

## 유효 센싱 범위를 고려한 센서 노드 스케줄링 프로토콜

김길수<sup>o</sup> 조재규 권태경 최양희  
서울대학교 컴퓨터공학부  
{gskim<sup>o</sup> jkcho tk yhchoi}@mmlab.snu.ac.kr

### A sensor node scheduling protocol based on effective sensing area in wireless sensor networks

Gilsoo Kim Jaekyu Cho Taekyoung Kwon Yanghee Choi  
School of Computer Science and Engineering,  
Seoul National University, Korea

#### 요 약

무선 센서 네트워크의 노드들은 소형으로써 배터리로 작동하고, 사용자로부터 원거리 또는 산악지대와 같이 배터리 교체가 쉽지 않은 곳에 배치되기 때문에 한정된 에너지를 효율적으로 사용하는 기술이 매우 중요하다. 이를 위해서 같은 지역에 대해 중첩되게 센싱하고 있는 노드들이 있다면 적절한 수의 노드만 활동하게 하고 나머지는 활동하지 않게 함으로써 노드들의 에너지 사용 효율을 높일 수 있다. 본 논문에서는 센서 노드가 유효센싱범위(EISA, Effective Sensing Area)를 계산하여 threshold 초과 여부에 따라 working/sleeping하도록 함으로써 중첩되는 센싱범위를 최소화 하고 전체 센싱 커버리지를 유지시키면서 네트워크 수명을 증가시키는 스케줄링 프로토콜을 제안한다.

#### 1. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)는 많은 수의 센서 노드들을 특정지역에 구성하여 그 지역에서 발생하는 각종 이벤트를 모니터링하고 획득한 정보를 사용자에게 전달한다. 센서 네트워크를 구성하는 센서 노드들은 애드 혹 네트워크(Ad hoc Network)를 구성하는 노드들과는 달리 소형이고 제한된 자원을 가지고 있으며 상대적으로 많은 수의 센서 노드들이 넓은 지역에 배치되어 다양한 동적 토폴로지를 가지는 특징이 있다. 이러한 특징 중에서 가장 중요하게 고려되어야 할 사항은 센서 노드의 제한된 에너지 자원을 효율적으로 사용하는 방안이다. 왜냐하면 대부분의 센서 노드들은 배터리를 에너지 공급원으로 하고 있고, 사용자들로부터 원거리 배치되거나 또는 산악지대, 사막과 같이 접근이 곤란한 지역에 배치되기 때문에 배터리를 교환하거나 충전하여 사용하기 어렵기 때문이다. 따라서 최근의 많은 논문들[1], [2]은 센서 노드들의 에너지 소비를 줄이는 데 중점을 두고 연구를 하고 있다.

무선 센서 네트워크에 배치된 센서 노드들은 모니터링 임무를 동시에 수행하고 있기 때문에 불필요하게 많은 수의 센서 노드들이 동시에 같은 일을 수행하는 것은 에너지의 효율적 사용하는 방법이 아니라고 할 수 있다. 따라서 적절한 수의 센서 노드들만이 할당된 임무를 수행하고, 나머지 다른 센서 노드들은 활동하지 않게 하는

스케줄링 기법을 사용함으로써 센서 노드들의 에너지 사용 효율을 높일 수 있고, 결과적으로는 센서 네트워크의 수명도 연장되어 오랜 시간 동안 주어진 임무를 수행할 수 있다.

본 논문에서는 많은 센서 노드들이 배치된 무선 센서 네트워크에서 주어진 센싱 범위를 유지하면서 적절한 수의 센서 노드들이 활동하는 센서 노드 스케줄링 프로토콜을 제시한다. 우리가 제시하는 프로토콜은 다음과 같은 고려사항을 가지고 설계된다. 첫째, 센서 노드는 자신의 상태를 이웃노드와의 협력을 통해서 이웃 노드의 정보와 자신의 정보를 바탕으로 자신의 상태를 판단한다. 둘째, 코디네이터에 의해 자신의 스케줄링이 결정되는 것이 아니라, 센서 노드 내에서 로컬(local)하게 결정하는 완전히 분산된 방법을 사용한다. 셋째, 특정 센서 노드가 에너지 모두 소모하여 특정 지역을 센싱 할 수 없게 되는 현상을 최소화하기 위해 모든 센서 노드들이 고르게 에너지를 소모하게 하는 로드 밸런싱(load balancing) 기법을 이용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구를 살펴보고 3장에서는 제안하는 센서 노드 스케줄링 프로토콜을 소개한다. 4장에서는 성능분석을 통하여 제안한 프로토콜의 성능을 평가하고 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 관련연구

최근 많은 논문들이 센싱 커버리지를 고려하면서 에너지 효율적인 기법을 제시하고 있다.

PEAS[3]는 Probing Environment 와 Adaptive Sleeping의 두 가지 알고리즘으로 구성된다. Probing Environment의 경우 노드는 sleep상태에서 깨어나게 되면 PROBE 메시지를 probing 범위  $R_p$  내의 노드들에게 보내게 되고 PROBE 메시지를 받은 노드는 REPLY 메시지를 보내게 된다. 이 때 PROBE 메시지를 보낸 노드는 REPLY 메시지를 받지 못한 경우에만 계속 깨어있게 되고 그 이외의 경우에는 다시 sleep상태로 돌아가게 된다. Adaptive Sleeping은 깨어있는 노드의 수를 유지하기 위한 것으로, 깨어있는 노드는 aggregate probing rate를 조사하게 되고 이를 REPLY 메시지에 같이 실어 보내게 된다. 이를 보고 probing노드는 자신의 sleep시간을 조절하게 된다. PEAS는 다른 energy-conserving 알고리즘과 기본적인 아이디어를 같이하고 있지만 기존의 알고리즘과 차이점을 나타내는 부분은 node failure가 빈번하고 node의 밀집도가 매우 높으며 node의 computing 능력이 매우 제한적인, 열악한 환경에서의 작동을 가정한 알고리즘이라는 것이다.

PEAS는 한번 깨어나게 되면 배터리가 완전히 소진되거나 물리적인 이상이 있을 때까지 계속 깨어 있게 된다. 이러한 경우 시간이 지날수록 정상 작동할 수 있는 노드의 수는 줄어들게 되고 결과적으로는 네트워크의 분리나 노드들의 고립을 가져오게 된다. 이를 개선시키기 위해 PECAS[4]에서는 Collaborating Adaptive Sleeping Scheme을 제안한다. 노드는 계속 깨어 있는 것이 아니라 Next\_Sleep\_Time 만큼만 깨어 있고 그 이후에 sleep하게 된다. 또한 Next\_Sleep\_Time 값을 REPLY 메시지에 실어 보내서 REPLY 메시지를 받은 노드가 Next\_Sleep\_Time +  $\epsilon$  만큼 sleep한 후 깨어나게 하여 자신의 역할을 대체 할 수 있도록 한다. 이러한 방법을 통해 네트워크의 수명을 연장하면서도 노드들의 에너지를 균등하게 소비시킬 수 있다.

[5]에서 각 노드는 Local neighbor information만을 이용하여 자신의 전원을 끌 것인가 켜 것인가에 대해 주기적으로 자신 스스로 결정을 내린다. 만약 자신이 담당하고 있던 영역을 이웃의 노드들이 완벽하게 대체해줄 수 있다면 자신을 전원을 끌 수 있기 때문에 각 노드는 이웃 노드들이 지원해줄 수 있는 영역 (Sponsored coverage)를 계산하여 자신의 전원 유/무를 판단한다. 전원 유/무에 대한 판단을 여러 노드가 동시에 내리게 될 경우 blind point가 발생할 수 있으므로 이 문제를 해결하기 위해 Back-off scheme이 사용된다.

배치된 센서들이 얼마나 제대로 목표지역을 모니터링 혹은 트래킹하고 있는지 알아보기 위해 [6]에서는 무선 센서 네트워크에서 또 하나의 중요한 이슈로서 coverage 문제를 다룬다. 센서 네트워크가  $k$ -covered 되어있는지 확인하기 위해 노드의 센싱영역이 모두 동일한 unit disk의 경우와 센싱 영역이 여러 가지인 non-unit disk인 경우를 나누어 생각하고 각 지역의 coverage수준을 판단하기 보다는 각 노드의 센싱 범위 perimeter를 확인함으로써 복잡해 보이는 coverage 문제를 단순화 시킨다. 결국 각 센서의 perimeter가 충분히 커버된다면, 전체 센서네트워크는 충분히 커버되고 있다고 볼 수 있다는 것이 기본 아이디어이다.

## 3. 제안된 프로토콜

우리는 무선 센서 네트워크가 구성된 관심지역에 대한 센싱 범위를 보장하면서 에너지를 효율적으로 사용하는 센서 노드 스케줄링 프로토콜을 제안한다.

제안된 센서 노드 스케줄링 프로토콜을 위해 우리는 다음과 같이 가정한다. 센서 노드들은 관심지역에 랜덤한 분포로 배치되어 있다. 최근 발표된 몇 편의 논문 [7],[8]과 같이 센서 노드들은 GPS 또는 virtual coordinates를 사용하여 자신의 지리적 위치를 알고 있다고 가정한다. 또한 우리는 센서 노드가 비용, 크기 등의 여러 가지 제약으로 인해 GPS를 사용할 수 없을 경우에는 이웃 노드들과의 주기적인 beacon을 교환함으로써 beacon의 RSS (Received Signal Strength)를 이용하여 이웃 노드와의 상대적 거리를 알 수 있다고 가정한다. 또 모든 센서 노드들은 같은 센싱 거리  $r_s$ 와 전송 거리  $r_t$ 를 가진다. 이 때 센서 노드의 communication connectivity를 위하여  $r_t$ 는  $r_s$ 의 2배라고 가정한다[9].

제안된 프로토콜은 충분히 많은 수의 센서 노드들이 구성되어 있는 무선 센서 네트워크에서 목표하는 센싱 범위를 유지하면서 동작하는 센서 노드들의 수를 최소화 하게한다. 이 때 센서 노드의 상태를 결정하는 것은 센서 노드 각자가 결정하는 완전히 분산된 방식을 따른다. 이를 위해 각 센서 노드는 세 가지 state(probing, working, sleeping)를 가진다. 그림 1은 센서 노드의 상태변화 다이어그램을 나타낸 것이다.

먼저 센서 노드들은 sleeping state에서 sleeping 시간  $T_s$ 가 지난 후 확률  $p_w$ 의 분포로 probing state로 전환한다. probing state로 전환된 센서 노드는 probing 메시지를 브로드캐스팅 한다. probing 메시지를 전송한 후 일정시간  $T_p$  동안 기다린 후 probing 메시지에 대한 응

답이 없으면 자신의 주변에는 어떤 센서 노드도 working state에 있지 않다고 판단하여 자신의 state를 working state로 전환한다. working state로 전환된 센서 노드는 자신의 working time,  $T_w$ 을 정하고 working time 동안 자신의 센싱 범위 내에서 발생하는 event를 모니터링 한다. 이 때, 네트워크 로드 밸런싱을 위해 각 센서 노드의 working time  $T_w(i)$ 는 아래의 식과 같이 구할 수 있다.

$$T_w(i) = \left(\frac{E_r(i)}{E}\right) \left(\frac{1}{N_w(i)}\right) \alpha \quad (1)$$

위 식에서  $E$ 는 센서 노드에 할당된 최초 에너지량이고,  $E_r(i)$ 는 센서 노드  $i$ 의 현재 보유하고 있는 에너지량이다.  $N_w(i)$ 는 센서노드가 working state로 들어간 횟수를 나타내며,  $\alpha$ 는 시스템 파라미터 이다.

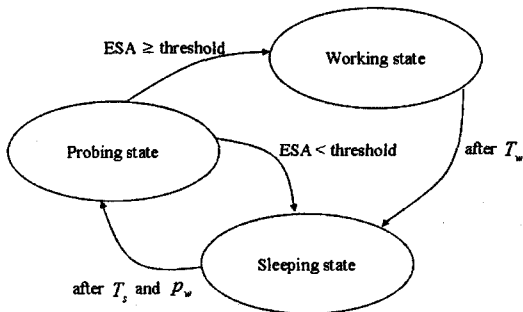


그림 1. 센서 노드의 상태변화 다이어그램

만약 probing 메시지를 보낸 센서 노드의 주변에 working 하고 있는 센서 노드가 존재한다면 working 센서 노드는 probing 메시지에 대해 reply 메시지로 응답한다. reply 메시지에는 노드 아이디, 자신의 지리적 위치, 앞으로의 남은 working 시간 등이 포함되어 있다. reply 메시지를 받은 센서 노드는 reply 메시지 내에 포함되어 있는 위치 정보를 이용하여 자신의 유효 센싱 범위(ESA: Effective Sensing Area)를 계산한다. 유효 센싱 범위란 그림 2에서 나타나는 바와 같이 센서 노드가 working state에서 센싱하는 동안 자신의 센싱범위와 이웃 노드의 센싱범위가 중복되지 않는 지역을 말한다. 예를 들어 그림 2에서와 같이 센서 노드 A 주변에 거리  $d$ 만큼 떨어진 지역에 센서 노드 B가 working 하고 있다면 센서 노드 A의 유효 센싱 범위는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$ESA(A) = \frac{d}{2} \sqrt{4 - d^2} + 2 \arcsin\left(\frac{d}{2}\right) \quad (2)$$

센서 노드 A의 주변에 2개 이상의 센서노드가 존재할 경우에는 복잡한 계산식이 필요하므로 본 논문에서는 나타내지 않는다.

식 (2)로부터 각 센서 노드는 자신이 working state에서 센싱하게 되는 유효센싱비율  $\Psi(i)$ 를 계산 할 수 있다.

$$\Psi(i) = \frac{ESA(i)}{\pi r_c^2} \quad (3)$$

식 (3)으로부터 계산된  $\Psi(i)$ 가 미리 정해진 threshold를 넘지 않으면 센서 노드는 sleep state로 전환하고  $T_s$  시간 동안 sleep 하게 된다. 만약  $\Psi(i)$ 가 threshold를 넘으면 센서 노드는 working state로 전환하여 식 (1)에 의해 working time,  $T_w$ 을 정하고 working time 동안 자신의 센싱 범위 내에서 발생하는 이벤트를 모니터링 한다.

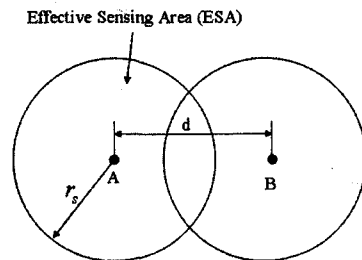


그림 2. 유효 센싱 범위

#### 4. 성능분석

본 장에서는 시뮬레이션 결과를 분석하여 제안된 프로토콜의 특성을 파악하고 기존의 프로토콜인 PEAS와의 비교를 통해 제안된 프로토콜의 성능을 평가한다.

##### 4.1 시뮬레이션 준비 및 방법

일반적인 성능평가에서는 수치적인 분석만으로도 성능 평가가 쉽게 이뤄질 수 있지만 coverage 문제에 관련해서는 가시적인 결과에 대한 분석으로 성능의 정도를 쉽게 판단할 수 있으므로 상대적으로 Visual한 작업이 용

이한 MS Visual Basic 6.0을 통해 시뮬레이션을 실시하였다.

광범위한 지역에 다수의 센서가 배치되는 상황을 가정하기 위해 500mX500m의 영역에 센서가 배치되는 것으로 하였고 센서의 수(개),  $\Psi$ 에 대한 working threshold 값에 변화를 주어 시뮬레이션을 진행하였다. 기본적으로 센서의 수는 100개에서 1000개까지 10단위씩 그리고 threshold값은 10%부터 100%까지 10단위씩 변화를 주어 시뮬레이션을 진행하였다. 센서의 센싱반경(radius)은 50m로 하였고 편차를 줄이기 위해 총 10회의 시뮬레이션을 실시하였다. 본 장에서 제시되는 수치들은 10회의 평균값이다.

#### 4.2 시뮬레이션 결과 및 분석

##### 4.2.1 threshold 값에 따른 coverage 및 수명의 변화

여러 가지의 threshold 값 중에 가장 우수한 성능을 가진 값을 알아보기 위해 threshold 값에 변화를 주고 각각마다 센서의 수를 달리하여 시뮬레이션을 실시하였다.

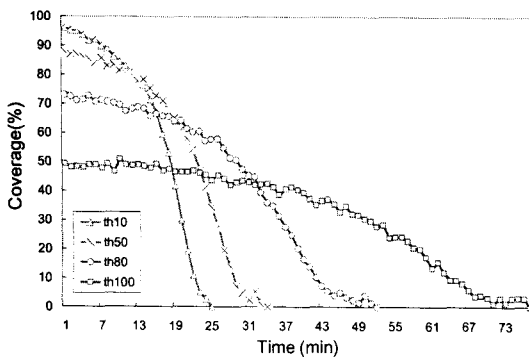


그림 3. threshold 값에 따른 Coverage 및 수명의 변화

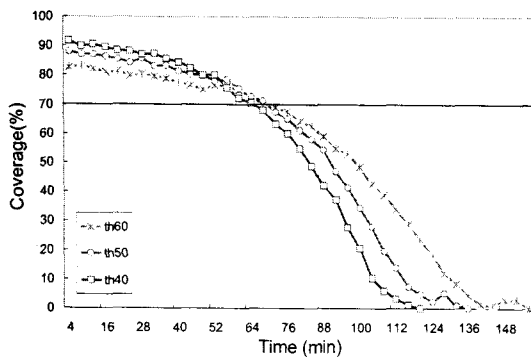


그림 4. threshold 값 40 ~ 60%의 비교

그림 3은 노드가 1000개일 때 threshold 값에 따라 전체 coverage 및 수명의 변화 정도를 나타낸 것으로 threshold 값이 높을수록 초기의 coverage는 높으나 시간이 지날수록 coverage가 급격히 감소되는 것을 알 수 있다. 즉, 높은 coverage를 얻기 위해서는 짧은 수명을 감수해야 하는 trade off가 있다는 것을 알 수 있다.

주어진 센서 네트워크 응용이 요구하는 최소의 coverage비율이 70%라고 가정할 때 시뮬레이션 결과를 살펴보면 그림 4와 같이 threshold 값이 50%인 경우가 가장 오랫동안 70%이상의 coverage를 유지하여 가장 좋은 성능을 내고 있다는 것을 알 수 있다. 한편, threshold 값이 각각 40%와 60%인 경우에도 50%인 경우와 유사한 성능을 나타내었으나 1000개 이외의 경우도 고려하였을 때에는 50%인 경우가 전체적으로 가장 좋은 성능을 나타냈다.

##### 4.2.2 센서의 수에 따른 coverage 및 수명의 변화

센서 수에 따른 전체 coverage 및 수명의 변화에 대해 알아보기 위해 threshold 값을 앞에서 언급되었던 50%로 설정하고 센서의 수를 다르게 하여 시뮬레이션을 실시하였다.

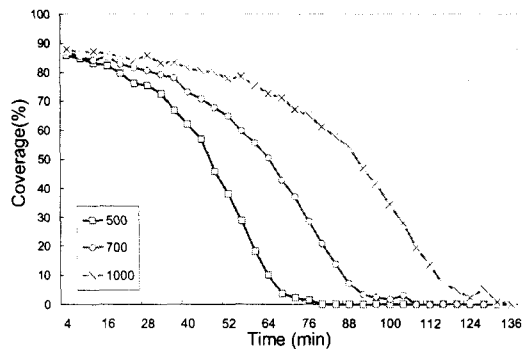


그림 5. 센서의 수에 따른 Coverage 및 수명의 변화

그림 5를 보면, 센서의 수가 많은 경우 초반의 coverage는 적은 변화 폭을 보이지만 센서의 수가 적은 경우에는 초반부터 급격한 변화 폭을 보인다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 센서의 수가 많을수록  $\Psi >$  threshold 조건을 만족하는 센서가 충분히 제공될 수 있으므로 coverage가 지속적으로 보장될 수 있지만 센서의 수가 적은 경우에는 조건을 만족시킬 수 있는 센서의 수가 부족하므로 초반의 coverage를 오랫동안 유지하기 힘들기 때문이다.

한편, 70% 이상의 coverage를 유지할 때의 시간을 유효수명이라 하고, threshold 값이 40 ~ 60% 인 경우를

살펴보면, 그림 6에서와 같이 센서의 수가 증가할수록 그에 비례하여 유효수명도 증가한다는 것을 알 수가 있다. 결론적으로, 노드의 수가 증가할수록 네트워크의 수명은 증가하며 특히 유효수명의 경우에는 센서의 수에 비례하여 수명이 증가한다는 것을 알 수 있다.

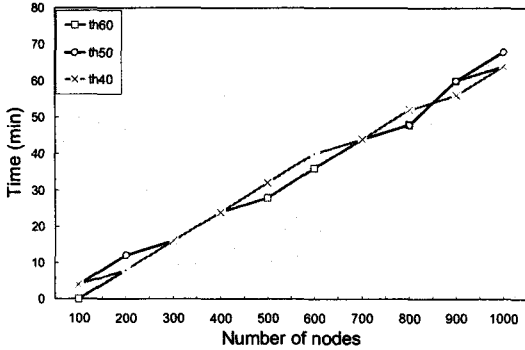


그림 6. 센서의 수에 따른 유효수명의 변화

#### 4.3 Coverage와 수명에 대한 PEAS와의 비교

PEAS와의 성능 비교를 위해 센서가 1000개이고 threshold 값이 50%인 경우의 Coverage와 수명을 비교하였다.

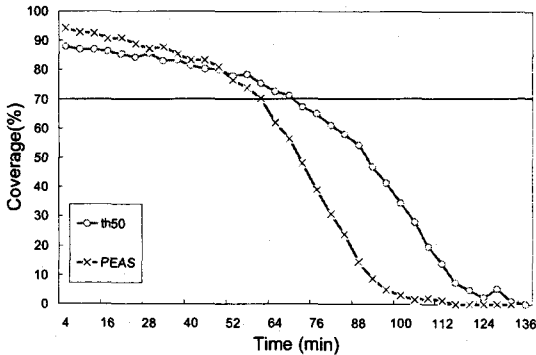


그림 7. 제안된 프로토콜과 PEAS의 비교

PEAS의 경우 초반의 coverage는 48분까지 80% 이상으로 제안된 프로토콜에 비해서 높은 수치를 보였다. 하지만 80%를 기점으로 coverage가 급격히 떨어져 12분 동안 10%이상의 감소를 보이며 60분 부근을 기점으로 70%미만으로 떨어졌다. 이에 반해 제안된 프로토콜의 경우는 초반 coverage는 PEAS보다 떨어졌으나 68분까지 70%이상 유지하며 PEAS에 비해 더욱 13%정도 더 긴 유효수명을 나타냈다.

#### 5. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 센서 노드들이 에너지를 효율적으로 사용할 수 있도록 유효 센싱 범위를 계산하여 센서 노드의 Working/Sleep 여부를 결정하는 스케줄링 프로토콜을 제안하였다.

시뮬레이션을 통해 제안된 프로토콜은 일정 수준의 센싱 coverage를 유지하면서 네트워크의 수명을 연장시켜 효율적인 센서 네트워크를 구성할 수 있다는 것을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] M. Cardei, M. Thai, Y. Li, W. Wu, "Energy-efficiency target coverage in wireless sensor networks," In Proc. IEEE Infocom 2005, March 2005.
- [2] I. Howitt, J. Wang, "Energy balanced chain in distributed sensor networks," In Proc. IEEE WCNC 2004, vol. 3, pp. 1721-1726, 21-25 March 2004.
- [3] Fan Ye, Gary Zhong, Songwu Lu, Lixia Zhang, "A Robust Energy Conserving Protocol for Long-lived Sensor Networks," In proc. IEEE ICDCS, 2003
- [4] Chao Gui and Prasant Mohapatra, "Power Conservation and Quality of Surveillance in Target Tracking Sensor Networks," In Proc. MobiCom'04, Sept. 2004
- [5] D. Tian and N. D. Georganas, "A Coverage-Preserving Node Scheduling Scheme for Large Wireless Sensor Networks," In Proc. ACM Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, Atlanta, Oct.2002
- [6] C.-F. Huang and Y.-C. Tseng, "The Coverage Problem in a Wireless Sensor Network," in WSNA '03, 2003
- [7] Y. Yu, R. Govindan and D. Estrin, "Geographical and Energy Aware Routing : a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks," In Proc. UCLA Computer Science Department Technical Report UCLA/CSD-TR-01-0023, May. 2001.
- [8] T. Moscibroda, R. O'Dell, M. Wattenhofer and R. Wattenhofer, "Virtual Coordinates for Ad hoc and Sensor Networks," In proc. DIALM-POMC 2004, Oct. 2004.
- [9] D. Tian and ND Georganas, "A Node Scheduling Scheme for Energy Conservation in Large Wireless Sensor Networks," In Proc. Wireless Communications and Mobile Computing Journal, May 2003.