

데이터 중심 센서 네트워크에서 에너지 효율성을 고려한 비균등 네트워크 분할 기법 † A Non-Uniform Network Split Method for Energy Efficiency in Data-Centric Sensor Networks

강흥구*, 김정준, 박춘걸, 한기준

Hong-Koo Kang*, Jung-Joon Kim, Chun-Geol Park, Ki-Joon Han

건국대학교 컴퓨터·정보통신공학과

{hkkang*, jjkim9, cgpak, kjhan}@db.konkuk.ac.kr

요약

데이터 중심 센서 네트워크에서는 측정된 데이터의 값에 따라 데이터를 저장하는 센서 노드가 결정되기 때문에 같은 값을 갖는 데이터가 빈번하게 발생하면 이를 저장하는 센서 노드에 부하가 집중되어 에너지가 빠르게 고갈되는 문제가 있다. 또한 센서 네트워크가 확장되면 데이터 저장 및 질의 처리시 목적 센서 노드로의 라우팅 거리가 멀어져 통신 비용이 증가되는 문제가 있다. 그러나 기존 연구들은 데이터 저장의 효율적인 관리에만 치우쳐 이와 같은 문제를 효율적으로 해결하지 못하고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 비균등 네트워크 분할(Non-Uniform Network Split: NUNS) 기법을 제안한다. NUNS는 센서 네트워크를 센서 노드 개수와 분할된 영역 크기 차이가 최소가 되도록 비균등 크기의 Partition으로 분할하고 각 Partition에서 발생한 데이터를 그 Partition 내의 센서 노드가 저장 관리함으로써 센서 노드의 데이터 저장 부하를 분산시키고, 센서 네트워크의 확장에 따른 통신 비용을 줄인다. 그리고 NUNS는 각 Partition을 분할된 영역 크기 차이가 최소가 되도록 센서 노드 개수만큼 비균등하게 Zone으로 분할함으로써 센서 노드가 없는 Zone으로 인해 센서 노드에 부하가 집중되는 것을 막고 불필요한 라우팅 비용을 줄인다.

1. 서론

최근 무선 통신과 처리 및 저장 기능을 갖춘 초소형 센서 기술의 발전으로 센서 네트워크의 활용 분야가 점차 확산되면서 효율적으로 센서 노드에 데이터를 저장하고 질의를 처리하는 기술이 큰 이슈로 대두되고 있다[1,2,3]. 특히, 센서 노드가 측정된 데이터의 값에 따라 이를 특정 키 값으로 분류하고 센서 네트워크 내의 해당 센서 노드에 저장하는 데이터 중심 센

서 네트워크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[3,4,5,6].

대표적인 연구로 GHT[3], DIFS[4], DIM[5]이 있으며 그 중, DIM은 GHT나 DIFS보다 성능이 우수한 것으로 입증되었다. 그러나 DIM은 센서 네트워크를 균등한 크기로 분할하기 때문에 센서 노드가 존재하지 않는 영역이 발생하고 이들 영역에 해당하는 데이터를 이웃 센서 노드가 대신 저장하므로 센서 노드의 부하가 증가

† 본 연구는 서울시 산학연 협력사업의 신기술 연구개발 지원사업의 지원으로 수행되었음.

하는 문제가 있다. 또한, 같은 값을 갖는 데이터 발생이 증가하면 데이터를 저장하는 센서 노드에 부하가 집중되고 센서 네트워크가 확장되면 통신 비용이 증가하는 문제를 해결하지 못하고 있다[6]

따라서 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 비균등 네트워크 분할(Non-Uniform Network Spilt: NUNS) 기법을 제안한다. NUNS는 데이터 저장 부하를 분산시키기 위해 센서 네트워크를 센서 노드 개수와 분할된 영역 크기 차이가 최소가 되도록 비균등 크기의 Partition으로 분할한다. 이를 통해 데이터를 저장하는 목적 센서 노드로의 거리가 줄어들어 센서 네트워크 확장에 따른 통신 비용을 줄일 수 있다. 그리고 NUNS는 각 Partition을 센서 노드 개수만큼 분할된 영역 크기 차이가 최소가 되도록 비균등 크기의 Zone으로 분할한다. 이를 통해 NUNS는 DIM에서와 같이 센서 노드가 존재하지 않는 Zone으로 인해 발생하는 센서 노드의 부하 집중과 불필요한 라우팅 비용을 줄일 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장의 관련 연구에서는 데이터 중심 센서 네트워크에 관한 기존 연구에 대해 분석한다. 제 3 장에서는 본 논문에서 제시한 NUNS에 대해 기술하고, 제 4 장에서는 실험으로 통해 NUNS의 우수성을 보여준다. 마지막으로 제 5 장에서는 결론에 대해 언급한다.

2. 관련 연구

2.1 GHT

GHT는 데이터 값을 기반으로 지리적 위치를 생성하고 이와 가장 가까운 센서 노드에 데이터를 저장하는 인덱스이다[3]. GHT는 데이터 저장을 위한 Put 연산과 질의 처리를 위한 Get 연산을 사용하고, 라우팅 기법으로 GPSR[1]을 사용한다.

GHT에서는 센서 네트워크의 확장 시 센서 노드의 데이터 저장 비용을 줄이기 위해 SR(Structured Replication)을 사용한다[2,3]. SR은 센서 네트워크를 균등한 크기로 분할하고 분할 영역마다 대표 센서 노드를 지정하여 계층 구조 형태의 인덱스를 구성한다. 그리고 질의가 발생하면 최상위 노드에서 하위 노드들로 질의가 전달된다. 그러나 GHT의 SR은 질의시 부하가 최상위 노드에 집중되어 에너지 고갈이 빠르게 진행되는 문제가 있다.

2.2 DIFS

DIFS는 SR에서 인덱스 노드의 접근 부하를 줄이고 범위 질의를 지원하는 GHT의 확장이다[4]. DIFS는 자식 노드가 여러 개의 부모 노드를 갖는 Quad-Tree의 변형을 사용하고, 인덱스 노드에 저장된 데이터 값의 범위와 분할 영역 크기를 이용하여 인덱스 노드 접근을 줄이고 범위 질의를 지원할 수 있도록 하였다. 그리고 라우팅 기법으로 GPSR을 사용한다.

그러나 DIFS는 SR에 비해 인덱스 노드가 많아지고 센서 네트워크의 전체 에너지 소모가 다소 높아지는 문제가 있다. 그리고 DIFS는 일차원 데이터에 대한 인덱스이므로 다차원 데이터에 대한 범위 질의는 지원하지 못하는 한계가 있다. 또한, 같은 값의 데이터 발생이 증가하면 데이터를 저장하는 센서 노드에 부하가 집중되고 센서 네트워크가 확장되면 통신 비용이 증가하는 문제가 있다.

2.3 DIM

DIM은 데이터 영역과 센서 네트워크의 공간 영역을 서로 매핑하면서 공간 영역과 지리적으로 인접한 센서 노드에 데이터를 저장하는 인덱스이다[5]. DIM은 센서 네트워크를 x축과 y축으로 번갈아 가면서 분할된 영역에 센서 노드 한 개가 남을 때까지 균등한 크기인 Zone으로 분할한다. 그리고 센서 노드는 측정된 데이

타를 해상하여 목적 Zone에 있는 센서 노드에 데이터를 저장한다. 만일 목적 Zone에 센서 노드가 존재하지 않는 경우에는 Backup Zone에 있는 센서 노드에 데이터를 저장한다. 또한 라우팅 기법으로 GPSR을 사용한다.

이처럼 DIM은 공간 영역을 데이터 영역과 매핑하여 데이터를 저장하므로 다중속성 데이터에 대한 저장과 질의 처리가 가능하다. 그러나 같은 값의 데이터 발생이 증가하면 데이터를 저장하는 센서 노드에 부하가 집중되고 센서 네트워크가 확장되면 통신 비용이 증가하는 문제를 가지고 있다. 또한, 센서 노드가 존재하지 않는 Zone에 해당하는 데이터가 Backup Zone에 해당하는 센서 노드에 저장되므로 센서 노드의 부하가 증가하는 문제도 발생한다.

3. NUNS

3.1 Partition 생성

NUNS는 센서 노드의 부하를 효율적으로 분산시키고 센서 네트워크의 확장에 따른 통신 비용을 줄이기 위해 센서 네트워크를 비균등 크기의 Partition으로 분할한다.

본 논문에서 Partition은 센서 네트워크를 구성하는 모든 센서 노드의 센싱 영역을 포함하는 사각형을 $S(x-y$ 평면)라고 할 때, 사각형 S 를 센서 노드 개수와 분할된 영역 크기 차이가 최소가 되도록 x 축과 y 축을 번갈아 가면서 비균등하게 분할하여 얻어진 사각형으로 정의한다.

NUNS에서 Partition은 서로 다른 Partition과 구별되는 비트 스트링 형태의 Partition 코드를 가진다. Partition 코드는 분할 축, Partition 구분자, 분할 축의 위치로 구성되며, Partition이 분할될 때마다 추가된다. 표 1은 8비트로 구성된 Partition 코드를 나타낸다.

표 1. 8비트 Partition 코드

분할 축 (1비트)	Partition 구분자 (1비트)	분할 축의 위치 (6비트)
X 축: 1 Y 축: 0	좌측 (하단): 0 우측 (상단): 1	000000~111111

그림 1은 8비트 Partition 코드를 이용하여 생성한 Partition 예를 보여준다.

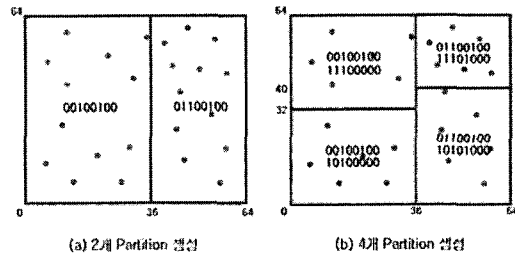


그림 1. Partition 생성 예

그림 1(a)는 2개 Partition을 나타내고 그림 1(b)는 그림 1(a)의 각 Partition을 다시 분할하여 4개 Partition을 나타낸다. 그림 2는 그림 1(b)의 Partition 코드를 트리 형태로 나타낸 것이다. 루트와 중간 노드는 분할 축과 분할 축의 위치를 가지고 있고, 리프 노드는 각 Partition을 나타낸다. 그리고 Partition 코드는 루트 노드에서 리프 노드까지의 경로를 나타낸다.

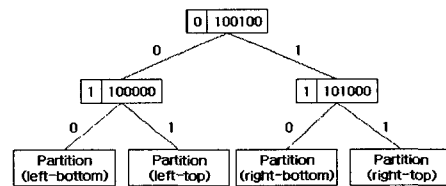


그림 2. Partition 트리

3.2 Zone 생성

NUNS는 각 센서 노드의 처리 영역을 할당하기 위해 각 Partition을 비균등 크기의 Zone으로 분할한다. 본 논문에서 Zone은 임의의 Partition을 $P(x-y$ 평면)라고 할 때, P 를 센서 노드 개수와 분할된 영역 크기 차이가 최소가 되도록 x 축과 y 축을 번갈아 가면서 한 개의 센서 노드가 남을 때까지 비균등하게 분할하여 얻어진 사각형으로 정의한다. 이처럼 Zone 생성은 Partition 생성과 유사하지만 Zone은 Partitio

n과 달리 센서 노드 개수만큼 생성되고 모든 Zone은 최소한 센서 노드 한 개를 포함한다.

그리고 NUNS에서 Zone은 Partition 코드와 마찬가지로 서로 다른 Zone과 구별되는 비트 스트링 형태의 Zone 코드를 가지며, 분할 축, Zone 구분자, 분할 축의 위치로 구성된다. 그림 3은 8비트 Zone 코드로 그림 1(b)에서 나타난 4개의 Partition 중 좌측 하단 Partition에서 생성한 Zone 예를 보여준다.

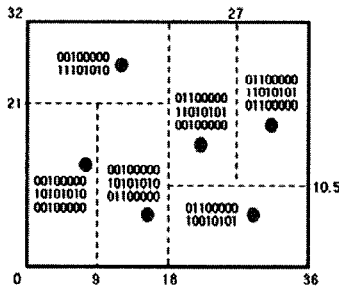


그림 3. Zone 생성 예

그림 3에서 점선으로 된 사각형이 Zone이며 센서 노드 개수만큼 생성된다. 그림 4는 그림 3의 Zone 코드에 대한 이진 트리 형태의 Zone 트리이다. 루트와 중간 노드는 분할 축과 분할 축의 위치를 가지고 있고, 리프 노드는 Zone을 나타낸다.

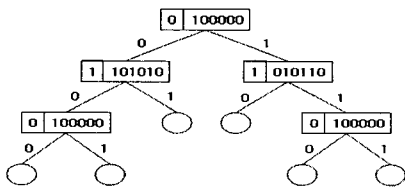


그림 4. Zone 트리

3.3 데이터 저장

NUNS에서는 한 Partition 내에서 측정된 데이터를 그 Partition 내의 센서 노드가 저장 관리한다. NUNS는 측정된 데이터를 저장할 센서 노드를 찾기 위해 데이터 값을 해싱하여 Zone 코드를 생성하고, 생성된 Zone 코드에 해당하는 Zone의 센

서 노드에 데이터를 저장한다.

그림 5는 그림 3의 Partition에서 센서 노드 A에서 측정된 데이터가 $<0.3, 0.8>$ 일 경우 데이터 저장 예를 나타낸다. 그림 5에서 화살표 상의 숫자는 속성이 가질 수 있는 값을 0과 1사이로 정형화한 것이다.

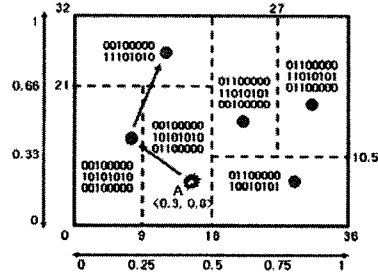


그림 5 데이터 저장 예

3.4 질의 처리

NUNS에서는 질의 결과를 얻기 위해 센서 네트워크의 모든 Partition에서 해당 데이터 값을 저장하고 있는 목적 센서 노드에게 질의를 전달해야 한다. 따라서 모든 센서 노드는 모든 Partition에 질의를 전달하기 위해 모든 Partition의 중심 좌표를 알아야 한다. Partition의 중심 좌표는 Partition 코드로 알 수 있으며 Partition 코드는 Partition 트리를 통해 얻을 수 있다.

질의가 각 Partition에 있는 특정 센서 노드에 전달되면 이 센서 노드는 질의를 해싱하여 Zone 코드를 생성하고 해당 Zone의 센서 노드를 찾아 질의를 전달한다. 이때, 해싱 과정에서 질의는 각 Zone이 가지는 데이터 범위에 따라 여러 질의로 분해되고, 분해된 질의마다 Zone 코드를 생성한다.

그림 6은 질의 전달 예를 나타낸다. 그림 6에서 화살표 상의 숫자는 Partition마다 속성이 가질 수 있는 값을 0과 1사이로 정형화한 것이다. 그림 6(a)는 센서 노드 A에서 발생한 질의 $<0.3-0.7, 0.8-0.9>$ 를 모든 Partition으로 전달하는 것을 보여준다. 그림 6에서 센서 노드 A가 발생한 질의는 각 Partition 내에서 질의를

처음 전달받게 되는 센서 노드는 B, C, D 이다.

그림 6(b)는 각 Partition의 센서 노드 A, B, C, D가 질의 <0.3-0.7, 0.8-0.9>를 해상하여 질의를 분해하고 분해된 질의에 대한 Zone 코드에 해당하는 Zone의 센서 노드를 찾아 질의를 전달하는 것을 보여준다. 질의 결과는 전달 경로의 반대로 전달된다.

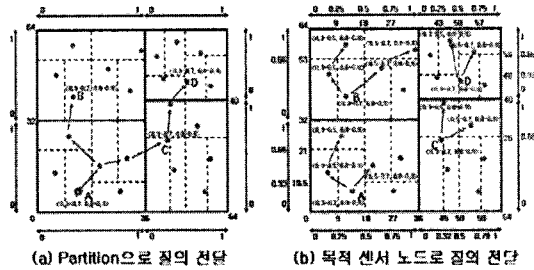


그림 6. 질의 전달 예

4. 성능 평가

본 장에서는 센서 네트워크와 Hotspot 통신 비용에 대해서 NUNS와 DIM의 성능을 비교하였다. 성능 평가를 위한 시스템 사양은 Intel Core2 CPU 2.13GHz, 2GB RAM이고, OS는 Windows XP를 사용하였다. 그리고 기본 실험 조건으로 센서 노드의 통신 범위는 50m로 하였다.

4.1 데이터 저장 비용

데이터 저장 비용 실험을 위해 두 개의 속성을 가지는 데이터 1,000개를 랜덤으로 생성하고 데이터를 저장할 때 발생하는 통신 비용에 대해 NUNS와 DIM을 비교하였다. 실험 결과는 그림 7과 같다.

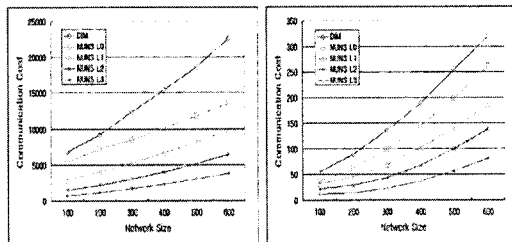


그림 7. 데이터 저장 비용

그림 7. 데이터 저장 비용

그림 7과 같이 NUNS는 데이터 저장 비용이 항상 DIM보다 효율적이며 Partition 개수가 많을수록 데이터 저장 효율성이 향상되는 것으로 나타났다. 이는 센서 노드의 데이터 저장이 Partition 단위로 이루어지므로 데이터 저장 부하가 분산되고 목적 센서 노드와의 거리가 가까워졌기 때문이다.

4.2 질의 처리 비용

질의 처리 비용 실험을 위해 두 개의 속성을 가지는 범위 질의 100개를 랜덤으로 생성하고 질의 처리시 발생하는 통신 비용에 대해 NUNS와 DIM을 비교하였다. 이때, 질의는 속성이 가질 수 있는 범위의 10% 이내로 하였다. 실험 결과는 그림 8과 같다.

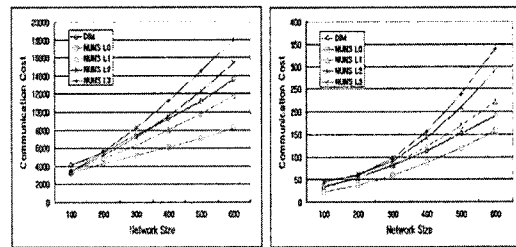


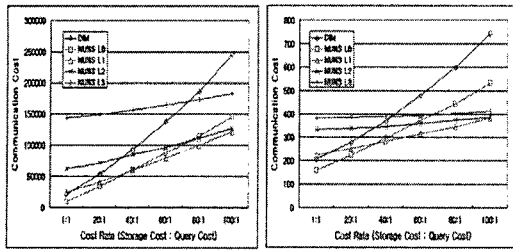
그림 8. 질의 처리 비용

4.3 데이터와 질의 비율에 따른 비용

그림 8과 같이 Partition이 1개인 NUNS는 DIM보다 질의 처리 비용이 항상 효율적이지만 Partition 개수가 많아질수록 NUNS의 질의 처리 비용이 DIM보다 높아지는 것을 볼 수 있다. 이는 질의 처리를 위해 질의를 모든 Partition의 목적 센서 노드로 전달하므로 Partition이 많아지면 그만큼 질의 전달 비용이 증가하기 때문이다.

4.3 데이터와 질의 비율에 따른 비용

실험을 위해 센서 노드 600개를 랜덤으로 생성하여 데이터 저장 횟수와 질의 처리 횟수 비율에 따른 통신 비용에 대해 NUNS와 DIM을 비교하였다. 이때, 질의는 속성이 가질 수 있는 범위의 10% 이내로 하였다. 실험 결과는 그림 9와 같다.



(a) 센서 네트워크 통신 비용 (b) Hotspot 통신 비용

그림 9. 데이터와 질의 비율에 따른 비용
 그림 9와 같이 Partition이 1개인 NUNS는 DIM보다 통신 비용이 항상 효율적이고 데이터 저장 횟수가 질의 처리 횟수보다 많아질수록 Partition 개수가 많은 NUNS의 통신 비용 효율성이 높아지는 것으로 나타났다. 이는 NUNS에서 Partition 개수가 증가함에 따라 데이터 저장 비용은 감소되고 반대로 질의 처리 비용은 증가되기 때문에 데이터 저장 횟수가 질의 처리 횟수보다 많아질수록 데이터 저장 비용 감소폭이 질의 처리 비용 증가폭보다 상대적으로 커지기 때문이다.

5. 결론

본 논문에서는 데이터 중심 센서 네트워크에서 센서 노드의 부하를 분산시키고 센서 네트워크의 확장에 따른 비용을 줄이기 위해 NUNS를 제안하였다. NUNS는 센서 네트워크를 비균등 크기의 Partition으로 분할하고, 각 Partition 내에서 발생한 데이터를 각 Partition 내의 센서 노드가 저장 관리하도록 하였다.

그리고 NUNS에서는 DIM과 같이 센서 노드가 없는 Zone으로 인해 발생하는 센서 노드의 부하와 불필요한 라우팅 비용을 줄이기 위해 각 Partition을 분할된 영역 크기 차이가 최소가 되도록 센서 노드 개수만큼 비균등 크기의 Zone으로 분할하였다.

마지막으로 실험을 통해 데이터 중심 센서 네트워크에서 NUNS의 에너지 효율성이 DIM보다 우수함을 입증하였다.

참고문헌

- [1] Karp, B., and Kung, T., "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," In Proc. of the 6th Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking, 2000, pp.243-254.
- [2] Ratnasamy, S., Estrin, D., Govindan, R., Karp, B., and Shenker, S., "Data-Centric Storage in Sensornets," In Proc. of the 1st ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Networks, Vol.3 3, No.1, 2003, pp.137-142.
- [3] Ratnasamy, S., Karp, B., Shenker, S., Estrin, D., Govindan, R., Yin, L., and Yu, F., "Data-Centric Storage in Sensornets with GHT, A Geographic Hash Table," In Proc. of the Mobile Networks and Applications, Vol.8, No.4, 2003, pp.427-442.
- [4] Greenstein, B., Estrin, D., Govindan, R., Ratnasamy, S., and Shenker, S., "DIFS: A Distributed Index for Features in Sensor Networks," In Proc. of the 1st IEEE Intl. Workshop on Sensor Network Protocols and Applications, 2003, pp.163-173.
- [5] Li, X., Kim, Y., Govindan, R., and Hong, W., "Multi-Dimensional Range Queries in Sensor Networks," In Proc. of the 1st Intl. Conf. on Embedded Networked Sensor Systems, 2003, pp.63-75.
- [6] 강홍구, 전상훈, 홍동숙, 한기준, 이타 중심 저장 방식의 센서 네트워크를 위한 비균등 영역 분할 기법," 한국공간정보시스템학회 논문지, 8권3호, 2006, pp. 105-115.