀티 홉 WSN 기술의 결합에 기반 한 새로운 범용 IoT 플랫폼을 제안하였다. Z. Tao 등 [8]은 무선 센서 네트워크에서 평면 그래프의 노드 자체를 제외한 해당 노드에 인접한 모든 면의 노드 집합인 공간 이웃(spatial neighborhood)를 이용하여 SNPQ(Spatial Neighbor Proxy Quorum)라 부르는 새로운 쿼럼 시스템을 구축한다. 여기서 전체 망 영역을 가로줄과 세로줄로 나누고, 그리고 푸시 쿼럼을 가로 쿼럼으로 사용하고 세로 쿼럼을 풀 쿼럼으로 사용하는 출판/구독 모델의 새로운 데이터 전파 방법인 MM-GSQ(Match-Making based Geographical Structure Quorum)를 제안하였다. M. Imani와 M.D.T. Fooladi [9]는 다중 홉 애드혹 망을 위한 데이터 전파 및 절전 프로토콜에 사용되는 계단식 격자인 s-grid라는 새로운 쿼럼 시스템

$$= \{0, 1, 3, 6, 7, 8, 9, 14, 19, 20\} \cup \{0, 1, 2, 5, 8, 12, 17, 18, 19, 20\}$$

$$= \{0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 14, 17, 18, 19, 20\}.$$

3.2 QADA 설계

제안하는 QADA를 지원하는 IoT 기반 전체 시스템 구조는 Fig. 6과 같이 3 계층들: 클라우드, 포그, IoT로 구성된다. 포그 계층의 포그 망 위에 sT-grid 쿼럼을 구축하기 위하여 삼각형 격자 형태의 오버레이 망을 구축한다.

IoT 응용을 위한 데이터를 전파할 때, 각 포그 노드는 먼저 생성된 모니터링 데이터를 핵심 업무 데이터와 비 핵심 업무 데이터로 분류하고, 그리고 데이터 공간 지역성을 제공하기 위하여 그 데이터의 인기도를 고려한다. 포그 노드들은 그 포그 노드에 요청하는 데이터의 인기도를 주기적으로 계산한다. 데이터 i 의 현재 지역 인기도는 LP (local popularity)로 정의된다[11].

$$LP_i = \beta \times \frac{F_i}{\sum_{j=1}^n F_j} \tag{1}$$

여기서 β 는 가중치를, F_i 는 데이터 i 의 접근 빈도를, 그리고 $\sum_{j=1}^n F_j$ 는 시점 t 에서 모든 데이터의 전체 접근 빈도를 각각 나타낸다.

어떤 포그 노드가 하부 IoT 계층의 IoT 장치로부터 어떤 데이터를 수신하면, 제안하는 QADA는 그 데이터의 공간 지역성을 지원하기 위하여 그 데이터가 핵심 업무 데이터인지 그리고 인기 있는 데이터인

지 여부에 따라 그 데이터가 저장되는 포그 노드들의 집합과 개수가 달라지는 적응적 알고리즘이다. 만일 그 데이터가 핵심 업무 데이터이고 인기 있는 데이터이면, 그 데이터를 쿼럼 $Q_{sT-grid}$ 의 포그 노드들에 저장하고, 핵심 업무 데이터이나 비인기 데이터이면 그 데이터를 쿼럼 Q_{sT-row} 의 포그 노드들에 저장한다. 그리고 만일 그 데이터가 비 핵심 데이터이지만 인기 있는 데이터이면 그 데이터를 쿼럼 Q_{sT-row} 의 포그 노드들에 저장하고, 비 핵심 업무 데이터이고 비인기 데이터이면 Q_{lg-row} 의 포그 노드들에만 그 데이터를 저장한다.

어떤 포그 노드가 로컬 지역 내의 IoT 장치들로부터 필요한 데이터를 요청하는 메시지를 수신하면, 먼저 로컬 포그 노드가 요청한 데이터를 갖고 있는지를 검사하고, 만일 그 데이터를 보유하고 있다면 응답 메시지로 그 데이터를 전송하고, 아니면 해당 포그 노드는 $Q_{lg-column}$ 의 포그 노드들에게 데이터 요청 메시지를 전송하여 필요한 메시지를 응답으로 수신한다. Fig. 7은 제안하는 QADA의 최악 경우에 데이터 요청 및 응답 과정에 대한 메시지 시퀀스 다이어그램을 보여준다.

예를 들어, Fig. 5에서 포그 계층의 노드 8의 하위 IoT 계층의 어떤 장치 A 에 의해 생성된 핵심 업무의 인기 있는 데이터는 노드 8의 계단식 삼각형 격자 쿼럼인 $Q_{sT-grid}(8)=\{0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 14, 17, 18, 19, 20\}$ 의 포그 노드들에 저장된다. 만일 포그 계층의 노드 19의 하위 IoT 계층의 어떤 장치 B 가

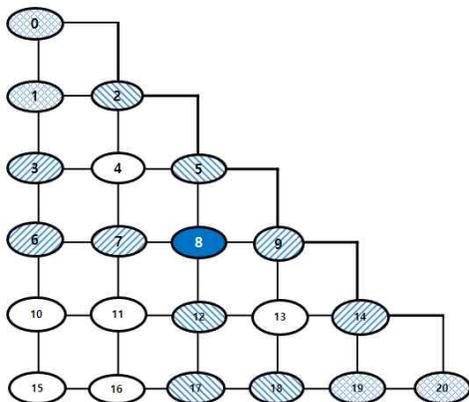


Fig. 5. The sT-grid quorum of node 8.

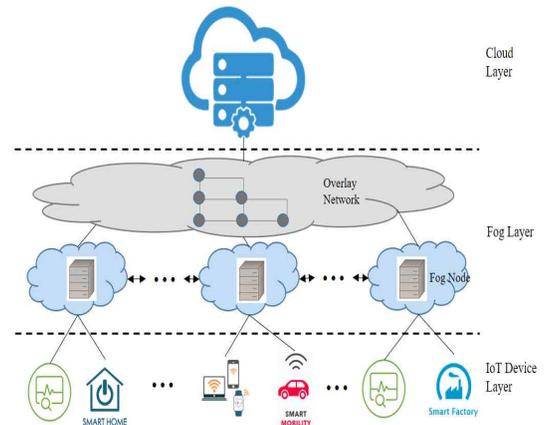


Fig. 6. Hierarchical structure of logical systems for supporting QADA.

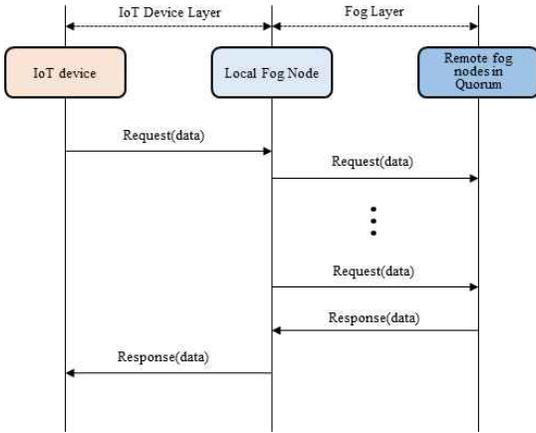


Fig. 7. Message sequence diagram for data request/response in the worst case of QADA.

임무수행을 위하여 장치 A가 생성한 데이터를 요청한다면, 그 요청 메시지는 포그 계층의 해당 노드 19에 전달되고, 그 포그 노드 19는 요청 데이터를 보유하고 있으므로 응답으로 그 데이터를 전송하고, 그리고 장치 B는 필요한 데이터를 수신하여 임무를 수행하게 된다. 그리고 Fig. 5에서 포그 계층의 노드 11의 하위 IoT 계층의 어떤 장치 C가 임무수행을 위하여 장치 A가 생성한 데이터를 요청한다면, 그 요청 메시지는 포그 계층의 해당 노드 11에 전달되고, 그 포그 노드 11은 그 요청 데이터를 보유하고 있지 않기 때문에 $Q_{ig-column}(11) = \{0, 2, 4, 7, 11, 16\}$ 에 요청 메시지를 전송한다. 따라서 그 데이터를 저장하고 있는 $Q_{sT-grid}(8)$ 과 데이터를 요청하는 $Q_{ig-column}(11)$ 의 교집합 $Q_{sT-grid}(8) \cap Q_{ig-column}(11) = \{0, 2, 7\}$ 로부터 필요한 데이터를 응답으로 수신하여 임무를 수행하게 된다.

4. 성능 평가

4장에서는 제안하는 QADA에서 사용되는 sT-grid 쿼럼의 성능을 먼저 평가하고, 그리고 제안하는 QADA의 성능을 평가한다.

4.1 sT-grid 쿼럼의 성능

쿼럼 시스템의 성능을 비교하기 위하여 몇몇 측정기준을 설명한다[12].

- 예상 쿼럼 중첩 크기(EQOS, expected quorum overlap size): 이 측정기준은 평균 경우 이웃 민감도

를 평가하는데 도움을 준다. EQOS의 형식적인 정의는 정의 1과 다음과 같다.

- 활성 비율(AR, active ratio): 노드가 IoT 장치 데이터를 유지해야 하는 비율은 시스템 크기에 대한 쿼럼 크기의 비율로 측정할 수 있다.

【정의 1】 $U = \{0, 1, 2, 3, \dots, n-1\}$ 하의 쿼럼 시스템 Q에 대해, Q의 EQOS는 식 (2)과 같다.

$$\sum_{G, H \in Q} p(G)p(H) |G \cap H| \tag{2}$$

여기서 $p(G)$ 와 $p(H)$ 는 쿼럼 액세스 정책에 대한 쿼럼 G와 H를 액세스할 확률을 나타낸다.

【정의 2】 $U = \{0, 1, 2, 3, \dots, n-1\}$ 하의 쿼럼 시스템 $Q = \{Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n\}$ 에서, 시스템 크기 n에 대한 쿼럼 Q_i 의 상대 크기는 쿼럼 Q_i 의 AR로 알려져 있다.

$$AR(Q_i) = \frac{|Q_i|}{n} \tag{3}$$

$N=10$ 의 예를 들면, 그 노드들은 다음과 같이 구성되어진다.

0				
1	2			
3	4	5		
6	7	8	9	

행 번호와 열 번호에 따른 Q_{sT-row} , $Q_{sT-column}$ 그리고 $Q_{sT-grid}$ 의 구성은 Table 1과 같다. 여기서 (i, j)는 행 i와 열 j의 노드를 나타낸다.

Table 1로부터 Q_{sT-row} , $Q_{sT-column}$ 에서 1행의 행 쿼럼과 2열의 열 쿼럼, 2행의 행 쿼럼과 3열의 열 쿼럼, 3행의 행 쿼럼과 4열의 열 쿼럼, 4행의 행 쿼럼과 1열의 열 쿼럼이 같다는 것을 알 수 있다.

시스템 노드의 개수가 N인 경우에, 계단식 삼각형 쿼럼의 밀변의 노드 개수는 $\lfloor \sqrt{2N} \rfloor$ 이다. 그리고 Q_{sT-row} 와 $Q_{sT-column}$ 의 평균 쿼럼 크기는 $2 \lfloor \sqrt{2N} \rfloor - 1.5$ 에 근사하고, $Q_{sT-grid}$ 의 평균 쿼럼 크기는 $2 \lfloor \sqrt{2N} \rfloor + \left(\frac{\lfloor \sqrt{2N} \rfloor - 1}{2} \right)$ 에 근사한다. 따라서 평균 $|Q_{sT-row}| = |Q_{sT-column}| \approx 6.5$ 이고, 그리고 평균 $|Q_{sT-grid}| \approx 8.5$ 이다.

$Q(i, j)$ 와 $Q(k, l)$ 을 sT-grid 쿼럼 시스템내의 2개의 쿼럼이라 가정한다. 전체 노드의 개수가 N 개인 계단식 삼각형 쿼럼 시스템에서 $Q(i, j)$ 와 $Q(k, l)$ 의 N^2 가능 순열이 존재한다. sT-grid 쿼럼 시스템의

Table 1. Configuration of Q_{sT-row} , $Q_{sT-column}$ and $Q_{sT-grid}$ according to row number and column number

Quorum types	Row number / Column number	The configuration of the quorum	$ Q $
Q_{sT-row} $Q_{sT-column}$	1 / 2	{0, 2, 4, 7, 8, 9}	6
	2 / 3	{0, 1, 2, 5, 8, 9}	6
	3 / 4	{0, 1, 3, 4, 5, 9}	6
	4 / 1	{0, 1, 3, 6, 7, 8, 9}	7
$Q_{sT-grid}$	(1, 1), (4, 1)	{0, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9}	9
	(2, 1), (4, 2)	{0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9}	9
	(2, 2)	{0, 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9}	8
	(3, 1)	{0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9}	9
	(3, 2), (3, 3)	{0, 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9}	8
	(4, 3), (4, 4)	{0, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}	9

평균 EQOS는 $Q(i, j)$ 와 $Q(k, l)$ 의 3가지 독립적인 경우를 고려하여 계산할 수 있다.

- 경우 1. $i=k, j \neq l$: $Q(i, j)$ 와 $Q(k, l)$ 의 평균 중첩 크기는 평균 $2 \lfloor \sqrt{2N} \rfloor + \left(\frac{\lfloor \sqrt{2N} \rfloor - 1}{2} \right)$ 이고, 이런 경우가 N 번 발생한다.
- 경우 2. $i=k, j \neq l$ 이거나 $i \neq k, j=l$: $Q(i, j)$ 와 $Q(k, l)$ 의 평균 중첩 크기는 평균 $2 \lfloor \sqrt{2N} \rfloor$ 이고, 이런 경우가 평균 $2 \times (N \times (\sqrt{N} - 1))$ 번 발생한다.
- 경우 3: $i \neq k, j \neq l$: $Q(i, j)$ 와 $Q(k, l)$ 의 평균 중첩 크기는 평균 $2 \lfloor \sqrt{2N} \rfloor - \frac{\lfloor \sqrt{2N} \rfloor}{2}$ 이고, 이런 경우가 평균 $N \times (\sqrt{N} - 1) \times (\sqrt{N} - 1)$ 번 발생한다.

모든 경우에 대한 결과들을 합하여 sT-grid 시스템의 EQOS를 아래 식 (4)로 계산할 수 있다.

$$EQOS_{sT-grid} = \frac{EQOS_{sT_1} + EQOS_{sT_2} + EQOS_{sT_3}}{N^2} \quad (4)$$

여기서 $b = \lfloor \sqrt{2N} \rfloor$ 이라 두면,

$$EQOS_{sT_1} = \left(2b + \left(\frac{b-1}{2} \right) \right) \cdot N,$$

$$EQOS_{sT_2} = 2b \cdot 2(N \times (\sqrt{N} - 1)), \text{ 그리고}$$

$$EQOS_{sT_3} = \left(2b - \frac{b}{2} \right) \cdot (N \times \sqrt{N} - 1 \times \sqrt{N} - 1) \text{이다.}$$

Fig. 8과 Fig. 9는 격자 시스템 크기에 따른 EQOS와 AR에 대한 다른 격자 시스템의 성능을 보여준다. Fig. 8로부터 제안하는 sT-grid와 sT-row가 다른 격자 쿼럼 시스템들에 비해 높은 EQOS를 보여 우수

한 이웃 민감도를 제공함을 알 수 있다. 따라서 sT-grid 쿼럼은 공간 지역성을 사용하는 분산 알고리즘

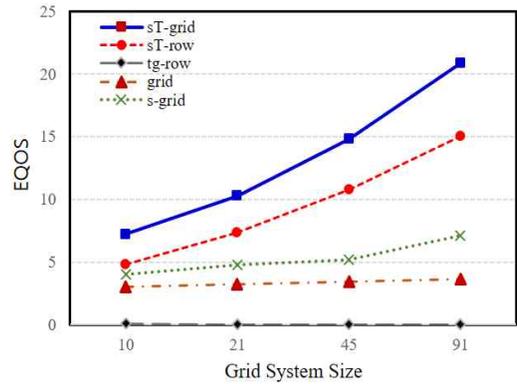


Fig. 8. Comparison of different quorum systems in terms of EQOS for grid system sizes.

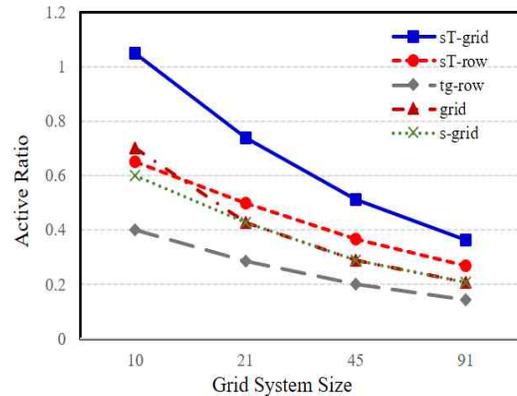


Fig. 9. Comparison of different quorum systems in terms of AR for grid system sizes.

및 프로토콜의 설계에 유용하다. 또한 Fig. 9로부터 tg-row 쿼럼은 비교된 격자 쿼럼 시스템들에 비해 가장 낮은 AR을 제공하여 비인기 데이터를 유지하는 노드들의 개수를 최소화 한다. 따라서 tg-row는 두 노드들 간의 긴 거리에 기인하여 통신비용이 높을 때 메시지 통신비용을 최소화하는 분산 알고리즘 및 프로토콜 설계에 유용하다. 또한, 우리는 격자 쿼럼 시스템(grid)과 계단식 격자 시스템(s-grid)의 AR 값은 격자의 모양에 따라 성능에 약간에 차이가 있으나 거의 같은 성능을 보인다는 것을 확인하였다.

4.2 QADA의 성능

이 장에서는 분석적 모델을 통하여 제안하는 QADA의 성능을 평가한다. 여기서는 데이터 요청 전파 비율(RDR, request-to-dissemination ratio)에 따른 전체 메시지 개수와 중요한 데이터 전파하는데 걸리는 평균 지연의 성능을 평가한다. 전파 지연이 데이터 전파 메시지가 운행되는 홉의 수에 비례하기 때문에 전파 지연은 데이터 전파 메시지가 운행되는 홉의 수로 평가되어진다.

데이터 액세스 율은 Zipf-like 분포 [13, 14]에 따른다고 가정한다. Zipf-like 분포에서 i-번째 인기 있는 데이터의 액세스 확률은 식 (5)와 같다.

$$P(i) = \frac{1}{i^\alpha \sum_{k=1}^n \frac{1}{k^\alpha}} \quad (5)$$

여기서 매개변수 n은 전체 데이터 항목의 개수이고, α 는 분포의 기울기 정도를 나타낸다. α 가 클수록 더 기울어진 액세스 분포가 발생한다. n=100이고 $\alpha=1$ 인 Zipf-like 분포에서, 인기 있는 데이터 아이템의 인기도 인덱스의 임계값이 0.02라면, 전체 100개의 데이터 항목 중에서 단지 16개의 데이터 항목들만 인기가 있다. 인기 있는 데이터를 액세스하는 누적 확률은 거의 0.833이다. 따라서 우리는 Table 2의 매개변수와 값을 사용하여 전체 메시지 트래픽과 데이터 전파 지연으로 QADA의 성능을 평가한다.

QADA에 의하여 전송되는 전체 메시지 개수 (TN_{msg})는 식 (6)과 같이 데이터 전파 메시지와 데이터 요청 메시지를 더한 전체 메시지 개수를 평가되어진다.

$$TN_{msg} = NM_{diss} + \frac{\lambda}{\mu} NM_{req} \quad (6)$$

Table 2. Parameters for the performance evaluation of GADA

Parameter	Value
Grid system size, N	45
Probability that requesting data is popular, P_r^h	0.84
Probability that disseminating data is popular, P_d^h	0.16
Probability that requesting data is mission critical, P_r^{mc}	0.6
Probability that disseminating data is mission critical, P_d^{mc}	0.4

$$NM_{diss} = P_d^{mc}(P_d^h \cdot |Q_{sT-grid}| + (1 - P_d^h) \cdot |Q_{sT-row}|) + (1 - P_d^{mc})(P_d^h \cdot |Q_{sT-row}| + (1 - P_d^h) \cdot |Q_{tg-row}|),$$

$$NM_{req} = P_r^{mc}[P_r^h(1 + (1 - P_{hnr}^{lh}) \cdot (|Q_{ty-column}| - 1)) + (1 - P_r^h)(1 + (1 - P_{cnr}^{lh}) \cdot (|Q_{ty-column}| - 1))] + (1 - P_r^{mc})[P_r^h(1 + (1 - P_{hnr}^{lh}) \cdot (|Q_{ty-column}| - 1)) + (1 - P_r^h)(1 + (1 - P_{cnr}^{lh}) \cdot (|Q_{ty-column}| - 1))].$$

여기서 P_{hnr}^{lh} 와 P_{cnr}^{lh} 는 데이터를 요청한 장치의 지역 포그 노드에서 요청된 인기 있는 핵심 업무 데이터의 적중률과 인기 없는 핵심 업무 데이터의 적중률을 각각 나타내고, P_{hnr}^{lh} 과 P_{cnr}^{lh} 은 데이터를 요청한 장치의 지역 포그 노드에서 요청된 인기 있는 비 핵심 업무 데이터의 적중률과 인기 없는 비 핵심 업무 데이터의 적중률을 각각 나타낸다. 그리고 λ/μ 는 요청 전파 비율을 나타낸다.

제안하는 QADA의 성능을 유사한 방식의 쿼럼 기반 데이터 전파 방법들의 성능과 비교한다. Fig. 10은

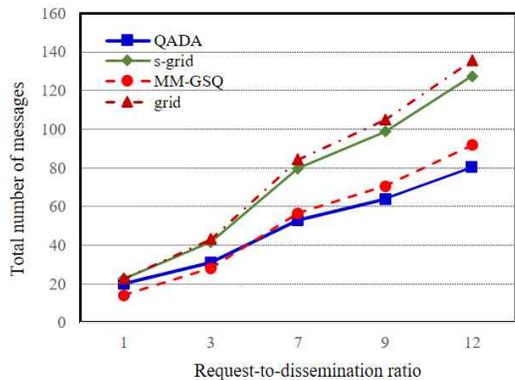


Fig. 10. Total number of messages of different quorum systems for RDR=1,12.

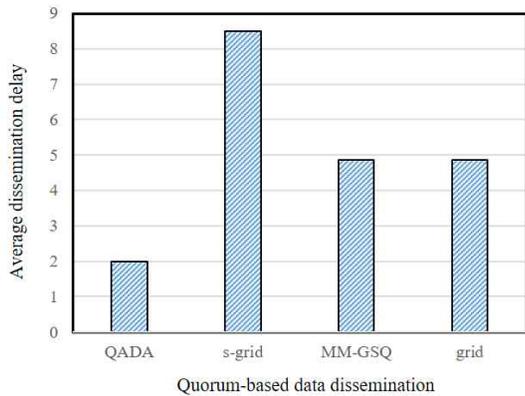


Fig. 11. Average dissemination delay of different quorum systems for $n=45$.

요청 전파 비율에 따른 데이터 전파 알고리즘들에 의해 전송되는 전체 메시지 개수를 보여준다. QADA의 메시지 트래픽 부하는 푸시 쿼럼으로 수평 쿼럼과 풀 쿼럼으로 수직 쿼럼을 사용하는 MM-GSQ와 성능이 유사하나 공간 지역성을 고려한 QADA가 전파 요청 비율이 높을수록 메시지 트래픽 부하가 적어질 뿐만 아니라 높은 데이터 전파 신뢰성과 가용성을 제공한다. 또한 s-grid 시스템과 grid 시스템의 메시지 트래픽 부하는 비슷한 성능을 보였다.

Fig. 11은 QADA가 쿼럼 기반의 다른 데이터 전파 알고리즘들 보다 더 짧은 평균 전파 지연을 제공한다는 것을 보여준다. 그것은 다른 알고리즘들은 D2D 통신에 기반 한 멀티 홉 쿼럼 시스템을 사용하지만 QADA는 IoT 장치 계층에 인접한 포그 계층에 구축된 계단식 격자 오버레이 네트워크상의 포그 노드 기반 멀티캐스트 쿼럼 시스템을 사용하기 때문에 우수한 전파 지연의 성능을 제공한다. 따라서 우리는 QADA가 낮은 데이터 전파 지연을 요구하는 핵심 업무 감시 기반 IoT 응용을 위한 데이터 전파에 유용한 방법이라는 것을 확인하였다.

5. 결론

5G의 과제, 특히 핵심 업무 IoT 통신을 해결하기 위해서는 완전한 설계 패러다임 변화가 필요하다는 것은 분명한 사실이다. 이 논문에서는 대형 IoT의 모니터링 기반 IoT 응용들에서 중요한 데이터를 위한 출판/구독 모델의 쿼럼 기반 적응적 전파 알고리즘 QADA를 제안하였다. QADA는 핵심 업무 IoT

데이터의 전파 지연을 줄이기 위하여 포그 계층의 포그 노드와 오버레이 망을 사용할 뿐만 아니라 인기 있는 IoT 데이터의 공간 지역성을 제공하기 위하여 적합한 계단식 삼각형 격자 쿼럼을 설계하여 사용하였다. 그 결과, QADA는 다른 쿼럼 기반 데이터 전파 알고리즘들에 비해 평균 전파 지연과 전체 전송 메시지 트래픽 측면에서 우수한 성능을 제공하여 핵심 업무 감시 기반 IoT 응용을 위한 데이터 전파에 유용한 방법이라는 것을 확인하였다.

향후 연구 과제로는 에지 포그 컴퓨팅과 정보 중심 네트워크를 사용하여 제어 지향 핵심 업무 IoT 응용들을 위한 데이터 전파 패러다임의 설계와 IoT 데이터 긴급도를 고려한 우선순위 기반 데이터 전파 방법의 설계, 그리고 대형 핵심 업무 IoTs를 위한 머신 러닝 기반 데이터 전파 방법에 대한 연구 등이 있다.

REFERENCE

- [1] Q. Zhang and F.H.P. Fitzek, "Mission Critical IoT Communication in 5G," *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences*, Vol. 159, pp. 35-41, 2015.
- [2] G. Daneels, E. Municio, K. Spaey, G. Vandewiele, A. Dejonghe, F. Ongenae, et al., "Real-time Data Dissemination and Analytics Platform for Challenging IoT Environments," *Proceeding of Global Information Infrastructure and Networking Symposium*, pp. 1-8, 2017.
- [3] M.J. Farooq, H. ElSawy, Q. Zhu, and M.S. Alouim, "Optimizing Mission Critical Data Dissemination in Massive IoT Networks," *Proceeding of International Workshop on Spatial Stochastic Models for Wireless Networks*, pp. 1-6, 2017.
- [4] H.F. Atlam, R.J. Walters, and G.B. Wills, "Fog Computing and Internet of Things: A Review," *Big Data and Cognitive Computing*, Vol. 2, No. 2, pp. 1-18, 2018.
- [5] B. Omoniwa, R. Hussain, M.A. Javed, S.H. Bouk, and S.A. Malik, "Edge/Edge Computing-Based IoT (FECIoT): Architecture, Appli-

cations, and Research Issues,” *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 6, No. 3, pp. 4118-4149, 2018.

[6] M. Naor and A. Wool, “The Load, Capacity and Reliability of Quorum Systems,” *Society for Industrial and Applied Mathematics Journal on Computing*, Vol. 27, Issue 2, pp. 423-447, 1998.

[7] W.S. Luk and T.T. Wong, “Two New Quorum Based Algorithms for Distributed Mutual Exclusion,” *Proceedings of 17th International Conference on Distributed Computing Systems*, pp. 100-106, 1997.

[8] Z. Tao, S. Li, Z. Lu, and X. Zhang, “A Data Dissemination Algorithm based on Geographical Quorum System in Wireless Sensor Network,” *Proceeding of Seventh Annual Communication Networks and Services Research Conference*, pp. 317-324, 2009.

[9] M. Imani and M.D.T. Fooladi, “S-Grid: A New Quorum-based Power Saving Protocol for Maximize Neighbor Sensibility,” *Proceeding of Iranian Conference on Electrical Engineering*, pp. 2134-2139, 2017.

[10] I.H. Bae, “Design and Evaluation of a GQS-based Fog Pub/Sub System for Delay-Sensitive IoT Applications,” *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 20, No. 8, pp. 1369-1378, 2017.

[11] K. Thar, T.Z. Oo, C. Pham, S. Ullah, and D.H. Lee, “Efficient Forwarding and Popularity Based Coding for Content Centric Network,” *Proceeding of International Conference on Information Networking*, pp. 330-335, 2015.

[12] J.R. Jiang, “Expected Quorum Overlap Sizes of Quorum Systems for Asynchronous Power-Saving in Mobile Ad Hoc Networks,” *Computer Networks*, Vol. 52, Issue 17, pp. 3296-3306, 2008.

[13] L. Breslau, P. Cao, L. Fan, G. Phillips, and S. Shenker, “Web Caching and Zipf-like Distributions: Evidence and Implications,” *Proceeding of International Conference on Computer Communications*, pp. 126-134, 1999.

[14] E.J. Lee and I.H. Bae, “Design and Evaluation of a Cluster-Based Fuzzy Cooperative Caching Method for MANETs,” *Journal of the Korean Data and Information Science Society*, Vol. 22, No. 2, pp. 269-285, 2011.



배인한

1990년 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학박사
 1996년~1997년 Department of Computer Science and Eng., The Ohio State University, Postdoctoral

2002년~2003년 Department of Computer Science, Old Dominion University, Visiting Scholar
 2009년~2010년 Department of Computer Science, Old Dominion University, Visiting Scholar
 1989년~현재 대구가톨릭대학교 IT공학부 교수
 관심분야: 사물인터넷, 차량클라우드, 차량통신망, 머신러닝, 지능스마트 플랫폼 등



노흥태

1989년 경일대학교 컴퓨터공학과 공학사
 1996년 대구가톨릭대학교 전산통계학과 전자계산전공 이학석사
 2000년~2018년 대구과학대학 정보통신학과 교수

2004년~2006년 대성정보 대표
 2006년~2011년 케이엔엘정보주식회사 대표이사
 2018년~현재 경운대학교 항공소프트웨어학과 교수
 관심분야: 사물인터넷, 모바일 프로그래밍 등