

바이오 애드 혹 네트워크를 이용한 재난 조기 경보

시스템 설계 및 분석

이동은^o 이구연

강원대학교 컴퓨터정보통신공학과
{del4u^o, leegyeon}@kangwon.ac.kr

Design and Analysis of Fire Detection and Alarm System

using Bio-adhoc Network

Dong Eun Lee^o Goo Yeon Lee

School of Computer and Communications Engineering
Kangwon National University

요 약

인프라가 필요 없는 특성을 갖고 있어 임시 구성용 네트워크나 군사용 망에서 많이 개발되어온 애드 혹 네트워크는 산악과 같은 고립된 지역에 설치하여 산불과 같은 재난의 조기 경보 시스템에 이용한다면 효과적이다. 그러나 넓은 산악지역을 모두 커버할 수 있는 애드 혹 노드들을 설치 운영하는 것은 경제적으로 불가능하다. 또한 인포스테이션은 전송지연에 민감하지 않는 정보들을 적은 비용으로 효율적으로 전송할 수 있는 시스템이다. 우리는 본 논문에서 동물들에 애드 혹 노드들을 탑재한 이동 애드 혹 네트워크와 인포스테이션을 결합하여 화재와 같은 재난에 조기 대처할 수 있는 재난 조기 경보 시스템을 제안한다. 동물들의 이동성이 노드들간의 연결성을 향상시키므로써, 합리적인 수의 동물 노드로서 원하는 조기 경보의 효과를 만들어 낼 수 있다. 우리는 또한 제안된 시스템의 성능을 수식으로 분석하여 이를 시뮬레이션과 비교해 보았고, 실제 시스템 구축시 필요한 비용을 분석해 보았다. 이는 시스템 구축 시 필요한 파라미터를 제공할 것이다. 이 제안된 시스템을 실제 환경에 적용하면 산악지역에서의 화재등의 재난에 조기 대응을 할 수 있을 것이며, 또한 피해를 최소화 할 수 있을 것이다.

Keywords: 애드 혹 네트워크, 동물, 재난 조기 경보 시스템, 센서 네트워크, 인포스테이션

1. 서 론

산악지형에서의 산불은 초기에 진화 되지 않으면 대형 산불로 발전되며, 많은 피해를 남기도 한다. 그러므로 산불과 같은 재난의 경우 초기에 발견하여 진화하는 노력이 필수적이다. 한국의 경우에도 동해안 산악 지형에서는 매년 1-2 건의 대형 화재가 주기적으로 발생하고 있어 많은 피해를 주고 있다. 이에 한국내에서 산불의 조기 경보 시스템에 대한 여러 가지 방안이 연구 제시되고 있는 상황이나, 아직까지 경제적으로, 현실적으로 뚜렷한 효과를 내는 방안은 제시되고 있지 않다.

Ad hoc 통신망은 기존의 기지국이 유선 통신망에 연결된 형태의 통신 인프라 기반과는 달리 인프라의 도움을 받지 않고, 노드간의 원활한 데이터 전송을 위해 다중 홉 무선 링크로 구성되어 여러 개의 중간 단말기들의 데이터 포워딩/경로 설정에 의존하게 되는 새로운 형태의 통신망이다. 그리고 인포스테이션은 여러 가지 정보 중에, 중요한 정보지만 전송 지연에는 민감하지 않은 정보를 저비용 및 효율적으로 전송하기 위해 제안된 시스템이다[1].

본 논문에서는 동물들에 ad-hoc 노드들을 탑재한 이동 바이오 ad-hoc 네트워크와 인포스테이션을 결합한 자동화된 재난 조기 경보 시스템을 제안한다. 동물에 센서를 탑재하여 ad hoc 네트워크를 구축하는 연구가 많이 진행되어 왔으며[2,3,4], 본 연구에서는 국내 산악지역에 많이 분포되어 있는 멧돼지를 이용하여 바이오 ad-hoc 네트워크 모델을 설계하고, 시뮬레이션을 통해 바이오 ad-hoc 네트워크 구축에 필요한 성능 파라미터를 분석하며, 이를 수식 분석과 비교해본다. 그리고 실제 시스템 구축을 위한 시스템 구축비용을 분석한다.

2. 관련 연구

2.1 멧돼지 생태

멧돼지는 국지적으로는 서식지의 수용한계를 넘어설 정도로 많은 개체수가 서식하고 있고, 국내 대부분의 산림 및 농경지의 임연부에 대부분 서식한다.

군집생태 측면에서 보면, 한 가족이 무리를 짓고 사는 가족중심의 군집생활을 하고 있으며, 많은 경우 20마리

이상의 개체가 같이 생활하기도 하나 대부분 10마리 안팎의 개체들이 함께 생활한다.

이동형태 측면에서 보면, 휴식을 취하는 시간외에는 먹이를 찾거나 짝을 찾는데 많은 시간을 할애한다. 따라서 위험이 없는 서식지에서는 이동시에는 시간당 평균 2-3km의 속도로 이동한다. 그러나 사람이 나타났다가거나 개가 추격해 오는 등 위험을 느꼈을 경우에는 시속 30km이상의 속도로 질주한다. 다만 지형과 서식지 여건에 따라서 이동속도에는 변이가 많이 존재한다. 국내 멧돼지의 생태에 대한 연구로서 멧돼지에 발신기를 부착하여 원격무선추정기법을 통해 멧돼지의 서식지 이용상태를 연구한 사례도 있다[2]. 이 논문에서는 멧돼지에 발신기 부착기법을 개발하였고, 안테나 및 radio-telemetry 장치의 시험을 통하여 국내의 지형에 적합한 원격무선추정장치 및 자료수집기법을 마련하였고, 이를 통해 멧돼지의 생태학적인 정보를 수집하였다.

2.2 Wireless 센서 네트워크

센서 네트워크는 많은 센서 노드로 구성되고, 각 센서 노드들은 센싱, 데이터 처리, 다른 센서 노드와의 통신 등의 기능을 수행한다[3]. 센서 노드는 접근하기 어려운 지역이나 재난 발생지역 등에 설치, 운용이 가능해야 하므로, 센서 네트워크는 self-organizing 능력이 있어야 한다. 센서네트워크의 응용분야로는 군사, 의학, 산업, 보안 등 다양하다. 이런 센서 네트워크의 기능 구현에는 무선 애드 혹 네트워크 기술이 필요하므로 센서 네트워크와 애드 혹 네트워크는 많은 유사성을 갖는다. 그러나 센서 네트워크는 잦은 토폴로지 변화 정도, 제한적인 파워와 메모리 요구사항, 노드의 임의 배치 가능성, 네트워크 고장 등에 대한 대처등의 측면에서 애드 혹 네트워크[4]와는 차이점을 보인다.

2.3 인포스테이션

무선 네트워크에서 인포스테이션이라 불리는 저비용, 높은 전송률을 갖는 새로운 개념이 소개되었고, 전송 지연에 민감하지 않은 정보들을 위해 저 전력 기반의 새로운 시스템 구조로서 연구되어 왔다[5, 6]. 인포스테이션은 유비쿼터스 개념과는 달리 간헐적인 커버리지를 제공한다. 이들 인포스테이션은 설치가 간단하며, 저 전력을 사용하고 LAN 디바이스처럼 연결이 지속적이지 않아, 시스템 구축비용이 싼 장점이 있다. 그러나 radio path가 짧기 때문에 짧은 연결기간 동안 초당 수백 megabits, 혹은 gigabits 정도의 속도를 제공한다. 이로 인하여 이동 중인 차량에 대하여 연결은 수초동안만 지속되지만 사이드가 큰 파일도 전송될 수 있다. 이러한 특성으로 인하여 인포스테이션은 ubiquity와 낮은 비용의 두가지 특성을 가진다. 이러한 점에 주목하여 응급·재난상황에서 high-bit rate의 단거리용 인포스테이션 영역에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

2.4 SWIM project

동물들에 센서를 부착하여 애드 혹 네트워크 모델을 적용한 많은 연구가 수행되었다[7, 8, 9, 10]. 이러한 연구는 주로 동물들의 서식지 혹은 생태를 모니터링 하기 위해 이루어 졌으며, GPS(Global Positioning System)나 VHF radio를 사용하여 위치 정보 확인 및 데이터 전달을 하였다.

SWIM[7]은 인포스테이션의 개념과 애드 혹 네트워크를 통합한 모델로서 전달지연과 capacity간의 tradeoff를 저장 공간의 증가를 통해 해결하고자 한다. SWIM 모델에서는 여러 돌고래에 센서를 부착하여, 돌고래 센서들끼리 애드 혹 센서 네트워크를 구성하고, 이를 이용하여 돌고래의 이동형태 정보와 해양 생태 정보를 수집하였다. 수집된 정보들은 돌고래가 인포스테이션에 근접할 때 인포스테이션에 전달한다.

2.5 ZebraNet

ZebraNet[8]에서는 야생동물(얼룩말)의 위치 추적을 위한 저전력 시스템이 제안되었다. 각 노드는 GPS를 포함하며 브로드캐스팅을 통해 통신 범위 내에 있는 노드와 데이터를 공유한다. ZebraNet은 야생동물의 위치 추적의 목적이기 때문에 전달지연에 민감하지 않아 에너지 효율적인 프로토콜의 연구가 수행되었다. 또한, 데이터 공유가 늘어날수록 capacity가 증가하기 때문에, SWIM project에서와 마찬가지로 ZebraNet에서도 delay-capacity tradeoff가 프로토콜 설계에 중요한 문제로 다루어졌다.

본 논문에서 제시된 재난 관리 시스템 연구는 SWIM 혹은 ZebraNet에서의 생태정보 수집 및 위치 추적이라는 목적과는 달리, 재난에 대한 조기 경보 기능을 갖는 바이오 애드 혹 네트워크 설계를 목적으로 하기 때문에 전달 지연에 상당히 민감하다. 따라서 재해 정보를 갖는 데이터만이 목적지에 도달하면 되므로, 노드의 저장 공간이나 전달 지연간의 tradeoff는 의미가 없게 된다. 재난 발생이라는 데이터가 가능한 빠른 시간 내에 도달하고자 하는 것이 가장 중요한 문제가 되기에 기존의 애플리케이션과는 다른 프로토콜 및 파라미터 연구가 필요하다.

3. 제안 모델

3.1 네트워크 모델

본 논문은 국내, 특히 강원도 산악 지역에서의 산불감지를 대상으로 네트워크를 모델링 한다. 소수의 인포스테이션과 다수의 센서가 부착된 노드를 통해 재난 데이터가 한 인포스테이션 도착하면 재난 발생을 인지하게 되고, 재해 관리본부에 연락이 닿아 신속하게 대처할 수 있다. 여기서 RF 안테나를 갖는 센서가 부착된 멧돼지가 노드가 되고, 각 인포스테이션은 적당한 위치-멧돼지의 이동 형태를 고려하여 멧돼지의 먹이원 혹은 보금자리-

에 세운다.

데이터 전달 과정을 보면, 산불이 발생하면 인접해 있는 센서노드가 센싱을 통해 산불을 감지하고, 이 데이터를 저장한다. 이 데이터를 저장한 노드는 주위에 노드에 알리기 위해 브로드캐스팅을 한다. 이동 중에 다른 노드를 만나게 되면 이 데이터가 전송된다. 그 데이터를 수신한 노드도 마찬가지로 브로드캐스팅을 하게 된다. 이 데이터를 갖고 있는 노드가 인포스테이션 수신범위에 들어가면 자신의 데이터를 인포스테이션에 전송함으로써 산불 발생을 알리게 된다. 인포스테이션이 멧돼지로부터 수집된 정보를 적절히 저장하는 DB 역할을 하며 기존 네트워크 인프라와 연결된 정보기지가 된다.

본 논문에서는 동적인 동물 노드와 정적인 인포스테이션이 사용된다. 기존의 정적인 노드를 임의로 배치한 네트워크 모델보다 멧돼지에 센서를 부착한 동적인 노드를 사용하여, 네트워크에 필요한 노드의 개수를 상당히 줄일 수 있어 시스템 구축 시에 비용을 절감할 수 있다.

3.2 Random waypoint model

제안 모델의 분석을 위해 노드의 이동성에 대해서도 고려되어야 한다. 노드의 움직임을 실제적으로 표현 할 수 없기 때문에 시뮬레이션을 위해 여러 이동성 모델중 하나를 사용한다. 본 논문에서는 동물 노드의 이동성 모델로 random waypoint model[11]을 사용하여 시뮬레이션 한다. 즉, 동물 노드는 도달하고자 하는 목적지를 임의로 선택하고, $[v_{min}, v_{max}]$ 사이에 임의의 값의 속도를 선택하여 목적지를 향하여 일정하게 움직인다. 그리고 목적지에 도착 후에는 새로운 목적지 포인터를 선택하기 전에 임의의 시간동안 휴식을 취한다. 본 논문에서는 멧돼지의 이동 속도 특성으로부터 $[v_{min}, v_{max}] = [25, 35]km/h$ 로 하였다. 산불이 났을 경우를 가정하기 때문에 최저 속도를 0으로 하지 않았고, 휴식 시간은 제외시켰다.

3.3 플러딩(flooding) 프로토콜

모바일 노드들이 데이터를 공유하는 가장 간단하면서 빠른 방법이 브로드캐스트를 이용한 플러딩 방식이다. 본 논문에서는 이러한 플러딩 방식을 채택한다. 플러딩 방식에서는 동물 노드가 광범위하게 움직이며 다른 동물 노드와의 접촉률이 높아질 수록 더 빠르게 데이터가 공유된다. 재난 조기 경보 상황이므로 보유한 모든 전원을 다 이용하여 재난 정보를 인포스테이션에 가능한 빨리 전달하는것이 필요하기 때문이다. 모든 노드가 인포스테이션에 데이터를 전송할 필요가 있는 것이 아니라, 여러 노드 중 가장 빠르게 인포스테이션에 접촉하는 한 노드만이 재난 발생 데이터를 전달하면 된다. 데이터가 모든 노드에 플러딩 되기 때문에 대역폭, 에너지 낭비가 되는 단점이 있지만, 플러딩을 통해 데이터 전송률을 높일 수 있고, 인포스테이션까지 가장 빠른 전송을 할 수 있다.

4. 성능 분석

본 논문에서 제안한 모델에 대한 성능을 수식 분석 이후 시뮬레이션으로 결과를 분석하고 이를 비교해본다. 시뮬레이션으로 노드 및 인포스테이션의 수와 전달 지연 시간과의 관계를 알아보며, 효율적인 대처가 가능한 재난 경보 데이터 전달에 필요한 최소의 시간을 T 라고 가정하고 이에 필요한 인포스테이션의 수 및 동물 노드의 수에 대한 파라미터를 분석하고 이를 수식 분석과 비교한다. 그리고 T시간 이내에 정보가 전달하기위한 노드와 인포스테이션의 수에 대해 시스템 구축비용을 계산하고 이를 비교하여 시스템 구축을 위한 최적의 파라미터를 분석한다. 논문에서는 T 를 10분으로 가정하였으나, 임의의 다른 시간으로 지정하여 분석하는 것이 가능하다. 시뮬레이션 프로그램은 linux 환경에서 C코드로 작성되었다.

4.1 시뮬레이션 환경

본 논문의 연구 배경은 일단 국내 강원도 산악지역을 가정하였다. 강원도 지역의 산악지형의 크기를 보면, 설악산 373 km^2 , 오대산 298 km^2 , 치악산 182 km^2 정도이다. 그리고 멧돼지의 이동 속도는 산불이 발생하는 위급한 상황이므로 25-35km/h로 가정한다. 즉 노드의 속도는 5-15m/s이다. <표 1>에서 보는 것과 같이 실제 환경과 유사하게 시뮬레이션 환경을 설정하였다. 노드와 인포스테이션의 전파 수신범위는 다른 변수에 의해 달라질 수 있으나, 본 논문에서는 각각 100m, 1km로 가정한다. 노드의 이동성 모델로는 random waypoint model을 사용한다

	실제 환경	시뮬레이션 환경(m)
면적	150~400 km^2	15000 x 15000
멧돼지 속도	20~35km/h	5-10
노드 수신 범위	100m	100
infostation 수신 범위	1km	1000
멧돼지 이동 모델		random waypoint

표 1. 실제환경과 시뮬레이션 환경 비교

4.2 성능 측정 및 평가

4.2.1 수식 분석

본 논문에서는, 정보 전달 지연 시간의 수식 분석은 [7]에서 유도된 다음의 식을 이용한다.

$$f(t) = \lambda \frac{N}{1 + e^{-\lambda t}} \left[1 - \frac{\pi t x_{inc} M}{area\ of\ grid} \right] \left[\frac{N}{e^{\lambda t} + N - 1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

위의 식은 정보가 전달되는 시간 t에 대한 pdf(확률밀도함수)이다. 위의 식에서 N은 동물 노드의 수이고, M은

인포스테이션의 수, tx_{info} 는 인포스테이션의 수신 반경, β 는 노드들의 접촉률, γ 는 노드와 인포스테이션의 접촉률이다. 파라미터 β 와 γ 의 값은 수식으로 구할수 없기 때문에, 시뮬레이션을 통해 구해야만 한다. 이 파라미터 역시 [7]에서 구한 방법과 같은 방법으로 구한다. 즉 노드의 접촉률인 β 는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\beta \approx \frac{1}{SI\Delta t} \quad (2)$$

여기서 S는 데이터를 갖지 않은 동물의 수이고, I는 데이터를 가진 동물의 수이며, Δt 는 현재 I상태에서 다음 I상태로 갈 때까지의 시간이다. 모든 Δt 에 대한 β 를 구하고 이를 평균하여 β 를 구할 수 있다.

그리고 인포스테이션의 접촉률 γ 는 동물 노드당 인포스테이션의 감염률이므로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\gamma = \frac{\text{인포스테이션의 접촉률}}{I} \quad (3)$$

γ 는 I값에 의존적이기 때문에, I를 고정시켜두고, 시뮬레이션을 반복하여 긴 시간동안 인포스테이션의 접촉률을 구하고 이를 I로 나누어 주면 γ 를 구할 수 있다.

본 논문에서는 정보의 평균 전달 지연 시간이 원하는 시간 T(10분)안에 인포스테이션에 도달하여야 한다. 즉,

$$E(t) = \int_0^{\infty} tf(t)dt \leq T(10\text{분}) \quad (4)$$

를 만족하는 노드(N)와 인포스테이션(M)을 계산한다. 다음 절에서 수식에 의한 결과와 시뮬레이션 결과를 비교한다.

4.2.2 평균 전달 지연 시간 측정

동물 노드의 수의 증가에 따른 평균 전달 지연 시간과의 관계와 인포스테이션의 수의 증가에 따른 평균 전달 지연 시간과의 관계를 시뮬레이션을 통해 분석한다. 그리고 평균 전달 지연 시간 T를 10분으로 지정하고, 재난 데이터가 그 시간 안에 도착하기 위한 최소 인포스테이션 수와 동물 노드의 수의 관계를 살펴보고, 수식분석과 비교해 본다.

그림 1은 하나의 인포스테이션에 대하여 노드의 수의 증가에 따른 평균 전달 지연 시간의 관계를 수식 분석과 시뮬레이션으로 나타낸 그래프이다. 수식 분석과 시뮬레이션 그래프가 약간의 차이를 보이고 있지만, 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.

동물 노드의 개수가 1인 경우는 산불을 감지한 센서 노드가 직접 인포스테이션에 도달하는 경우로서 전달 지연 시간이 매우 크며, 또한 센서 노드가 산불을 감지할 확률이 현저하게 떨어진다. 그러므로 그림 1에서는 동물

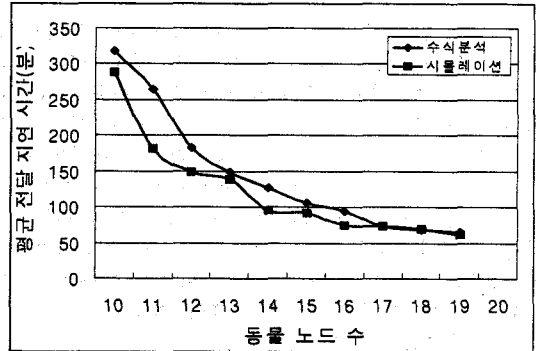


그림 1. 동물 노드 수에 따른 전달 지연 시간 (인포스테이션의 수=1)

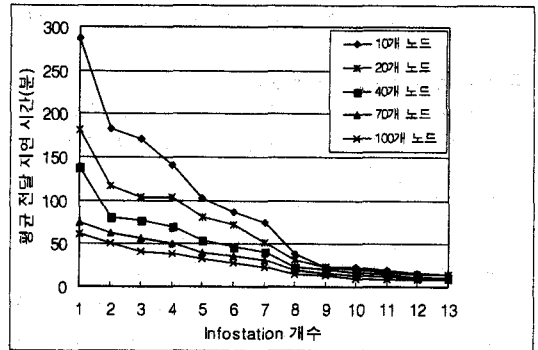


그림 2. 동물 노드와 인포스테이션수에 따른 전달 지연 시간

노드의 수를 10 이상부터 결과를 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 노드의 수가 많아질수록 평균 전달 지연 시간이 감소하는 것을 알 수 있다. 동물노드의 수가 10인 경우에는 거의 5시간 가까이 전달지연시간이 걸리나 노드의 수가 50개 이상이 되면서부터 평균 전달 지연시간이 100분 아래로 떨어지는 것을 알 수 있다. 그러나 동물 노드의 수가 100인 경우에도 평균 전달 지연 시간이 1시간정도 걸리므로, 우리가 목표로 하는 T=10분의 평균 전달 지연시간을 얻기 위해서는 동물 노드의 수를 계속 늘리는 것보다 인포스테이션을 증설하는 경우를 고려할 필요가 있다.

그림 2는 인포스테이션의 수의 증가에 따른 평균 전달 지연 시간을 보여준다. 동물노드를 일정 수(10, 20, 40, 70, 100개)로 고정시키고, 인포스테이션의 수를 변화시키면서 결과 값을 측정하였다. 인포스테이션의 위치는 인포스테이션의 수가 증가할 때마다 4개의 모서리로부터 시작하여 중앙위치, 중앙과 모서리의 중간위치등 영역을 균등하게 분할시키면서 배치하였다. 이 그래프에서 우리는 인포스테이션의 수가 증가할 수록 데이터의 평균 전

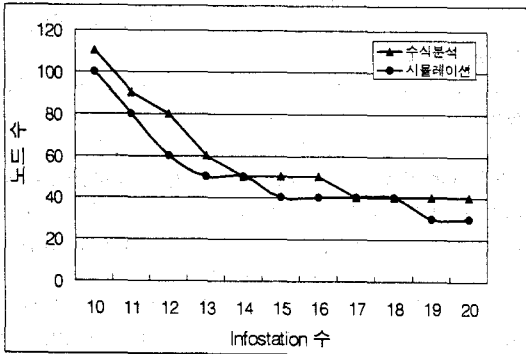


그림 3. T=10분 이내의 평균 전달 지연 시간에 대한 인포스테이션의 수 및 그에 따른 최소 동물 노드의 수 (수식분석과 시뮬레이션)

달 지연 시간이 감소함을 알 수 있다. 인포스테이션의 수가 13인 경우에는 모든 동물 노드의 수에 대하여 T=10분의 평균 전달 지연 시간의 요건에 근접하는 것을 알 수 있으나, 인포스테이션이 수가 그 이하인 경우에는 동물 노드의 수에 따라 T=10분의 요건을 만족하는 경우도 있고 그렇지 않은 경우도 존재한다. 즉 우리는 재난의 초기 정보에 필요한 최소 시간 T=10분을 만족시키기 위해서는 동물노드의 수와 인포스테이션의 수사이의 tradeoff 가 존재함을 알 수 있다. 그러므로 그러한 동물 노드의 수와 인포스테이션의 수 사이의 관계에 대한 그래프를 구할 필요가 있다.

그림 3은 T=10분의 평균 전달 지연 시간을 만족시키기 위한 최소 동물 노드 수와 인포스테이션의 수와의 관계를 (4)의 수식 결과와 시뮬레이션을 통한 결과와 비교한다. 예상한 바와 같이 동물 노드의 수와 인포스테이션의 수는 반비례의 관계가 있다. 즉 인포스테이션의 수가 많아질수록 필요한 동물 노드의 수는 작아지게 되는 것을 볼 수 있다. 수식 분석한 값과 시뮬레이션 값이 약간의 오차가 있지만 비슷한 결과를 나타내고 있다.

인포스테이션의 수가 10개일때의 필요한 동물 노드의 수는 100개가 되며, 인포스테이션의 수가 20개로 증설될 경우에는 필요한 동물 노드의 수는 30개로 줄어 든다.

이와 같은 그래프를 이용하여 우리는 필요시에 인포스테이션의 수와 동물 노드의 수를 결정할 수가 있게 된다.

4.2.2 Cost 분석

인포스테이션의 수 및 동물 노드의 수를 결정하기 위한 추가적인 고려사항으로, 동물들의 포획 비용, 인포스테이션의 설치 비용 및 운영비용, 탑재된 센서의 전원 고갈에 따른 주기적인 동물들의 재 포획 비용, 센서 구입비용, 재난이 발생한 경우 센서의 전원을 모두 사용하게 되고 일부 인포스테이션은 재난으로 인하여 파손될 수 있으므로 그 경우에 대한 동물들의 재포획 비용 및 인

인포스테이션		
A	설치비	200만원
B	유지비	5만원
C	사용기간	3년(36개월)
동물 노드		
D	설치비	20만원
E	사용기간	1년(12개월)
F	재난 빈도	5회/1년(0.42회/1달)

표 2. 인포스테이션과 노드의 설치 및 유지비용

포스테이션 재설치 비용, 재난의 발생 빈도 등이 있으며 이 절에서는 이런 비용들을 고려한 시스템 구축 비용을 분석해본다. 따라서 시스템 구축비용을 분석하기 위해 본 논문에서는 다음과 같은 가정을 한다. 인포스테이션은 구입 및 설치비(A), 유지비(B)가 필요하고, 한번 설치하면 C 기간 동안 사용이 가능하며 C 기간 이후에는 다시 설치해야 한다고 가정한다. 동물노드의 경우에 동물의 포획 및 구입비용등의 설치비(D)가 요구되고, 재난이 발생하지 않을 경우 E 기간이 지나면 전원이 고갈되어 다시 포획 및 노드를 설치해야 한다고 가정한다. 물론 재난이 발생할 경우에는 다시 포획 및 노드의 설치비가 들어간다. 재난은 평균 F 기간의 시간을 갖는 지수분포 함수로 발생한다고 가정한다. 이와 같은 환경에서 재난 시스템 구축 비용은 다음과 같이 계산된다.

$$Cost_{infostation} = \frac{A}{C} + B$$

$$Cost_{node} = \frac{D}{e^{-\frac{E}{F}} E + \int_0^E t \frac{1}{F} e^{-\frac{t}{F}} dt}$$

$$Cost = Cost_{infostation} + Cost_{node} \quad (\text{단위:한달}) \quad (5)$$

이 식을 바탕으로 표2의 비용을 가정하여 각 경우에 대한 비용을 구해본다. 그림3의 결과와 표2의 비용을 대입하여 10분 이내에 도달하는 각 경우의 수를 계산해 보면 그림 4와 같은 결과를 얻을 수 있다.

그림 4는 전달 지연 시간이 10분에 해당되는 인포스테이션과 노드의 쌍에 대해 시스템 구축비용을 분석한 그래프이다. 노드의 감소폭이 큰 구간에서는 인포스테이션의 수가 줄어들수록 비용이 줄어들지만, 노드 감소폭이 작은 구간에서는 인포스테이션의 수가 증가하여 비용이 증가한다. 따라서, 그림 6을 보면 알 수 있듯이, 노드의 감소폭이 줄어드는 구간인 13인포스테이션-15노드 구간이 306만원으로 가장 작은 비용이 들어 가장 효율적이라고 할 수 있다.

5. 결론

최근 기존의 네트워크 인프라를 이용하지 않고, 노드

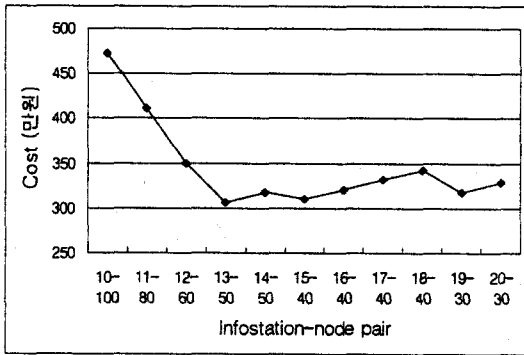


그림 4 전달 지연 시간이 10분 이내인 인포스테이션-노드 쌍에 해당하는 시스템 구축비용

들이 자체적으로 네트워크를 구성하여 정보를 전달하는 애드 혹 네트워크 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 이러한 애드 혹 네트워크 기능은 ubiquity와 낮은 전송 비용의 장점을 갖는 인포스테이션의 개념과 결합함으로써 지리적·환경적 요인으로 인해 기존의 네트워크 시스템을 설치하기 어려운 지역에서의 효율적인 통신을 가능하게 해준다.

본 논문은 대형화재와 같은 재난상황이 발생할 위험이 많은 강원도등 한국내의 산간지역을 대상으로 재난 상황에 보다 효율적으로 대처할 수 있는 바이오 애드 혹 네트워크를 이용하여 재난 조기 경보 시스템 구축에 필요한 파라미터를 분석해 보았다. 성능분석의 내용으로 동물 센서 노드가 산불을 감지한 후, 인포스테이션까지 도달하는 시간을 살펴보고, 인포스테이션의 수의 증가에 따른 평균 전달 지연 시간의 변화를 수식 및 시뮬레이션으로 분석하였다. 또한 재난에 효율적으로 대처하기 위해 재난 조기 경보에 필요한 임계시간 T를 10분으로 가정하고, 10분안에 재난 발생 데이터가 도착하기 위한 동물 노드의 수와 인포스테이션의 수 사이의 관계를 알아보았다. 마지막으로, 정보 전달 시간이 10분 이내가 되는 인포스테이션-노드에 대해 시스템 구축 비용을 분석해 보았다. 이러한 연구 분석 결과는 제안된 시스템을 실제 환경에 적용할 경우에 필요한 파라미터를 선정할 때 유용하게 이용될 것으로 판단되며 그 결과로서 산악 지역에서의 화재등의 재난에 대한 조기대응 및 피해를 최소화 할 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] winwww.rutgers.edu/pub/docs/research/Infostations.html
 [2] 김원명, 멧돼지(Sus scrofa coreanus Heude)의 서식지이용연구를 위한 Radio Telemetry의 적용시험, 고려대학교 박사학위논문, 1994.
 [3] Akyildiz, I.F., W.Su, Y.Sankarasubramaniam, and E.Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A

Survey," Computer Networks38(4):393, 2002.
 [4] C. Perkins, Ad Hoc Networks, Addison-Wesley, Reading, MA, 2000.
 [5] A. Iacono and C. Rose, "Infostations: New Perspectives on Wireless Data Networks", WINLAB technical document, Rutgers University, 2000
 [6] D.J. Goodman, J. Borras, N.B. Mandayam, and R.D. Yates "INFOSTATIONS: A New System for Data and Messaging Services," Proceedings of IEEE VTC '97 2(1997) pp.969-973
 [7] T. Small and Z.J. Haas, "The Shared Wireless Infostation Model - A New Ad Hoc Networking Paradigm (or Where there is a Whale, there is a Way)," in Proceedings of the ACM MobiHoc 2003 conference, Annapolis, Maryland, June 1-3, 2003
 [8] Philo Juang, Hide Oki, Yong Wang, Margaret Martonosi, Li-Shiuan Peh, Daniel Rubenstein, "Energy-Efficient Computing for Wildlife Tracking: Design Tradeoffs and Early Experiences with ZebraNet", in Proceedings of ASPLOSX, San Jose, October 2002
 [9] Lotek Corp, <http://www.lotek.com>, 2002.
 [10] Carribean Conservation Corporation, <http://www.cccturtle.org/satwelc.htm>, 2002.
 [11] C. Bettstetter, "Smooth is Better than Sharp: A Random Mobility Model for Simulation of Wireless Networks," MSWiM, July 2001
 [12] T. Small, Z.J. Haas, A. Purgue, and K.Fristrup, "A Sensor Network for Biological Data Acquisition," in Handbook on Sensor Networks, M. Ilyas, editor, CRC Press, 2004
 [13] Fred Brauer and Carlos Castillo-Chavez "Mathematical Models in Population Biology and Epidemiology" Springer-Verlag New York, Inc.,2001.