

전술 무선 센서 네트워크를 위한 엔트로피 기반 자원할당 기법

이종관¹ · 이민우^{2,*}

¹육군사관학교 · ²아주대학교

Entropy based Resource Allocation Scheme for Tactical Wireless Sensor Networks

Jongkwan Lee¹ · Minwoo Lee^{2,*}

¹Korea Military Academy · ²Ajou University

E-mail : jklee64@kma.ac.kr / iminu@ajou.ac.kr

요 약

본 논문은 전술 센서 네트워크에서 센서노드들이 제공하는 정보량을 기준으로 센서 노드들에게 시간 슬롯을 동적으로 할당하는 기법을 제안한다. 전술 상황에서 임의로 배치된 센서노드들이 제공하는 정보의 가치는 주변환경 변화에 따라 가변적이다. 센서노드들은 무선통신 자원을 공유하기 때문에 효과적인 자원활용을 위해서 상대적으로 높은 가치의 데이터를 전송하는 센서노드에게는 많은 자원을 할당하고, 그렇지 않은 센서노드들에게는 적은 자원을 할당할 필요가 있다. 제안하는 기법은 주기적으로 센서노드들이 제공하는 데이터의 가치를 평가하고 이를 바탕으로 무선자원을 동적으로 재할당한다. 다양한 환경에서의 실험을 통해 제안한 기법이 정적으로 무선자원을 할당하는 기법에 비해 효과적으로 데이터를 수집함을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a resource allocation scheme based on entropy for tactical wireless networks. In a tactical situation, the sensing nodes that are located randomly provide transmitted data values depending on environmental conditions. Since they share wireless resources, nodes providing valuable data compared to others need to have more resources. The proposed scheme evaluates the value of received data by a sink node. Based on the results, the sink node reallocates resources to sensing nodes. Through various experiments, we verified the proposed scheme is superior to the fixed allocation scheme.

키워드

Resource Allocation, Tactical Sensor Network, Entropy, TDMA

1. 서 론

무선 네트워크에서 통신자원을 공유하는 노드들 간의 효과적인 자원할당은 네트워크 운용에 있어 매우 중요한 요소이다. 이 때문에 네트워크 운용 목적에 부합하도록 각 노드들의 자원사용 절차가 노드 상호간 협의되거나 또는 중앙 노드에 의해 통제되어야 한다.

무선 센서 네트워크는 무선으로 동작하는 센서들이 네트워크를 형성하여 데이터 전송이 이루어지는 것을 말한다. 센서노드(Sensor node)들은 수집

한 데이터를 무선 경로를 통해 싱크노드(Sink node)에게 전달한다. 이때 무선자원을 모든 노드가 공유하고, 무선자원이 한정되어 있기 때문에 적절한 자원할당 스케줄링이 반드시 필요하다.

본 논문은 전술환경 하에서 안전이 확인되지 않은 지역에 임의 배치된 센서노드들로 구성된 TDMA(Time Division Multiple Access) 기반의 네트워크를 고려한다. TDMA는 각 노드에게 최소한의 전송기회를 제공할 수 있어 QoS(Quality of Service)를 보장하는데 유리할 뿐 아니라 구현이 간단하다. 하지만 시간슬롯을 각 노드에게 고정적으로 할당하는 경우, 전송할 데이터가 없어 전송기회

* corresponding author

를 낭비하게 되거나, 전송 데이터의 양, 중요도 등이 변화되었을 때 사전에 할당된 시간슬롯이 사용되지 않는 경우 자원이 낭비되기 때문에 비효율적일 수 있다. 즉, 시간슬롯 할당이 환경 변화에 따라 네트워크 운용 목적에 맞게 동적으로 변화되어야 한다[1, 2].

본 논문에선, 센서 노드들이 전송하는 데이터의 가치를 엔트로피로 계량화하고 이를 기반으로 시간슬롯 할당을 주기적으로 변경하는 기법을 제안한다.

II. 시스템 모델

본 논문은 전송환경에서 운용되는 무선 센서 네트워크를 고려한다. 각 센서노드는 안전이 확보되지 않은 작전지역에 투발, 낙하 등의 방법으로 임의배치된다. 각 센서노드는 배치된 작전환경에 대한 데이터를 주기적으로 수집하여 TDMA 방식으로 싱크노드에게 전달한다. 싱크노드는 항공기, 열기구 등이 활용될 수 있다.

센서노드는 주변 환경에 대한 데이터를 별도의 분석과정 없이 자신이 할당받은 슬롯에서 싱크노드에게 전송한다. 싱크노드는 센서노드들로부터 수집한 데이터를 지휘소로 다시 전송하고 지휘소는 이를 바탕으로 작전환경을 분석한다.

한편, TDMA 프레임 구조는 아래와 같다. 프레임마다 센서 노드들이 데이터 전송을 위해 사용하는 슬롯(T_s)이 L 개 있다. 그리고 싱크노드가 데이터 전송을 위해 사용하는 시간슬롯(T_c)이 M 개의 프레임마다 1개씩 추가된다. M 개의 프레임과 1개의 T_c 는 하나의 수퍼프레임을 구성한다. 수퍼프레임은 네트워크가 종료될 때까지 지속적으로 반복된다.

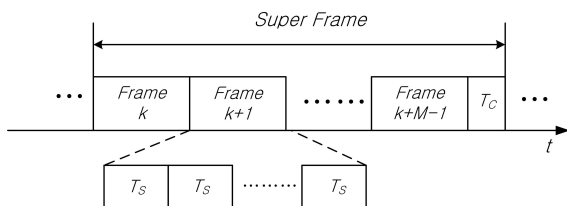


그림 1. 제안하는 기법의 프레임 구조

III. 제안하는 기법

제안하는 기법의 동작절차는 다음과 같다. 최초 센서노드들이 배치될 때는 슬롯을 균등하게 할당한다. 배치 이후 싱크노드는 센서노드들로부터 S 개 이상의 데이터를 수집하여 노드별 데이터의 가치(즉, 엔트로피)를 수식 (1)을 이용하여 계산한다.

$$E = - \sum_{i=1}^k p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

식 (1)에서 i 는 전송데이터를 구별하는 식별자이고, 센서노드에서 전송할 수 있는 데이터 유형의 총 개수는 k 개로 나타낸다.

싱크노드는 계산된 엔트로피에 비례하여 노드들에게 할당할 슬롯의 개수를 산정하고, 노드에게 할당되는 슬롯들의 배치가 한 프레임 내에서 균등하도록 슬롯할당정보를 최신화한다. 그리고 슬롯할당정보를 싱크노드 시간슬롯(T_c)에서 센서노드들에게 전송한다.

IV. 성능분석

1개의 싱크노드와 4개의 센서노드들로 구성된 네트워크에서 원천데이터와 수신데이터의 오차를 통해 제안하는 기법의 성능을 분석한다.

전송데이터의 유형(k)은 총 10개이다. 센서노드는 각각 서로 다른 확률분포에 의해서 생성된 데이터를 자신의 시간슬롯에서 전송한다. 즉, 모든 생성데이터를 전송하는 것이 아니라 할당된 시간슬롯의 수용범위 내에서 선택적으로 데이터를 전송하게 된다. 싱크노드는 수신데이터로부터 원천데이터를 복원하기 위해 보간법을 이용한다. 성능은 원천데이터와 복원데이터간의 평균제곱오차(Mean square error)로 평가한다. 아래 표는 제안하는 기법과 정적 TDMA(즉, 모든 센서노드가 동일한 비율의 시간슬롯을 할당)의 성능을 나타낸다.

표 1. 제안하는 기법과 정적 TDMA 성능 비교

	Ent.	Prop.		TDMA	
		#slots	MSE	#slots	MSE
Node1	0.182	1	0.481	3	0.391
Node2	0.181	1	0.499	3	0.408
Node3	3.321	9	4.212	3	11.440
Node4	0.194	1	0.476	3	0.404
Total	3.878	12	5.668	12	12.645

표 1에서 보는 바와 같이 제안하는 기법이 정보량이 적은 데이터에 대한 오차가 정적 TDMA에 비해 높지만, 정보량이 많은 데이터에 대해서는 정적 TDMA에 비해 오차가 매우 작다. 또한 모든 오차의 합도 제안하는 기법이 훨씬 적다. 이는 제안하는 기법은 데이터가 제공하는 정보 가치가 높으면 많은 시간슬롯을 할당하고 그렇지 않으면 적은 시간슬롯을 할당하기 때문이다.

V. 결론 및 향후연구

본 논문은 TDMA 기반의 전술 센서 네트워크를 위한 시간슬롯할당 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 많은 정보량을 제공하는 센서노드에게 많은 슬롯을 할당하고 그렇지 않은 센서노드에게는 적은 슬롯을 할당한다. 정보량이 적은 데이터의 복원 오차가 상대적으로 크지만 정보량이 많은 데이터의 복원 오차가 현저히 감소함을 실험을 통해 확인하였다. 전술 환경에서는 많은 정보량을 제공하는 데이터의 정확한 수신이 상대적으로 중요하다. 따라서 제안하는 기법이 유용하게 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 제안하는 기법에 대한 오버헤드 분석, 비주기적으로 수신된 데이터로 부터 원천 데이터를 효과적으로 복원을 위한 보간법 개발, 한 프레임 내에서 각 노드별 시간슬롯의 균등한 배치 등에 대한 연구를 추가적으로 수행할 예정이다.

Acknowledgement

이 논문은 2019년 한국연구재단의 지원을 받아 수행하였음. (No. 2019R1G1A100303013)

References

- [1] J. K. Lee, "Dynamic Slot Allocation Scheme in Tactical Multi-hop Networks for Future Soldier Systems", *Journal of KIMST*, vol. 24, no. 1, pp. 115-122, 2021.
- [2] J. K. Lee, H. J. Noh and J. Lim, "TDMA based Cooperative MAC Protocol for Multi-Hop Relaying Networks," *IEEE Communications Letters*, vol. 18, no. 3, pp. 435-438, 2014.