

다이렉티드 디퓨전 라우팅 프로토콜에서의 빠른 장애경로 복구 기법¹⁾

최지술, 이정은, 김종훈, 김종완, 김기천²⁾

건국대학교 정보통신대학원 컴퓨터공학과

e-mail : no_one_else@naver.com,
{ i1004091, jhkim81, wany, kckim }@konkuk.ac.kr

A Fast Repair Scheme for Failed Paths in Directed Diffusion Routing Protocol

Jisul-Choe, Keecheon-Kim, Jongwan-Kim,
Jonghun-Kim, Jungeun-Lee

Dept of Computer Science, Konkuk University

요 약

무선 센서 네트워크(WSN)를 구성하는 각 센서 노드들의 에너지 관리는 네트워크 전체의 생명주기에 영향을 미치는 요소 중 가장 중요한 요소이다. 센서 노드들은 한번 설치된 이후 짧게는 수개월에서 길게는 몇 년에 걸쳐 동작해야 하기 때문에 배터리에 의존하고 있는 센서 노드들의 에너지를 효율적으로 관리할 수 있는 기술들이 필요하다. Directed Diffusion은 센서 노드에서 수집한 데이터를 네트워크 전체에 브로드캐스팅 하지 않고, 소스(Source)노드로부터 싱크(Sink)노드까지 강화(Reinforce)된 경로를 통해서만 데이터를 전송하여 경로 이외의 노드들의 불필요한 에너지 소모를 줄일 수 있는 라우팅 프로토콜이다. 그러나 기존의 Directed Diffusion에서는 전송 경로 상에 장애가 발생했을 경우 싱크에서 전송한 익스플로러터리 패킷을 기다려야 하며, 장애가 발견되고 재전송되기 전까지 전송된 데이터는 무의미한 데이터가 된다. 본 논문에서는 앞서 언급된 Directed Diffusion의 장애 경로 복구의 문제점을 보완하기 위해 Fast Repair(FR)를 제안한다. FR은 데이터 전송 경로 상에 장애 발생 시 데이터를 재전송 하고 경로를 재설정하는데 효율적이며, 성능평가 결과에서도 기존의 Directed Diffusion에 비하여 향상된 성능을 나타내고 있다.

Key word : WSN, USN, Routing Protocol

1. 서론

WSN을 위해 제안된 평면 라우팅 프로토콜(Flat Routing Protocol)은 네트워크를 여러 개의 클러스터로 나누고 클러스터를 관리하는 클러스터 헤드(head)를 선출하는 계층적 프로토콜과는 대조적으로 네트워크 전체를 네트워크의 크기에 관계없이 하나의 클래스로 관리한다. 평면 라우팅 프로토콜 중 Directed Diffusion(DD)은 센서 노드에서 수집한 데이터를 네트워크 전체에 브로드캐스팅 하지 않고, 소스(Source)노드로부터 싱크(Sink)노드까지

강화(Reinforce)된 경로를 통해서만 데이터를 전송하여 경로 이외의 노드들의 불필요한 에너지 소모를 줄일 수 있는 라우팅 프로토콜이다.

DD에서는 장애 경로 발생 시 장애 경로를 복구하기 위한 방안으로 Local Repair(LR)를 사용한다. 장애 경로를 발견하는 가장 빠른 방법은 데이터의 전송 경로에서 장애 노드의 바로 이전 노드(한 홉 이전의 노드)가 장애 노드의 실패를 발견하는 것이다. 그러나 DD에서 사용하는 장애 경로 복구 방법인 LR은 싱크 노드에서 주기적으로 전송되는 익스플로러터리 메시지가 소스 노드에 도착한 이후 데이터 전송 경로의 장애 유무를 판단할 수 있다. 늦은 장애 경로 발견으로 인하여 데이터 전송과 장애가 발생한 데이터 전송 경로 상의 노드들의 불필요한 에너지 소모는 전체 네트워크의 생명주기 감소에 영향을 주는 요인이 된다. 본 논문에서는 DD에서의 장애 경로 복구 방안인 Local Repair의 문제점을 알아보고, Local Repair의 문제

1) 본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형 국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C04)에 의해 수행되었습니다.

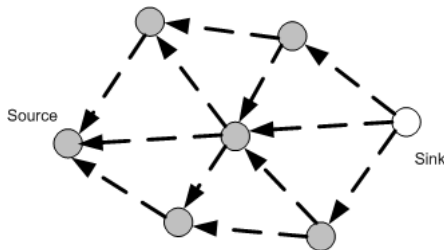
2) 교신저자

점을 개선한 Fast Repair를 제안한다.

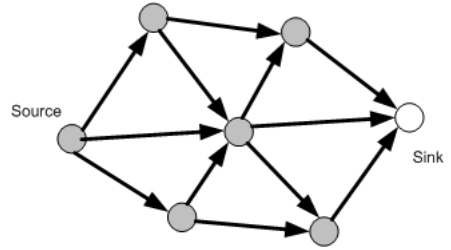
논문의 구성은 다음과 같다. 관련 연구에서는 DD의 특징과 동작과정을 통해 DD의 에너지 효율적 라우팅에 대하여 설명한다. Directed Diffusion의 문제점에서는 장애 경로 복구 방법인 Local Repair의 특징과 문제점에 대해 설명하고, Fast Repair for Failed Path에서 Local Repair의 문제점들을 개선한 Fast Repair를 제안한다. 성능 분석에서 기존의 Local Repair와 Fast Repair의 전송 시간을 대조하여 Fast Repair의 성능 향상을 증명한다.

2. 관련 연구

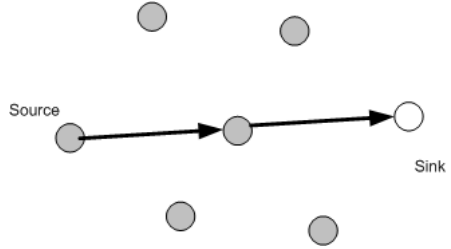
- Directed Diffusion : DD는 싱크(Sink)의 질의 방출에 기반을 둔 데이터 중심적 라우팅 기법으로 질의 유포 및 처리 응용에 적합한 특성을 가진다. 애플리케이션에 대한 질의는 속성과 값의 쌍으로 구성되는 인터레스트로 표현된다. 인터레스트는 싱크에서 시작되어 네트워크 전체에 유포되고, 데이터 요청 노드로 질의에 부합하는 데이터를 전송하기 위한 그라디언트가 설정된다. 설정된 그라디언트 중 가장 빠른 그라디언트가 강화된 경로로 데이터 전송에 사용된다.
- Directed Diffusion의 동작과정 : 싱크는 인터레스트를 플러딩(flooding)하여 인터레스트에 부합하는 목적지 노드인 소스 노드(Source node)를 찾아낼 수 있다. 인터레스트에는 싱크에 대한 정보는 포함되지 않으며 오직 한 홉 이전 노드에 대한 정보만을 포함하게 된다. 싱크로부터 전파된 인터레스트를 통해서 소스 노드로부터 싱크까지 그라디언트가 설정된다. 싱크는 주기적으로 익스플로러터리(exploratory)를 보내서 가장 빠른 그라디언트를 데이터 전송의 경로로 선택하여 최적의 전송 경로를 유지한다.



(그림 1) Interest propagation

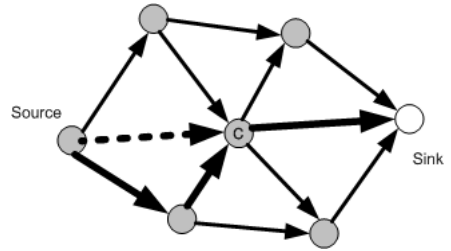


(그림 2) Initial gradients set up



(그림 3) Reinforced path

Local Repair for Failed Paths



(그림 4) Repair for Failed Paths

싱크 노드가 주기적으로 전송하는 익스플로러터리 패킷에 의해 (그림 3)과 같이 정해진 강화 경로가 가장 빠른 경로가 아닐 경우(어떤 장애 요인으로 인하여), 소스 노드로부터 노드 C로 직접 전송되는 경로는 우선순위가 낮아지며, 데이터의 전송은 다른 경로(현재의 가장 빠른 경로)를 통해서 이루어진다. 이는 강화 경로 중간의 한 노드에 장애가 발생하여 전송이 불가능할 시에도 적용될 수 있다.

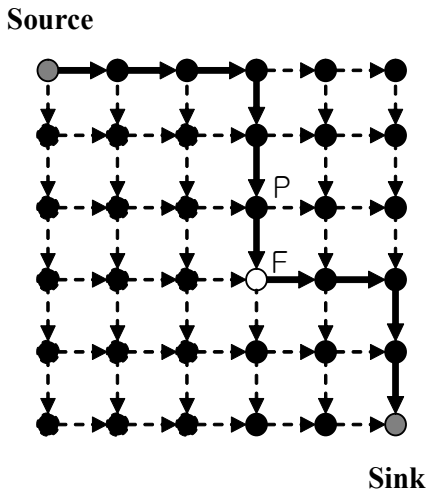
3. Directed Diffusion의 문제점

DD에서는 싱크 노드로부터 소스 노드까지 도착한 인터레스트에 의해 결정된 다수의 그라디언트 가운데 가장 빠른 그라디언트를 강화 경로로 선택한 후 데이터를 전송한다. 경로를 유지하는 기법은 여기에 그치지 않고 싱크 노드와 소스 노드 사이에 설정된 그라디언트들을 통해 작은 사이즈의 익스플로러터리 패킷을 전송하여 가장 빠른 경로를 유지한다. 이는 또한 강화된 경로를 통해 데이터가 전송되는 동안 경로 중간의 노드에 장애가 발생하여 데이터의 전송이 지연되거나 전송이 불가능한 경우에도 활용

될 수 있다. 데이터 전송 중간에 장애가 발생했을 때, 소스 노드로부터 강화된 경로를 해제하고 다음 우선순위의 그라디언트를 강화하여 데이터 전송의 경로로 사용한다. 그러나 장애를 복구하기 위해, 기존의 DD에서는 익스플로러터리 메시지의 왕복을 기다려야 하며, 장애 경로에 포함되어 데이터를 전송했던 노드들은 에너지를 불필요한 데이터 전송에 소모하게 된다.

4. Fast Repair for Directed Diffusion

강화된 경로를 통해서 데이터를 전송하는 중간 노드에 장애가 발생하였을 경우 기존의 DD에서는 주기적인 익스플로러터리 메시지를 통해서 경로 중간의 장애가 발견되고, 다음 우선순위의 그라디언트로 재전송함으로써 장애를 복구하게 된다. 그러나 이와 같은 복구 방법은 싱크 노드에서 익스플로러터리 패킷이 도착할 때까지 전송 경로 상에 장애가 있음을 발견하지 못한다. 또한 장애 경로를 통해서 데이터 전송에 참여한 노드들은 불필요한 데이터 전송에 에너지를 소모함으로써 네트워크 전체의 생명주기를 감소시키는 결과를 초래하게 된다. Fast Repair(FR)는 앞서 제기한 두 가지 문제점을 개선한다.

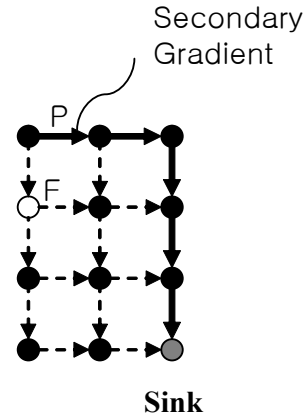


(그림 5) 장애가 발생한 네트워크

- F : 장애가 발생하여 데이터를 전송할 수 없는 노드
- P : 경로 상에서 장애가 발생한 바로 전 노드

전송 경로 중간 노드 F에서 장애가 발생할 경우, 노드 F의 장애를 가장 먼저 발견할 수 있는 노드는 노드 F에게 데이터를 전송한 한 홉 이전의 노드 P이다. DD에서는 각각의 노드마다 인터레스트 엔트리를 유지하고 있으며, 엔트리 필드 중에는 그라디언트가 포함되어 있다.

따라서 기존의 DD에서 사용하는 로컬 리페어(Local Repair)방식을 사용하지 않고, 노드 P의 캐시(Cache)에 있는 그라디언트를 사용하여 장애 노드 발생 시 복구 및 재전송 비용이 DD의 장애 경로 복구 및 재전송 비용에 비하여 줄어들게 된다. 또한 기존의 DD에서는 데이터의 전송 과정에서 장애가 발생할 경우 다음 우선순위의 그라디언트가 전송 경로로 설정되기 때문에 소스 노드로부터 노드 P까지의 노드들이 의미 없는 데이터 전송에 참여하게 되며, 데이터 전송에 따른 에너지 소모와 센서 노드들의 수명이 단축된다. 그러나 FR를 사용함으로써 노드 P부터 새로운 그라디언트로 데이터를 전송하게 되므로, 노드 P 이전의 노드들은 재전송에 따른 추가적인 에너지를 소모하지 않아도 된다. Fast Repair를 통하여 LR 방식에 비하여 센서 노드들의 에너지 소모를 줄임으로써 전체 네트워크의 생명 주기는 연장된다.



(그림 6) Fast Repair를 통한 경로 복구

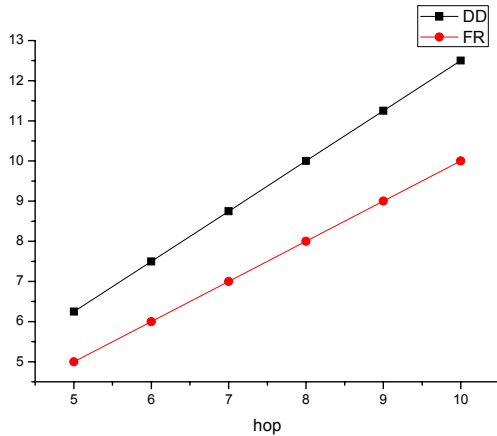
5. 성능 분석

- ▶ 장애 노드 F를 발견했을 때, 익스플로러터리가 경로 중의 어느 노드에 있는지 알 수 없으므로, 소스노드가 장애 노드를 인식하는데 걸리는 시간은 소스 노드로부터 싱크 노드까지의 경로들의 평균 거리의 반을 패킷이 전송되는 시간이라고 가정한다.
- ▶ n_{avg} : 소스 노드로부터 싱크 노드까지의 평균 거리 (hop count)
- ▶ t_f : 두 노드 사이에 패킷이 전송되는 시간
- ▶ F : 소스 노드로부터 장애 노드까지의 거리(hop count)

▶ et_f : 두 노드 사이에 익스플로러터리 패킷이 전송되는 시간

$$DD = \frac{1}{2} \sum_{f=1}^{n_{avg}} et_f + \sum_{f=1}^{n_{avg}} t_f + \sum_{f=1}^F t_f$$

$$FR = \sum_{f=1}^F t_f + \sum_{f=F-1}^{n_{avg}} t_f$$



Deborah Estrin, John Heidemann, and Fabio Silva, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking"
 [4] Joanna Kulik, Wendi Rabiner, and Hari Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks"

6. 결론

본 논문에서는 Directed Diffusion의 장애 경로 복구 방법인 Local Repair의 문제점에 대해서 알아보았으며, Local Repair의 문제점을 개선하기 위해 Fast Repair를 제안 했다. Fast Repair를 통해 익스플로러터리 패킷을 기다리지 않고 장애 노드 이전의 노드가 장애 노드를 발견함으로써 장애 경로를 발견하는 시간이 단축되었으며, 장애 경로로 전송되었던 데이터들을 소스 노드부터 재전송하지 않고, 장애 노드 이전의 노드부터 새로운 그라디언트로 전송함으로써 전송 지연 및 재전송에 따른 에너지 소모를 줄일 수 있다. 그러나 Fast Repair의 단점도 존재한다. 일회성의 경로 복구에는 적절하지만 소스 노드로부터 싱크 노드까지의 두 번째 그라디언트가 더 효율적인 전송 경로일 수 있기 때문에 차후의 연구에서는 이를 보완한 Fast Repair 알고리즘을 제안할 것이다.

참고문헌

- [1] 장선호, 이민경, 정보통신연구진흥원, "유비쿼터스 센서 응용서비스 및 개발동향"
- [2] Jamal N. Al-Karaki, Ahmed E. Kamal Routing "Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey"
- [3] Chalermek Intanagonwiwat, Ramesh Govindan,