

논문 2010-6-8

스마트 모니터링 시스템의 배치 방식 분석

An Analysis on the Deployment Methods for Smart Monitoring Systems

허노정*

No-Jeong Heo

요 약 모니터링 시스템은 특정 영역에서 발생하는 사건을 신속히 보고하여 적절한 대응을 할 수 있도록 해주는 시스템을 말한다. 로봇화된 산업 생산라인의 공정 모니터링에서부터 산불감지, 침입탐지, 스마트그리드, 환경오염 경보에 이르기 까지 다양한 산업군에서 널리 사용되고 있으며 무선통신의 발달과 저가의 센서를 활용가능하게 되면서 센서네트워크로 대표되는 지능형 또는 스마트 모니터링 시스템으로 발전하게 되었다. 모니터링 시스템의 목적이 다양하고 구축비용, 구성 방식, 구축 후 효과 등 많은 부분이 센서 또는 모니터링 디바이스가 설치된 장소에 영향을 받게 되지만 제한된 방식에 대해서만 배치 기법에 대해 관심을 받아 왔다. 모니터링 시스템의 종류에 따라 활용할 수 있는 다양한 방식의 배치 기법을 소개하고 배치 시의 성능을 객관적으로 비교할 수 있는 성능척도들 또한 소개하여 기존의 모니터링 시스템을 평가하고 개선할 수 있는 지점을 확인가능하게 하며 모니터링 시스템 설계 시에도 활용가능하다. 성능 척도는 배치과정에서의 효율성과 배치된 이후의 모니터링 시스템의 유용성을 평가할 수 있어야 한다. 배치 과정에서의 효율성은 배치에 소요된 시간, 에너지 소모량, 비용, 안전성, 센서노드 손상을, 확장성(Scalability) 등이며 배치 이후의 모니터링 시스템의 유용성은 목표지역(ROI) 커버리지(Coverage), 연결성(Connectivity), 균일도(Uniformity), 목표 밀도(target density) 유사성, 단위기간 에너지 소모율 등이다.

Abstract Monitoring systems are able to report certain events at region of interest(ROI) and to take an appropriate action. From industrial product line full of robots to fire detection, intrusion detection, smart grid application, environmental pollution alarm system, monitoring system has widely used in diverse industry sector. Recently, due to advance of wireless communication technology and availability of low cost sensors, intelligent and/or smart monitoring systems such as sensor networks has been developed. Several deployment methods are introduced to meet various monitoring needs and deployment performance criteria are also summarized to be used to identify weak point and be useful at designing monitoring systems. Both efficiency during deployment and usefulness after the deployment should be assessed. Efficiency factors during deployment are elapsed time, energy required, deployment cost, safety, sensor node failure rate, scalability. Usefulness factors after deployment are ROI coverage, connectivity, uniformity, target density similarity, energy consumption rate per unit time and so on.

Key Words : Monitoring System, Sensor Networks, Deployment, Quality Metric, ROI Coverage, Energy Efficiency.

I. 서 론

모니터링 시스템은 관심 영역(ROI) 내에서 일어나는

각종 현상들을 파악해 적절한 조치가 가능토록 해주는 시스템을 말한다. 모니터링 시스템은 취합한 정보를 관리자에게 유무선 통신기술을 활용하여 전달하고, 대부분의 경우 자동화된 조치가 취해지며, 이상 동작 발생시 관리자에게 비상 연락을 함께 취하도록 구성된다. 최근 센서노드 기술의 발달로 저가의 저전력 센서노드의 공급이

*정회원, 동양대학교 정보통신공학부
접수일자 2010.08.01 수정일자 2010.11.16
게재확정일자 2010.12.15

가능하고 민간 및 공공의 다양한 섹터에서 센서네트워크 응용서비스가 요구되고 있어 센서네트워크의 폭발적 확산이 예상된다. 센서네트워크가 의도된 응용서비스를 장기간 원활히 제공해주기 위해선 센서노드들이 마치 이동통신시스템의 기지국 최적 설치처럼 적절한 장소에 위치하여야 할 것이다. 센서노드들의 배치 위치에 따라 시스템 성능의 확연한 차이를 보일 수 있다.

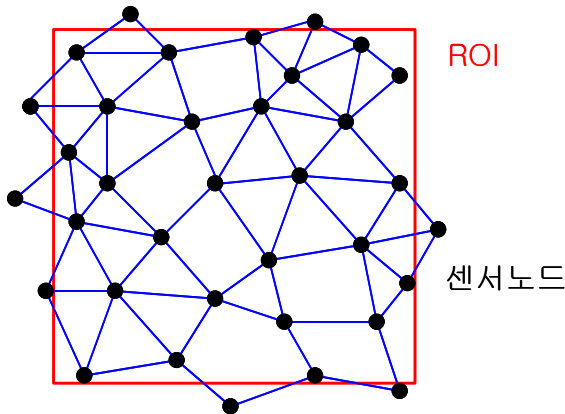


그림 1. 좋은 모니터링 시스템 배치의 예
Fig. 1. An example of good deployment for monitoring systems

배치가 잘 된 경우와 그렇지 못한 경우를 예시로 그림 1과 그림2에 나타내었다. 관심을 가지고 센서네트워크를 형성하고자하는 영역은 ROI(Region of Interest) 또는 FOI(Field of Interest)라고 불리며 굵은 선으로 표시된 사각형의 지역이다. 배치된 센서노드의 위치는 까만색 동그라미로 표시되었다. 센서노드들 간의 네트워크 연결 상태를 보여주는 통신 링크는 실선으로 표시하였다. 그림 1의 경우 센서노드가 센서네트워크 배치 목표 지역인 ROI 내에 골고루 분산되어 위치하고 있다. 또한 통신 링크도 잘 연결되어 통신 부하를 분산하고 트래픽이 집중되거나 일부 노드에 문제가 생길 때에도 선택할 수 있는 다중 경로를 확보할 수 있도록 되어 있다.

반면 그림 2의 경우는 많은 센서 노드가 ROI 바깥에 위치하여 이들 센서노드가 획득한 정보의 유용성은 낮아진다. 또한 ROI 내에 위치한 센서노드라 하더라도 상부에 별개로 떨어진 네트워크를 형성하거나 센서네트워크에 참여하지 못하는 경우(센서네트워크의 분리)가 발생한다. 이 경우 이들 센서노드의 활용성은 극도로 저하되어 전체 센서네트워크 응용이 성공적으로 운용될 확률이 급감하게 된다. 또한 이 경우 잘못된 배치를 개선하기 위

해 개별 센서노드의 통신 거리를 증가시키거나, 이동성을 가진 노드를 활용한다 하더라도 배치 상태 개선을 위해 투입되는 에너지와 복잡성의 증가가 센서네트워크의 Lifetime을 줄이게 되어 장기간 동작하도록 계획되어 많은 예산이 투입된 사업이 오래도록 지속되지 못하는 결과를 초래할 수 있다.

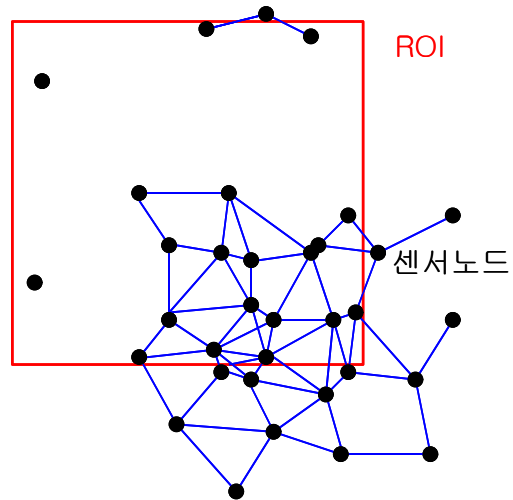


그림 2. 나쁜 모니터링 시스템 배치의 예
Fig. 2. An example of bad deployment for monitoring systems

본 논문의 목적은 여러 가지 배치 방식을 정리하여 스마트 모니터링 시스템 등 센서네트워크 응용서비스 확산 시에 다양한 상황에 따라 적절한 배치 방법을 선정하는데 도움이 될 수 있도록 하는 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 센서네트워크 배치 기법을 정리하여 분류하고, 3장에서는 다양한 모니터링 시스템 사례를 통해 어떤 배치관련 특성들이 요구되는지를 살펴본다. 4장에서는 시스템에서 배치 시에 고려되어야 할 사항 및 배치 성능 척도들을 정리하고, 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 센서네트워크 배치 기법

1. 배치 기법 분류

센서네트워크 기술은 관심사항이 있는 사물 가까이 위치(in-situ)함으로써 다수의 저가 노드만으로도 고가 장비의 성능에 버금가는 정보를 제공할 수 있는 차세대 인프라 기술이다. 따라서 최초 정보를 획득할 수 있는

센서노드가 관심을 가진 지역(Region of Interest 또는 Field of Interest)에 적절히 배치되는 것은 이후 형성된 센서네트워크의 성능에 큰 영향을 미친다. 최근 이런 중요성이 인식되어 센서노드 배치 관련한 관심과 연구가 늘고 있다.

센서노드 배치 관련 연구를 분류할 때 주요관점에 따라 아래와 같이 나뉘볼 수 있다^[1]. 그리고 연구 동향 파악을 위해 최근 연구들을 각 분류에 주요 연구들에 대해서 나열해 보았다.

가. Controlled 배치 vs. Random 배치

● 배치 방법(Deployment Methodology)

- ☐ Controlled^[4,5,6,7,8,9,12,13,14,15,16,17,18,22,23,24,28,29,32,33,34,35,36,37]
- ☐ Random^[3,10,11,25,26,39,41,42]

Controlled Deployment 방법은 주로 옥내(indoor) 감시(surveillance) 응용, 구조물 안전성 감시, 오염원 감지, 거리 측정기, 수중 음파, 이미지 및 비디오 센서의 3D 응용 등에 사용된다.

Random Deployment 방법은 주로 군사적 정찰 임무, 긴급 재난 복구, 산불 감지 등에 사용되며 헬기를 이용한 공중 투하, 유탄 발사기(grenade launcher), 집속탄(Cluster bomb) 등을 활용한다.

나. 최적화 목적에 따른 배치 기법 분류

● 최적화 목적(Optimization Objective)

- ☐ Area Coverage^[3,4,5,9,10,12,19,22,23,36,38,40,42]
- ☐ Network Connectivity^[2,5,24,25,26,37]
- ☐ Network Longevity^[27,28,29,39,41]
- ☐ Data Fidelity^[10,11]

센서노드를 배치할 때 응용의 설계 목적을 잘 달성해 줄 수 있도록 최적화 목표를 갖는다. 일차적으로 센서 담당영역(Area Coverage), 네트워크 연결성(Network Connectivity), 네트워크 수명(Network Longevity), 데이터 품질(Data Fidelity)을 증가시키는데 집중하고, 더불어 유용한 특성인 노드 실패 허용성(tolerance of node failure), 부하 분산(Load Balancing) 등이 부차적으로 고려된다. 또한 최소한의 자원(노드 수, 에너지, 비용)만을 사용하여 이 목적이 달성되도록 노력한다.

다. 노드의 역할에 따른 분류

● 센서네트워크에서의 노드의 역할(Node's Role in Wireless Sensor Networks)

- ☐ Sensor^[3,4,5,9,10,11,12,13,14,15,16,17,22,23,24,26,28,29,36,37,38,39,41,42]
- ☐ Relay^[6,18,30,31,32,33,34]
- ☐ Cluster-Head/Base-Station^[8,35]

센서노드의 위치는 Coverage뿐만 아니라 노드 토폴로지의 특성에도 영향을 미친다. 네트워크 수명을 늘리거나 데이터의 전달 지연이 최소화되도록 다양한 아키텍처가 제안되었는데 이런 아키텍처는 노드가 센서네트워크 내에서 각기 다른 역할을 하고 이런 예상 역할에 따른 노드의 배치에 관심을 갖게 된다. 보통 이 역할은 일반 센서(regular sensor), 릴레이(relay), 클러스터 헤드(cluster-head) 나 기지국(base-station) 등으로 분류된다. 일반 센서 노드 또한 릴레이 역할을 할 수 있지만 릴레이 노드는 보통 일반 센서 노드보다는 훨씬 큰 통신거리를 가져서 사용자에게 보다 빨리 그리고 보다 정확히 전달할 수 있도록 기능을 할 수 있는 노드를 말한다.

2. 배치 관련 연구 흐름

센서 노드 배치 관련한 연구의 흐름을 논문 수로만 판단해 본다면, Controlled Deployment가 Random Deployment 보다 더 많이 연구되었다. 물론 이런 비교가 정확한 연구 흐름을 대변한다고는 보기 힘들지만 전체적인 추세나 동향, 연구자의 관심사나 문제 제기가 잦은 분야를 나타내줄 정도의 연관성은 있을 것이다. 최적화 목적 부분에서는 Area Coverage와 Network Longevity에 좀 더 많은 연구가 있었지만 다른 주안점들과는 그리 큰 차이를 보이지는 않는다. 노드의 역할 면에서는 일반 센서 노드는 보통 플랫폼 아키텍처에서, 그리고 Relay나 Cluster-head, base-station은 Tired 아키텍처에서 관심을 받아왔다.

또 다른 연구 흐름은 센서 노드의 이동성(Mobility)을 활용하여 응용 목적에 맞는 최적화된 배치를 얻으려는 노력들이 진행되었다. 센서노드에 이동성을 제공하기 위해서는 부가적인 H/W나 컨트롤러 이외에도 컴퓨팅이나 통신을 위해 사용되는 에너지에 비해 일반적으로 상당히 많은 양의 에너지를 요구한다. 따라서 전형적인 로봇형 센서 네트워크를 제외한 일반적인 응용 상황에선 센서 노드의 이동성 또한 국부적으로 제한되는 것이 보편적인

가정이다. 보통 초기 센서 배치가 나쁘거나, 센서네트워크 운용 중 데이터 트래픽 집중 등의 원인으로 센서 노드의 에너지가 고갈되거나 또는 새로운 노드가 추가되는 등의 동적인 변화가 발생할 때 센서 노드의 이동성을 이용하여 보다 적합한 위치로 이동(relocation)시킴으로써 변동된 센서 노드 배치가 더 나은 성능을 가지도록 한다. 최적의 배치 상태를 유지하기 위해서는 노드 주변에서 일어나는 이벤트에 주시하는 동시에 네트워크 상태와 성능을 항상 모니터링 할 필요가 있다.

센서노드 배치 관련 많은 연구들이 있어 왔지만 실제로 발생 가능한 문제를 이해하려는 노력이 부족하였고 현실적인 접근법으로 제한된 경우가 로봇 등을 이용한 배치 개선 정도여서 대규모의 센서네트워크 배치에 활용하는 데는 많은 제한이 있는 상황이다.

III. 스마트 모니터링 시스템

몇 가지 모니터링 시스템의 사례를 본 절에서 소개하고 배치관련 특성들도 함께 살펴보겠다.

그림 3은 스마트 수질 모니터링 시스템의 각 요소들을 보여주고 있다. 스마트 수질 모니터링 시스템에서는 데이터 취합 부표(buoy), 펌프 하우스 모니터링 시스템, 웹 접근 노드 등이 센서네트워크로 구성되어 자동적인 운영이 되도록 하고 있다^[20]. 이런 종류의 모니터링 시스템에서 센서는 넓은 지역을 대표하는 정보를 샘플링하는 목적으로 사용되므로 전달 네트워크 형성을 고려하여 위치 및 수량을 결정하여야 한다.



그림 3. 스마트 수질 모니터링 시스템^[20]
Fig. 3. Smart water quality monitoring systems

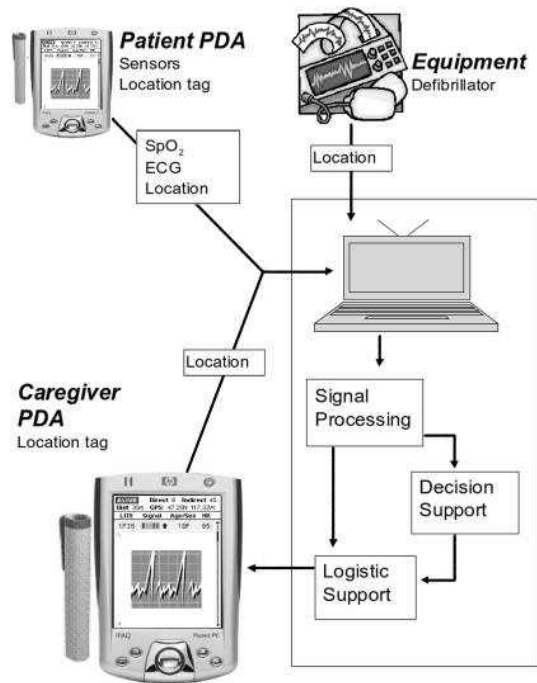


그림 4. 환자 모니터링 시스템^[21]
Fig. 4. Patient monitoring systems

그림 4는 환자 모니터링 시스템을 보여주고 있다. 환자 모니터링 시스템은 환자의 심전도(ECG) 신호, 맥박(SpO₂) 정보, 환자의 위치와 장비 및 의료진의 위치 등을 통합적으로 모니터링할 수 있는 시스템이며 환자가 자유롭게 움직이면서도 의료진의 지속적인 관리가 가능토록 해준다. 이 시스템이 설계되고 배치될 때 주요 고려사항은 다음과 같다.

1. 어떤 증상이 모니터 되어야 하는지?
2. 연속적인 모니터링이 필요한지?
3. 시스템이 환자와 장비의 위치를 확인할 수 있는지?
4. 알림 기능의 다양한 조정이 가능한지?
5. 의료진이 이동성을 지원하는 모바일 기기를 보유하고 있는지?

등을 고려한다. 물론 이러한 시스템은 효과적인 모니터링을 위해 의사, 의공학자 등의 도메인 전문가의 역할이 중요하다.

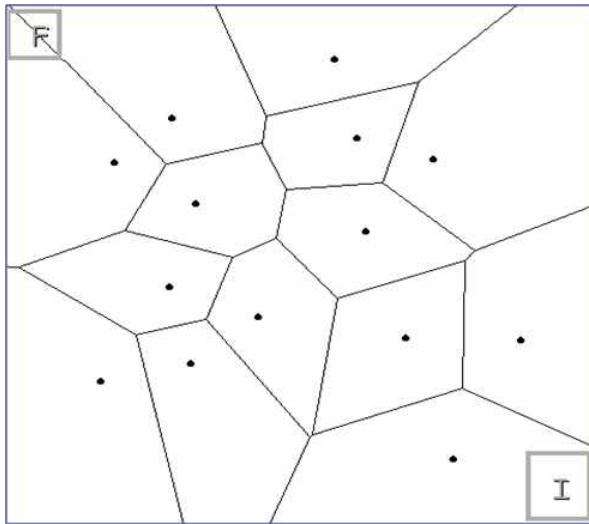


그림 5. 최대 취약 경로^[19]
Fig. 5. Maximal breach path

그림 5는 침입 모니터링 시스템에 센서가 배치된 상황과 현재 배치에서 침입 탐지를 하지 못할 가능성이 최대인 경로 즉 취약한 경로를 보여주고 있다. 점은 센서의 위치를 나타내며, 선은 센서들의 위치들로부터 Voronoi 도해를 이용해 구한 것이다. 초기지점 I에서 최종지점 F까지 모니터링 시스템을 통과해 가면서 탐지될 확률이 가장 낮은 경로는 각 실선을 따라가는 최단 경로가 된다. 역으로 보면 이런 경로 및 위험 노출 정도(Expose)는 배치된 센서의 토폴로지로 계산할 수 있으며 해당 응용이 요구하는 수준에 도달치 못할 경우 센서를 보강하여 더 완벽한 모니터링 시스템을 구축할 수 있다. 이 접근법은 위험 노출 수위가 가장 높은 지역부터 우선적으로 확인하고 비용 및 기타 영향 등을 종합적으로 분석한 다음 효율적인 배치 전략을 구사할 수 있도록 해준다.

IV. 배치 시 고려사항과 평가 척도

위의 배치관련 정리 및 연구 동향에서 볼 수 있듯이 다양한 관점에서 배치에 관련한 특성을 개선하려는 노력이 전개되고 있다. 하지만 응용에서 적합한 배치 기법을 선택하는 것은 쉬운 일이 아니다. 예산 및 일정, 이용 가능한 기술 등의 다양한 제한 조건과 추구하고자 하는 아키텍처, 채용할 라우팅(Routing) 알고리즘의 선택에 따라 요구되는 배치 기법이 상당히 다를 수 있다. 배치 기법의 선택과 배치 결과에 따라 전체 비용과 응용의 장기

간 지속가능 여부가 결정되는 중요한 부분임에도 최초의 배치는 보통 정확한 지점에 배치가 가능한 소규모의 네트워크 배치를 제외하곤 랜덤 배치를 가정하고 만든다. 하지만 랜덤 배치의 구현은 사용하는 방법(UAV를 포함한 항공기, 대포 등 곡선폰화기 등)과 활공 시간 및 거리, 동시에 배치되는 노드의 수 등에 따라 상이한 노드 밀도를 나타낼 수 있다. 다양한 상황에서 요구되는 배치 관련 요구사항을 확인한 후 구현하고자 하는 초기 센서 배치의 정확도를 높여 전체 비용을 줄이면 센서네트워크를 활용한 스마트한 모니터링 시스템의 확산에 이바지하는 바가 클 것이다.

실제 배치 관련 연구를 위해서는 고려하여야 할 범위가 상당히 넓어 특히 효율적이며 논리적인 연구 개발 방법론이 요구된다. 배치 기법은 시행 시기와 방법, 주변 환경 등에 따라 변화의 폭이 넓다. 보통 각 영역별로 논리적인 수학적 모델링을 기반으로 향후 비교 연구의 기준을 삼는데, 이 중에서 배치 관련한 여러 가지 성능을 잘 대변해줄 평가 척도를 개발하는 것이 중요하다. 각기 다른 상황에 다른 방식의 배치 방법을 사용하지만 객관적인 비교 대상이 될 평가 척도를 개발하여야 배치 방법에 따른 효과를 확인하고 적절한 배치 방법을 제안할 수 있다. 이들의 비교와 검증은 소요 비용 및 시간 등의 현실적인 제한 사항들로 인해 대규모로 행해지기 힘든 것이 사실이지만 현실적인 제한 요소를 추가하고 시행 횟수를 거듭해보는 시뮬레이션 기법과 규모를 축소하였지만 보다 실제에 가까운 배치 실험을 직접 수행하는 소규모 과일릿 프로젝트를 병행함으로써 배치 기법 수행의 신뢰성을 확보할 수 있을 것이다. 배치 관련 성능 척도에도 활용될 수 있으면서 배치 시 반드시 고려하여야 하는 사항들은 아래와 같다:

- ⇒ Coverage (Sensor, Communication, ROI)
- ⇒ 연결성 (Connectivity)
- ⇒ (시간)비용 및 소요에너지
- ⇒ 균일도 (Uniformity)
- ⇒ 목표 밀도(target density) 유사성
- ⇒ 단위기간 에너지 소모율
- ⇒ System Lifetime (Network Longevity)
- ⇒ Data Fidelity (데이터 정확도, 신속성)
- ⇒ 배치 안전성 (노드 감지 확률)
- ⇒ 센서노드 손상율

- ⇒ 확장성(Scalability)
- ⇒ 복합 성능 척도

응용이 요구하는 상황이 각각 다를 수 있겠지만 가장 많은 관심을 갖는 요소는 센서의 센싱 영역인 Coverage와 개별 센서가 서로 연결성을 가져 네트워크의 일원으로서 그 규모를 확장시키는 것이다. 다양한 배치 기법이 고안될 수 있다. 주요 성능 조건이 제한되거나 우선순위가 있는 경우, 예를 들면 Coverage가 ROI의 최소 90%는 만족시켜야만 하는 경우라면 다른 유용한 성능 손실을 감수하고서라도 Coverage 확대를 가져오는 배치 방식을 선택해야 한다. 그 외의 경우는 만족시켜야 하는 성능 조건을 전체적으로 가장 잘 만족시키는 방향으로 배치 방식이 선택된다. 물론 배치상황 변화 등을 고려한 적응형 배치 기법이나 몇 개의 배치방식의 장점을 종합한 하이브리드형 배치 기법도 적용될 수 있다.

V. 결론

모니터링 시스템에서 센서가 최적의 장소에 배치되는 것은 이후 취합될 정보의 질을 결정짓는 중요한 요소이지만 배치기법에 대한 연구는 활발치 못하였다. 본 논문에서는 최근 그 응용영역이 지속적으로 확장되고 있는 모니터링 시스템에서의 배치 기법들에 대해 조사하고 각종 배치기법의 특징 및 모니터링 시스템의 배치관련 요구사항 들을 살펴보았다. 배치 성능을 객관적으로 확인할 수 있는 성능 지표들도 함께 점검하여 배치 관련 계획이나 설계를 진행할 때 활용할 수 있도록 하였다.

참 고 문 헌

- [1] M. Younis , K. Akkaya, "Strategies and techniques for node placement in wireless sensor networks: A survey", *Ad Hoc Networks*, 6(4), pp.621-655, 2008.
- [2] R. Beraldi, "Random walk with long jumps for wireless ad hoc networks", *Ad Hoc Networks*, 7(2), pp.294-306, 2009.
- [3] M. Lam, Y. Liu, "Active Sensor Network Deployment and Coverage Enhancement using Circle Packings", *Proc. of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics* December 17 - 20, 2006, Kunming, China.
- [4] K. Chakrabarty, S. Iyengar, H. Qi, and E. Cho, "Grid Coverage or Surveillance and Target Location in Distributed Sensor Networks", *IEEE trans. on Mobile Computers*, 51, pp. 1448-1453, 2002.
- [5] G. Xing, X. Wang, Y. Zhang, C. Lu, R. Pless, and C. Gill, "Integrated Coverage and Connectivity Configuration for Energy Conservation in Sensor Networks", *ACM trans. on Sensor Networks*, 1, pp. 36-72, 2005.
- [6] X. Cheng, DZ Du, L. Wang, B. Xu, "Relay sensor placement in wireless sensor networks", *ACM/Springer Journal of Wireless Networks*, in press.
- [7] S. Poduri, S. Pattem, B. Krishnamachari, G.S. Sukhatme, "Sensor network configuration and the curse of dimensionality", *Proc. of the 3rd IEEE Workshop on Embedded Networked Sensors*, Cambridge, MA, May 2006.
- [8] J. Pan, L. Cai, Y.T. Hou, Y. Shi, S.X. Shen, "Optimal basestation locations in two-tiered wireless sensor networks", *IEEE trans. on Mobile Computing* 4(5), pp.458-473, 2005.
- [9] S.S. Dhillon, K. Chakrabarty, "Sensor placement for effective coverage and surveillance in distributed sensor networks", *Proc. of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'03)*, New Orleans, LA, 2003.
- [10] T. Clouqueur, V. Phipatanasuphorn, P. Ramanathan and K.K. Saluja, "Sensor deployment strategy for target detection", *Proc. of the 1st ACM international Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, September 2002.
- [11] X. Zhang and S. B. Wicker, "On the Optimal Distribution of Sensors in a Random Field" *ACM*

- trans. on Sensor Networks, 1, pp.301-306, 2005.
- [12] F. Y. S. Lin and P. L. Chiu, "A Near-optimal Sensor Placement Algorithm to Achieve Complete Coverage-Discrimination in Sensor Networks", IEEE Communications Letters, 9, pp.43-45, January 2005.
- [13] L. Krishnamurthy et al., "Design and deployment of industrial sensor networks: experiences from a semiconductor plant and the North Sea", Proc. of the 3rd ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 2005.
- [14] K. Mechitov, W. Kim, G. Agha, T. Nagayama, "Highfrequency distributed sensing for structure monitoring", Proc. of the First International Conference on Networked Sensing Systems, Tokyo, Japan, June 2004.
- [15] J. Berry, L. Fleischer, W.E. Hart, C.A. Phillips, "Sensor placement in municipal water networks", Proc. of the World Water and Environmental Resources Conference, 2003.
- [16] J.-P. Watson, H. Greenberg, W.E. Hart, "A multiple-objective analysis of sensor placement optimization in water networks", Proc. of the World Water and Environment Resources Congress, Salt Lake City, June 2004.
- [17] H.H. Gonzalez-Banos, J.C. Latombe, "A randomized artgallery algorithm for sensor placement", Proc. of the 17th ACM Symposium on Computational Geometry, 2001.
- [18] J. Tang, B. Hao, A. Sen, "Relay node placement in large scale wireless sensor networks", Computer Communications, special issue on Wireless Sensor Networks, 29, pp.490-501, 2006.
- [19] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, M. Potkonjak, M.B. Srivastava, "Coverage problems in wireless ad-hoc sensor networks", Proc. of the 20th International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM'01), Anchorage, Alaska, April 2001.
- [20] F. Regan, A. Lawlor and A. McCarthy, "SmartCoast Project - Smart Water Quality Monitoring System", STRIVE Report Series No. 30, 2009.
- [21] Dorothy W. Curtis et. al., "SMART-An Integrated Wireless System for Monitoring Unattended Patients", Journal of Am. Med. Inform Assoc., 15(1), pp.44 - 53, 2008.
- [22] D. Pompili, T. Melodia, I.F. Akyildiz, "Deployment analysis in underwater acoustic wireless sensor networks", Proc. of the ACM International Workshop on Under-Water Networks, 2006.
- [23] E.S. Biagioni, G. Sasaki, "Wireless sensor placement for reliable and efficient data collection", Proc. of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'03). 2003.
- [24] J. Bredin, E. Demaine, M. Taghi Hajiaghayi, D. Rus, "Deploying sensor networks with guaranteed capacity and fault tolerance", Proc. of the 6th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, 2005.
- [25] P. Jacquet, "Geometry of information propagation in massively dense ad hoc networks", Proc. of the 5th ACM Symposium on Mobile Ad-Hoc Networking and Computing, 2004.
- [26] S. Toumpis, G.A. Gupta, "Optimal placement of nodes in large sensor networks under a general physical layer model", Proc. of 2nd IEEE Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 2005.
- [27] M. Younis, M. Youssef, K. Arisha, "Energy-aware management in cluster-based sensor networks", Computer Networks, 43(5) pp. 649-668, 2003.
- [28] K. Dasgupta, M. Kukreja, K. Kalpakis, "Topology-aware placement and role assignment for energy-efficient information gathering in sensor networks", Proc. of the 8th IEEE Symposium on Computers and Communication, 2003.
- [29] Y. Chen, C. Chuan, Q. Zhao, "Sensor placement

- for maximizing lifetime per unit cost in wireless sensor networks", Proc. of the IEEE Military Communication Conference, 2005.
- [30] D. Cerpa, D. Estrin, "ASCENT: adaptive self-configuring sensor networks topologies", Proc. of the 21st International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, 2002.
- [31] Y. Xu, J. Heidemann, D. Estrin, "Geography-informed energy conservation for ad hoc routing", Proc. of the ACM 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, 2001.
- [32] Y.T. Hou, Y. Shi, H.D. Sherali, "On energy provisioning and relay node placement for wireless sensor networks", IEEE trans. on Wireless Communications, 4(5) pp.2579-2590, 2005.
- [33] Q. Wang, G. Takahara, H. Hassanein, K. Xu, "On relay node placement and locally optimal traffic allocation in heterogeneous wireless sensor networks", Proc. of the IEEE Conference on Local Computer Networks, 2005.
- [34] E.L. Lloyd, G. Xue, "Relay node placement in wireless sensor networks", IEEE trans. on Computers, 56(1) pp.134-138, 2007.
- [35] W. Youssef, M. Younis, "Intelligent Gateways Placement for Reduced Data Latency in Wireless Sensor Networks", Proc. of the IEEE International Conference on Communications, 2007.
- [36] S. S. Dhillon, K. Chakrabarty, and S. S. Iyengar, "Sensor Placement for Grid Coverage under Imprecise Detections", Proc. of the 5th International Conference on Information Fusion, pp.1581-1587, 2002.
- [37] R. Iyengar, K. Kar, and S. Banerjee, "Low-coordination Topologies for Redundancy in Sensor Networks", Proc. of the 6th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, pp.332-342, 2005.
- [38] S. Kumar, T. H. Lai, and A. Arora, "Barrier Coverage with Wireless Sensors", Proc. of the 11th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, pp.284 - 298, 2005.
- [39] D. Wang, Y. Cheng, Y. Wang, and D. P. Agrawal, "Lifetime Enhancement of Wireless Sensor Networks by Differentiable Node Density Deployment", Proc. of the 3rd IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems, pp.546-549, 2006.
- [40] N. Heo, P.K. Varshney, "Energy-efficient deployment of intelligent mobile sensor networks", IEEE trans. on Systems, Man, Cybernetics, Part A, 35(1), pp.78-92, 2005.
- [41] Z. Cheng, M. Perillo, and W. B. Heinzelman, "General Network Lifetime and Cost Models for Evaluating Sensor Network Deployment Strategies", IEEE trans. on Mobile Computing, 7(4), Apr. 2008.
- [42] S. Chellappan, X. Bai, B. Ma, D. Xuan, "Mobility Limited Flip-Based Sensor Networks Deployment", IEEE trans. on Parallel and Distributed Systems, 18(2), Feb. 2007.

저자 소개

허 노 정(정회원)



- 1996년 서울대학교 전기공학부 학사
 - 2000년 (미) Syracuse University 전 기컴퓨터공학 석사
 - 2004년 (미) Syracuse University 전 기컴퓨터공학 박사
 - 2004년~2007년 삼성전자 무선사업부 책임연구원
 - 2007년~현재 동양대학교 정보통신공학부 교수
- <주관심분야 : RFID/USN 기술, 이동무선통신, 센서네트워크 배치 및 최적화 기술, 지능형 네트워크 및 개인화 기술>