

무선 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 연속 개체 탐지 방안

정회원 남기동*, 박호성**, 준회원 임용빈**, 오승민**, 종신회원 김상하**°

Reliable Continuous Object Detection Scheme in Wireless Sensor Networks

Ki-Dong Nam*, Hosung Park** *Regular Members*,
Youngbin Yim*, Seungmin Oh* *Associate Members*, Sang-Ha Kim*° *Lifelong Member*

요약

무선 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 이벤트 탐지는 중요한 연구 주제들 중 하나이다. 신뢰성 있는 이벤트 탐지를 위한 기존 연구들은 탐지 대상인 이벤트를 탱크 혹은 군인과 같은 개별적인 개체로 가정했다. 최근 많은 연구들이 화재 혹은 생화학물질과 같은 연속적인 개체의 탐지에 관심을 가지게 되었지만, 단지 통신비용의 절감에 집중하고 있기 때문에 신뢰성에 대한 고려는 부족하다. 따라서 우리는 신뢰성 있는 연속 개체 탐지 방안을 제안하고자 한다. 신뢰성 있는 연속 개체 탐지는 단순한 연구 주제가 아니다. 하나의 점으로 나타낼 수 있는 개별 개체의 달리, 넓은 영역을 포함하며 지리적 조건이나 바람 같은 물리적 환경에 의해 형태가 변할 수 있는 연속 개체는 유동적인 2차원 도형으로 표현되기 때문이다. 따라서 개별 개체 탐지의 신뢰성을 측정하기 위해 사용되었던 신뢰성 지표로는 연속 개체 탐지의 신뢰성을 측정할 수 없다. 본 논문에서는 연속 개체 탐지에 적절한 신뢰성 지표를 새롭게 정의하고, 새로운 신뢰성 지표를 사용한 신뢰성 측정 결과를 통해 연속 개체 탐지의 오류를 복구하는 방안을 제안한다.

Key Words : Sink Location Service, Geographic Routing, Wireless Sensor Networks, Irregular Networks

ABSTRACT

In wireless sensor networks, reliable event detection is one of the most important research issues. For the reliable event detection, previous works usually assume the events are only individual objects such as tanks and soldiers. Recently, many researches focus on detection of continuous objects such as wild fire and bio-chemical material, but they merely aim at methods to reduce communication costs. Hence, we propose a reliable continuous object detection scheme. However, it might not be trivial. Unlike individual objects that could be referred as a point, a continuous object is shown in a dynamic two-dimensional diagram since it may cover a wide area and it could dynamically alter its own shape according to physical environments, e.g. geographical conditions, wind, and so on. Hence, the continuous object detection reliability can not be estimated by the indicator for individual objects. This paper newly defines the reliability indicator for continuous object detection and proposes an error recovery mechanism relying on the estimation result from the new indicator.

* 한국전자통신연구원(kdnam@etri.re.kr)

** 충남대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터네트워크 연구실({hspark, ybyim, smoh}@cclab.cnu.ac.kr, shkim@cnu.ac.kr) (° : 교신저자)
논문번호 : KICS2010-08-419, 접수일자 : 2010년 8월 27일, 최종논문접수일자 : 2010년 11월 11일

I. 서 론

무선 센서 네트워크는 관심 있는 현상(이벤트)을 추적 혹은 관찰하기 위해 일정한 지역에 걸쳐 구성된다^[1]. 무선 센서 네트워크에서 그러한 이벤트의 신뢰성 있는 탐지는 중요한 연구 주제들 중 하나이다^[2]. 예를 들어, 적의 침입자를 감지하기 위해 전장에 수많은 센서 노드들이 뿌려져 네트워크를 구성한다고 가정하자. 센서 노드들이 침입자를 감지하면, 그 이벤트는 신뢰성 있게 싱크에게 보고되어야 한다. 신뢰성 있는 이벤트 탐지를 위한 기존 연구들^[3-5]은 이벤트를 탱크 혹은 침입자와 같은 개별 개체로 가정했다. 따라서 각자의 해결 방안을 통해 네트워크의 혼잡(congestion), 데이터 충돌(collision), 노드 장애(node failure) 등의 네트워크 유동성으로 인한 데이터 손실을 완화함으로써, 개별 개체를 성공적으로 인식하기 위해 가능한 많은 수의 데이터가 싱크에게 전달되도록 노력하였다.

최근, 연속 개체라고 불리는 특정 이벤트를 탐지하기 위한 연구들이 관심을 받고 활발히 진행되고 있다^[6-8]. 연속 개체는 생화학 물질, 방사능 오염, 화재 등과 같이 넓은 영역에 걸쳐 존재하며 지리적 조건이나 바람 같은 물리적 환경에 의해 형태가 변할 수 있다는 특징을 가진다. 또한 대부분의 응용들에서 연속 개체의 탐지는 연속 개체의 형태, 즉 경계(boundary)를 알아내는 것을 의미한다. 따라서 기존의 연구들은 광범위한 연속 개체의 탐지를 위해 연속 개체의 경계선상에 존재하는 수많은 경계 노드들이 싱크에게 데이터를 전송함으로써 발생하는 통신비용을 절감하는데 집중했다.

그러나 연속 개체 탐지를 위한 기존의 연구들은 앞서 언급했듯이 통신비용을 절감하는데 집중하였으며, 아직까지 연속 개체의 탐지 신뢰성에 대한 연구는 진행되지 않았다. 따라서 우리는 처음으로 연속 개체를 위한 신뢰성 있는 탐지 방안을 제안하고자 한다. 신뢰성 있는 연속 개체 탐지는 단순한 연구 주제가 아니며, 기존의 신뢰성 있는 개별 개체 탐지 방안과는 완전히 다르게 설계되어야 한다.

개별 개체는 무선 센서 네트워크상에서 하나의 점으로 표현할 수 있다. 따라서 신뢰성 있는 개별 개체 탐지 방안은 싱크가 응용에서 요구하는 임계점(threshold) 이상의 데이터 보고 개수를 수신하도록 보장함으로써 개별 개체를 성공적으로 인식하려 노력했다. 다시 말해 개별 개체 탐지의 신뢰성을 측정하기 위해 사용되었던 신뢰성 지표는 싱크가 수

신한 데이터 보고 개수였다^[3]. 반면에 연속 개체는 앞서 언급했듯이 넓은 영역을 포함하며 형태가 유동적으로 변할 수 있기 때문에 유동적인 2차원 도형으로 표현할 수 있다. 이러한 특징들 때문에 신뢰성 있는 연속 개체 탐지는 다음과 같은 두 가지 사항을 고려해야 한다. 1) 연속 개체의 현재 형태에 대한 데이터 보고들을 기반으로 어떻게 연속 개체 탐지의 신뢰성을 측정할 것인가. 2) 어떻게 요구되는 탐지 신뢰성을 달성할 것인가.

본 논문에서 우리는 무선 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 연속 개체 탐지 방안(RCOD: Reliable Continuous Object Detection scheme)을 제안한다. RCOD는 첫째로 센서 노드들로부터 보고된 데이터들이 연속 개체의 탐지 신뢰성을 제공하는지 판단하기 위해 사용되는 연속 개체 탐지 신뢰성 지표(indicator)를 정의한다. 둘째로 RCOD는 연속 개체를 위한 새로운 탐지 신뢰성 지표를 기반으로 새로운 연속 개체 탐지 및 에러 복구 방안을 제안한다.

본 논문은 이후 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 연속 개체 탐지에 대한 관련 연구를 설명한다. 3장에서는 시스템 모델과 연속 개체 탐지 신뢰성 지표를 정의한다. 4장에서는 RCOD를 자세히 설명한다. 5장에서는 경계 탐지의 정확성, 오류 복구, 에너지 효율 측면에서 RCOD의 성능을 기존 연구와 비교 분석 한다. 그리고 5장에서 본 논문을 결론짓는다.

II. 관련 연구

이 장에서는 연속 개체 탐지 방안의 관련 연구를 설명한다.

DCS^[6]는 연속적인 개체 검출 시에 경계 노드들만의 클러스터 형성을 이용하는 방법으로 연속적인 개체가 발생할 때만 클러스터를 생성하기 때문에 연속적인 개체가 망에 나타나지 않을 때의 불필요한 통신 오버헤드가 발생하지 않는 장점이 있지만, 경계 센서 노드들의 선택과 클러스터 형성을 위해 원-홉(one-hop) 이웃 노드들과 계속적으로 통신을 하기 때문에 너무 잦은 메시지 교환으로 인한 에너지 낭비를 초래한다.

DEMOCO^[7]은 경계 근처에 가까이 위치한 노드들은 모두 경계 노드가 될 수 있고, 이들 중 몇몇 대표 노드를 선택하여 싱크에게 보고하게 되는데, 이때 원-홉 이웃 노드들의 관계를 저장하기 위한 BN-array (Boundary Neighbor Array)를 이용하여

대표 노드를 제외한 다른 노드들은 보고하지 못하도록 억제되므로 평균 메시지 크기가 줄어드는 장점이 있다. 하지만, BN-array를 구성하고 계속 유지하면서 업데이트 하기 위해서 원-홉 이웃 경계 노드들과 계속적으로 통신이 필요하기 때문에 이로 인한 에너지 낭비가 발생하고 대표 노드의 통신 범위 내의 이웃 경계 노드들의 수에 따라 BN-array의 크기가 달라지므로 보고 메시지 사이즈가 일정하게 유지되지 않는다. EUCOW^[8]는 DEMOCO의 경계 노드들과 대표 노드들의 수를 줄이기 위해 제안된 것으로 실제적으로 노드들의 수가 많이 줄어드는 효과가 있지만, 이 또한 이웃 노드들과의 계속적인 통신으로 에너지가 낭비되는 결과를 가져온다.

III. 시스템 모델 및 신뢰성 지표

3.1 시스템 모델

연속 개체 탐지의 목적은 연속 개체의 경계를 알아내는 것에 있기 때문에 오직 연속 개체의 경계선상에 위치하는 센서 노드들만이 데이터를 보고한다. 다시 말해, 연속 개체 범위 밖의 센서 노드들뿐만 아니라 연속 개체 내부에 존재하는 센서 노드들도 보고 데이터를 생성하지 않는다. 본 논문에서 연속 개체의 경계선상에 위치하는 센서 노드들을 경계 노드(BN: Boundary Node)라고 정의 한다. 연속 개체의 경계선상에도 수많은 센서 노드들이 존재하기 때문에 모든 경계 노드들이 데이터를 생성하고 보고할 필요는 없다. 따라서 응용에서 요구되는 탐지 정확도에 따라 경계 노드들 중 일부 노드들이 데이터를 보고하는 것이 효율적이다. 이렇게 경계 노드들 중 데이터를 보고하도록 선택된 센서 노드들을 대표 경계 노드(RBN: Representative Boundary Node)라고 정의한다.

본 논문의 주된 목적은 센서 노드들로부터 보고된 데이터들이 연속 개체 탐지의 신뢰성을 달성하는지 판단하고 요구되는 신뢰성을 만족하기 위해 오류를 복구하는 것이다. 따라서 센서 노드들로부터 생성된 데이터들이 실제로 싱크까지 전달되는 방식에 대해서는 언급하지 않는다. 보고되는 데이터들의 전달 방안은 기존의 연속 개체 탐지 방안들^[6-8]을 참조할 수 있다.

3.2 연속 개체 탐지 신뢰성 지표

연속 개체 탐지의 목적은 싱크가 센서 노드들이 보고한 데이터들로부터 요구되는 정확도에 따라 유

동적인 연속 개체의 현재 형태를 복원하는 것에 있다. 다시 말해, 싱크는 어떤 기준을 통해 보고된 데이터들로부터 연속 개체의 형태를 신뢰성 있게 복원할 수 있는지 판단해야 한다. 그 기준은 제시하기 위해 우리는 다음과 같이 연속 개체 탐지 신뢰성 지표를 정의한다.

싱크가 수신한 데이터들을 통해 복원한 연속 개체는 닫힌 형태(closed shape)이어야 한다.

싱크가 복원한 연속 개체의 경계선상에서 항상 일정 거리 안에 적어도 하나의 데이터가 존재해야 한다.

싱크는 보고된 데이터들을 통해 점들의 집합으로 연속 개체의 형태를 복원한다. 한 연속 개체에 대해 똑같은 수의 데이터들이 보고되었다고 하더라도, 연속 개체의 일정 부분에 데이터들이 집중된다면 다른 부분의 탐지 정확도는 떨어질 수밖에 없다. 따라서 데이터 보고 개수는 연속 개체의 전체적인 형태에 대한 탐지 신뢰성 지표가 될 수 없다. 반면 연속 개체의 경계선상에서의 데이터 보고가 고르게 분포된다면 일정한 정확도로 연속 개체를 복원할 수 있게 된다. 따라서 우리는 지리적으로 이웃한 데이터 보고들 사이의 거리를 이용하여 연속 개체 탐지 신뢰성 지표를 정의하였다. 또한 데이터 보고들의 집합이 닫힌 형태를 이루어야 본래의 연속 개체 형태를 복원했다고 말할 수 있다.

연속 개체를 위한 새로운 탐지 신뢰성 지표에 따라 RCOD는 응용이 요구하는 연속 개체 탐지 정확도(DCOR: Desired Continuous Object Resolution) 또한 거리를 통해 표현한다. 연속 개체 탐지 신뢰성 지표의 두 번째 조건에서 ‘일정 거리’라고 표현되는 실제 값이 DCOR이다. DCOR 값이 작을수록 더 높은 정확도를, 클수록 더 낮은 정확도를 응용에서 요구함을 뜻한다. 다시 말해 DCOR 값이 작을수록 이웃 데이터 간의 간격이 좁아지기 때문에 연속 개체를 복원했을 때 더 많은 점들로 더 정확한 모양의 연속 개체 경계가 표현된다.

IV. 신뢰성 있는 연속 개체 탐지 방안

이 장에서는 RCOD를 자세히 설명한다. RCOD의 전체 동작 개요는 다음과 같다. 우선 싱크는 네트워크에 연속 개체 탐지를 요구(query)할 때, DCOR 값을 함께 알려준다. 연속 개체를 감지하여 경계 노드가 된 센서 노드들은 DCOR 값에 따라 RBN들을 선출하고 데이터를 보고한다. 싱크는 보

고된 데이터들을 통해 연속 개체를 복원하고 신뢰성 지표에 따라 연속 개체의 탐지 신뢰성 달성 여부를 판단한다. 만약 탐지 신뢰성을 만족하지 못했다면 싱크는 오류를 복구하는 과정을 실행한다. 마지막으로 싱크는 응용의 요구에 따라 연속 개체 탐지의 정확도를 부분적으로 혹은 전체적으로 변경하는 과정을 실행할 수 있다.

4.1 대표 경계 노드 (RBN) 선발

RBN은 연속 개체의 경계 노드들 중 싱크에게 데이터를 보고하도록 선발되는 센서 노드이다. 그림 1에서 회색의 노드는 일반 경계 노드이며 검은색의 노드는 그중에서 선발된 RBN을 나타낸다. RBN 선발 과정의 목적은 그림 2에서 볼 수 있듯이, RBN이 연속 개체의 경계선상에서 DCOR 값을 기준으로 고르게 분포되도록 선발하는 것이다.

연속 개체를 감지했을 때, 연속 개체의 경계선상에 위치한 센서 노드들은 경계 노드가 된다. 경계 노드들은 싱크에게서 받은 쿼리를 통해 이미 DCOR 값을 알고 있다. DCOR은 싱크에게 데이터를 보고하는 경계 노드 즉 RBN 사이의 최대 거리를 의미하므로, 경계 노드들 중 RBN을 선발하는

과정에 사용된다.

RBN의 선발 과정은 최초 RBN 선발, 이웃 RBN 선발, RBN 선발 종료 이렇게 순차적인 3과정으로 나눌 수 있다. 그림 3은 하나의 BN에서 이루어지는 RBN 선발 과정의 순서도를 보여준다.

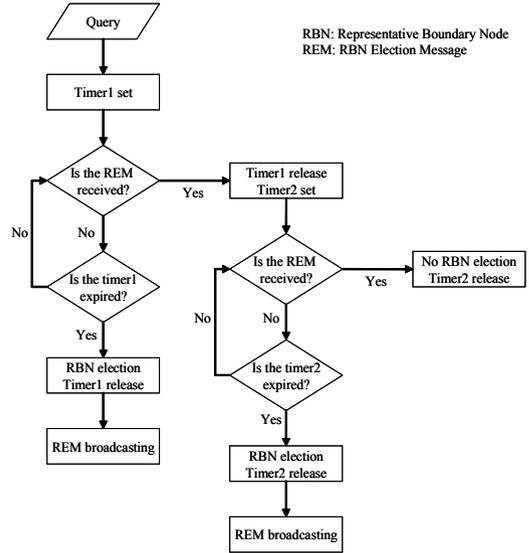


그림 3. RBN 선발 순서도

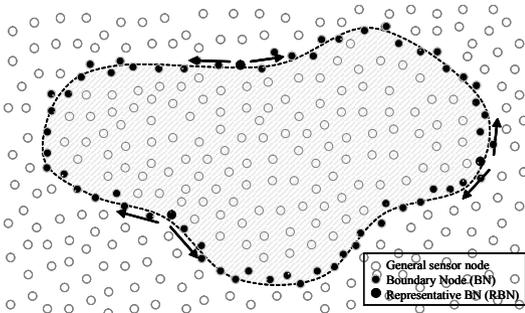


그림 1. 최초 RBN 선발

4.1.1 최초 RBN 선발

우리는 RBN 선발 과정 설명의 편의를 위해 RBN을 최초 RBN과 이웃 RBN으로 분류한다. 두 종류의 RBN은 RBN 선발 과정 설명의 편의를 위해 구분할 뿐, 똑같은 RBN으로 동작한다. 최초 RBN은 BN들 중 스스로 RBN이 되는 노드로서, 이웃 RBN들을 선발하는 의무를 갖는다.

연속 개체의 경계 상에 넓게 존재하는 BN들은 서로의 존재를 알 수 없기 때문에 선발 과정을 시작점 혹은 시작 노드를 선정하기 어렵다. 따라서 최초 RBN의 선발은 백워드 타이머(backward timer)를 사용하여 분산적으로 이루어진다.

싱크의 쿼리를 수신한 BN들은 각각 자신의 에너지 잔량에 반비례하는 타이머를 설정한다. 다시 말해 이 타이머는 에너지 잔량이 많을수록 먼저 만료된다. 각 BN들은 타이머가 만료되면 스스로를 최초 RBN으로 선발한다. 따라서 에너지가 많은 노드가 RBN으로 선발되어 동작할 확률이 높아지며, 이는 네트워크 수명 연장에 도움이 될 수 있다. 단, 스스로 최초 RBN이 되기 전에 다른 RBN으로부터 RBN 선발 메시지를 수신하면 타이머를 멈추고 최

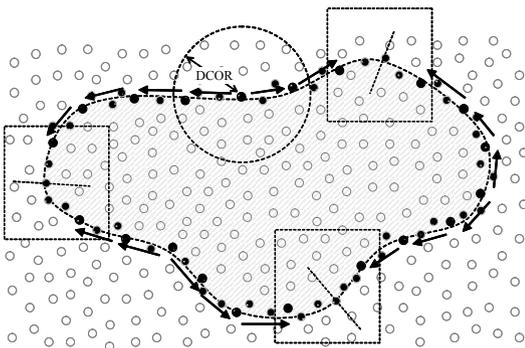


그림 2. 이웃 RBN 선발

초 RBN 선발 후보에서 제외된다. RBN 선발 메시지는 다음 절에서 설명한다.

최초 RBN 선발의 의미는 DCOR에 따른 RBN 선발 과정인 이웃 RBN 선발 과정의 시작점을 선택하는 것이다. 싱크 혹은 각각의 BN들은 연속 개체 전체의 모습을 알 수 없기 때문에 하나의 BN이 RBN 선발 과정을 시작하도록 지정할 수 없다. 따라서 타이머를 통해 분산적으로 최초 RBN을 선택하는 것이다. 필연적으로, 하나 이상의 경계 노드들의 타이머가 비스한 시기에 만료된다면 다수의 BN이 최초 RBN으로 선발될 수 있다. 그림 1에서 검은색으로 표시된 3개의 노드들은 비슷한 시기에 선발된 최초 RBN들이다.

4.1.2 이웃 RBN 선발

최초 RBN으로 선발된 노드는 이웃 RBN 선발 과정을 시작한다. 이를 위해, 최초 RBN은 선발 직후 RBN 선발 메시지를 브로드캐스팅 한다. 앞서 언급했듯이 이 메시지를 수신한 BN들은 최초 RBN 선발에서 제외되고 최초 RBN 선발을 위한 타이머를 멈춘다. 대신 이웃 RBN 선발을 위한 새로운 백워드 타이머를 설정한다. 이 타이머는 RBN 선발 메시지를 전송한 RBN과의 거리에 반비례하게 설정된다. 따라서 거리가 가장 먼 경계 노드가 가장 먼저 타이머가 만료되고 다음 RBN으로 선발된다. 단, 최초 RBN과의 거리가 DCOR을 넘는 경계 노드들은 RBN으로 선발되지 않아야 하므로 RBN 선발 메시지를 수신하더라도 어떠한 동작도 실행하지 않는다. 결론적으로 최초 RBN의 RBN 선발 메시지를 통해 최초 RBN의 양방향으로 DCOR 거리 내에서 가장 먼 BN 두 개가 새로운 RBN으로 선발된다.

새로 선발된 RBN은 최초 RBN과 같이 RBN 선발 메시지를 브로드캐스팅 함으로써 또 다른 이웃 RBN을 선발한다. 이 때, 최초 RBN에 의해 두 번째 타이머를 설정했었지만 이웃 RBN으로 선발되지 못한 BN들은 새로운 RBN으로부터 RBN 선발 메시지를 다시 한 번 수신하는 순간, 타이머를 멈추고 이웃 RBN 선발에서도 제외된다. 이 과정은 그림 2에서 볼 수 있듯이 모든 RBN들이 선발될 때까지 반복된다. 이웃 RBN 선발이 종료되는 과정은 다음 절에서 설명한다.

그림 4에서 노드 A는 첫 번째 타이머에 의해 선발된 최초 RBN이다. 노드 D와 G는 노드 A에서 가장 멀리 떨어진 경계 노드이기 때문에 두 번째 타이머가 가장 먼저 만료되면서 이웃 RBN으로 선

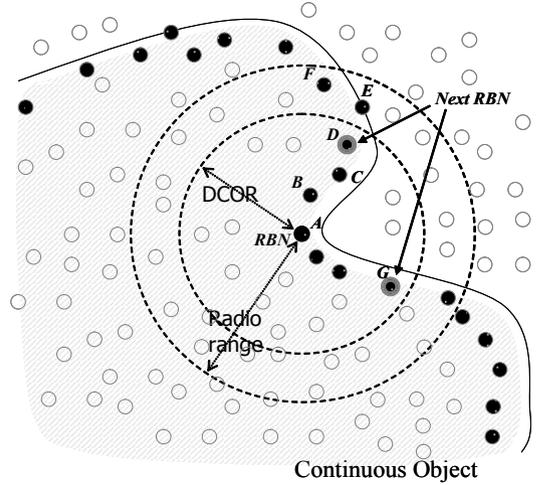


그림 4. 최초 RBN에 의한 이웃 RBN 선발

발된다. 노드 E와 F는 RBN 선발 메시지를 수신했지만 노드 A로부터의 거리가 DCOR 이상이기 때문에 어떠한 동작도 수행하지 않는다. 노드 B와 C는 각각 설정된 두 번째 타이머가 만료되기 전에 노드 D가 먼저 RBN으로 선발되기 때문에 두 번째 RBN 메시지를 수신하면서 RBN으로 선발에서 제외된다. 이후 RBN으로 선발된 노드 D와 G는 각각 반대 방향으로 이웃 RBN 선발 과정을 반복하게 된다.

4.1.3 RBN 선발 종료

최초 RBN 선발이 분산적으로 실행되기 때문에, 그림 2에서 볼 수 있듯이 서로 다른 최초 RBN으로부터 시작된 이웃 RBN 선발 과정이 병합되는 구간들이 생겨난다. 혹은 최초 RBN이 하나였다고 해도 양 방향으로 시작된 이웃 RBN 선발 과정이 병합되는 구간이 생긴다. 따라서 이 병합 구간에서

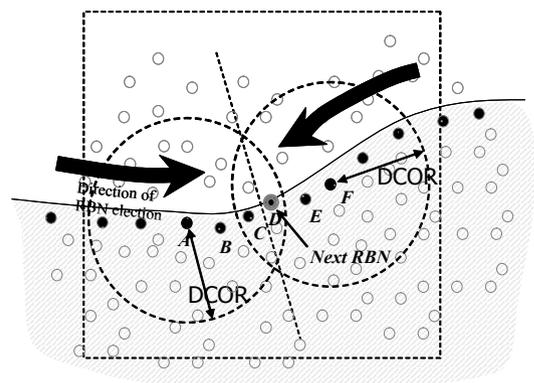


그림 5. 병합 지역에서의 RBN 선발

RBN 선발 과정이 종료되는 방법이 필요하다.

그림 5는 RBN 선발 종료 과정을 보여준다. 노드 A와 F는 이미 RBN으로 선발되었으며, 각각 RBN 선발 메시지를 브로드캐스팅 한다. 만약 노드 D가 노드 C보다 먼저 RBN으로 선발되어 RBN 선발 메시지를 브로드캐스팅 한다면, 노드 C는 이 메시지를 수신하고 DCOR 간격 내에 이미 노드 A와 D가 RBN으로 선발되었다는 것을 인식하기 때문에 RBN으로 선발되지 않는다. 노드 B와 E 역시 같은 이유로 RBN 선발에서 제외되므로 RBN 선발 과정이 종료된다.

4.2 정보 손실 복구

싱크는 수집된 데이터 보고들에 대해 신뢰성 지표를 통해 연속 개체 탐지의 신뢰성을 평가한다. 만약 신뢰성 지표를 만족하지 못한다면 싱크는 정보 손실 복구 과정을 실행한다. 복구 과정의 목적은 부분적인 재전송을 통해서 손실된 데이터들을 복구하는 것이다. 싱크는 DCOR 값을 만족하지 못하는 구간이 데이터 손실이 일어난 지역임을 알 수 있기 때문에, 해당 지역에 직접적으로 데이터 재전송 요청을 할 수 있다. 그러나 싱크는 데이터 손실 지역에 얼마나 많은 RBN들이 존재하는지 알 수 없다. 따라서 싱크는 실질적으로 데이터 손실 지역의 양 끝에 위치하는 두 RBN에게 데이터 재전송을 요청한다.

손실 지역의 한 쪽 끝에 위치하는 RBN은 손실 지역의 반대쪽 끝에 위치하는 RBN을 향해 재전송 요청 메시지를 중계한다. 이 과정은 반대편에 위치하는 RBN으로부터 전송된 요청 메시지와 마주칠 경우 종료된다. 재전송 요청 메시지를 수신한 손실 지역 내의 RBN들은 싱크에게 데이터를 재전송한다. 따라서 싱크는 정보가 손실된 지역의 데이터를 재수신함으로써 연속 개체의 탐지 신뢰성을 달성한다.

한편 데이터 손실은 원인은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 1) 싱크를 향해 전송되는 중에 손실된 경우. 2) 데이터를 전송하는 RBN 자체에 장애가 생긴 경우. 첫 번째 경우엔 단순히 손실 지역 내의 RBN들이 재전송 요청 메시지를 중계하고, 이를 수신한 RBN들은 싱크에게 데이터를 재전송 하면 된다. 그러나 RBN의 장애로 인한 데이터 손실의 경우엔 데이터 재전송 요청 메시지를 중계할 RBN이 존재하지 않기 때문에 손실 지역 내에 RBN 선발 과정을 재실시 하고, 선발된 RBN들은 데이터를 생성하여 싱크에게 전송한다.

4.3 정확도 변경

만일 신뢰성 지표가 만족 되었다 할지라도, 응용에서 특정 지역의 정보를 좀 더 상세히 얻기를 원하거나 연속 개체의 정보를 이전과 다른 정확도로 요구할 수 있다. RCOD는 이러한 응용 레벨의 다양한 요구에 따라 연속 개체 검출의 정확성이 부분적으로 또는 전체적으로 변경될 수 있는 유연성을 제공한다.

만일 응용에서 특정 지역을 상세히 알기를 원한다면, 싱크는 DCOR 값을 알맞게 조정함으로써 그 지역의 상세한 정보를 요구한다. 싱크는 이러한 응용들의 요구에 따라 새로운 DCOR 값과 정확도 변경 지역의 정보를 설정한다. 복구 프로세스와 유사하게, 싱크는 변경 지역의 경계에 위치한 두 RBN에게 변경 메시지를 전달한다. RBN들이 이 메시지를 수신하면, 이들은 새로운 DCOR 값으로 제한된 변경 지역의 RBN 선발 과정을 재실행한다. 만약 정확도를 상향 조절했다면, 변경 지역 내에서는 더 가까운 거리의 더 많은 RBN들이 선발되어 싱크에게 데이터를 전송한다. 싱크는 더 많은 수의 보고를 전달받으며 정확도 변경 지역에 대한 더 상세한 경계 정보를 응용들에게 전달한다.

만일 응용에서 전체 연속 개체를 이전과 다른 정확도로 탐색하기를 원한다면, 싱크는 마찬가지로 DCOR 값을 조정함으로써 이러한 요구를 다룬다. 싱크는 새로운 DCOR 값을 하나 또는 그 이상의 RBN에 정확도 변경 메시지를 전달한다. RBN들이 이 메시지를 수신하면, 이들은 새로운 DCOR 값으로 RBN 선출 프로세스를 시작한다. 전체 연속 개체의 경계에서, 새로운 거리 기준을 통해 새로운 경계 노드들이 RBN으로 선발된다.

V. 성능 평가

이 장에서는 RCOD와 연속 개체 경계 탐지를 위한 다른 두 방안 Dynamic Cluster Structure (DCS)와 Energy-efficient boundary monitoring for Unsmoothed Continuous Objects in Wireless sensor networks (EUCOW)의 성능을 시뮬레이션 결과를 통해 비교한다. 이 세 방안은 QualNet 4.0 시뮬레이터^[9]에서 구현되었다. 실험한 네트워크는 초기에 500m × 500m 정방형 영역에 균일하게 분포된 3000개의 센서 노드로 구성된다. 송신과 수신 전력 소모는 각각 21mW와 15mW이다^[10]. 각 센서 노드의 전파 범위는 40m이다. 실험한 네트워크

크에서 RCOD는 초기에 신뢰성 임계치 (threshold)로서 $DCOR = 30m$ 로 설정하여 데이터 보고를 질의한다. 우리는 연속 개체의 두가지 형상, 성 (star)형과 유생 (larva)형의 연속 개체를 고려한다.

5.1 경계 정보 손실의 영향

경계 탐지의 신뢰성을 비교하기 위해, 우리는 성형 개체의 왼쪽 아래쪽 부분의 노드 실패율이 10 퍼센트일 때 경계 정보를 연속 개체 탐지를 위한 세 방안, DCS, EUCOW, RCOD를 사용해 경계 정보를 수집한다. 즉, 이 실험에서 세 방안의 정보 손실에 대한 복구 능력을 측정한다.

경계 정보는 시뮬레이션 필드의 (x, y) 좌표이다. 그래서 경계 정보 사이로 선을 그린다. DCS는 센서 노드로부터의 경계 정보를 클러스터의 헤더가 보고한다. 그러므로 헤더에 결함이 생기면 그 헤더가 속한 클러스터로부터의 경계 정보는 완전히 손실된다. EUCOW는 에너지 효율적으로 경계 정보를 수집하는 대표 경계 노드의 데이터 보고를 통해 연속 개체를 탐지한다. 하지만, 몇몇의 대표 노드에 이상이 생기면 EUCOW는 연속 개체의 잘못된 모양을 인식할 수 있다. 더욱이, DCS와 EUCOW는 연속 개체 탐지 신뢰성 지표가 없기 때문에 그림 6(a)와 같이 손실된 경계 정보를 복구할 수 없다.

RCOD의 경우, 신뢰성 지표를 갖고 있기 때문에 데이터 보고의 신뢰도를 결정할 수 있다. 즉, 첫 데이터 보고는 연결된 모양이 닫혀 있지 않기 때문에 지표를 만족시키지 못한다. RCOD는 그림 6(a)와 같이 영역을 복구하기 위해 데이터 보고를 요청해서 신뢰성 있는 경계 탐지를 달성할 수 있다.

그림 6(b)는 시뮬레이션 시간 흐름에 따른 전체 에너지 소비를 나타낸다. 3000ms에서 세 방안 모두 자신의 방법으로 경계 정보를 수집한다. DCS는 모든 경계 노드들로부터 데이터 보고를 수집하므로 객체의 왼쪽 하단 부분 주변에 일부 헤더가 결함이 있다하더라도 가장 많은 에너지 소비를 하게 된다. EUCOW와 RCOD의 경우에는, 몇몇 대표 경계 노드로부터 경계 정보를 얻으므로 DCS 보다 적은 에너지를 소비한다. RCOD는 3000ms로부터 1500ms 후에, 손실된 경계 정보를 복구하기 위해 추가적으로 에너지를 소비한다. 그러나 복구 과정은 정보 손실 구역 주변에서만 발생하므로 전체 에너지 소비량을 생각해도 EUCOW에 비해 크게 많은 에너지를 소비하지 않는다.

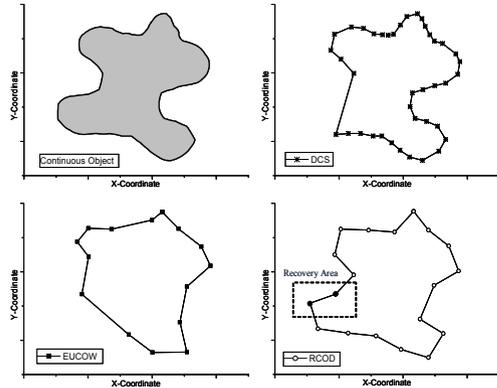


그림 6(a). 경계 정보 손실에 따른 연속 개체 탐지 정확도

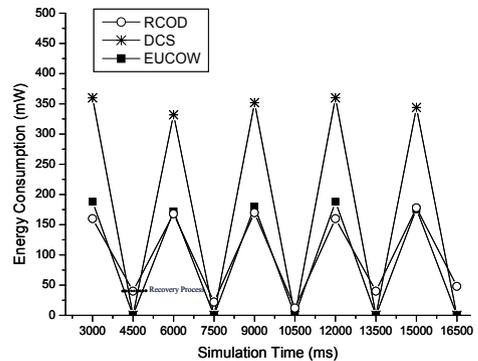


그림 6(b). 경계 정보 손실에 따른 에너지 소모

5.2 높은 신뢰성 요구의 영향

경계 탐지의 신뢰성을 비교하기 위해, 이 실험에서는 에너지 효율성과 요구된 높은 신뢰성에 대한 경계 탐지의 정밀함을 평가한다. 이 경우에는 노드 실패율을 고려하지 않는다.

DCS에서 모든 경계노드가 싱크에게 데이터를 보고하기 때문에, 싱크는 그림 7(a)에서 볼 수 있듯이 연속 개체의 전체 경계에 관해서는 고품질의 신뢰성 있는 개체 탐지를 지원할 수 있다. 그러나 DCS는 그림 7(b)에서와 같이 매번 가장 많은 에너지를 소모한다. EUCOW에서 대표 경계 노드가 싱크에게 데이터를 전송하여 단지 고정된 신뢰성과 DCS보다 낮은 품질로 연속 개체의 경계를 탐지한다. 에너지 소비의 경우에는 EUCOW가 DCS보다 더 적게 소비한다.

RCOD 또한 연속 개체의 경계를 탐지하기 위해 EUCOW 같이 DCS 보다 낮은 품질로 적은 에너지를 소비한다. 그러나 다른 방안과는 다르게 RCOD

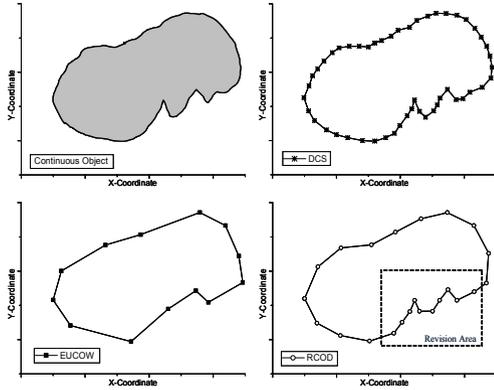


그림 7(a). 높은 신뢰성 요구에 따른 연속 개체 탐지 정확도

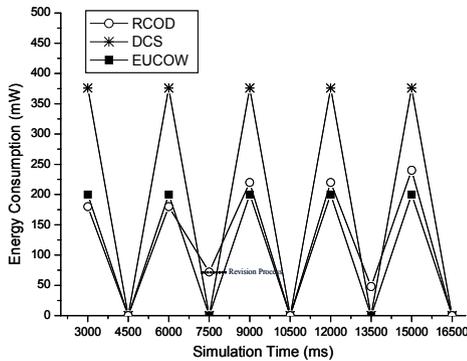


그림 7(b). 높은 신뢰성 요구에 따른 에너지 소모

는 관심 영역만 유동적으로 경계 탐지의 정확도 변경을 요구할 수 있다. 그러므로 그림 7(a)에서 보듯이 RCOD는 부분적인 정확도 변경 영역에 대해 높은 신뢰성의 경계 정보를 얻을 수 있다. 그림 7(b)는 정확도 변경 과정에 대한 추가적인 에너지 소모가 크지 않고, 7500ms와 13500ms의 경우처럼 정확도 변경 과정이 요구될 때만 발생한다는 것을 보여준다.

5.3 노드 장애율의 영향

그림 8은 실험 네트워크에서 노드 장애율에 따른 경계 노드로부터 데이터 보고의 수를 나타낸다. 앞에서 언급했듯이, DCS는 모든 경계 노드로부터 데이터를 수집하지만 오직 헤더 노드가 데이터를 보고하므로, 노드 장애율의 증가에 따라 DCS는 결함이 있는 헤더가 증가하므로 데이터 보고의 수를 급격히 감소시킨다. EUCOW에서는 대표 경계 노드가 싱크에게 데이터를 전송하기 때문에, 데이터 보고의 수는 노드 장애율의 증가에 비례하여 천천히 감소

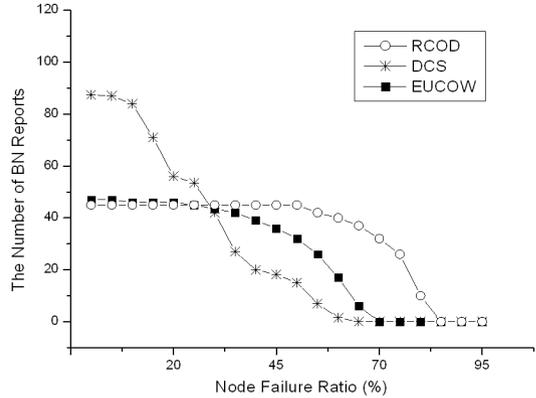


그림 8. 노드 장애율에 따른 경계 노드의 데이터 보고 개수

하지만 노드 장애율에 의해 RCOD보다 많이 악화된다. RCOD의 경우, 이는 데이터 손실 복구를 지원할 수 있다. 따라서 노드 장애율이 증가하더라도 RCOD의 데이터 보고 수는 다른 방안들보다 가장 천천히 감소한다. 즉, RCOD는 노드의 결함에 관해서 강건하고 가장 신뢰성 있는 경계 탐지를 제공할 수 있다.

5.4 노드 밀도의 영향

그림 9는 같은 크기의 연속 개체를 탐지할 경우 서로 다른 노드 밀도에 따른 효과를 보여준다. 평가를 위해서, 같은 500m × 500m 정방형 영역에서 센서 노드의 수를 1500개부터 500개씩 증가시키며 5500개까지 균일하게 배치한다. DCS의 경우에서, 클러스터의 헤더가 모든 경계 노드로부터의 정보를 싱크에게 보고하기 때문에 노드 밀도가 증가함에 따라 수집된 데이터 보고의 수는 또한 비례적으로 증가하게 된다. EUCOW 또한 경계 노드의 몇 개당 대표 노드가 선택되기 때문에 센서 노드의 수에 비례하여 데이터 보고의 수가 증가하지만 EUCOW는 단지 대표 노드로부터 데이터를 수집하기 때문에 DCS보다 적은 변화량을 보인다. 그러나 RCOD는 초기에 가장 적은 노드 밀도가 배치되어 있을 때 많은 데이터 보고를 요구한다 하더라도 센서 노드의 수가 증가함에 따라 추가적인 데이터 보고를 요구하지 않는다. RCOD는 DCOR로 경계 데이터를 수집하기 때문에, DCOR 영역 안에 노드 밀도가 증가하더라도 데이터 보고는 증가하지 않는다. 이러한 특성은 그림 9에서와 같이 약 2500개 보다 많은 센서 노드의 수가 있을 때 가장 적은 통신비용을 제공한다.

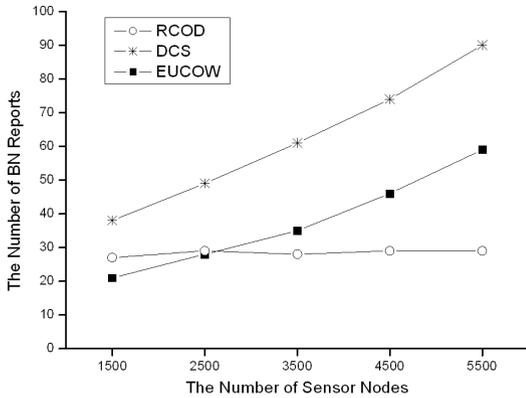


그림 9. 노드 밀도에 따른 경계 노드의 데이터 보고 개수

VI. 결 론

본 논문에서, 우리는 RCOD (Reliable Continuous Object Detection)이라고 하는 연속 개체에 대한 신뢰성 있는 경계 탐지 방안을 제안하였다. RCOD는 다음과 같은 두 주요 메커니즘으로 구성된다. 첫째, RCOD는 개별 개체와 달리 동적이고 대규모인 연속 개체에 대한 탐지 신뢰성 지표를 정의한다. 둘째, RCOD는 연속 개체 경계 탐지에 관해 응용에 의해 결정되는 신뢰성 임계치로 데이터 보고를 유도적으로 질의한다. 따라서 RCOD는 신뢰성 지표에 의한 판단을 통해 데이터 보고의 신뢰성을 평가할 수 있다. 경계 정보 손실이 있으면 RCOD는 손실된 데이터 보고만 복구한다. 그러므로 RCOD는 에너지 효율적으로 원하는 신뢰성을 달성할 수 있다. 시뮬레이션 결과는 RCOD가 신뢰성 있는 경계 탐지와 에너지 효율성에 관해 이전 연구들보다 나은 성능을 제공함을 보여준다.

참 고 문 헌

[1] I.F. Akyildiz, S. Weilian, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol.40, pp.102-114, Aug. 2002.

[2] D. Li, K.D. Wong, Y.H. Hu, and A.M. Sayeed, "Detection, Classification, and Tracking of Targets," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.19, No.2, pp.17-19, Mar. 2002.

[3] O.B. Akan and I.F. Akyildiz, "Event-to-Sink Reliable Transport in Wireless Sensor

Networks," *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol. 13, No.5, pp.1003-1016, Oct. 2005.

[4] N. Tezcan, E. Cayirci, and M.U. Caglayan, "End-to-end reliable event transfer in wireless sensor networks," in *Proc. IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC) 2004*, Vol.2, pp.989-994, Sep. 2004.

[5] S. Dalvi, A. Sahoo, and A. Deo, "A MAC-aware Energy Efficient Reliable Transport Protocol for Wireless Sensor Networks," in *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC) 2009*, pp. 1-6, Apr. 2009.

[6] X. Ji, H. Zha, J. J. Metzner, and G. Kesidis, "Dynamic cluster structure for object detection and tracking in wireless ad-hoc sensor networks," in *Proc. IEEE International Conference on Communication (ICC) 2004*, Vol.7, pp.3807-3811, Jul. 2004.

[7] J. Kim, K. Kim, S. H. Chaudhary, W. Yang, and M. Park, "DEMOCO: Energy-Efficient Detection and Monitoring for Continuous Objects in Wireless Sensor Networks," *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E91-B, No.11, pp.3648-3656, Nov. 2008.

[8] J. Chen and M. Matsumoto, "EUCOW: Energy-Efficient Boundary Monitoring for Unsmoothed Continuous Objects in Wireless Sensor Network," in *Proc. IEEE Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS) 2009*, pp. 906-911, Oct. 2009.

[9] Scalable Network Technologies, Qualnet, [online] available: <http://www.scalable-networks.com>

[10] J.Hill and D. Culler, "Mica: a wireless platform for deeply embedded networks," *IEEE Micro*, Vol.22, Iss.6, pp.12-24, Nov./Dec. 2002.

남 기 동 (Ki-Dong Nam)

정회원



1990년 인하대학교 학사
1992년 인하대학교 석사
2010년 충남대학교 박사수료
1992년~현재 한국전자통신연
구원 인터넷연구부문 네트워
크품질연구팀/팀장

<관심분야> 서비스 및 네트워

크 품질, 네트워크 시험기술, Wireless Sensor
Networks 등

오 승 민 (Seungmin Oh)

준회원



2009년 2월 충남대학교 전기정
보통신공학부 컴퓨터전공

2009년 3월~현재 충남대학교
컴퓨터공학과 석사과정

<관심분야> Internet Routing,
Wireless Sensor Networks 등

박 호 성 (Hosung Park)

정회원



2008년 2월 충남대학교 전기정
보통신공학부 컴퓨터전공

2010년 2월 충남대학교 컴퓨터
공학과 석사

2010년 3월~현재 충남대학교
컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> Internet Routing,

Wireless Sensor Networks, MANET 등

김 상 하 (Sang-Ha Kim)

중신회원



1980년 서울대학교 학사

1984년 University of Houston
석사

1989년 University of Houston
박사

1992년~현재 충남대학교 전기
정보통신공학부 교수

<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor
Networks, MANET, 4G, Mobility, Multicast 등

임 용 빈 (Yongbin Yim)

준회원



2010년 2월 충남대학교 전기정
보통신공학부 컴퓨터전공

2010년 3월~현재 충남대학교
컴퓨터공학과 석사과정

<관심분야> Internet Routing,

Wireless Sensor Networks 등