

분산 센서 네트워크에서 모바일 에이전트를 이용한

효율적인 데이터 수집

최신일^o 문석재 엄영현 국윤규 정계동 최영근
광운대학교 컴퓨터 과학과

{karlsen^o, msj1568, yheum, ykkook, gdjung, ygchoi}@cs.kw.ac.kr

An Efficient Data Aggregation

using Mobile Agent in Distributed Sensor Network

Shinil Choi^o S.J. Moon Y.H. Eom Y.K. Kook G.D. Jung Y.G. Choi
Department of Computer Science, Kwangwoon University

요 약

분산 센서 네트워크에 대한 연구는 정보 융합 방법론상에서 활발히 진행되고 있다. 기존의 센서 네트워크에서 정보의 융합을 위한 데이터의 수집은 센서 노드가 싱크 노드로 수집된 데이터를 전송함으로써 이루어지며 싱크 노드로 수집된 데이터는 어플리케이션에 의해 활용된다. 이때 여러 센서 노드가 어플리케이션에 필요한 데이터를 중복적으로 수집할 경우 중복된 데이터를 싱크노드로 전송하는데 있어 불필요한 에너지를 소모하게 된다. 이는 결국 전체적인 센서 네트워크의 수명을 감소시키는 원인이 된다. 이러한 문제는 어플리케이션에 따라 요구하는 데이터만을 선택적으로 수집함으로써 해결할 수 있다. 이러한 과정을 수행하기 위해 각 센서 노드가 어플리케이션의 요구사항에 맞도록 데이터 중복성에 대한 처리과정을 수반해야한다. 그러나 일반적으로 센서 노드는 자원이 한정되어 있기 때문에 다양한 어플리케이션의 요구에 따른 중복성 처리 프로세스를 모두 가지고 있을 수는 없다. 따라서 모바일 에이전트를 활용하여 데이터의 중복성 문제를 해결할 수 있다. 또한 센서 네트워크에서 고려되는 에너지 효율, 네트워크 대역폭 문제를 해결할 수 있으며 시스템 확장성이 용이하다.

1. 서 론

분산 센서 네트워크에 대한 연구는 정보 융합 방법론상에서 강조되며 활발히 진행되고 있다[1][2]. 센서, 네트워크, 컴퓨팅 부분에서의 개발은 저렴하며 소형인 센서를 통하여 양질의 정보를 얻을 수 있도록 하였다. 광범위하고 기반 구조가 없는 영역에서 무선 네트워크는 센서 간의 통신을 지원하며 보통 이러한 센서들은 제한된 자원과 전원 그리고 대역폭을 가진다. 이렇게 제한된 상황에서 센서들 간의 통신이 필요하며 센서들은 자신이 수집한 센서 데이터를 필요로 하는 장소에 효율적으로 전송을 해야만 한다. 그리고 이렇게 수집된 데이터는 어플리케이션에 의해 활용된다. 그러므로 어플리케이션에 의해 요구되는 정보만을 수집하게 되면 필요 없는 네트워크 대역폭의 소비나 센서 노드의 에너지 소비를 절약할 수 있다. 또한 기존의 분산 센서 네트워크의 데이터 수집은 각각의 센서 노드와 싱크 노드의 통신을 통해 이루어졌다. 그러나 센서 노드는 지리적으로 근접해 있을 경우 같은 정보의 데이터를 수집할 수 있다. 기존의 센서 네트워크는 이러한 경우 중복되는 데이터의 수집을 하기 때문에 센서의 부족한 전원이나 네트워크 자원을 소비함으로써 센서 네트워크의 수명을 단축시키게 된다.

이러한 문제를 위해 모바일 에이전트 기반의 분산 센서 네트워크가 제안되었다(MADSN: Mobile Agent based Distributed Sensor Network)[3]. 모바일 에이전트는 센서 노드를 선택적으로 이주하며 원하는 적절한 데이터만을 수집할 수 있다. 이러한 모바일 에이전트는 싱크 노드로부터 전송되어 원격의 노드에서 수행될 수 있는 특수한 프로그램으로 원격 노드에 전송된 후에, 인증을 하고, 원격 노드의 서비스에 접근하여 원하는 정보를 수집하고 수집된 결과를 가지고 다른 노드 혹은 소스 노드로 이주할 수 있으며 기존의 분산 센서 네트워크(DSN:Distributed Sensor Network)에서 보다 MADSN에서 더 나은 성능을 보이는 조건들이 분석되었다[3].

모바일 에이전트가 각각의 센서 노드에 방문하여 데이터를 수집할 경우 위에서 언급한 데이터 중복에 대해 고려해야 할 점이 있다. 하나의 센서 노드는 여러 개의 센서 기기를 가지고 있다. 예를 들어 공장에서 사람, 자재, 장비 등의 위치, 진동정도 그리고 소음 레벨을 파악하는데 무선 센서 네트워크를 사용한다고 하자. 이때 하나의 센서는 사람, 자재, 장비 등의 위치감지, 진동 감지, 소음 감지 등을 할 수 있다. 이러한 상황에서 어떠한 어플리케이션은 자재의 위치정보만을 수집할 필요가 있을 것이다. 이 때 모바일 에이전트가 어떤 데이터를 필요로 하는지 어떠한 데이터를 필요로 하지 않는지를 판단하여 필요한 정보만을 수집할 수 있다면, 네트워크의 지연성이나 대역폭 문제를 향상시킬 수 있을 것이다. 게다가

센서 노드는 제한된 자원을 가지고 있으므로 어플리케이션에 따른 처리과정을 미리 가지고 있을 수 없다. 그러므로 모바일 에이전트를 이용하여 어플리케이션에서 필요한 처리 코드를 동적으로 수행할 수 있는 장점이 있다. 또한 센서 필드에는 무수히 많은 센서 노드들이 배치되어 있는데 지리적 위치의 근접성으로 인해 여러 개의 센서 노드들이 같은 센서 데이터를 수집하는 경우가 있다. 이러한 경우에 중복되는 데이터의 수집은 네트워크 자원의 낭비로 이어지므로 전체적인 센서 네트워크의 수명을 단축시키게 된다. 이러한 문제점들은 센서 네트워크에서 데이터의 수집 시 반드시 고려되어야만 한다.

이에 본 논문에서는 모바일 에이전트를 이용하여 어플리케이션 중복성 문제를 해결하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2절에서는 이러한 문제들을 해결하기 위한 기존의 연구들에 대해 살펴보고, 3절에서는 센서 네트워크의 환경 분석 및 해결방안에 대해 논한다. 4절에서는 시뮬레이션을 통해 검증하며 5절에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

2.1 분산 센서 네트워크와 MADSN

기존의 일반적인 분산 센서 네트워크에서의 센서 데이터들은 개개의 센서들에 의해 수집이 되며 데이터 융합을 위해 수집된 많은 양의 센서 데이터들은 네트워크를 통해 싱크노드로 전송된다. 이것은 그림 1-(a)에서처럼 서버와 클라이언트의 전형적인 형태(DSN)와 같다. 본 논문에서는 새로운 컴퓨팅 패러다임인 모바일 에이전트 분산 센서 네트워크(MADSN)를 채택하였다[5]. MADSN에서의 데이터는 기존의 DSN와 다르게 센서 노드 자체에 남아있고, 그 대신에 모바일 에이전트가 데이터가 있는 위치로 이주를 하게 된다. 이러한 특성으로 인해 다음과 같은 장점을 가지게 된다.

- 필요한 네트워크 대역폭의 감소: 많은 양의 데이터들이 전송되는 것보다 모바일 에이전트가 이주하여 필요한 데이터만을 전송함으로써 가능하다.
- 확장성: 모바일 에이전트가 어플리케이션의 목적에 맞는 작업 프로세스를 가지고 이주를 하기 때문에 센서 네트워크 시스템의 활용도를 넓힐 수 있다.
- 안정성: 모바일 에이전트는 네트워크가 연결이 되었을 때 이주하며, 센서 노드에서의 서비스를 수행할 때는 네트워크의 연결을 필요로 하지 않는다. 그리고 다시 네트워크가 연결되었을 때 결과를 가지고 돌아온다.

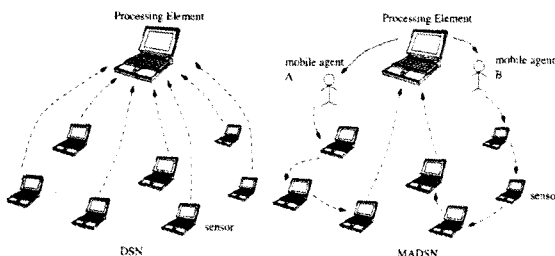


그림 1 DSN과 MADSN의 비교

2.2 분산 센서 네트워크에서의 데이터 수집 기법

데이터 수집은 센서 네트워크에서 필수적인 패러다임으로써 자리잡고 있다[8][9]. 데이터 수집은 소스 데이터를 결합하는 것이다. 이는 중복성을 제거하거나 전송 횟수를 감소함으로써 이루어진다. 이것은 곧 에너지의 절약으로 이어진다. 이 패러다임은 네트워크를 위한 전통적인 주소 중심 접근법을 데이터 중심적인 접근법으로의 변화를 가져왔다. 이러한 데이터 수집 스키마로는 다음과 같은 것들이 있다[10].

- 가장 가까운 소스에서의 중심(CNS: Center at Nearest Source): 모든 소스는 싱크 노드와 가장 가까운 소스로 데이터를 직접 전송한다. 그리고 그 소스는 수집된 정보를 싱크 노드로 보낸다.
- 가장 짧은 경로 트리(SPT: Shortest Paths Tree): 각 소스는 자신의 정보를 자신과 싱크노드 사이의 가장 짧은 경로를 통하여 싱크노드로 보낸다. 그리고 중복되는 경로들은 수집 트리를 형성하기 위해 결합된다.
- 탐욕적이며 점증적인 트리(Greedy Incremental Tree): 이것은 순차적인 스키마이다. 먼저 수집 트리는 싱크 노드와 가장 가까운 소스 사이에 가장 짧은 경로만으로 이루어진다. 각 단계에서 현재 트리에 가장 가까운 다음 소스가 트리에 연결된다.

데이터의 수집은 가까이 위치한 소스들을 클러스터하거나 임의적으로 배치하더라도 상당한 에너지를 절약할 수 있다. 이러한 에너지의 절약은 소스의 수가 많거나 각 소스들이 싱크노드와 비교적 가까이 위치했을 때 더욱 극대화된다. 그러나 데이터 수집으로 인한 지연시간은 무시할 수 없으며 아키텍처의 설계 단계에서 고려되어야만 한다[10].

3. 어플리케이션 중복성을 고려한 데이터 수집

센서 데이터의 수집을 위해 고려해야 할 요소들에 대해 기술하며 그러한 요소들을 해결하기 위한 MADSN을 설계한다. 그리고 모바일 에이전트를 이용한 데이터의 효율적인 수집 알고리즘에 대하여 기술한다.

3.1 센서 데이터 수집을 위해 고려해야 할 요소

센서 데이터 수집시 고려해야 할 점으로는 센서 노드 자체의 제약, 데이터의 중복성, 소스와 싱크노드와의 통신에 대한 문제가 있다. 먼저 센서 노드의 제약을 보면, 무선 센서 노드는 외부 전전지를 사용함으로써 이용시간에 제약이 있다. 또한 센서 노드의 하드웨어적인 특성상 메모리와 프로세싱능력이 제한된다. 그러므로 센서 데이터를 수집할 때 반드시 노드의 상태를 고려해야 한다. 두번째로 데이터의 중복성 문제가 있다. 센서 노드는 센서 필드에 임의로 배치된다. 이때 여러 센서 노드가 같은 현상의 데이터를 동시에 수집을 할 수 있는데 이러한 같은 데이터들 싱크 노드와 여러 번 주고 받는데 있어 첫번째 언급한 센서 노드의 이용시간이 감소할 수 있으므로 문제가 된다. 그리고 하나의 센서 노드는 여러 개의 센싱 기기를 장착하고 있다. 이때 하나의 노드에서 수집되는 여러 종류의 센서 데이터는 어플리케이션에 의해 사용된다. 그러나 어플리케이션은 언제나 센싱되는 모든 데이

터요 요구하지는 않는다. 이에 모바일 에이전트는 어플리케이션의 요구사항에 따라 선택적으로 데이터를 수집할 수 있어야만 한다. 이러한 문제를 [6]에서는 어플리케이션 중복성 문제라고 정의하였다. 이미지 데이터를 센싱하는 센서 기기의 경우 많은 부분 필요 없는 데이터를 가지고 있을 수 있는데 이때 모바일 에이전트가 센싱된 데이터에서 필요 없는 부분을 제거할 수 있는 코드를 가지고 이동하여 사용에 필요한 데이터만을 부분적으로 수집할 수 있다. 또한 전형적인 센서 네트워크에서 여러 개의 작은 양의 데이터를 여러 번 전송했다. 하지만 이것을 길지만 하나의 데이터로 통합하여 보내게 되면 통신을 하는데 있어 에너지를 절약하는데 영향을 준다. 그러나 이것은 기존의 방법보다 데이터를 수집하기 시작해서 그 작업을 마치는데 까지 지연시간이 오래 걸린다. 이에 따른 여러 개의 모바일 에이전트를 사용하는 방법을 고려해야 한다. 본 논문에서는 어플리케이션 중복성 문제와 통신 오버헤드 문제를 고려하였다.

3.2. 어플리케이션 중복성 문제를 고려한 모바일 에이전트 기반의 분산 센서 네트워크

어플리케이션 중복성 문제를 해결하기 위해 그림 2와 같이 아키텍처를 설계하였다.

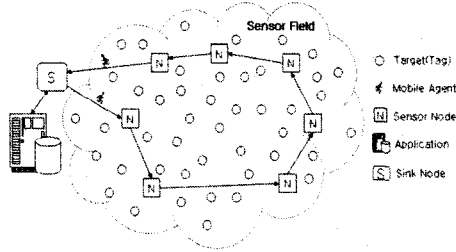


그림 2. MA기반의 DSN 구조

먼저 어플리케이션은 수집하고자 하는 센서 데이터에 대한 요구사항을 작성하여 싱크 노드에 요청한다. 싱크 노드는 어플리케이션의 요구사항을 분석하여 정보를 수집해야 할 노드들을 선별하고 선별된 노드들에 모바일 에이전트를 이주시켜 데이터 수집을 수행한다. 모바일 에이전트가 첫 번째 센서 노드에 도착한 후, 어플리케이션의 요구사항과 센서 노드가 수집한 데이터를 비교하여 요구사항과 부합되는 데이터를 수집한다. 모든 선별된 센서 노드들에 도착하여 이와 같은 과정을 반복하면서 어플리케이션이 원하는 데이터만을 선택적으로 수집한다. 이러한 과정에서 모바일 에이전트는 각 센서 노드의 데이터를 취합하면서 이주함으로써 통신 오버헤드를 줄일 수 있다. 하지만 위에서 언급한 지연시간에 대한 문제는 본 논문에서는 배제하였다.

3.3. 모바일 에이전트 구조 및 데이터 구조

3.2 절에서 설명한 센서 데이터 수집을 위해 고려해야 할 요소들을 해결하기 위해 그림 3과 같이 모바일 에이전트 구조를 설계하였다.

sink_id와 ma_id는 모바일 에이전트가 각 노드에 방문

하여 데이터를 수집할 때, 자신이 어느 싱크 노드로부터 왔는가, 또한 어떤 일을 하는 에이전트인가에 대해 센서 노드에서 검증할 때 사용한다.

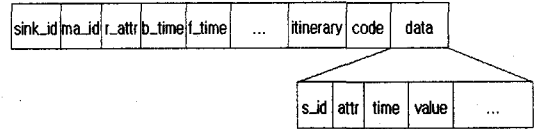


그림 3. 모바일 에이전트 패킷 구조

r_attr은 어플리케이션에서 필요로 하는 속성에 대한 정보를 수반하며 b_time과 f_time은 수집하고자 하는 데이터가 수집된 시기를 나타내는 속성이다. 다시 말하면, r_attr이 b_time과 f_time 사이에 센싱된 데이터를 수집하고자 함을 나타낸다. Itinerary는 모바일 에이전트가 싱크 노드로부터 센서 필드로 데이터 수집을 위해 보내지기 이전에 만들어진다.

싱크 노드는 기본적으로 센싱 대상 지역에 존재하는 모든 센서 노드에 대한 정보를 가지고 있어야 하며 이를 바탕으로 적절한 라우트 알고리즘을 이용하여 모바일 에이전트의 이주 경로를 결정한다. 라우트 알고리즘에 대해서는 본 논문에서 논할 대상이 아니므로 생략하였다.

싱크 노드는 미리 계산된 이주 경로를 바탕으로 모바일 에이전트를 센서 필드로 보낸다. 모바일 에이전트는 센서 노드를 돌아다니며 데이터 수집을 수행한다. 모바일 에이전트 코드 필드는 각 센서 노드를 방문하여 수행할 수집 알고리즘을 포함한다.

어플리케이션 중복성을 고려한 선택적 데이터 수집 알고리즘은 다음절에서 설명할 것이다. 각 센서 노드를 방문하며 수집되는 정보는 data 필드에 누적되어 저장된다. s_id는 데이터가 수집된 센서 노드를 의미하며, attr과 time은 수집되는 데이터의 속성, 센싱된 시간을 의미하고 value는 센싱된 데이터의 실제 값을 뜻한다.

3.4. 선택적 데이터 수집 알고리즘

표 1은 수집 알고리즘에 사용되는 기호이다.

표 1. 기호

r_attr _x	어플리케이션 요구 속성
b_time, f_time	센싱된 데이터의 요구 시간 속성
s _x _id	센서 노드 ID (x > 0, 0은 싱크 노드)
attr _y	센서 데이터 속성 (y ≥ 0)
attr _t	시간 t에서의 데이터 속성
time	센싱된 데이터가 측정된 시간
D	모든 속성 집합
S	모든 센서 노드 집합
value	센싱된 데이터의 값

모바일 에이전트는 어플리케이션의 중복성을 해결하기 위해 그림 4와 같은 선택적 데이터 수집 알고리즘을 수행한다. 모바일 에이전트가 각각의 센서 노드를 방문하면서 센싱된 데이터의 속성, 감지된 시간, 속성 값을 어

플리케이션의 요구사항과 비교한다. 만약 비교하는 속성 값이 같은 데이터가 존재할 경우 요구사항에 표현된 시간 범위 내에 수집된 데이터의 시간이 포함되는지 비교한다. 만약 센싱된 시간이 요구사항의 시간 범위 내에 포함된다면 그 데이터 값은 이전 노드에서 수집된 데이터와 같은 데이터로 간주하고 데이터 수집 대상에서 제외한다. 만약에 이전 노드에서 수집된 데이터가 아니라면 모바일 에이전트의 데이터 부분에 추가시킨다. 이러한 과정을 방문하는 모든 센서 노드 내에서 수행함으로써 어플리케이션의 중복성을 해결하게 된다.

```

ELIMINATE APPLICATION REDUNDANCY
FOR x=1 to s DO
  FOR y=0 to r DO
    IF b_time < time < f_time && r_attr=attr, THEN
      Collect attr, in s_id at time t
      Add(s_id, attr, time, value)
    ELSE
      s_id.attr = s_id.attr, && s_id.attr.time=s_id.attr.time
      && s_id.attr.time.value=s_id.attr.time.value
      THEN Skip Add(s_id, attr, time, value)
    FI
  DONE
DONE
    
```

그림 4. 선택적 데이터 수집 알고리즘

4. 시뮬레이션

4.1 환경설정 및 방법론

3장에서 제안한 데이터 수집 알고리즘을 평가하기 위한 시뮬레이션 도구로는 OPNET을 사용하였다. 시뮬레이션을 통하여 제안하는 알고리즘(EAR: Eliminate Application Redundancy)을 분석하였다. USN의 구성은 정사각형의 좌표공간에 N개의 센서 노드로 구성되는 것을 가정하고 노드의 이동성은 고려하지 않았으며 각 노드는 임의의 방법에 의하여 자신의 위치 정보를 취득하고 있는 것으로 가정하였다. 실험 과정에서 주목할 점은 노드의 에너지 소비 정도와 알고리즘에 의한 데이터 중복성 해결 정도이다. 표 2는 시뮬레이션 환경 설정에 필요한 설정 값을 나타낸다.

표 2. 시뮬레이션 설정 값

실험 파라미터		값
토목로지	네트워크 크기	100m X 100m
	센서 노드 수	30개
	센서 배치	랜덤
에너지 모델	초기에너지 (W)	4500 W
	송신 전력($tran_p$)	17 mW/bytes
	수신 전력($recv_p$)	19.7 mW/bytes
	계산 전력($proc_p$)	12 mW/bytes
MA 스펙	평균 프로세싱 시간($proc_{time}$)	30msec/bytes
	평균 센싱된 데이터의 크기($data_{size}$)	2bytes
	MA 코드의 크기(MA_{size})	43bytes

시뮬레이션을 위하여 기본적인 토폴로지 설정은 100m X 100m 공간에 30개의 센서 노드들을 배치하였다. 시뮬레이션에서 사용된 에너지 이용 모델은 송신, 수신 그리고 프로세싱이 발생할 때 발생하는 에너지만을 고려하였다. 노드의 초기 에너지는 시뮬레이션 동안 고갈 노드가 발생하지 않도록 초기 값 4500W로 실험하였다.

4.2 성능평가

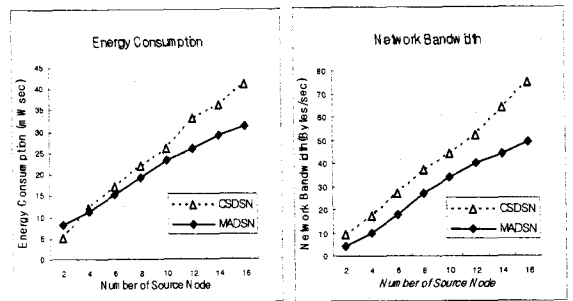
성능 평가 요소로는 에너지 소비, 네트워크 대역폭, 전체 네트워크 라이프 타임, 싱크노드로의 결과 수집시간을 측정하였으며, 성능평가를 위해 DSN과 비교하였다.

먼저 다음의 수식 (1)에서 표현하고 있는 에너지 소비량(그림 5-a)은 전체 네트워크에 참여하는 노드들이 얼마만큼의 에너지를 소비하는가를 측정하기 위해 송신, 수신, 프로세싱 수행 시 사용되는 전력을 고려하여 에너지 소비를 측정하였다. 첫 번째 노드에서는 중복되는 데이터가 없으므로 어플리케이션에서 원하는 데이터만을 수집하면 된다. 그리고 두 번째 노드에서부터 선택적 데이터 수집 알고리즘을 수행하기 시작하면서 중복된 데이터를 수집대상에서 제거한다. 중복된 데이터의 감소율은 d 로 나타내었으며 $energy(mW \cdot sec)$ 는 노드 n 까지의 에너지 소비의 총합을 나타낸다.

$$energy = \sum_{i=1}^n (tran_p + recv_p) \times (MA_{size} + data_{size} \times d) + proc_p \times data_{size} \times d \times proc_{time} \quad (1)$$

두 번째로 End to End delay(그림 5-b)를 측정하였다. 이것은 첫 번째 싱크노드가 모바일 에이전트를 첫 번째 센서 노드에 보낸 후부터 원하는 데이터를 모두 수집하여 싱크노드로 오기까지의 시간이다. 평균 end-to-end 딜레이는 데이터의 양에 따라 노드 n 까지의 프로세싱 시간과 전송시간의 합으로 표현된다. 기존의 패러다임과는 다르게 모바일 에이전트는 센서 노드로 이주하여 프로세싱 코드를 초기화하고 수행하는 시간이 추가된다. 프로세싱 시간은 데이터의 크기와 비례적인 관계에 있으며 데이터의 감소율은 프로세싱 시간에 영향을 미친다. 다음 식 (2)는 End to End delay(msec)를 나타낸다.

$$end-to-end-delay = \sum_{i=1}^n (proc_{time}^i \times data_{size}^i \times d) + tran_{time}^i \quad (2)$$

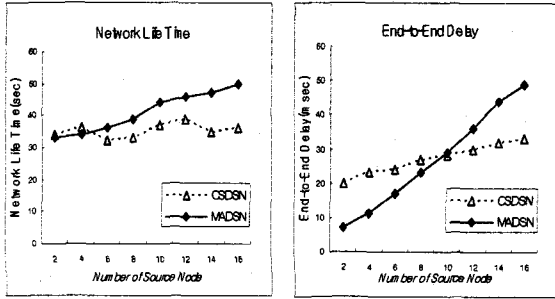


(a) 에너지 소비량

(b) 네트워크 대역폭

그림 5. 성능 평가

네트워크 대역폭(Bytes/sec)(그림 6-a)은 데이터를 수집 하는데 어느 정도의 대역폭을 소비하는가를 나타내었고, 네트워크 라이프 타임(sec)(그림 6-b)은 센서 노드들이 참여하는 센서 네트워크의 전체 수명이 얼마나 지속되는 지를 측정하였다.



(a) 네트워크 라이프 타임 (b) 싱크노드로의 결과 수집시간

그림 6. 성능 평가

에너지 소비량의 측정 시 MA를 사용할 경우 데이터 수집을 위한 처리 작업을 필요로 하기 때문에 DSN보다 성능이 저하되었지만, 소스 노드의 수가 증가하면서 데이터 중복성을 해결하기 때문에 전체적인 에너지의 소비량이 감소되었다. 네트워크 대역폭의 경우 DSN은 모든 소스 노드가 자신이 수집한 데이터를 모두 싱크 노드로 전송해야 하기 때문에 소스 노드의 수가 증가할수록 대역폭의 소비가 비례적으로 증가하였지만, MADS의 경우 중복성을 해결하기 때문에 대역폭의 소비는 감소하였다. 또한 네트워크의 라이프 타임은 에너지 소비량과 대역폭의 감소로 인해 DSN보다 오래 지속되었다. 그러나 싱크노드로의 결과 수집시간은 모바일 에이전트가 소스 노드를 하나씩 방문하며 수집하기 때문에 소스 노드가 일정 수 이상이 되면 DSN보다 더 긴 시간이 소요되었다.

5. 결론

본 논문에서는 센서 네트워크에서 센싱된 데이터의 수집 위해 모바일 에이전트를 사용하였다. 데이터의 수집 시 고려해야 할 노드의 데이터의 중복성 문제에 따른 요소들에 대해 기술했으며 데이터 중복성 문제 중에 하나인 어플리케이션 중복성 문제를 고려하였다. 이에 MADS에 제안하는 알고리즘을 적용한 결과 에너지 소비량, 네트워크 대역폭, 전체 센서 네트워크의 라이프 타임을 향상시켰다. 향후연구로는 나머지 두 가지 데이터 중복성을 모두 고려한 데이터 수집에 대한 연구와 싱크 노드로의 데이터 수집시간의 향상을 위한 연구가 요구된다.

참고문헌

[1] A.K. Hyder, E. Shahbazian, and E. Waltz, Multisensor Fusion. Kluwer Academic, 2002.
 [2] D.N. Jayasimha and S.S. Iyengar, "Information Integration and Synchronization in Distributed Sensor Networks," IEEE Trans. Systems, Man, and

Cybernetics, vol. 21, no. 5, pp. 1032-1043, Sept./Oct. 1991.
 [3] H. Qi, S.S. Iyengar, and K. Chakrabarty, "Multi-Resolution Data Integration Using Mobile Agents in Distributed Sensor Networks," IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics Part C: Applications and Rev., vol. 31, no. 3, pp. 383-391, Aug. 2001.
 [4] Wu, Q., Rao, N.S.V., Barhen, J., etc. "On computing mobile agent routes for data fusion in distributed sensor networks", IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, , Vol.16 , NO. 6 , pp. 740 - 753, June 2004
 [5] Hairong Qi, F. Wang, "Optimal Itinerary Analysis for MobileAgents in Ad Hoc Wireless Sensor Networks," The 13th International Conference on Wireless Communications, vol. 1, pp.147-153. Calgary, Canada, July, 2001.
 [6] Min Chen, Taekyoung Kwon, and Yanghee Choi, "Data Dissemination based on Mobile Agent in Wireless Sensor Networks," in Proc. IEEE LCN 2005, pp.527-529, Nov. 2005.
 [7] L.M. Feeney and M. Nilsson, "Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment," in Proc. of IEEE INFOCOM'01, pp.1548-1557, April 2001.
 [8] J. Heidemann *et al.*, "Building Efficient Wireless Sensor Networks with Low-Level Naming," 18th ACM Symposium on Operating Systems Principles, October 21-24, 2001.
 [9] C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D. Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks,"MobiCom 2000.
 [10] Bhaskar Krishnamachari, Deborah Estrin, and Stephen Wicker. Impact of data aggregation in wireless sensor networks. In International Workshop on Distributed Event-Based Systems, Vienna, Austria, July 2002.