

애드혹 네트워크에서 칼만 필터를 통한 클러스터 내부의 자원 할당 최적화 기법

이장수*, 김승욱*, 김성천*

*서강대학교 컴퓨터학과

e-mail:jangso417@sogang.ac.kr

Resource Allocation of Cluster Inside using Kalman Filter in Ad-Hoc Network

Jangsu Lee*, Seungwook Kim*, Sungchun Kim*

*Dept of Computer Science, Sogang University

요 약

모바일 애드혹 네트워크는 기존의 셀룰러 네트워크와는 달리 고정된 기지국이 존재하지 않고 모바일 노드들만으로 구성된 네트워크이다. 모바일 애드혹 네트워크의 각각의 노드들은 제한된 자원과 한정된 용량을 가진 배터리로 동작한다. 만일 이 배터리를 모두 소모하게 된다면 중간 노드들이 다운이 되고, 결과적으로 전체 네트워크가 단절되는 문제가 발생할 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 한정된 자원을 최대한 효율적으로 사용해야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 클러스터 기반의 애드 혹 네트워크 환경에서 발생하는 경로 요청 시 클러스터 내부의 에너지 분산을 통한 네트워크 생존 시간을 연장시키고자 하였다. 효율적인 에너지 분산을 위해 칼만 필터를 통한 클러스터 내부의 트래픽 변화량을 예측하고, 예측값과 노드의 에너지 잔량을 기준으로 경로를 설정하도록 하였다. 실험 결과 생존 시간을 23% 증가시켰고, 칼만 필터를 통한 트래픽 변화량 예측값의 오차는 6.3%로 나타났다. 앞으로 칼만 필터의 관측값을 확장하여 예측값에 대한 오차를 줄이고, 보다 복잡한 네트워크 환경에 적용하는 연구가 필요하다.

1. 서론

무선 네트워크의 가장 큰 특징이자 장점은 노드의 이동성이다[1]. 무선 네트워크는 통신 객체 간에 전파를 사용하여 데이터를 주고받음으로써 전파 도달 거리 내에서 노드의 이동을 보장한다. 이러한 이동성은 무선 네트워크의 응용에 따라 모바일 애드혹 네트워크[1], 셀룰러 네트워크[2], 센서 네트워크[3] 등의 다양한 네트워크 환경의 구성을 가능하게 한다. 이 중 모바일 애드 혹 네트워크는 기존의 셀룰러 네트워크와는 달리 고정된 기지국이 존재하지 않고 모바일 노드들만으로 구성된 네트워크이다. 그런데, 일반적으로 각각의 노드는 휴대성이라는 측면에서 매우 제한된 자원, 즉 작은 대역폭, 느린 중앙처리장치 등을 가지게 된다. 특히, 한정된 용량을 가진 배터리를 탑재하여 동작을 하게 되는데 모바일 애드 혹 네트워크에서는 노드의 역할이 단지 클라이언트로서만 유지되는 것이 아니라 라우터나 게이트웨이의 역할도 겸하게 되기 때문에 배터리의 수명이 다 되었을 경우 네트워크의 단절 현상을 야기할 수 있다. 따라서 모바일 애드 혹 네트워크에서 전력은 매우 중요한 요소이며 그로

인한 노드의 생존 시간이 전체적인 네트워크의 수명에 영향을 미치게 된다[4, 5, 6].

현재 모바일 애드 혹 네트워크에서 네트워크의 생존 시간을 최대화하기 위해 다양한 연구가 진행 중이다. 그 중 데이터를 전송하기 위해 목적지까지 경로를 설정하는 기법들이 모바일 노드들의 에너지 효율화를 고려하여 연구 중이다.

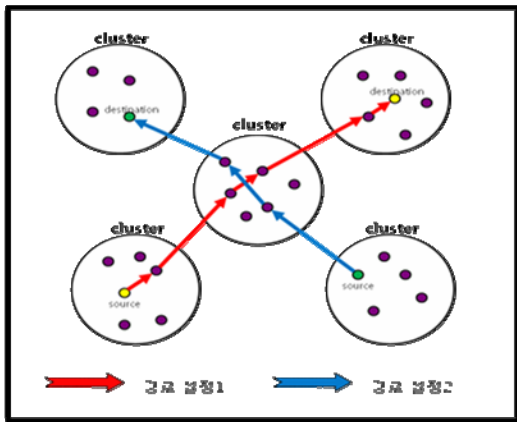
본 논문에서는 클러스터 기반의 경로 설정 기법을 제안하기 위해 클러스터 내부에서의 에너지 분산을 통한 클러스터 자체의 에너지 분산을 연구하였다. 이를 위해 칼만 필터를 통한 트래픽 예측 시스템을 구성하였으며, 예측 값과 노드의 에너지 잔량을 고려한 경로 설정 기법을 제안하였다.

2. 클러스터를 통한 경로 설정과 칼만 필터

2.1 클러스터를 통한 경로 설정

애드 혹 네트워크나 센서 네트워크에는 고정된 하부 네트워크 구조가 있는 것이 아니라 네트워크 참여의 필요성에 따라 각 노드가 네트워크에 참여하고 또한 이를 바탕으로 네트워크를 구성하게 된다. 또한 이러한 네트워크 환경에서는 노드들이 이동성과 군집

성을 가지게 된다. 따라서 이러한 특징들을 효율적으로 활용하기 위해 클러스터를 구성하고 이를 기반으로 한 네트워크 망을 구성하게 된다.



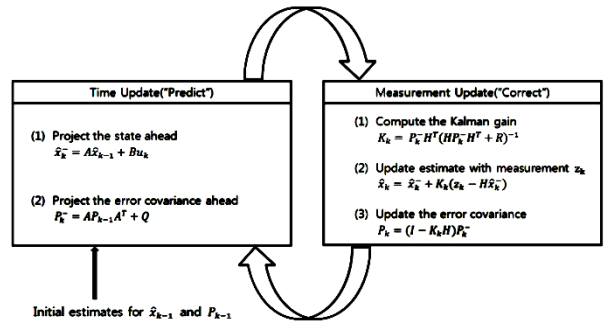
(그림 1) 클러스터를 통한 경로 설정

클러스터를 구성하였을 때의 장점은 전체 네트워크를 일정한 단위로 분할하여 관리할 수 있으며, 각 클러스터에서는 군집 단위별로 효율적인 관리가 가능하게 된다. 이러한 장점은 클러스터를 사용하지 않았을 시의 성능과 대비되어 부각되는데, 만일 클러스터를 사용하지 않는다면 가용 자원이나 경로 설정 등의 관리를 전체 네트워크 차원에서 진행해야 하기 때문에 하나의 노드에서 그러한 작업을 부담할 수 없게 되고, 따라서 세부적인 관리 또한 제대로 이루어질 수 없게 된다[7].

2.2 칼만 필터

Rudolf E. Kalman 이 발명한 칼만 필터는 “an optimal recursive data processing algorithm” 으로 불리며, 1960 년에 쓰인 그의 논문 "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems"에 그 시초를 두고 있다. 칼만 필터의 기본적인 아이디어는 통계적인 기록(history)에 근거한 값을 구하고자 할 때, 데이터가 생성된 때 시마다 다음 연산에 사용될 통계적 연산 값을 계산해 놓음으로써 구하는 것이다. 예를 들어 시간에 따라 추가되는 값을 포함한 평균값을 계산할 경우, 바로 전 단계에서의 평균값(X'(n-1))과 현재의 값(Xn)만을 알면 현재 단계에서의 평균값을 구할 수 있다.

이와 같은 기법을 "반복적 자료 처리 (recursive data processing)"라고 하며, 최초 칼만 필터 이론의 개발 이유이기도 하다. 처리할 자료의 양이 그리 많지 않을 때는 모든 자료를 기억해두었다가 한번에 계산하는 것이 간편할 수도 있겠으나, 그 자료의 양이 방대하다면, 저장 장소 및 처리 시간을 고려하지 않을 수 없게 된다. 이러한 점은 자원 사용의 효율성 측면에서 칼만 필터의 강점으로 부각되며 또한 여타 다른 통계학적 확률 이론의 실제 적용에 있어서도 칼만 필터가 더 효율적이라고 말할 수 있는 근거가 된다[8].



(그림 2) 칼만 필터의 재귀적 연산 과정

칼만 필터의 기본 식은 여러 가지 형태로 표현되곤 하지만 가장 일반적으로는, 다음과 같이 시스템에 대한 시스템 방정식(식 1)과 관측 방정식(식 2)으로 표현할 수 있다. 이 두 가지 방정식의 구동을 통해 칼만 필터는 다음 상태에서의 최적 추정 값을 구하게 된다. 두 방정식의 기본적인 동작 과정은 (그림 3)에 나와 있다[9].

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_k + w_{k-1} \tag{식 1}$$

$$z_k = Hx_k + v_k \tag{식 2}$$

현재 칼만 필터 연산을 통한 무선 네트워크에서의 자원 할당에 대한 연구가 시작되고 있다. 아직 연구 초기 단계라 많은 논문이 나오진 않았으나, 주요 자원들을 주제로 연구 결과들이 제시되고 있다. 그런데, 현재 이러한 연구들은 칼만 필터의 도입으로 성능 향상을 이룰 수 있었으며 칼만 필터의 예측 성능에 대한 신뢰성을 도출할 수는 있었으나, 부정확한 상태 변수의 측정이나 끊김과 같은 데이터 수집에 관한 문제점들을 언급하고 있다[10, 11, 12]. 이는 무선 네트워크 환경이 동역학 계와 달리 보이지 않는 데이터의 유동성을 측정해야 하기 때문이다. 연구 논문들에서 사용한 데이터 수집 방법들은 기존에 있었던 방법이나 어느 특정 부분에서의 데이터를 수집하는 등의 것이었는데, 칼만 필터와 같은 수학적 기법에 입력할 데이터 셋을 구성하기에 미흡하다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구 과제에서는 먼저 시스템을 수학적으로 분석하는 방법과 이를 토대로 한 칼만 필터를 통한 예측 기법을 통한 최적화된 자원 할당 기법을 연구하고자 한다.

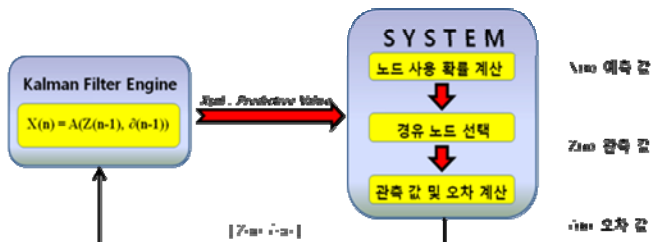
3. 제안 기법

제안 기법이 구동하는 환경은 애드혹 네트워크에서 구성된 클러스터 내부이다. 칼만 필터를 적용하기 위한 첫 번째 단계이기 때문에 선형적 칼만 필터를 적용한 예측 시스템을 모델링 하였으며, 따라서 경로 요청의 발생 빈도를 선형적으로 설정하였다. 또한 경로 설정 프로토콜로 AODV 를 사용하였다.

3.1 칼만 필터를 응용한 트래픽 예측 시스템

제안하는 예측 시스템은 클러스터 내부에서의 경로

분산을 위한 것이다. 예측 시스템이 동작하는 곳은 클러스터 헤드이며, 동작 과정은 다음과 같다.



(그림 3) 예측 시스템의 동작 과정

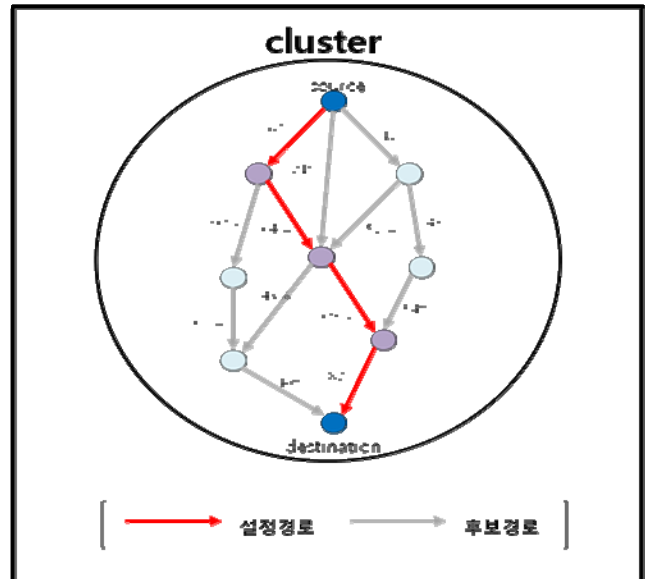
관측값은 현재 단계에서 요청된 경로 요청 메시지의 수이다. 이 요청 메시지의 발생 빈도를 통계적으로 수집하여 다음 단계에서 발생할 경로 요청 메시지의 수를 예측하게 된다. 이 예측 발생빈도를 계산한 후 클러스터 헤드는 클러스터 내부의 노드들에게 알려주고 시스템에서는 이 정보를 바탕으로 경로 설정 기법을 수행하게 된다.

3.2 경로 설정 기법

경로 요청 메시지에 의해 경유 노드로 설정되는 노드들은 기본적으로 현재 보유하고 있는 자신의 에너지 잔량을 기준으로 판단한다. 따라서 노드가 경로 요청 메시지에 응하게 되는 결정은 클러스터 헤드로부터 온 경로 요청 메시지 발생 빈도와 보유 에너지 그리고 현재 경유되는 경로 수를 가지고 판단한다. 경로 요청 메시지 발생 빈도(d)나 보유에너지(e)가 높거나 경유하고 있는 경로 수(r)가 낮으면 노드의 사용 확률이 높아지며, 반대일 경우는 노드의 사용 확률이 낮아진다. 이러한 현상이 나타나는 이유는 다음과 같다. 경로 요청 메시지 발생 빈도가 높아지면 클러스터 내부 노드의 사용량이 증가하기 때문에 각 노드의 가용률을 높여야 경로의 분산이 가능해진다. 그리고 보유 에너지가 높은 노드가 보다 높은 확률로 경로를 부담함으로써 에너지가 낮은 노드의 생존률을 상대적으로 증가시키게 된다. 마지막으로 현재 노드에서 경유되고 있는 경로가 많다는 것은 노드의 에너지 부담이 크다는 것이기 때문에 사용 확률을 낮춰서 중첩적인 경유 노드가 되지 않도록 하기 위한 것이다. (식 3)은 각 노드에서 사용 확률 P_{use} 를 계산하기 위한 식이다. α 는 상태변수로서 시스템 환경에 따른 확률 조절을 위한 것이고 α 와 β 는 합이 1로서 경로 요청 메시지 발생 빈도와 보유 에너지 사이의 비중을 조절하기 위한 것이다.

$$P_{use} = \alpha \times \frac{d + \beta e}{r} \quad (\alpha + \beta = 1) \quad (식 3)$$

각 노드는 이러한 사용 확률을 계산한 뒤에 다음 노드에게 전달을 하게 된다. AODV 에서는 다음 노드가 이전 노드를 선택하여 최종적인 경로를 선택하게 되는데 이때 확률이 높은 경로를 선택하게 된다.



(그림 4) 제안 기법을 통한 경로 설정

목적지에 경로 요청 메시지가 도달하면 경로 요청 응답 메시지를 발신 노드에게 보내며 최종적인 경로를 설정하게 된다.

4. 실험 결과

4.1 실험 환경

제안 기법의 성능을 평가하기 위해서 NS-2 를 사용하였다. 모바일 노드는 CMU 의 Monarch Research Group 에서 개발한 모델을 이용하여 <표 1>과 같이 설정하였다. 그리고 시뮬레이션 환경은 <표 2>와 같으며 노드의 이동 속도와 방향은 모두 CMU 의 Monarch 그룹에서 배포하는 setdest 프로그램을 이용하여 생성하였다. 통신은 분포된 노드 중 임의로 두 개의 노드를 선정해 통신을 하는 방식을 사용하였으며 5초당 한 번의 통신이 발생하도록 하였다.

<표 1> 모바일 노드 환경

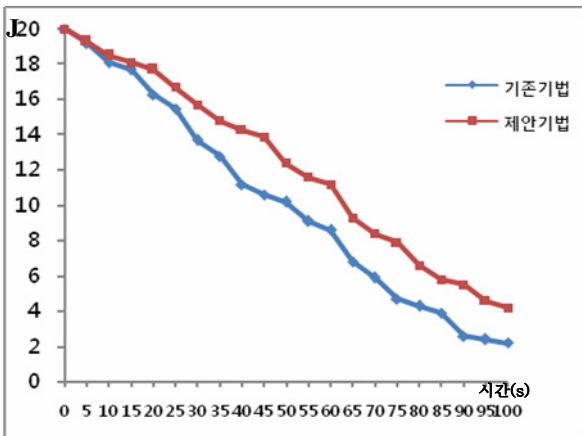
SIMULATOR	NS2 v2.36
TRAFFIC	Constant Bit Rate (CBR), UDP
MAC	IEEE 802.11
LINK DATA RATE	2Mbps
NUMBER OF POWER LEVELS	4
TRANSMISSION RANGE PER POWER LEVEL	250, 350, 475, 550, 600m
TRANSMISSION POWER PER LEVEL	771 mW, 146 mW, 60 mW, 30 mW, 4.75 mW, 6.41 mW
TRANSMIT POWER DRAIN	1.119W + Transmission Power
RECEIVE POWER DRAIN	1W
NOISE POWER DRAIN	0.01W
HOPIPING PROTOCOL	150 m
WARMUP TIME	
THRESHOLD PROTOCOL	6sec
SETTLING PERIOD	

<표 2> 시뮬레이션 환경

SIMULATION AREA	500m * 500m
NUMBER OF NODES	50, 40, 20, 10, 100
MOBILITY MODEL	Random Waypoint Model
MAXIMUM NODE SPEED	30m/s
SIMULATION TIME	600s
INITIAL ENERGY	20J

4.2 네트워크 생존 시간

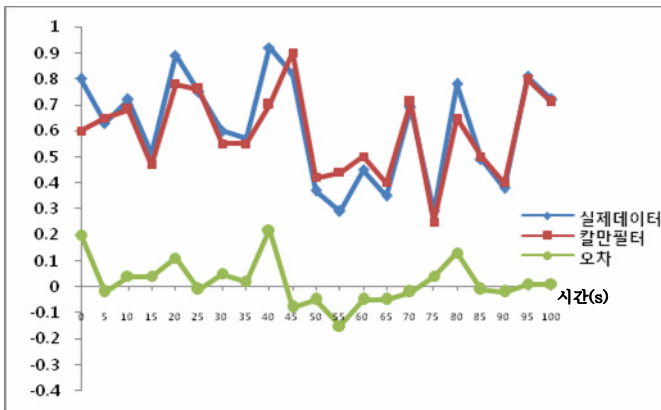
에너지 효율성을 측정하기 위해 네트워크의 생존 시간을 측정하였다. 생존 시간의 기준은 전체 노드의 평균 에너지 잔량으로 하였다. 왜냐하면 에너지 잔량은 곧 노드가 활동할 수 있는 여유 시간으로 환산되기 때문이다. (그래프 1)은 네트워크 생존 시간을 측정한 결과를 나타내며, 실험 결과 제안 기법이 기존 기법보다 평균 23% 증가시켰다.



(그래프 1) 네트워크 생존 시간

4.3 예측 시스템 오차

칼만 필터를 응용한 예측 시스템을 통해 예측 값을 도출하였으며, 그 정확도를 분석하기 위해 오차 값을 측정하였다. (그래프 2)는 오차 값 측정에 대한 실험 결과이며, 평균 6.3%의 오차 확률을 나타내었다.



(그래프 2) 예측 시스템 오차

5. 결론

무선 네트워크에서 예측의 중요성이 증대됨에 따라 칼만 필터를 응용한 예측 시스템을 현재 연구하고 있는 클러스터 기반의 경로 설정 기법에 적용하였다. 이를 통해 트래픽 로드 분산을 통해 에너지 소모가 분산되도록 하였다. 실험 결과 전체 네트워크의 생존 시간을 23% 증가시킬 수 있었다. 그리고 칼만 필터를 통한 트래픽 변화량 예측값의 오차는 6.3%로 나타났다. 이러한 결과를 통해 보았을 때 클러스터 내부의 트래픽 로드를 분산하는 것이 전체 네트워크의 생존 시간을 연장시킬 수 있는 것을 알게 되었다. 그리고

칼만 필터를 적용하여 클러스터에 요청되는 트래픽 로드의 변화를 예측할 수가 있었는데, 앞으로 칼만 필터를 통한 예측 시스템을 다양한 분야에 확장 발전시킬 수 있는 토대가 되었다고 생각한다.

이번 논문에서 제안하고 실험한 결과는 한정된 네트워크 환경에서의 적용이었다. 차 후 보다 세부적이고 복잡한 네트워크 환경에서의 칼만 필터를 적용한 예측 시스템을 개발하고 이를 바탕으로 최적화된 자원 할당 기법을 연구할 필요성이 있다.

* 이 논문은 2007년도 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었음.

참고 문헌

- [1] Zygmunt J. Haas, and Ben Liang, "Ad Hoc Mobility Management with Uniform Quorum Systems," IEEE/ACM Transactions on networking, Vol. 7, No. 2, pp. 228-240, April 1999.
- [2] S. Jagannathan, Maciej Zawodniok, and Q. Shang, "Distributed Power Control for Cellular Networks in the Presence of Channel Uncertainties," IEEE Transactions on wireless communications, Vol. 5, No. 3, pp. 540-549, March 2006.
- [3] Yu-Chee Tseng, Yen-Ning Chang, and Bour-Hour Tzeng, "Energy-Efficient Topology Control for Wireless Ad Hoc Sensor Networks," Journal of Information Science and Engineering 20, pp. 27-37, 2004.
- [4] Vikas Kawadia, and P. R. Kumar, "Principles and Protocols for Power Control in Wireless Ad Hoc Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 23, No. 1, pp. 76-88, January 2005.
- [5] S. Narayanaswamy, V. Kawadia, R. S. Sreenivas, and P. R. Kumar, "Power control in ad-hoc networks: Theory, architecture, algorithm and implementation of the COMPOW protocol," Proceedings of European Wireless 2002. Next Generation Wireless Networks: Technologies, Protocols, Services and Applications. Florence, Italy. pp. 156-162, Feb. 25-28, 2002.
- [6] Carlos de Moraes Cordeiro, Hrishikesh Gossain, and Dharma P. Agrawal, "Multicast over Wireless Mobile Ad Hoc Networks: Present and Future Directions," IEEE Networks, Vol. 17, pp. 52-59, January/February 2003.
- [7] S. Basagni, "Distributed Clustering for Ad Hoc networks," Proc. 1999 Int'l Symp. Parallel Architectures, Algorithms, and Networks I-SPAN '99), pp. 310-315, June 1999.
- [8] Greg Welch, Gary Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter", SIGGRAPH 2001 Course 8, University of North Carolina at Calpel Hill, ©Copyright 2001 by ACM, Inc.
- [9] Welch G, Bishop G (1997) SCAAT: Incremental tracking with incomplete information, pp 333-344. ACM SIGGRAPH '97
- [10] Constantinos Antoniou, Moshe Ben-Akiva and Haris N. Koutsopoulos, "Non-linear Kalman Filtering Algorithms for On-line Calibration of Dynamic Traffic Assignment Models", Proceedings of the IEEE ITSC 2006, Toronto, Canada, September 17-20, 2006.
- [11] Mounir Achir, Yacine M. Ghamri-Doudane, and Guy Pujolle, "Predictive Resource Allocation in Cellular Networks using Kalman Filters", Communications, 2003. ICC '03. IEEE International Conference on, Volume 2, 11-15 May 2003 Page(s):974 - 981 vol.2.
- [12] Daniel Yagan and Chen-Khong Tham, "Adaptive QoS Provisioning in Wireless Ad Hoc Network: A Semi-MDP Approach", IEEE Communications Society / WCNC 2005.