

이동 싱크 환경에서 사전경로설정과 가지치기를 이용한 Directed Diffusion의 에너지 소모 개선 (Improving Energy Consumption of Directed Diffusion with Mobile Sinks By Prefetching and Pruning)

김성훈[†] 이상목^{**} 양현^{**} 박창윤^{***}
(Sung Hoon Kim) (Sangmok Lee) (Yang Hyun) (Chang Yun Park)

요약 데이터의 싱크 또는 소스가 이동 또는 생성/소멸하는 동적 무선 센서 네트워크 환경에서는 경로 설정에 필요한 제어 부하가 증가하며 에너지 소모의 주요 요소가 된다. 본 연구는, Directed Diffusion의 동작을 그대로 유지하면서, 미리 수집해둔 경로 정보를 이용하여 실제 경로 요청의 플래딩 없이 즉시 응답하는 사전경로설정 기법과 과거 경로 설정 과정의 정보를 축적하여 불필요한 방향으로 전파되는 제어 메시지를 중단하는 가지치기 기법을 제안한다. ns를 이용한 실험 결과, 경로 정보의 능동적 수집 또는 수동적 축적을 통해 Directed Diffusion 체계 내에 네트워크 인프라 구조를 내부적으로 수립하고, 이를 이용하여 불필요한 경로 설정 부하를 감소시켜 에너지 소모를 개선할 수 있다는 것을 확인하였다.

키워드 : 센서네트워크, Directed Diffusion, 에너지 절약, 사전경로설정, 가지치기

Abstract In dynamic wireless sensor networks where sources and sinks are moving or are created/died, control overheads for route establishment are increased and thus become one of the major factors for energy consumption. This study introduces prefetching and pruning for Directed Diffusion to remove redundant control messages. Prefetching collects path information for each event with "AnyEvent" in advance and gives quick responses without further flooding of requests. Pruning accumulates history information from previous requests and replies, and then stops forwarding a request towards where the event does not exist. Simulation results with ns show that it is possible to build implicit and soft infrastructures within a Directed Diffusion system through these active collection and passive accumulation and they improve energy consumption more as control overhead goes higher.

Key words : Sensor Networks, Directed Diffusion, Energy Saving, Prefetching, Pruning

· 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술 개발사업의 일환으로 수행하였음. (2006-S-040-01, Flash Memory 기반 임베디드 멀티미디어 소프트웨어 기술 개발)

† 정 회 원 : 중앙대학교 컴퓨터공학과
kimsh@kisa.or.kr

** 학생회원 : 중앙대학교 컴퓨터공학과
sangmoks@cmlab.cse.cau.ac.kr
yanghyun@cmlab.cse.cau.ac.kr

*** 종신회원 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 교수
cypark@cau.ac.kr

논문접수 : 2007년 6월 11일

심사완료 : 2007년 11월 7일

Copyright © 2008 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 정보통신 제35권 제1호(2008.2)

1. 서론

무선 센서 네트워크 관련 기술들이 급속히 발달하면서 그 응용 분야도 크게 확장되고 있으며 다양한 형태의 센서 네트워크가 속속 등장하고 있다. 예를 들어, 기존의 정해진 네트워크 구성 아래서 정해진 데이터 수집을 하는 방법을 발전시켜서, 데이터 수집 장비를 휴대하고 이동하면서 다양한 데이터 수집을 가능하게 하는 동적 센서 네트워크(Dynamic Sensor Networks)도 활발히 연구되고 있다.

무선 센서 네트워크에서는 별도의 인프라스트럭처가 없는 환경에서 정보를 목적지까지 전송하는 라우팅 기법들이 매우 중요한 요소 기술이다[1-3]. 이 때 한정된 전력을 가지고 있는 노드들의 에너지 소모를 줄이는 것은 필수적이다. 따라서 다양한 통신 응용을 모두 지원하

는 일반적인 라우팅 기법보다는 해당 센서 네트워크 응용에 부합하는 라우팅 기법이 선호되며, 데이터 수집을 주목적으로 하는 센서 네트워크에서는 데이터중심(data-oriented) 라우팅 기법이 선호되고 있다.

Directed Diffusion[4,5]은 대표적인 데이터중심 라우팅 기법으로서, 특정 이벤트 데이터를 수집하려는 싱크(sink) 노드와 해당 이벤트를 감지한 소스(source) 노드들 사이의 데이터 전송을 지원한다. 먼저, 싱크 노드가 관심요청(Interest) 메시지를 생성하여 이웃들로 브로드캐스트하고, 이를 수신한 노드들은 보낸 노드 쪽으로 경사(Gradient)를 설정한 후 이웃들로 다시 브로드캐스트한다. 각 노드에 설정된 경사는 싱크 방향을 가리키고 있어서, 이벤트가 감지되어 소스가 탐구(exploratory) 데이터를 경사 방향으로 전송하면, 각 노드들이 경사에 따라 중계해서 싱크까지 전달된다. 싱크는 탐구데이터가 수신된 여러 경로들 중 가장 고품질의 경로를 선택해서 강화(Reinforcement)하고, 소스는 강화된 경로를 통해 데이터를 전송하게 된다. Directed Diffusion은 인프라스트럭처가 없는 네트워크 환경에서 적용이 가능하고, 에너지 효율적이면서, 장애에도 잘 극복하는 특성을 인정받고 있다.

그러나 Directed Diffusion은 싱크가 보내는 관심요청을 전체 노드로 플러딩(flooding)하므로 경로 설정에 소모되는 에너지가 많다는 문제를 안고 있다. 특히, 싱크가 이동하면서 다양한 데이터를 수집하는 센서 네트워크 환경에 Directed Diffusion을 적용한다면, 싱크가 동적으로 생성 또는 이동하면서 소스들과 새로운 경로를 빈번히 설정하게 된다. 따라서 관심요청의 플러딩을 포함한 제어 메시지의 부하가 급속히 증가할 수 있다.

본 논문에서는 위와 같은 이동 싱크를 지원하는 센서 네트워크 환경에서 Directed Diffusion의 경로 설정 부하를 줄이는 두 가지 방법을 제안하고, 실험을 통해 이를 검증한다. 첫째, 모든 이벤트에 경로 설정을 미리 시도하여 경로 정보를 저장해두었다가, 실제 관심요청 메시지가 발생하면 이를 플러딩하는 대신에 사전 설정된 정보를 이용하여 경로 설정을 하는 사전경로설정(prefetching) 기법을 제시한다. 둘째, 각 노드가 기존의 경로 설정 과정에 교환되는 정보를 별도로 저장해두었다가, 어떤 노드가 관심요청 메시지를 수신하였을 때 이를 더 이상 플러딩하는 것이 무의미하다고 판단되면 플러딩을 중단하는 방법을 제시한다. 더 이상의 플러딩이 불필요하다는 판단은 어떤 노드가 소스와 싱크 간의 경로 상에 위치하지 않을 때 가능하므로, 본 연구에서는 이를 가지치기(pruning) 기법이라고 부른다.

사전경로설정 기법이 사전 투자를 통해 미리 정보를 수집하고 이를 활용하려는 적극적인 접근 방법을 취한

다면, 가지치기 기법은 정보 수집을 위한 별도의 정보 교환 없이 Directed Diffusion 동작 과정 중에 생성되는 정보를 이용하는 소극적인 접근 방법을 취한다. 두 방법 모두 기존의 Directed Diffusion의 체계를 그대로 따르면서 성능 개선을 목적으로 한다는 점에서는 동일하다.

두 방법 모두 새로운 경로 설정 요청에 대해서 이전에 파악해두었던 경로 정보를 바탕으로 처리하는 방법이므로, 두 시점 사이에 변동이 있을 때에는 잘못된 경로 설정을 가져올 수 있다. 다시 말해, 원래의 Directed Diffusion을 적용하였다면 발견할 수 있는 소스를 두 방법은 놓칠 수 있다. 그러나 이와 같은 차이는 주기적인 정보 갱신을 통해 한시적인 문제로 완화할 수 있다. 즉, 어느 한 시점에서의 차이는 피할 수 없지만, 미리 파악해 두는 정보를 주기적으로, 특히, 원래의 Directed Diffusion이 관심요청을 하는 주기와 같은 주기로, 갱신한다면 데이터 수집에서의 오류는 거의 무시할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 NS-2 시뮬레이터[6]를 이용한 다양한 실험을 통해 두 기법의 효과를 확인하였다. 사전경로설정 기법에서는, 무선 통신에서의 양방향 경사 특성과 어울려져, 모든 노드에서 모든 소스에 대한 경로 정보가 설정되며, 관심요청 메시지가 발생하면 초기 단계에서 플러딩이 차단되고 곧 바로 강화를 통한 경로 확인 및 데이터 전송이 이루어진다. 따라서 전송되는 관심요청 메시지가 획기적으로 줄어들며, 이에 필요한 에너지 소모를 줄일 수 있었다. 특히, 동적으로 생성되는 싱크의 수가 많아서 관심요청이 많아질수록 에너지의 절약의 효과도 증가하였다. 그러나 사전 정보 수집에 투자되는 비용도 커져서 필요 없는 에너지를 소모만하는 최악의 경우도 발생할 수 있다. 가지치기 기법은 소스와 싱크 사이의 경로 상에 위치하지 않는 노드에서 이루어지므로 네트워크의 크기 및 소스/싱크 분포에 따라 에너지 절약 효과를 보였다. 특히, 소스와 싱크가 네트워크상에 편중되어 있는 환경에서 효과적이라는 것을 확인하였다.

본 연구의 기법들은 자발적으로 경로 정보를 수집하거나 기존 경로 정보를 별도로 축적하여 불필요한 전송이라고 판단하고 있다. 따라서 원래의 Directed Diffusion보다 많은 저장 공간이 필요하고 처리 부하도 추가된다. 에너지 소모 측면에서 보면 전송 부하가 처리 부하보다 훨씬 크므로 처리 부하 문제는 무시할 수 있는 수준이라고 판단된다. 추가되는 저장 공간의 크기는 기본적으로 소스의 수와 관심요청의 수에 각각 비례하며, Directed Diffusion에서 캐시 공간의 크기 정도가 될 것으로 예상된다. 센서 노드의 저장 공간이 한정되어 있지만, 이 정도의 공간 추가는 가능할 것으로 가정한다.

본 연구는 Directed Diffusion의 장점을 그대로 유지

하면서, 수집 또는 축적된 정보를 토대로 네트워크 인프라 구조를 내부적으로 수립하고, 이를 이용하여 경로 설정에 수반되는 중복된 제어 부하를 개선하는 것이 가능하다는 것을 보였다. 싱크와 소스 사이의 경로들이 동적으로 생성 또는 소멸되는 센서 네트워크 환경에서는 제어 부하가 증대되며 이에 따른 에너지 소모의 증가가 예상되는데, 본 연구의 결과를 적용한다면 센서 네트워크의 전체 수명을 연장시킬 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문의 차례는 다음과 같다. 2장에서는 Directed Diffusion과 그 확장 연구들에 대해 살펴본다. 3장과 4장에서는 본 논문에서 제안하는 기법인 사전경로설정 기법과 가지치기 기법에 관해 각각 설명한다. 5장에서는 NS-2 시뮬레이터를 이용한 실험을 통해 위의 기법들 각각의 결과를 평가하고, 마지막으로 6장에서 결론을 맺으며 향후 연구에 대해 기술한다.

2. 배경 및 관련연구

Directed Diffusion의 동작을 전체적으로 설명하면 그림 1과 같다. (a)와 같이 싱크 노드는 데이터를 요청하기 위해 관심요청 메시지를 생성하여 이웃들에게 브로드캐스트한다. 관심요청을 받은 노드는 이를 브로드캐스트로 포워드하는 한편, (b)와 같이 관심요청을 보내온 노드 방향으로 경사를 설정하고 관련된 정보를 캐시에 저장한다. 만일 동일한 관심요청이 여러 우회 경로를 통해 어떤 노드에 복수 개 도착한다면, 해당 관심요청 캐시 엔트리에는 각 방향에 대한 경사 필드가 기억된다.

소스 노드가 관심요청으로 요청된 이벤트를 감지하면, 이벤트 정보를 데이터 메시지에 넣어 설정된 경사 방향으로 탐구데이터를 보낸다. 이를 수신한 노드는 해당 이벤트의 관심요청 엔트리에 지정된 경사 방향으로 포워

드하며, 이 작업은 모든 노드에서 재귀적으로 수행된다. 하나 또는 복수 개의 탐구데이터가 싱크에 도착하면, (c)와 같이 싱크는 정해진 원칙에 따라 특정 이웃 노드 선정하여 강화 메시지를 보내 경사를 강화시킨다. 같은 방식으로 중간 노드들이 강화 메시지를 전달하면 소스와 싱크 간의 고품질 경로가 설정되고, (d)와 같이 소스는 이 경로를 통해 싱크로 데이터를 전송하게 된다.

이와 같이 Directed Diffusion은 네트워크 인프라스트럭처에 전혀 의존하지 않고 데이터를 수집하는 것을 가능하게 하며, 그 과정에서 최적의 경로로 데이터 교환을 유도하므로 전력 소모를 줄일 수 있다. 또한 우회 경로에 대한 경사를 잠정적으로 유지하므로, 경로 상의 노드에서 장애가 발생하더라도 대체 경로로 비교적 쉽게 전환할 수 있다는 장점이 가지고 있다. 그러나 관심요청의 전송이 플러딩에 기초하고 있으므로 경로 설정에 수반된 제어 부하가 크다는 것이 단점으로 지적되고 있다. 특히 동적 센서 네트워크 환경처럼 싱크/소스 관계가 동적으로 생성 및 소멸되는 경우, 경로 설정 부하의 비중은 높아지게 된다.

Directed Diffusion의 제어 부하를 줄이는 연구는 계속 진행되어왔다. 원래의 방식에서는 모든 경로 설정이 싱크에 의해 주도되며, 관심요청이 우선 전파되고 그 다음에 강화가 되는 두 단계 작업으로 이루어진다. 이를 변형하여 제어 부하를 줄이는 방법으로 일단계풀(One-phase Pull)과 일단계푸시(One-phase Push)가 제안되었다[7,8].

일단계풀 방법은 원래 방식과 마찬가지로 싱크가 경로 설정을 위한 관심요청 전파를 시작시킨다. 그러나 탐구데이터의 수신에 기초하여 싱크가 경로를 강화하는 대신에, 수신된 관심요청에 기초하여 소스가 가장 선호

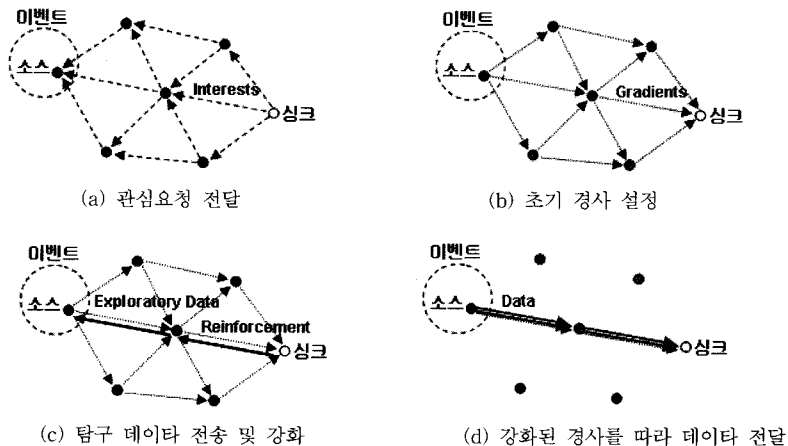


그림 1 Directed Diffusion의 동작

하는 경사를 직접 선정하여 탐구데이터가 아닌 데이터를 바로 전송한다. 따라서 싱크에 의한 강화 절차 없이 한 번의 단계로 경로가 설정되어 제어 부하를 줄일 수 있다. 그러나 이 방법은 데이터 경로가 관심요청 경로에 의해 결정되기 때문에 대칭형 통신 환경에서만 유효하며, 소스가 같은 싱크가 보낸 관심요청들 중에서 경로 설정을 하여야 하므로 관심요청 패킷에 싱크 식별자 정보를 포함시켜야 하는 부하가 발생한다.

일단계푸쉬 방법은 경로 설정을 소스 노드가 주도한다. 이벤트를 감지하면 소스 노드는 싱크의 관심요청을 기다리지 않고 탐구데이터를 생성하여 전송하고, 이를 수신한 싱크 노드가 경로를 강화하면 해당 경로로 데이터가 전송되는 방식이다. 이 방법은 GEAR[9]와 같이 지리적 정보를 이용하는 기법과 병합하여 사용될 경우, 관심요청 전파에 소모되는 제어 부하를 크게 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 싱크에서 필요가 없는 이벤트에 대한 탐구데이터의 전송에 에너지를 소모할 가능성이 항상 존재하므로 푸쉬 방식의 통신이 적합한 종류의 응용에서만 유효하다고 할 수 있다.

한편, Directed Diffusion의 경로 설정 방법은 그대로 유지하면서 내부적인 데이터 통합(aggregation) 기법을 이용하여 불필요한 제어 부하를 줄이는 방법도, Directed Diffusion의 설계/구현 고려 사항의 하나로서, 언급된 바 있다. 즉, 노드가 수신된 데이터를 캐싱하여 이벤트의 방향을 저장하고 있다가, 조건이 부합되는 새로운 관심요청을 이웃노드로부터 수신하면 관심요청 플러딩을 멈추고 소스를 대신하여 탐구데이터를 보내는 방법이다. 이벤트의 값에 기초하여 캐쉬에 저장된 정보를 재활용함으로써 불필요한 관심요청 전달 부하를 줄인다는 점에서 이 방법은 본 논문의 사전 경로설정 방법과 공통점을 갖는다. 그러나 본 논문의 연구는, 데이터 통합의 채택 여부에 관계없이, AnyEvent를 통해 사전에 모든 소스로서의 경로정보를 수집하며 이를 이용해서 관심요청의 통합 및 전송 증단을 적극적으로 수행한다는 점에서 차이를 보인다.

Directed Diffusion의 플러딩 성능을 개선하려는 연구들도 진행되고 있다. 예를 들어, [10]에서는 지리적 정보를 이용하여 노드들을 두 계층으로 구성하여 플러딩을 두 단계로 진행하는 방법을 제안하고 있다. 한편, [11]에서는, 위치 정보에 의존하지 않고, Directed Diffusion 메시지 전달 과정 중에 교환되는 정보를 이용하여 내부적인 클러스터를 구성하는 방법을 제안하고 있다. 두 방법 모두 단계별 플러딩 대상 노드의 수를 줄여서 전체 플러딩 비용을 줄이는 효과를 얻고 있다. 그러나 단계별 플러딩을 위해 Directed Diffusion의 수정이 필요하다는 점에서 본 연구와 차이를 보인다.

최근에는 실시간 트래픽이나 에너지 밸런싱을 지원하지 않는 Directed Diffusion에 특수화된 서비스를 지원하여 전송 지연을 줄이고 네트워크 수명을 늘리는 연구가 제안되었으며[12], Directed Diffusion의 데이터 전송을 위한 경로 선택 시에 잔존 에너지가 많은 노드를 선택하여 에너지 소모를 줄여 네트워크 전체 수명을 연장하고자 하는 연구가 있었다[13]. 또한 Directed Diffusion에 QoS를 도입한 신뢰성 있는 데이터 전달 기법도 제안되었다[14]. 관심요청 전달에 hop-count를 도입하여 경사(Gradient)의 과다 설정을 제한함으로써 성능을 향상하고자 하는 연구도 진행되었다[15]. 이들 연구들이 경로 선택 알고리즘을 수정하거나, 부가 기능을 추가하는 내용을 다루고 있는 반면, 본 연구는 모든 Directed Diffusion 기반 방법들이 공통적으로 의존하고 있는 관심요청 메시지의 전달을 다루면서 그 속에 내재되어 있는 중복성을 제거하는 기법을 제안하고 있다.

3. 사전경로설정(Prefetching) 기법

하나 또는 다수의 싱크가 다양한 이벤트를 원하는 경우, 즉 다른 조건의 관심요청을 차례로 플러딩해야 하는 경우에 여러 번의 플러딩으로 인한 자원낭비 문제가 심각해질 수 있다. 사전경로설정 기법은 어떤 싱크가 사전에 모든 이벤트에 대한 관심요청을 요청하고 그 과정 중에서 노드들이 모든 이벤트로의 경로를 미리 설정해 놓은 후, 이어지는 이벤트 요청에 대한 플러딩 작업에서 미리 설정된 경로 정보를 활용하여 플러딩 비용을 줄일 수 있다는 점에 착안하고 있다.

그림 2의 (a)와 같이 싱크 노드의 요청이 시작되기 전에 임의의 한 노드가 모든 이벤트의 정보를 원하는 관심요청 메시지를 생성하여 전체 네트워크로 브로드캐스트한다. 이때 생성하는 메시지를 AnyEvent 메시지라 부르며, 이 작업을 담당하는 노드는 경로설정자(fetcher)라고 부른다. AnyEvent 메시지를 받은 중간 노드들은 기존의 방식과 동일하게 관심요청 캐시에 저장하고 이전 노드의 방향으로 경사를 설정하면서 메시지를 전달한다.

소스가 AnyEvent를 수신하면 AnyEvent 탐구데이터를 생성하고, 감지한 이벤트의 정보를 실어 (b)와 같이 경사가 설정된 방향으로 전송한다. 중간 노드들은 메시지를 AnyEvent 탐구데이터를 데이터 캐시에 저장해서 이벤트 방향의 경로를 준비해두고, 경사 방향으로 포워딩한다. 따라서 감지된 모든 이벤트로의 정보가 경사를 통해 노드들에게 전달되고 탐구데이터 캐싱에 의해 저장된다.

이제 어떤 싱크가 이벤트를 탐지하기 위해 (c)에서처럼 관심요청을 플러딩하면 중간 노드가 이를 수신하게

된다. 이 노드가 사전 경로설정 작업에 참여해서 이벤트 정보가 이미 캐시에 저장되어 있다면, 더 이상 메시지를 관심요청을 포워드하지 않고 경사 정보만 갱신하며, 그림 (d)와 같이 캐시되어 있던 탐구데이터를 설정된 경사 방향으로 전송한다.

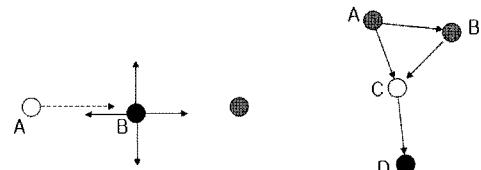
중간 노드들과 싱크가 기존 Directed Diffusion의 수행 절차를 따라 탐구데이터 및 강화 메시지를 각각 전송하면, 그림 (e)와 같이 싱크 노드에서 소스 노드까지의 전송경로가 설정된다. 데이터를 보낼 준비가 모두 끝나면 (f)에서처럼 설정된 전용 경로를 따라 소스는 싱크로 데이터를 전송한다.

그림 2의 예에서 알 수 있듯이 사전경로설정 기법에서는 이벤트 정보를 캐싱하고 있는 노드들에 의해 관심요청 플러딩 도중에 경로를 바로 설정할 수 있다. 그러나 사전 경로설정을 하기 위한 메시지 교환이 필요하고, 관심요청 및 데이터 캐싱 비용이 증대된다. 따라서 사전 경로설정 비용과 관심요청 플러딩 중단을 통한 에너지 절약 간의 트레이드오프를 고려해야 할 것이다.

지금까지 설명한 사전 경로설정 기법의 동작은 단방향 경사를 사용하는 경우를 대상으로 하였다. 그러나 무선 센서 네트워크에서는 무선 신호의 전방향(omni-directional) 전파 특성과 관심요청이 방송(broadcasting)되는 특성 때문에 양방향 경사가 생성된다. 그림 3의 (a)와

같이 노드 A로부터 노드 B로 도착한 관심요청을 B가 다음 노드에게 방송으로 전달하면 이것이 다시 노드 A에게도 도착하게 된다. 즉, 두 노드가 서로 관심요청을 주고받게 된다. 한편, Directed Diffusion의 주요 특징인 장애 처리(Fault Tolerance)를 위해서는 (b)의 노드 C에서처럼 관심요청의 중복 수신은 허용하여야 한다. 따라서 어떤 관심요청이 중복 수신되었을 때, 그것이 자신이 이미 전달한 관심요청이더라도 무시할 수는 없다. 결국, 무선 통신환경에서는 인접한 두 노드 사이에는 양방향으로 경사가 설정된다.

사전경로설정을 양방향 경사에 적용하면, AnyEvent를 플러딩하는 경로설정자의 위치에 관계없이 모든 노드 사이에 AnyEvent에 대한 양방향 경사가 설정되며, 결국, 모든 노드에서 AnyEvent 탐구데이터가 캐싱된다.



(a) 관심요청의 양방향 전달 (b) 노드 C에서의 관심요청의 중복 수신 허용
그림 3 무선 센서 네트워크에서의 양방향 경사 특성

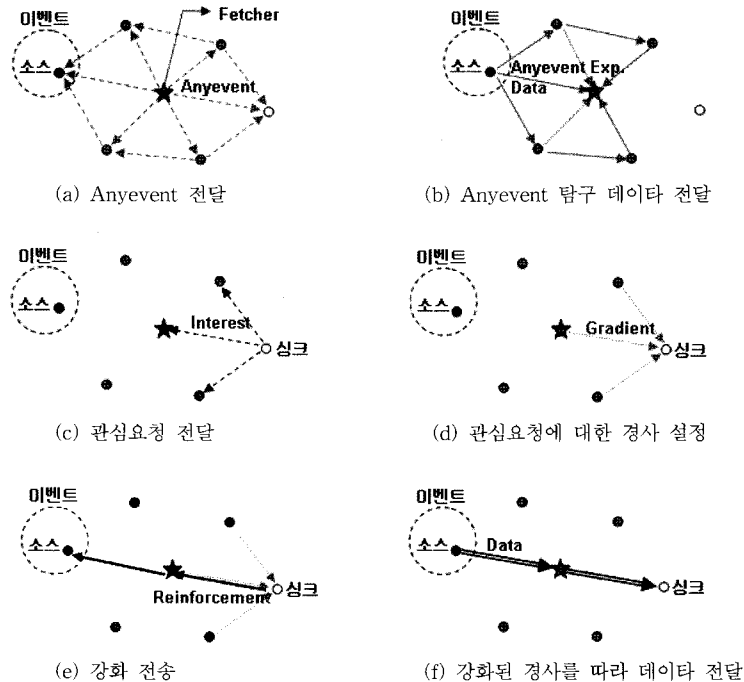


그림 2 사전 경로설정의 동작

따라서 어떤 싱크가 관심요청을 송신하면, 경로설정자가 지 플러딩된 후 경로 발견이 되는 것이 아니라 즉각적인 경로 발견 및 강화 전송이 이루어진다. 단방향 경사와 비교하면, 사전 경로설정 비용이 증가하며, 사전 경로설정의 효과도 역시 증가한다고 요약될 수 있다.

사전경로설정 기법은 기존의 Directed Diffusion에 AnyEvent라는 새로운 이벤트 유형을 추가하고, 각 소스들이 AnyEvent에 대해서도 탐구데이터를 보내도록 확장만 하면 바로 적용이 가능하다. AnyEvent에 대한 관심요청을 발생시키는 경로설정자는 네트워크 구성 단계에서 지정된다.

AnyEvent를 발생시키는 시점, 즉 사전 경로 정보를 생성하는 시점은 원칙적으로 네트워크가 구성되는 초기와 네트워크 구성에 변경이 있을 때이다. 본 연구에서는 네트워크 구성 단계에서 시작해서 주기적으로 AnyEvent를 발생시켜서 네트워크의 변화에 대응하도록 하였다. 주기의 길이는 사전 경로설정 비용과 사전 경로정보의 정확도를 고려하여 결정된다. AnyEvent의 주기를 늘리면 늘릴수록 사전 경로설정 비용을 줄일 수 있지만, 주기 사이에 새롭게 발생하는 이벤트를 놓칠 위험이 있다. AnyEvent의 주기를 Directed Diffusion에서 싱크가 관심요청을 보내는 주기와 같게 한다면, Directed Diffusion과 같은 수준의 탐색 정확도는 유지할 수 있다.

본 연구에서는 AnyEvent를 센서 네트워크에 존재하는 모든 이벤트로 정의하였다. 이와 같은 정의는 개념적으로는 문제가 없으나 실제 응용환경에 적용하기 위해서는 구체적이고 명확한 정의가 필요할 수 있다. 예를 들어, 어떤 지역의 온도를 측정하는 센서 응용에서 서로 다른 모든 온도가 모두 이벤트로 정의된다면, AnyEvent에 대한 응답으로 발생하는 이벤트의 종류는 과도하게 높아질 수 있다. 따라서 싱크의 질의에 부합하는 온도 구간을 기초로 하여 구간 단위로 이벤트를 정의하는 것이 필요하다. 따라서 실제 응용에 알맞는 모든 유효한 이벤트들의 집합이 먼저 정의되고, AnyEvent는 이 전체 집합에 대응하도록 정의되어야 한다.

사전 경로설정 기법의 효과는 미리 투자된 비용을 관심요청 전달 과정에서 얼마나 많이 보상받느냐에 달려 있다고 할 수 있다. 따라서 얼마나 많은 싱크가, 데이터 전송 대비 얼마나 빈번하게 관심요청 플러딩을 하는가가 주요 인자가 될 것이다. 5장의 실험에서 이를 고찰해보기로 한다.

4. 가지치기(Pruning) 기법

플러딩이 갖는 또 다른 잠재적인 문제점은 이벤트가 존재하지 않는 지역으로도 관심요청 메시지를 전송한다는 것이다. 본 논문은 이러한 문제를 해결하기 위해 이

벤트 경로를 캐시에 기억해두었다가 이벤트가 존재하지 않는 방향으로의 관심요청 플러딩을 억제하는 가지치기 기법을 제시한다. 앞에서 설명한 사전 경로설정이 사전 투자를 통해 미리 정보를 수집하고 이를 활용하려는 적극적인 접근 방법을 취한다면, 가지치기 기법은 정보 수집을 위한 별도의 정보 교환 없이 Directed Diffusion 동작 과정 중에 생성되는 정보를 이용하는 소극적인 접근 방법을 취한다. 두 방법 모두 기존의 Directed Diffusion의 체계를 그대로 따르면서, 성능 개선을 목적으로 한다는 점에서는 동일하다.

가지치기 기법의 동작 원리를 간략히 설명하면 다음과 같다. 그림 4의 (a)에서 싱크 1이 관심요청을 플러딩하고 경사가 설정되면 (b)에서 소스는 이 경사를 따라 싱크 1로 탐구데이터를 전달한다(양방향 경사 때문에 싱크1과 다른 방향으로도 전달된다). 이 때 각 노드는 탐구데이터를 보내온 이웃노드를 캐싱하여 싱크의 강화에 대비한다. 이 과정은 Directed Diffusion과 동일하며, 각 노드는 해당 이벤트에 대한 탐구데이터를 보내온 노드들을 기억할 수 있다. 그 이후 (c)처럼 새로운 싱크 2가 생성되어 동일한 관심요청을 플러딩하면, 이 관심요청을 수신한 노드 중에서 (d)와 같이 더 이상 관심요청을 전달할 필요가 없다고 판단되는 노드는 플러딩을 중단한다. 가지치기의 구현에 관한 세부사항은 다음과 같다.

가지치기 조건

개념적으로 볼 때, 가지치기란 어떤 노드에서 필요 없는 방향으로의 전송을 하지 않는 것이다. 그러나 무선 통신의 전방향 전파 특성 때문에 관심요청 메시지를 특정 방향에 대해서만 차단하는 것은 불가능하다. 따라서 가지치기는 필요 없는 관심요청의 브로드캐스팅 전송 자체를 중단하는 것으로 재정의된다. 어떤 노드가 수신된 관심요청의 전달을 중단하고 가지치기를 할 수 있는 조건은 원칙적으로 아래 두 조건을 모두 만족하는 경우이다.

- 1) 해당 관심요청을 이전에 전달한 적이 있다.
- 2) 그러나 탐구 데이터는 도착한 적은 없다.

이 두 조건을 만족한다면 소스의 데이터가 해당 노드를 경유하여 싱크에 전달되는 경우는 없다고 할 수 있으며, 따라서 관심요청의 전달을 중단하더라도 데이터 수집에 전혀 문제가 없다.

그러나 앞에서 언급한 무선 센서 네트워크에서의 양방향 경사 특성 때문에 위의 조건은 약간의 조정이 필요하다. 인접한 두 노드 사이에는 양방향 경사가 생성되므로, 두 노드 중 어느 하나가 탐구데이터를 받게 되면 다른 노드도 탐구데이터를 받게 된다. 결국, 소스와 연결된 모든 노드는, 비록 소스와 싱크 간의 경로 상에 있지 않더라도, 탐구데이터를 받게 된다. 따라서 가지치기

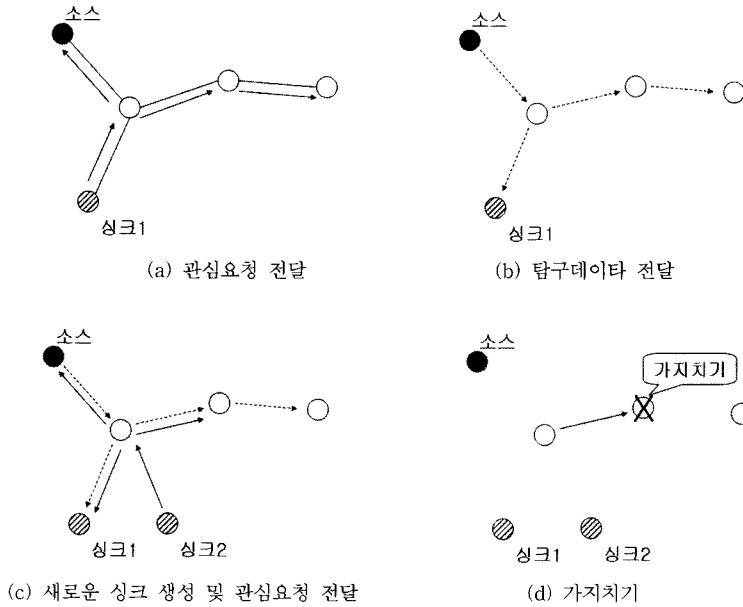


그림 4 양방향 경사의 가지치기

조건이 만족되는 경우는 없게 된다.

본 연구에서는 무선 센서 네트워크에 대해 아래와 같이 조정된 가지치기 조건을 제시한다.

- 1) 해당 관심요청을 이전에 전달한 적이 있다.
- 2) 새로이 관심요청을 보내온 노드 그 자체를 제외하고는 탐구 데이터를 보내온 다른 노드는 없다.

어떤 노드가 관심요청을 수신하면, 이를 송신한 노드로 경사를 설정해서 탐구데이터의 전달에 대비하여야 한다. 이 때 해당 경사로 전달되는 탐구데이터는 다른 노드로부터 수신되는 것만이 의미가 있으며, 경사 방향에서 온 탐구데이터를 다시 전달하는 것은 의미가 없다. 만약, 관심요청을 보내온 노드, 즉, 탐구데이터를 전달 받아야 할 노드를 제외하고 다른 노드로부터 탐구데이터를 받은 적이 없는 노드라면, 이 노드는 탐구데이터의 전달에 있어서 전혀 역할이 없으며, 따라서 관심요청을 풀러딩할 필요가 없는 가지치기 조건에 해당한다고 할 수 있다.

가지치기를 위한 Directed Diffusion 확장

가지치기의 구현은 각각의 노드가 그림 5와 같은 간단한 자료구조를 추가함으로써 가능하다. 자료구조의 관리 원칙은 수신된 각 관심요청에 대해 엔트리를 생성하고, 탐구데이터가 수신되면 송신 노드를 해당 관심요청에 대한 리스트에 추가하는 것이다. 본 연구에서는 이를 HistoryList라 부른다. 가지치기에 대한 의사코드는 그림 6과 같다.

새로운 관심요청이 수신되면 HistoryList에 추가하는

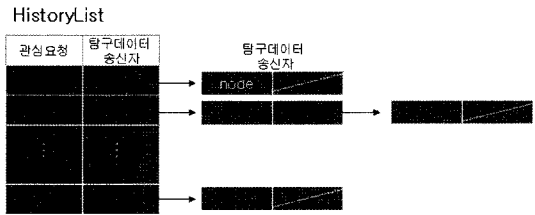


그림 5 가지치기를 위한 History List 구조

```

Forward_or_Prune_Interest(l, fromNode)
{
  for each entry i in HistoryList
  {
    if ( i.name != l.name ) continue;
    // found the Interest in HistoryList
    EDsender = i.list;
    while ( EDsender != NULL )
    {
      if ( EDsender.node != fromNode ) {
        forward; return;
        // another node has sent an exploratory data for l
      }
      else EDsender = EDsender.next;
    }
    prune;
    // no other node than 'fromNode' has sent the exploratory data
  }
  // a new Interest -> forward
  forward;
}
    
```

그림 6 가지치기 조건 검사

것이 원칙이다. 그러나 처음 수신된 관심요청을 바로 추가한다면, 탐구데이터의 수신 여부가 확인되기 전에 도착하는 다음 주기 관심요청들은 가지치기되는 상황이 발생한다. 따라서 새로운 관심요청의 추가는 충분한 관

심요청을 전달한 후에 하는 것이 안전하다. 또한, 새로이 생성되는 소스들을 반영하기 위해서는 HistoryList의 엔트리는 주기적으로 삭제되어 탐구데이터의 수신 여부를 확인하여야 한다.

최적의 추가 및 삭제 시점을 결정하는 것은 관심요청 주기, 네트워크의 크기 및 변동성 등 많은 요소를 고려하여야 할 것이다. 본 연구에서는 간단한 50% 규칙을 적용하였다. 즉, c 개의 관심요청이 수신된 뒤에 Histoty-List에 추가하고, c 번의 가지치기를 수행한 뒤에 삭제를 해서, 50%의 가지치기 효과를 얻도록 하였다. 또한, 탐구데이터가 수신되면 바로 추가하여 효과를 높이도록 하였다. 본 연구의 구현에서는 c 값으로 Directed Diffusion 실험의 관심요청 캐시 만기시간 값에 해당하는 4를 설정하여 실험하였다.

5. 실험 및 평가

앞서 제시한 기법들의 에너지 효율성을 입증하기 위해 NS-2 시뮬레이터를 이용하여 기존의 Directed Diffusion과 실험 결과를 비교하였다. Directed Diffusion의 결과는 NS 배포 판의 DD 모듈을[1,6] 그대로 사용하여 실험하였으며, 사전경로설정과 가지치기의 결과는 DD 모듈에 각각의 기법을 적용한 모듈을 개발하여 실험하였다. 실험에 사용되는 초기 인자 값들은 Directed Diffusion의 실험에서 채택한 환경 값에[1,3] 기초하여 표 1과 같이 설정하였다. 성능 인자로는 기존 실험에서 사용한 평균 전파소모 에너지(Average Dissipated Energy)를 사용하였다.

5.1 사전경로설정 기법의 성능

사전 경로설정 기법의 유효성을 입증하기 위해 Directed Diffusion과 비교하는 실험을 수행하였다. 먼저, 단일 소스와 단일 싱크의 환경에서 기존의 Directed Diffusion과 새로 제안하는 사전 경로설정 기법이 동일한 동작을 보이는 지를 확인하여 실험의 정확성을 검증하

표 1 실험에 사용될 사전 경로설정 기법의 초기 인자 값

매개변수	값
AnyEvent 메시지 크기 (Bytes)	100
관심요청 메시지 크기 (Bytes)	100
이벤트 메시지 크기 (Bytes)	128
이벤트 생성주기 (초)	5
탐구데이터 재전송 주기 (초)	60
관심요청 생성주기 (초)	30
관심요청 만기시간 (초)	120

였다. 경로설정자의 AnyEvent 메시지 전송 주기는 싱크의 관심요청 전송 주기와 동일하게 하였다. 아울러 네트워크의 크기에 의한 영향을 살펴보기 위해, 800×800 (m) 공간의 노드 30개에서부터 2400×2400 공간의 노드 150개까지 변화시켜 가며 각 노드에서의 평균 전파 소모 에너지 (J)를 측정하였다.

두 기법은 소스와 싱크 간에 동일한 동작을 보였으며, 그림 7과 같이 두 기법 모두 각 경우에 대해 거의 유사한 에너지 소모를 나타내었다. 따라서 사전경로설정 기법은 논리적인 면에서 정상으로 동작하며, 네트워크의 크기는 성능 비교에 영향이 없다고 판단하였다. 이어지는 실험에서는 중간 크기에 해당하는 1600×1600 공간에 90개의 노드가 랜덤 토폴로지로 구성되어 있는 네트워크에서 실험한 결과를 비교하기로 한다.

먼저 소스를 한 개로 고정하고 싱크 수를 늘려가며 동일한 이벤트를 요청하는 실험을 하였다. 싱크 수가 많으면 많을수록 AnyEvent에 의해 수집된 정보의 활용할 기회가 늘어나므로, 그림 8과 같이 사전설정 기법은 효과가 증가하게 된다. 실제 동작을 확인한 결과, 싱크가 보낸 관심요청 대부분에 대해 첫 번째 노드에서 탐구데이터를 찾아서 경사 방향으로 보낼 수 있었으며, 더 이상의 관심요청 플러딩을 중단할 수 있었다. 아울러, 관련된 실험에서는 AnyEvent의 전송 주기를 관심요청 전송 주기보다 크게 하여 사전설정의 부하를 줄일 수 있

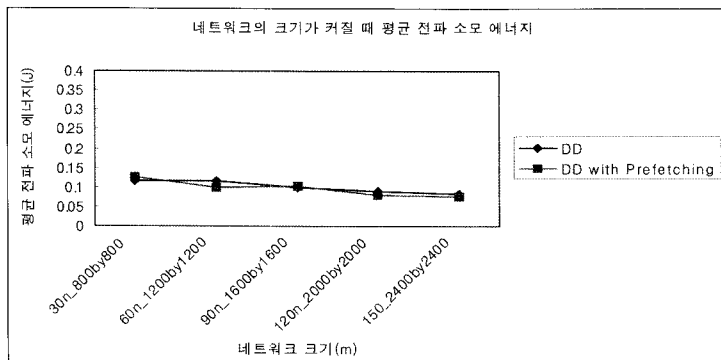


그림 7 싱크와 소스가 하나씩만 존재하는 경우의 결과 비교

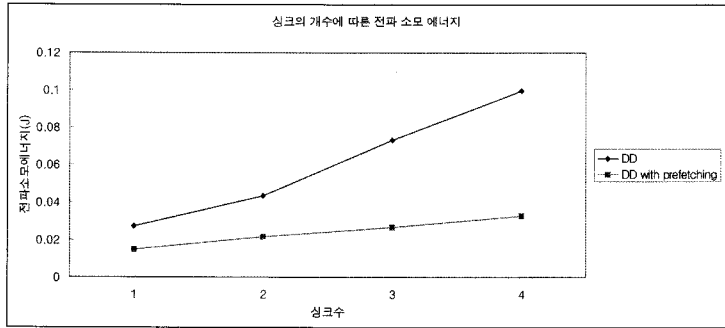


그림 8 싱크 개수에 따른 평균 전파소모 에너지

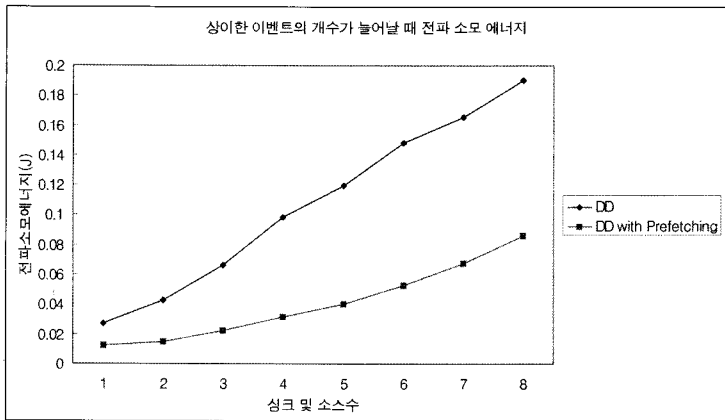


그림 9 상이한 이벤트 요청의 싱크 개수에 따른 평균 전파소모 에너지

음도 확인하였다.

다음으로 각각 상이한 이벤트를 원하는 싱크의 수를 늘려가며 실험하여 사전경로설정 기법의 효과를 확인하였다. 앞의 실험이 캐싱에 의한 데이터 통합의 효과를 확인하는 것이라면, 이 실험은 모든 이벤트에 대한 경로 정보를 수집하는 AnyEvent의 효과를 점검하는 것을 목적으로 한다. 실험 결과는 그림 9와 같다. 사전설정 기법은 일관되게 더 작은 에너지 소모를 보이는 것을 확인할 수 있었다.

끝으로 사전설정 기법이 효과를 보이지 못하는 경우에 대한 실험도 수행하였다. 예상되는 최악의 경우는 사전설정을 위해 많은 비용을 들였음에도 불구하고, 설정된 정보를 활용하지 못하는 경우일 것이다. 따라서 다양한 소스가 존재하여 AnyEvent의 처리 부하는 높으며, 이 중 하나의 이벤트만을 싱크가 요구하여 사전설정의 효과를 최소화하는 네트워크 환경을 설정하고 실험하였다. 서로 다른 소스가 20개 있고, 싱크는 1개만 있는 경우, 사전경로설정 기법은 이를 사용하지 않을 때에 비해 10배나 많은 에너지 소모를 보였다.

이상의 실험 결과들에서 알 수 있듯이 사전경로설정

기법은 이벤트를 원하는 싱크가 많을수록 더 많은 에너지의 절약이 가능하다. 특히 네트워크상에 다양한 이벤트가 존재하고 그 이벤트들이 동적으로 요구되는 환경에서 최대의 효과를 얻을 수 있다. 그러나 메시지 교환을 통해 미리 정보를 수집하므로 실제 소스의 요청이 없어서 활용이 되지 않는 경우는 오히려 더 많은 에너지를 소모할 가능성은 있다.

5.2 가지치기 기법의 성능

가지치기 기법에 관한 첫 번째 실험은 가지치기 동작의 논리적 정확성을 확인하고, 성능 개선의 가능성을 확인하는 것이다. 이를 위해 그림 10과 같이 소스와 싱크가 바로 연결되어 있고 다른 노드들은 반대편에 줄지어 연결되어 있는 극단적인 선형 토폴로지에서 가지치기를 적용하여 보았다. 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 관심 요청을 항상 플러딩하는 Directed Diffusion에 비해 약 50% 정도의 관심요청이 더 이상 전송되지 않는 효과를 확인할 수 있었다.

가지치기 기법은 관심요청과 탐구데이터가 전파되는 방향 정보를 저장해서 불필요한 관심요청의 전송을 차단하여 에너지 절약 효과를 얻는 방법이다. 따라서 가지

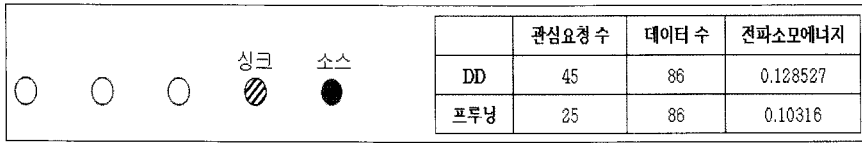


그림 10 가지치기 효과 검증을 위한 실험 토폴로지 및 결과

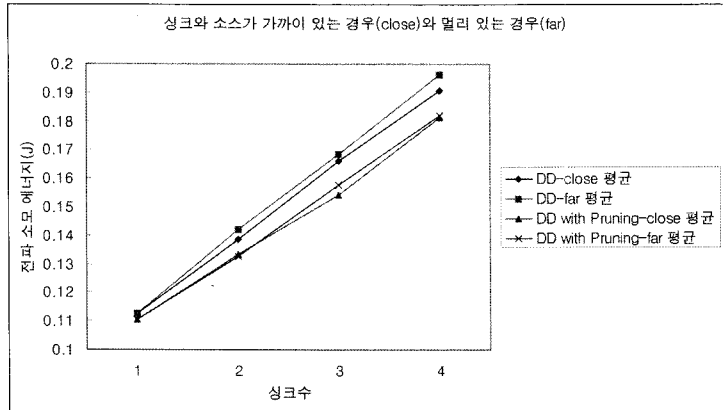


그림 11 싱크 수 및 싱크/소스 분포에 따른 가지치기 효과

치기의 효과는 저장된 정보의 활용성에 영향을 받을 것이며, 이를 확인하기 위해 같은 이벤트에 대한 관심요청을 발생시키는 싱크의 수를 증가시키며 성능을 점검하는 실험을 하였다. 아울러, 네트워크 상에서 소스와 싱크의 분포에 따른 영향도 점검할 필요가 있다. 그림 11은 노드 수가 90개인 네트워크에서 한 개의 소스 위치를 고정시키고 해당 소스로 관심요청을 요청하는 싱크의 수를 증가시켜 가면서 각 노드에서의 평균 전파 소모 에너지를 측정할 실험 결과이다. 이 때, 싱크의 위치를 소스와 가까이 위치시키는 경우와 소스로부터 멀리 떨어뜨려서 위치시키는 경우를 각각 실험하였다.

싱크의 수가 늘어남에 따라 요청되는 관심요청의 수가 증가하게 되며 가지치기의 기회도 높아져 소모 에너지의 차이가 늘어가는 것을 확인할 수 있었다. 같은 수의 싱크의 경우에 대해서 소스와 싱크가 가까이 위치하면, 서로 멀리 위치할 때보다, 데이터 전송에 관여하는 노드의 수가 작아지고 관여하지 않는 노드의 수는 커지며, 따라서 가지치기를 할 수 있는 노드의 수는 커지게 된다. 그림에서 볼 수 있듯이 소스와 싱크가 근접한 경우("-close")가 멀리 떨어져 있는 경우("-far")보다 일관성 있게 좋은 에너지 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

가지치기 기법은 사전경로설정 기법과 달리 AnyEvent와 같은 제어 메시지를 추가로 보내지 않고, Directed Diffusion의 동작 중에 전파되는 관심요청과 탐구데이터를 저장하여 활용하는 기법이다. 따라서, 통신에 소모되는 에너지만을 고려한다면, 어떠한 경우에도

Directed Diffusion보다 에너지 성능이 나빠지는 경우는 없다고 할 수 있다. 물론 HistoryList라는 별도의 저장 공간을 유지 및 관리하는데 에너지 소모가 추가되지만, 통신에 소모되는 에너지와의 상대적 크기를 고려하면 큰 문제가 되지는 않는다고 할 수 있다. 따라서 사전경로설정 기법과 마찬가지로, 가지치기 기법의 실질적 채택 여부는 메모리가 부족한 센서 노드에서 추가되는 저장 공간을 확보할 수 있는가가 중요한 고려 사항이라고 판단된다.

끝으로, 가지치기 기법과 사전경로설정 기법을 병행하는 경우에 대한 실험을 수행하였다. 결과를 분석해보면, 사전경로설정 기법의 적극적인 정보 수집 및 양방향 경사 특성 때문에 싱크의 관심요청 메시지는 모두 첫 노드에서 플러딩이 중단되며, 별도의 가지치기 기회는 생기지 않는 것을 확인하였다. 가지치기는 사전 정보 수집 단계인 AnyEvent 전파에서만 적용될 수 있으나, 현재로서는 AnyEvent의 가지치기는 적용하지 않으므로 사전경로설정을 적용하였을 때와 같은 결과를 보였다.

6. 결론 및 향후 연구

Directed Diffusion은 데이터 중심 전파, 강화 기법의 최적 경로 설정, 데이터 통합 등의 특징을 가지고 있어서 무선 센서 네트워크의 대표적인 라우팅 프로토콜로 인정되고 있다. 그러나 네트워크의 규모가 큰 환경에서는 플러딩 기반 방식의 한계를 드러낼 수 있다. 특히 다수의 싱크 노드와 소스 노드가 존재하고 이벤트의 생성

과 소멸이 빈번한 환경에서는 싱크의 관심요청 플래딩이 에너지 소모의 주원인이 된다.

본 논문이 제안하는 사전 경로설정 기법에서는 경로 설정자라는 노드를 선정하여 이 노드가 AnyEvent라는 관심요청을 플래딩해서 네트워크 상에 존재하는 모든 이벤트로의 경로 정보를 미리 수집해두고, 이후에 싱크 노드들이 관심요청을 전송하면 수집되어 있는 경로 정보를 이용하여 응답하고 더 이상의 플래딩을 중단하여 에너지의 절약이 가능하다. 본 논문은 또한 가지치기 기법을 제안하였다. 각 노드가 Directed Diffusion의 정상적인 동작 과정에 캐싱되는 관심요청과 탐구데이터 정보를 HistoryList에 따로 저장에 두었다가, 탐구데이터는 통과하지 않고 관심요청만 통과한 이벤트에 대한 관심요청이 다시 오면 더 이상의 플래딩을 중단한다.

실험을 통해 사전경로설정과 가지치기 기법이 기존 Directed Diffusion의 에너지 소모를 개선하는 효과를 확인하였다. 사전경로설정은 싱크의 수가 많을수록 높은 에너지 절약 효과를 나타냈으며, 가지치기 기법은 싱크와 소스가 인접해서 존재하는 경우에 그 효과가 더욱 두드러졌다.

그러나 이벤트에 대한 요청이 매우 드물다면, 사전경로설정은 불필요한 정보를 수집하는 결과를 낳게 된다. 또한 두 기법 모두 각 이벤트의 경로 정보를 기억하기 위한 추가 저장 공간이 필요하다. 그러므로 네트워크 구동 상황에 따른 적절한 적용이 필요하며, 추가로 소요되는 저장 공간의 크기와 에너지 절약 효과를 고려한 설계가 요구된다.

본 연구가 진행됨에 따라 몇 가지 보완하여야 할 점이 발견되었으며, 이는 향후 연구로 계속 진행할 예정이다. 첫째, AnyEvent에 대한 구체적 정의와 센서 응용에서의 실제 적용에 관한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 사전경로설정 기법의 동작 효과만을 검증하기 위해 AnyEvent를 센서 네트워크에 존재하는 모든 이벤트로 단순하게 정의하였다. 그러나 이와 같은 정의는 실제 응용환경에서는 모호하거나 지나치게 세분화된 이벤트를 유발할 수 있다. 따라서 실제 응용에 알맞게 모든 유효한 이벤트들의 집합을 정의하고, Directed Diffusion의 이벤트 명명법(naming) 체계 안에 이를 적용하는 연구가 진행될 것이다.

둘째, 각 기법의 효율적 및 안정적인 동작을 위해 최적의 구동 인자 값을 결정하는 문제에 대한 연구가 필요하다. 대표적인 예로서, 사전경로설정 기법의 AnyEvent 배포 주기와 가지치기 기법의 HistoryList 보관 기간은 각 기법의 동작에 매우 중요한 역할을 한다. 에너지 성능만을 고려한다면, 값을 크게 하면 할수록 비용은 줄어들고 효과는 높아진다. 그러나 과거 정보의 유효기간이

그만큼 길어지는 것이므로 변화된 네트워크 상황을 반영하지 못하는 기간이 길어질 수 있다. 따라서 센서 네트워크 응용이 요구하는 안정성 및 정확성 범위 내에서 최대의 에너지 효율을 얻을 수 있는 시스템 구동 인자를 찾아내는 연구를 진행할 계획이다.

참고 문헌

- [1] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, No. 8, pp. 102-114, August 2002.
- [2] J. Al-Karaki, A. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey," *IEEE Wireless Comm.*, vol. 11, pp. 6-28, 2004.
- [3] K. Akkaya, M. Younis, "A Survey of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks," *The Elsevier Ad Hoc Network. Journal*, Vol. 3/3, pp. 325-349, 2005.
- [4] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks," *Proceedings of 6th Annu. ACM/IEEE Int. Conf. Mobile Computing and Networking (Mobicom '2000)*, Boston, MA, pp. 56-67, Aug. 2000.
- [5] C. Intanagonwiwat, D. Estrin, R. Govindan, and J. Heidemann, "Impact of Network Density on Data Aggregation in Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the 22nd International Conference on Distributed Computing Systems*, Vienna, Austria, pp. 414-415, July 2002.
- [6] NS-2 Simulator, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/index.html>
- [7] F. Silva, J. Heidemann, R. Govindan, and D. Estrin, "An Overview of Directed Diffusion," *Technical Report ISI-TR-2004-586*, USC/Information Sciences Institute, January, 2004.
- [8] J. Heidemann, F. Silvia, and D. Estrin, "Matching Data Dissemination Algorithms to Application Requirements," *Proceedings of SenSys'03*, Los Angeles, CA, USA, pp. 218-229, Nov 2003.
- [9] Y. Yu, R. Govindan, D. Estrin, "Geographical and Energy Aware Routing: a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks," *Technical Report UCLA/CSD-TR-01-0023*, UCLA Computer Science Department, May 2001.
- [10] H. Luo, F. Ye, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "TTDD: Two-tier Data Dissemination in Large-scale Sensor Networks," *ACM Mobile Networks and Applications (MONET) Journal*, pp. 148-159, 2003.
- [11] V. Handziski, A. Kopke, H. Karl, C. Frank, and W. Drytkiewicz, "Improving the Energy Efficiency of Directed Diffusion Using Passive Clustering," *Proceedings of the First European Workshop on Wireless Sensor Networks (EWSN 2004)*, pp.

- 172-187, 2004.
- [12] A. Toledo, X. Wang, "Efficient multipath in sensor networks using diffusion and network coding," 40th Annual Conference on Information Sciences and Systems, Princeton University, NJ, USA, March 22-24 2006.
 - [13] 황인규, 이재용, 김병철, "센서 네트워크를 위한 최대 잔류 에너지 제한 Directed Diffusion 라우팅 알고리즘의 설계 및 성능 분석", 한국통신학회 논문지 제30권 11A호, pp. 995-1003, 2005.
 - [14] 김시환, 한윤중, 김성호, "향상된 성능을 갖는 Directed Diffusion 알고리즘 개발", Proc. of KFIS Autumn Conference 2005, 15(2), pp. 858-863, 2005.
 - [15] 최재원, 이광휘, "무선 센서 네트워크에서 Directed Diffusion을 이용한 신뢰성 있는 데이터 전달 기법", 전자공학회논문지, 제42권 제8호, pp. 77-83, 2006.

김 성 훈



1990년 연세대학교 컴퓨터과학과 졸업
 1992년 연세대학교 컴퓨터과학과 석사
 2003년 중앙대학교 컴퓨터공학과 박사
 수료. 현재 한국정보보호진흥원 기술정책
 팀장. 관심분야는 컴퓨터통신, 센서네트
 워크, 정보보호

이 상 목



2005년 2월 중앙대학교 컴퓨터공학과 학
 사졸업. 2007년 2월 중앙대학교 컴퓨터
 공학과 석사졸업. 현재 디지털스트림테크
 놀로지 연구원. 관심분야는 센서네트워
 크, 센서 라우팅

양 현



2006년 2월 중앙대학교 컴퓨터공학과 학
 사졸업. 2006년 3월~현재 중앙대학교
 컴퓨터공학과 석사과정. 관심분야는 센서
 네트워크, 신뢰성 있는 멀티캐스팅

박 창 운



1984년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업
 1986년 서울대학교 컴퓨터공학과 석사
 1992년 워싱턴 주립대학 전산학 박사. 현
 재 중앙대학교 컴퓨터공학부 교수. 관심
 분야는 컴퓨터통신, 센서네트워크, 실시
 간시스템, 정보보호