

WSN에서의 혼잡구간(Congestion Region)

회피를 위한 노드 배치 기법 연구

차현수, 김영준, 김기형, 유승화
아주대학교 컴퓨터공학부

e-mail : chahs@ajou.ac.kr, aljini@ajou.ac.kr kkim86@gmail.com, swyoo@ajou.ac.kr

A study of node displacement mechanism to migrate congestion region in WSN

Hyun-Soo Cha, YoungJun Kim, Ki-Hyung Kim, SeungHwa Yoo
Dept of Computer Science, Ajou University

요 약

무선 센서 네트워크의 효율성을 극대화 하고 네트워크 구축비용의 최소화를 위해서 에너지 소비, 보안, 선서 노드 배치 등에 대한 다양한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 그 중에서도 센서 노드 배치는 네트워크의 구축비용과 해당 네트워크가 제공하는 서비스의 성능에 직접적인 영향을 미치는 연구 분야이다. 본 논문에서는 이러한 센서 노드 배치기법을 활용하여 네트워크내에서 발생하는 혼잡구간을 회피하는 배치 기법을 제안한다. 제안된 기법은 초기 배치된 노드들이 자신의 주변을 가상의 격자 구조에 대응시켜 해당 격자당 포함되어 있는 주변 노드를 검색한다. 이를 통해서 주변 격자들중 노드가 가장 적게 배치되어 있는 격자를 혼잡 후보 구역으로 선택하고 실제 혼잡이 발생하는 지 확인한 이후 해당 혼잡구역 구역을 지나가는 트래픽을 우회 시킨다.

1. 서론

무선 센서 네트워크에서는 센서를 이용하여 온도, 습도, 조도등과 같은 주변 환경정보를 수집하고 센서들간의 무선 통신을 사용하여 하나의 네트워크를 구성한다. 이러한 무선 센서 네트워크기술은 다양한 분야에서 활용 가능하며 이를 위한 개발및 연구가 활발히 진행되고 있다. 대표적인 응용분야로는 과학적, 상업적, 군사적, 의학적 용도 등으로 매우 다양하다. 이와 같은 무선 센서 네트워크를 효과적으로 배치하기 위해서는 네트워크 구축 비용, 보안 관리 기술, 센서 노드의 배치등 많은 고려 사항들이 존재하며, 특히 센서 노드 배치에 관한 연구는 센서 노드의 수나 센싱 범위, 통신 거리, 제한된 전력 등과 같은 제한된 자원 내에서 네트워크 구축비용을 절감하고, 사용되는 서비스의 요구사항을 충족시키는 기능을 제공한다는 측면에서 매우 중요한 의미를 가진다.

센서 노드 배치에 관련된 기존의 많은 연구들은 네트워크의 연결성(connectivity)과 센싱 범위(Coverage)등의 네

트워크 기능 관점에서의 요구사항을 만족시키고, 이를 개선하기 위한 기법들에 관련된 것이었다[1-2]. 그러나 대부분의 기법들이 SA(simulated annealing)기법등을 활용하여 초기에 배치된 센서 노드의 위치를 변경하거나 새로운 노드를 추가하여 점진적으로 네트워크의 비용이 감소하도록 제안하고 있다. 그러나 이러한 방법들은 서비스의 요구하는 성능을 만족시키는 결과를 도출하기 까지 많은 시간이 소요될 수도 있고, 네트워크의 상황이 급변하는 환경에서 서비스가 요구하는 성능을 만족시키는 결과를 도출하기에는 적절하지 않다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 네트워크의 급변한 환경을 발생하게 되는 혼잡구간을 회피할 수 있는 기법을 제안한다. 제안된 기법에서는 초기 배치된 노드들은 자신의 주변을 가상의 격자 구조에 대응시켜 해당 격자당 포함되어 있는 주변 노드를 검색한다. 이를 통해서 주변 격자들중 노드가 가장 적게 배치되어 있는 격자를 혼잡 후보 구역으로 선택하고 실제 혼잡이 발생하는 지 확인한 이후 해당 혼잡구역 구역을 지나가는 트래픽을 우회 시킨다.

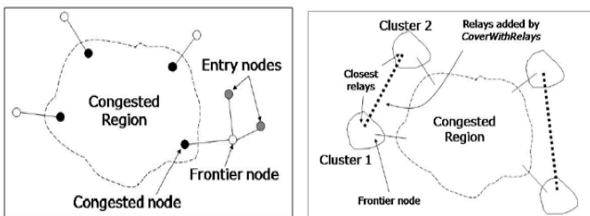
본 장에 이어서 2장에서는 관련 연구에 대해서 기술하고 3장에서는 네트워크 모델을 설명한다. 다음으로 4장에서는 네트워크 혼잡구간을 회피하는 제안 기법에 대해 설명하고, 5장에서는 이에 관련한 실험 결과를 보이며 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해 기술한다.

"This work (Grants No.00035521) was supported by Business for Cooperative R&D between Industry, Academy, and Research Institute funded Korea Small and Medium Business Administration in 2010"

"본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 "IT융합 고급인력과정 지원사업"의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2010-0004)

2. 관련연구

무선 센서 네트워크의 노드 배치 문제 관련 연구중 다중 채널과 다중 인터페이스를 활용한 많은 연구가 존재한다. 대표적으로 Wan이 제안한 기법[8]은 sink 노드가 다중 인터페이스를 구축하고 네트워크 정보를 데이터 패킷에 인코딩 하여 노드들에게 전송해 주고 이를 센서 노드들이 활용하여 sink 노드로 가는 새로운 루트를 탐색하게 된다. Zhang and Mirsa가 제안한 기법[10]은 polynomial time complexity를 가진 “fault tolerant relay node placement problems”을 해결하는 방법을 제안하였다. 제안된 기법은 “Steiner minimum trees”를 기반으로 고정된 위치에 최소의 relay node를 배치하는 알고리즘을 제안하였다. 그러나 시간에 따라 네트워크 상황이 변하는 경우 이를 적용시키는데 문제가 발생할 수 있다. Jorge Mena가 제안한 기법[9]은 실시간으로 congestion 구간을 탐지하고 탐지된 구간으로 연결되는 edge 노드를 중심으로 다수의 클러스터를 생성하여 해당 클러스터를 연결하는 relay 노드를 배치한다. 이때 사용되는 채널은 기존의 채널과 직교 관계를 가지는 채널이 할당되며, 이를 통해서 congestion 구역을 회피한다. <그림 1> 제안된 기법의 과정을 나타낸다. 그러나 제안된 기법은 많은 수의 Relay node를 사용하게 되며 대부분의 센서네트워크 무선 환경이 제한된 수의 채널을 보유하고 있어, 해당 링크가 많을 경우 직교 채널을 할당하는 데에 문제점을 가지게 된다.

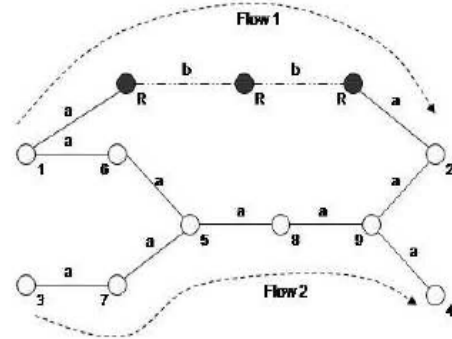


<그림 1> Jorge Mena. al's approach

3. 네트워크 모델

<그림 2>는 무선 센서 네트워크에서 Relay 노드를 배치하여 트래픽을 분산시키는 구조를 보여준다. 실제 네트워크 트래픽이 혼잡한 Flow2의 트래픽을 Flow1으로 분산시켜 해당 링크를 혼잡을 피한다. 본 논문에서는 n개의 노드로 구성된 2차원 평면 모델 네트워크를 가정하였다. 개별적인 노드는 통신 거리 r을 가진다. 본 논문에서는 다음 사항들을 가정한다. 싱크노드를 제외한 모든 노드는 동일 기종으로 동일 센싱 범위, 프로세싱, 통신 능력을 가진다. 모든 센서 노드는 자신의 GI(Geographic Information) 정보를 가지고 있으며 이를 통해 2차원 평면에서 두 개의 노드사이의 거리를 노드가 연산할 수 있다고 가정한다. 본 논문에서는 네트워크 내에 혼잡이 발생할 가능성이 높은 구역을 미리 선점하여 관리하고 실제 이들 구간에서 혼잡이 발생할 경우 On-demand 방식으로 데이터 트래픽을

분산하는 방법을 제안한다. 이는 네트워크 혼잡 구역 회피를 위해 네트워크 전체를 감시하는 오버헤드를 감소시킬 수 있고 해당 노드가 주변 격자들의 상태만을 고려하여 트래픽을 분산하므로 O(n)의 계산 복잡도를 가지는 간단한 수행 과정을 통해 결정된다.



<그림 2> 무선 센서 네트워크에서의 Relay 노드 배치

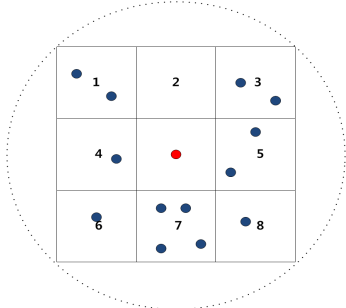
4. 제안 기법

본 논문에서는 두 가지 과정을 통해 네트워크에 불규칙하게 발생하게 발생하는 혼잡 구역을 회피한다. 본 논문에서 제안된 두 가지 과정은 혼잡이 발생할 가능성이 높은 혼잡 구역 후보군을 선정하는 과정과 이들 후보군에서 실제 혼잡이 발생할 경우 트래픽을 혼잡이 없는 구역으로 분산시키는 과정으로 나뉜다.

4.1 혼잡 구역 후보군 선정

센서 네트워크 응용서비스들중 대부분의 서비스들이 센서 노드를 임의적으로 배치하거나 고정된 위치에 노드를 배치하여 활용한다. 따라서 본 논문에서도 초기의 노드배치는 이미 이루어진 상황을 가정한다. 초기에 배치된 노드는 자신의 주변에 구역을 임의의 격자로 나누어 임의의 격자 8개 내에 몇 개의 노드가 존재하는지 확인한다. 따라서 임의의 격자의 크기는 해당 센서 노드가 센싱 가능한 범위로 제한되어야 하며, 주변 격자의 경우 본 논문에서는 8개로 고정한다. 이 때 센싱을 수행하는 노드는 전체 노드가 수행하는 것이 아니라 싱크 노드가 선정하는 몇 개의 노드만 수행하도록 한다. 이는 모든 노드가 이 과정을 수행함으로써 발생하는 중복 노드의 체크와 계산 오버헤드를 방지하지 위해서 이다. <그림 3>은 이 과정을 나타낸다. 해당 노드는 주변의 8개의 격자내에 존재하는 노드의 수를 모니터링 하고 이를 통해서 해당 격자 내에 노드의 수가 많을수록 혼잡이 일어날 가능성이 높다고 판단한다. 이는 해당 구역에 노드가 많을수록 발생하게 되는 데이터가 노드의 수에 비례하여 증가되고, 또한 CSMA/CA의 기반의 네트워크 모델을 활용하기 때문에 이를 전송하기 위한 경쟁이 심화되기 때문이다. 반대로 해당 격자내에 노드가 없는 경우 또는 적은 경우, 해당 격자 내에서 발생하는 데이터는 줄어들고, 이를 전송하기 위한 경쟁 또한 낮아지기 때문이다. 따라서 해당 노드는 자신의 노드 주변 격자

내에 존재하는 노드의 수를 싱크 노드에 알리고 싱크 노드는 이를 통해서 전체 네트워크를 대상으로 평균적인 격자당 노드수를 산출한다. 이를 통해 평균 이상의 노드수를 가진 격자를 혼잡 구역 후보군으로 선정하고 이를 모니터링 한다. 본 과정의 경우 GI 정보를 토대로 싱크노드가 이를 선정할 수도 있으나, 노드의 이동성이 보장될 경우 실시간적으로 이동 노드의 추적 과정이 수행되어야 하며, 이는 상당한 오버헤드를 발생하게 된다.



<그림 3> 혼잡 구역 후보군 선정 과정

선정된 혼잡 구역 후보군은 집합 R로 표현되며, 집합 R의 멤버는 해당 격자의 ID가 된다. 또한 이들 집합 R의 멤버들간의 노드 수에 따른 가중치가 부여되며 이는 RW로 표현된다.

4.2 혼잡 구역 확인 과정

실제 네트워크 내에 혼잡 구역이 발생할 경우 이를 빠른 시간 내에 탐지하고 이를 회피하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같은 방법으로 네트워크 내에 발생한 혼잡구역을 탐지한다. 단 본 논문에서는 혼잡구역 탐지를 위한 오버헤드를 최소화 하기위해 혼잡 구역 후보군으로 선정된 구역 내에서만 본 과정을 수행한다. 이를 위해서 다음과 같은 Metric을 정의한다.

- **예상 전송 딜레이 (Expected Transmission Delay)**

예상 전송 딜레이는 이웃 노드로부터 전송되는 전송 시간을 의미한다. 각 노드는 이웃 노드로부터 전송되는 전송 시간을 측정하여 이를 저장한다. 따라서 개별적인 링크별 delay가 저장된다. 이후, 개별 링크의 ETD의 가중 평균이 계산되며, 이를 ETD로 정의하고 ETD의 변화 추이가 미리 정한 임계점을 초과하였을 경우 이를 혼잡으로 판단한다.

$$ETD = \alpha * D_{ec} + (\alpha - 1) * ETD_{ec}(t - 1) \quad (1)$$

(1)에 사용된 가중치 α 가 1에 가까운 값을 가지게 되면, 이는 최근의 Delay 값에 높은 가중치를 부여하게 되고, 반대의 경우 과거의 측정값에 높은 가중치를 부여 하게 된다. 이를 기반으로 경로간의 비교를 통한 혼잡 경로 결정이 가능하다.

- **손실 패킷 수 (Drop Packet count)**

네트워크 내의 모든 노드는 해당 노드에서 손실된 패킷의 수를 저장한다. 이 손실 패킷수는 네트워크의 혼잡을 판단하는 요소로 활용된다. 실제로 혼잡이 일어날 경우 혼잡이 일어난 경로 주변에 "ripple effect"가 발생하게 된다.

이는 노드가 채널의 혼잡과 히든 노드 문제등의 이유로 버퍼오버플로우가 발생할 가능성이 높아지기 때문이다.

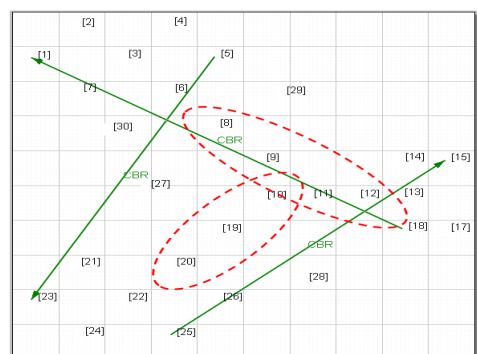
4.3 혼잡 구역 트래픽 분산

네트워크 내의 링크가 혼잡 구역으로 판단될 경우, 이를 회피하기 위한 트래픽 분산 과정이 수행된다. 혼잡 구역 회피 과정은 혼잡이 발생한 구역의 범위를 탐색하고 해당 구역의 Edge노드를 선정한다. 혼잡 구역을 탐색하는 과정은 다음과 같다. 특정 노드가 자신이 혼잡 구역에 속했다는 것을 탐지 하게 되면 주변 이웃 노드에게 이를 전파한다. 이를 탐지 하는 과정은 4.2 에서 정의한 예상 전송 딜레이와 손실 패킷수를 사용하여 기존의 값과 비교하여 결정하게 된다. 혼잡 메시지를 받은 노드들은 자신들의 예상 전송 딜레이와 손실 패킷수를 비교하여 자신이 혼잡 구역에 속했는지를 판단한다. 이러한 과정을 통하여 혼잡이 발생한 구역을 탐색할 수 있다.

혼잡 구역이 탐색되면 최초 혼잡을 발견한 노드를 CR(Congestion Region) 노드로 지정하고 해당 혼잡 구역의 Edge 노드를 선정한다. Edge 노드 선정을 위해서 해당 구역의 Convex Hull을 연산한다. 이를 통해서 해당 노드의 Edge 노드들을 선정하게 되고 해당 Edge 노드들은 주변의 격자들의 혼잡 가중치를 비교한다. 단 이 과정에서 혼잡 구역에 속해있는 격자는 제외된다. 비교된 가중치중 평균 이하의 가중치를 가진 격자들이 선출되고, 해당 격자에 속해있는 노드들을 전송 경로로 결정한다. 단 패킷의 목적지와 반대 방향에 있는 격자는 본 과정에서 제외된다.

5. 실험 결과

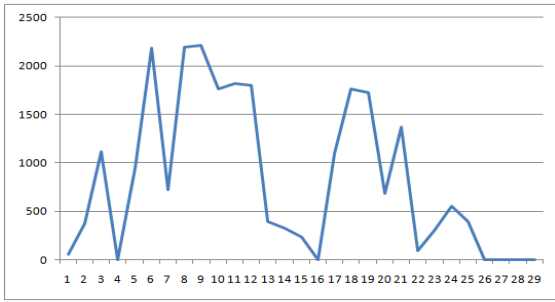
본 논문에서는 다음과 같은 환경에서 제안된 기법의 성능을 평가한다. 성능 평가는 Qualnet 5.0에서 수행되었으며 제안된 Metric에 의한 혼잡 구역 탐색과정, 제안된 기법의 성능평가를 수행되었다. 네트워크는 100*100 네트워크에 30개의 노드를 활용하여 구축되었다. 발생하는 트래픽은 <그림 4>과 같다.



<그림 4> 네트워크 토폴로지와 예상 혼잡 구간

<그림 5>은 정의된 Metric을 활용하여 네트워크 혼잡 구역을 측정하는 것이다. 실제 네트워크 혼잡이 예상되는 구간 의 노드들에서 네트워크 혼잡도가 높게 측정되는 것을 볼

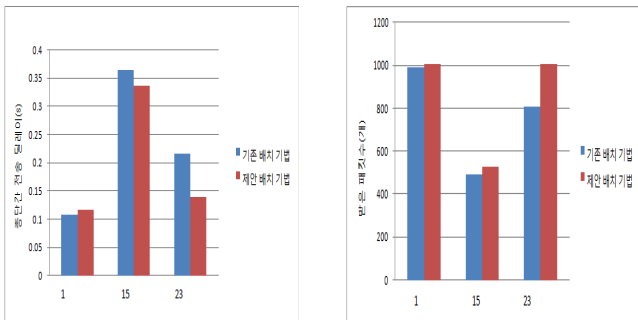
수 있다. 해당 노드들의 혼잡도를 기반으로 혼잡 구역을 탐색 가능 하다.



<그림47> 네트워크 혼잡도

제안된 기법은 개별적인 노드가 자신 주변에 가상의 격자를 구성하여 주변 격자내의 노드 밀집도를 고려하여 밀집도가 낮은 격자 방향으로 트래픽을 분산시키는 과정을 가진다. 이를 통해서 특정 경로에 트래픽이 집중되는 것을 막고, 혼잡 구간이 발생할 경우 이를 회피 할 수 있게 된다. 실제 네트워크 혼잡 구역이 탐지되면, 해당 노드는 대체 경로 설정 과정을 수행하며 이때 새로운 Relay node가 필요할 경우 이를 배치한다. 본 실험에서는 단일 채널을 사용하여 단순히 해당 위치에 추가적인 Relay 노드를 배치하는 과정에서의 성능 향상을 평가한다.

<그림 6>은 중단간 딜레이를 측정된 결과이다. 실제 4개의 Realy 노드를 배치하여 모든 모든 트래픽에 대한 중단간 딜레이가 감소하였음을 볼 수 있다. 실제 트래픽이 집중되던 혼잡 구간을 회피하는 경로를 찾아 본 과정을 수행하였다. 목적지 노드로 정상적으로 도착한 패킷의 수의 변화를 나타낸다. 실험 결과 전체적으로 목적지 노드로 도착한 패킷의 수가 증가하였음을 확인할 수 있다.이를 통해 네트워크의 신뢰성이 높아진 것을 확인할 수 있다.



<그림 6> 중단간 딜레이와 수신된 패킷수

5. 결론

본 논문은 네트워크에서 혼잡이 발생한 경우 이를 탐지하고 트래픽을 분산하여 혼잡을 회피하는 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 초기 배치된 노드의 지리정보를 통해서 혼잡 구역 후보를 선정하여상 전송 딜레이와 손실 패킷수를 활용하여 혼잡 구간을 탐색하고 탐색된 혼잡구간의

Edge 노드로부터 목적지까지 혼잡구역을 피하는 새로운 경로를 생성하여 데이터를 전송한다. 이를 통해 실제 발생된 혼잡구간을 회피하여 새로운 대체 경로를 통해 데이터가 전송되고 이로 인한 Delay 감소, 데이터 전송의 신뢰성 증가의 장점을 가진다. 또한 기존의 대체 경로 생성 기법인 ‘Dynamic Relay Node Placement’ [9]과의 비교 평가를 수행한 결과 상대적으로 적은 수의 노드를 사용하면서 중단간 딜레이, 데이터 전송의 신뢰성 측면에서 비슷한 결과를 보였다. 향후 제안된 두 가지 과정, 혼잡 구역을 탐색하는 과정과 대체 경로를 생성하는 과정을 통합하여 On-demand 방식의 혼잡 구역 회피 기법을 연구 예정이다.

<참고문헌>

[1] X. Cheng, B. Narahari, R. Simha, M.X. Cheng, and D. Liu, "Strong Minimum Energy Topology in Wireless Sensor Networks: NP-Completeness and Heuristics," IEEE Trans. Mobile Computing, vol. 2, pp. 248-256,

[2] Q. Li, J. Aslam, and D. Rus, "Online Power-Aware Routing in Wireless Ad-Hoc Networks," Proc. ACM MobiCom '01, pp. 97-107, 2001.

[3] S. C. Ergen and P. Varaiya. Pedamacs "Power efficient and delay aware medium access protocol for sensor networks" IEEE Transactions on Mobile Computing, to appear in 2006.

[4] J. H. Chang and L. Tassiulas. "Maximum lifetime routing in wireless sensor networks" IEEE/ACM Transactions on Networking, 12(4):609 - 619, 2004.

[5] Errol L. Lloyd and G.Xue "Relay Node Placement in Wiress Sensor network", IEEE Trans. Computer vol 56

[6] Y. T. Hou, Y. Shi, and H. D. Sherali. "On energy provisioning and relay node placement for wireless sensor networks"

[7] K. Karenos, V. Kalogeraki, and S. V. Krishnamurthy.Cluster-based congestion control for supporting multiple classes of trafca in sensor networks. In RTSS, 2005.

[8] C.-Y. Wan, S. B. Eisenman, A. T. Campbell, and J. Crowcroft. Siphon: overload trafca management using multi-radio virtual sinks in sensor networks. In SenSys '05: Proceedings of the 3rd international conference on Embedded networked sensor systems, pages 116.129, New York, NY, USA, 2005. ACM Press.

[9] Jorge Mena, Vana Kalogeraki. "Dynamic Relay Node Placement in Wireless Sensor Networks" saint, pp.8-17, 2008 International Symposium on Applications and the Internet, 2008