
무선센서네트워크에서 에이전트 기반의 지리정보 라우팅 프로토콜

동리화* · 김기일**

A Geographical Routing Protocol Based on Agent for Wireless Sensor Networks

Lihua Dong* · Ki-Il Kim**

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업
지원을 받아 수행된 것임(2010-0007153)

요 약

본 논문에서는 지리정보 라우팅 프로토콜 중 가장 잘 알려진 GPRS의 성능을 향상시키기 위한 에이전트 기반의 로드 분산 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법은 싱크 노드 주변 노드 중에 하나를 에이전트 노드로 설정하고 데이터 패킷을 싱크로 직접 전송하는 대신에 에이전트 노드에게 전송하고 이 패킷들은 에이전트 노드에 의하여 싱크로 전달되게 하게 함으로써 트래픽의 분산을 자동적으로 유도한다. 또한, 데이터 포워딩시에는 위치 정보뿐만 아니라 주변 노드의 현재 버퍼 사용량을 기준으로 다음 홉을 선택하게 함으로써 혼잡을 효율적으로 예방함으로써 로드 분산을 수행한다. 이러한 기능들은 패킷의 손실의 줄이게 되고 결국 패킷 전송 성공률이 높아지게 된다. 제안된 메커니즘의 성능 평가를 위하여 싱크노드로의 연결 수와 홉 수에 따른 패킷 전송 성공율을 측정하여 기존 GPRS 프로토콜에 비하여 향상된 성능을 확인하였다.

ABSTRACT

An agent based geographic routing protocol is proposed to improve the well-known geographic routing protocol-GPRS routing protocol. In the proposed scheme, the agent is selected by sink node which concern about the source node's position as well as agent candidate's state. So packets will first be forwarded to agent and next step is to be forwarded to their final goal- sink node from agent. During the next hop selection process, nodes select their neighbors by considering not only position but also their average available buffer size. This results in efficient selection of next hop node in congestion area, and then increases the successful packet delivery ratio. The simulation is conducted for two scenarios: general number of connections and large number of connections in our map. Results show that new method with agent achieves improved performance in successful packet delivery ratio when compares to GPRS without our scheme.

키워드

무선 센서 네트워크, 에이전트, 로드 분산

Key word

Wireless Sensor Networks, Agent, Load balance

* 경상대학교 정보과학과

** 경상대학교 정보과학과, 공학연구원 (교신저자, kikim@gnu.ac.kr)

접수일자 : 2010. 05. 04

심사완료일자 : 2010. 06. 29

I. 서 론

토폴로지 기반의 라우팅 프로토콜과는 달리 지리정보 기반의 라우팅 프로토콜의 기본적인 가정은 각 노드가 지리적 위치 정보를 획득할 수 있다는 점이다. 이러한 가정은 관련 장비의 가격이 계속해서 낮아지기 때문에 통신 시스템을 개발함에 있어 큰 문제가 되지 않는다. 이러한 장치의 도움으로 습득된 정보는 다양한 방법으로 이용될 수 있는데 그 중 하나가 위치 정보에 기반하여 단순한 라우팅을 설계하는 것이다. 이러한 라우팅 프로토콜을 일컬어 지리정보 라우팅 프로토콜이라 부른다. 위치 정보를 이용하기 때문에 지리정보 라우팅 프로토콜에서는 기존 토폴로지 기반의 프로토콜의 라우팅 테이블을 유지할 필요가 없다. 대표적인 지리정보 라우팅 프로토콜로는 GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) [2], LAR (Location Aided Routing) [3]을 포함한 다수의 프로토콜들[1]이 있다.

이러한 지리정보 라우팅 프로토콜은 특히 센서 네트워크에서 매우 유용하게 사용되는데 이는 라우팅 테이블에 의존한 프로토콜을 사용하는 것에 비하여 낮은 컴퓨팅 능력과 적은 메모리를 탑재한 센서 노드에 적합하기 때문이다. 많은 연구가 계속되고 진행 중에 있으며 특히 대표적인 연구로는 ALS (A grid-based sink location service for large-scale wireless sensor networks) [4]가 있다. 또한, 지리정보 라우팅 프로토콜을 위한 싱크 위치 서비스를 제공하는 프로토콜이 [6]에 제안되었다.

비록 지리정보 라우팅 프로토콜이 대부분의 경우에서 동작하는데 무리가 없지만 오직 위치 정보만을 통하여 다음 홉을 결정하는 greedy 알고리즘의 경우 다수의 문제점이 제기되었다. 이는 오직 지리 정보만을 사용하는 경우 라우팅 결정에서 항상 같은 노드를 다음 홉으로 결정하기 때문에 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 로드 분산 메커니즘이 제안되었으며 이를 통한 성능 향상 방안을 제시하였다. 이 연구들은 혼잡 제어를 위하여 혼잡을 표현할 수 있는 새로운 파라미터를 제안하는데 대표적인 프로토콜은 VPR[7]이다. VPR에서 각 노드는 지역적 연결성, 트래픽의 크기, 그리고 시간에 대한 정보를 이웃 노드와 교환하며 이를 통하여 활성 경로를 설정하게 된다. 다른 프로토콜들[5][8]은 각 노드의 현재 버퍼 사용량을 통하여 혼잡을 제어하고자 한다. 특히, [8]에서 제안된 DLAR은 노드 인터페이스 큐

에 있는 패킷의 수를 로드 분산 메트릭을 사용하였다. 또한, [9-11]에서는 애드 혹 네트워크에서 로드 분산 알고리즘을 어떻게 적용할 수 있는지를 설명하고 있다.

하지만, 이러한 접근 방법은 성능 향상에 제한점이 있다. 이는 센서 네트워크의 특징을 정확히 반영하지 못하기 때문에 발생한다. 즉, 센서 네트워크의 경우 모든 데이터는 싱크라 불리는 장소에 전송되기 때문에 경로상의 메트릭을 조절하더라도 모든 데이터가 같은 경로를 따라 전송될 확률이 높아지게 된다. 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 에이전트 개념을 도입한다. 이는 싱크로 전송되는 데이터의 혼잡을 막기 위하여 싱크는 데이터 전송을 원하는 송신자에게 위치 정보 및 싱크 노드의 상태 정보를 이용하여 싱크 주변노드를 에이전트 노드로 결정한다. 결정된 에이전트는 각 송신자에게 통보되며 이를 통하여 각 경로의 분산이 이루어지게 된다. 제안되는 프로토콜의 다른 특징은 혼잡 측정 메트릭에 있다. 기존의 메트릭들이 단순히 각 노드의 상태를 이용하는 반면 제안된 메커니즘은 주변 노드들의 평균 값을 이용한다. 이는 이웃 노드의 값을 이용할 경우 메트릭 값이 매우 지역적이기 때문에 다음 홉 선택시 좋은 경로를 보장하지 못하게 된다. 반면 주변 노드의 평균값을 이용하게 되면 노드의 각 노드의 급격한 상태 변화에 영향을 적게 받게 되고 보다 네트워크의 환경을 반영할 수 있는 장점이 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 제안된 프로토콜을 단계적으로 설명하며 3장에서는 기존의 GPSR과 제안된 메커니즘의 시뮬레이션을 통하여 비교한다. 마지막으로 결론과 추후 연구 방향이 제시된다.

II. 제안 메커니즘

1) 싱크 에이전트

본 논문에서는 혼잡 제어를 위하여 싱크 에이전트 노드를 설정한다. 이는 싱크 노드의 주변 노드들로 구성되는 특별한 노드들이다. 일반화를 위하여 주변 노드는 싱크 노드와 n 홉 범위 내의 노드로 정의된다. 범위는 네트워크 상태에 따라 적용적으로 사용된다. 에이전트 노드의 설정은 두 가지 파라미터를 통하여 이루어진다. 하나는 송신자의 위치이고 다른 하나는 현재 에이전트 노드의 상태이다. 에이전트 노드의 상태는 현재 노드가 얼마

나 많은 송신자 노드들의 에이전트로 동작하고 있는지를 의미한다. 또한, 송신자의 위치는 싱크 노드와 가까운 거리에 있는 이웃 노드들을 고려하기 위한 방법이다.

일반적으로 에이전트 노드를 설정하기 위한 과정은 다음과 같다. 먼저, 송신자 노드는 싱크로 데이터를 전송하기 전에 자신이 에이전트 노드를 설정하였는지를 먼저 확인한다. 만약 송신자 노드가 에이전트 노드에 대한 정보를 가지고 있지 않다면, *Agent_Request* 메시지에 자신의 위치 정보를 포함하여 이를 싱크 노드에 전송하게 된다. 이 메시지는 기본적인 *GPSR*의 *greedy forwarding* 방법을 통하여 싱크 노드로 전송되게 된다. 싱크노드는 *Agent_Request* 메시지를 받으면 자신이 유지하고 있는 정보를 이용하여 에이전트 노드를 선택하게 되고 이를 송신자에게 전송하게 된다. 에이전트 노드 설정 알고리즘은 다음과 같다.

Algorithm 1: Selecting Agents

1. For all neighboring nodes, if a neighboring node on sending node i is closer than sink node, it is inserted into candidate set (S_i). Otherwise, it is passed.
 $S_i = S_i \cup \{j\}$
2. For all elements in set S_i , if a node supports the smallest number of source node as agents, it is selected as agent for requesting node i

알고리즘에 의하여 에이전트가 설정되게 되면 *Agent_Reply* 메시지를 통하여 송신자 노드에게 해당 에이전트 정보를 알려주게 되며 해당 노드의 에이전트 수에 관련된 정보를 갱신한다. 이후 주기적인 갱신 메시지를 통하여 S_i 는 유지되게 된다. 이러한 과정은 그림 1에 나타나 있다.

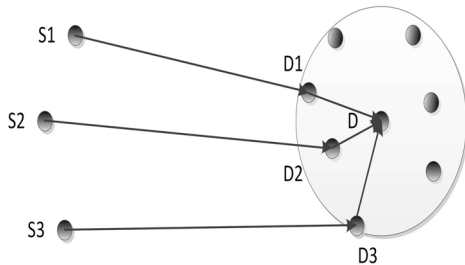


그림 1. 에이전트 요청 과정
Fig. 1 Procedure for requesting agent

그림 1에서 싱크 노드인 D 는 송신자 노드 $S1$ 으로부터 *Agent_Request* 메시지를 받게 된다. 이후 노드 D 는 $S1$ 에 가까우면서 가장 적은 송신자를 지원하는 에이전트를 선택하게 되는데 본 예에서는 $D1$ 이 선택된다. 이후 $S1$ 은 $D1$ 에 관한 테이블을 갱신한 후 $S1$ 에게 $D1$ 의 정보를 전송하게 된다. D 가 $S2$ 로부터 *Agent_Request* 메시지를 수신하게 되는 경우, 앞선 과정과 같은 알고리즘을 통하여 $D2$ 가 선택된다. 이는 $D1$ 이 비록 거리상으로는 $S2$ 에 가깝지만, $D1$ 의 경우 이미 $S1$ 을 지원하기 있기 때문에 선택과정에서 제외된다. 만약, $S1$ 과 $S2$ 가 $D1$ 을 에이전트로 설정하는 경우에는 로드 분산의 원활하게 이루어지지 않게 되며 이는 해당 에이전트가 지원하는 노드들의 수로써 조절된다. $S3$ 에 대한 에이전트 설정도 위의 과정과 동일하게 진행된다. 이러한 접근 방법은 앞선 절에서 언급된 잠재적 문제를 해결하는데 사용될 수 있다. 에이전트 설정이 끝나면 송신자는 목적지 대신에 에이전트 노드로 데이터를 전송하게 된다. 이후 에이전트 노드는 송신자로부터 수신한 데이터 패킷을 싱크 노드로 전송한다.

2) 데이터 포워딩

데이터 포워딩 시에 발생하는 혼잡을 해결하기 위한 다른 방안으로는 혼잡을 조절할 수 있는 보다 좋은 혼잡 인식을 위한 메트릭을 개발하는 것이다. 본 논문에서는 노드의 버퍼 가용량을 통하여 새로운 메트릭을 제안하고자 한다. 만약 버퍼의 사용량이 특정 임계치 값을 넘어가게 되는 경우에는 해당 노드를 혼잡 상태로 간주할 수 있다. 각 노드의 평균 가용한 버퍼 크기는 전체 버퍼의 비율의 값으로 표현되며 이 값을 주기적인 *HELLO* 패킷을 통하여 전송 된다. 즉, *HELLO* 메시지는 이웃 노드들의 위치 정보의 변경뿐만 아니라 가용한 버퍼 크기 정보도 갱신하게 된다. 각 노드는 이러한 *HELLO* 메시지에 포함된 가용한 버퍼 크기를 받게 되면 다음 식을 통하여 자신의 값을 결정하게 된다. 식에서 K 는 주변 노드들의 수이고 B 는 각 노드의 가용한 버퍼양이다.

$$C_i = \frac{\sum_{j=0}^k B_j}{k} \quad (1)$$

오직 위치 정보만을 가지고 다음 홉을 결정하던 기존의 *GPSR*와는 달리 새롭게 제안된 메커니즘에서는 위치

정보와 평균 버퍼 사용량을 동시에 고려하게 된다. 송신자 노드가 에이전트 노드에게 데이터를 전송하는 경우 거리가 가용한 버퍼량이 많고 에이전트로의 거리가 짧을 경우 다음 홉으로 선택된다. 이를 위한 알고리즘은 다음과 같다.

알고리즘 2를 적용한 데이터 포워딩의 예는 그림 2에 나타나 있다. 그림 2에서 S1, S2, S3과 S4는 네 개의 송신자 노드이고 싱크 노드인 D로 데이터를 전송하는 경우를 보여준다. 제안된 방법이 적용되는 경우에는 노드 A의 버퍼 가용량이 충분하지 않을 경우 A는 아닌 A1이 다음 홉으로 선택되게 되고 이와 마찬가지로 B1이 선택되게 된다. 이러한 데이터 포워딩을 통하여 혼잡 발생이 예방되게 된다.

Algorithm2 : Deciding Next Hop

1. For all neighboring nodes within 1 hop
if $B_j > \text{threshold}$
 $X_i = X_i \cup \{j\}$
2. if the total elements of X_i is more than 2, choose any element randomly

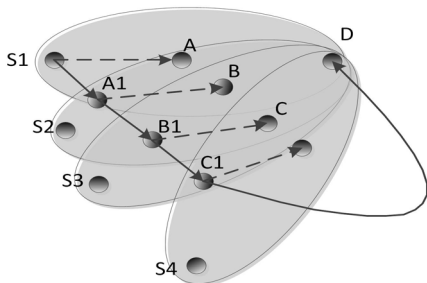


그림 2. 데이터 패킷 포워딩
Fig. 2 Forwarding data packet

III. 성능평가

1) 시뮬레이션 환경

새롭게 제안된 메커니즘의 성능 평가를 위하여 ns-2.27 버전에서의 GPRS를 변경하였다. 시뮬레이션 결과는 아무런 변경없이 시뮬레이션 trace 파일에서 데이터를 수집하였다. 시뮬레이션을 위하여 기초 값은 ns-2

의 초기 값으로 설정되었다. 시뮬레이션에서 노드의 수는 100개로 설정되었고 각 노드의 전송범위는 100m이다. 시뮬레이션을 위한 영역은 1500 * 300 미터로 구성되었으며 시뮬레이션은 약 300초 동안 수행되었다. GPRS를 위한 비콘 메시지 간격은 5초로 설정되었으며 보다 구체적인 시뮬레이션 환경은 각 시뮬레이션에서 설명한다.

2) 패킷 전송률에 따른 시뮬레이션 결과

이 시나리오에서는 서로 다른 패킷 전송률을 가지는 8개의 연결이 사용되는 경우 제안된 메커니즘의 패킷 전송 성공률을 비교하였다. 그림 3은 패킷 전송률이 증가하는 경우 현재 GPRS과 새롭게 제안된 기능을 추가된 GPRS에서 얼마나 많은 패킷이 목적지까지 전송되었는지를 보여준다. 또한, 각각의 경우에 에이전트 노드의 선택 범위를 싱크 노드의 몇 홉안의 설정할 지에 따른 성능 평가도 이루어졌다. 패킷 전송률의 증가는 네트워크에 많은 트래픽이 유입됨을 의미한다.

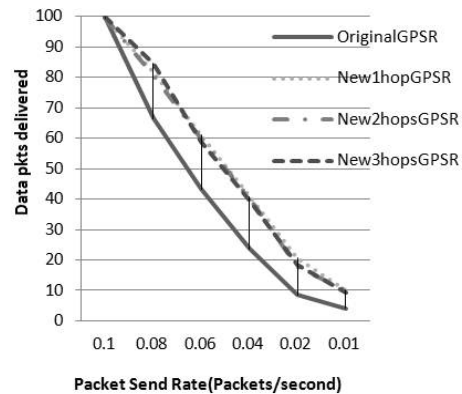


그림 3. 연결의 수가 8인 경우 데이터 전송 성공률
Fig. 3 Packet delivery ratio for eight connections

그림 3에서 보면 제안된 기능이 탑재된 GPRS의 경우 시뮬레이션 환경에 상관없이 보다 좋은 성능을 보여주고 있다. 하지만, 트래픽이 증가되는 경우 패킷 전송 성공률이 급격히 낮아지는 것을 볼 수 있다. 하지만, 원래의 GPRS과는 상당한 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 시뮬레이션 초기에는 거의 보이지 않으나 패킷 전송률이 증가함에 따라 최대 10% 이상의 성능 차이를 보여 주게 된다.

제안된 메커니즘이 높은 데이터 전송률에서도 좋은 성능을 보이는 것은 제안된 방법이 혼잡을 방지하는 동시에 싱크 주변의 혼잡을 적절하게 조절할 수 있음을 보여주고 있다. 특히, 원래 GPSR의 성능을 측정하는 결과 많은 패킷의 손실이 싱크 주변에서 일어나고 있는 것을 확인할 수 있었으며 이는 제안된 메커니즘이 싱크 주변의 혼잡을 적절하게 제어하고 있음을 의미한다. 또한, 패킷의 전송률이 증가하는 경우 데이터 전송 경로상의 혼잡도 무시할 수 없지만 제안된 메커니즘의 경우 에이전트 노드를 통하여 데이터의 분산의 적절하게 이루어짐으로써 혼잡으로 인한 패킷 손실을 줄이고 있다. 또한, 제안된 혼잡을 위한 메트릭 또한 네트워크의 상태를 적절하게 반영하고 있음을 의미한다.

두 번째 시뮬레이션은 연결을 수를 조절함으로써 혼잡을 유발하는 환경에서의 성능을 측정하였다. 그림 4는 연결의 수가 늘어남에 따른 패킷 성공률을 보여주고 있다. 그림 3과 마찬가지로 트래픽이 적은 경우에는 차이점을 보이지 않지만 연결이 수가 늘어남에 따라 성능 차이가 확연하게 나타난다. 새로운 기능을 추가로 인한 성능 향상에 대한 분석은 앞선 설정과 같다.

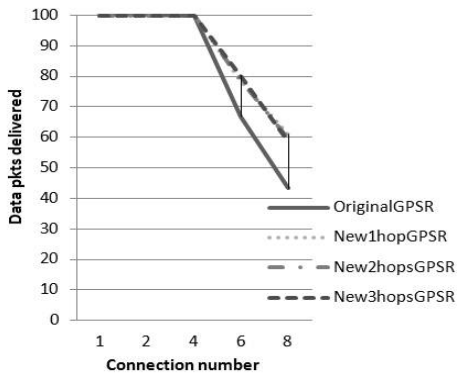


그림 4. 패킷 전송률이 0.06인 경우의 연결에 따른 패킷 전송 성공률

Fig. 4 Packet delivery ratio for connections when packet interval is 0.06 sec

3) 트래픽 변화에 따른 시뮬레이션 결과

이번 시뮬레이션의 경우, 앞선 시뮬레이션에 비하여 보다 많은 트래픽 연결을 설정하는 경우에 성능 평가를 보여준다. 그림 5는 패킷 전송률이 증가하는 경우 패킷 성공률을 보여준다. 기존의 시뮬레이션 결과와 비교하

여 차이점은 성능의 향상의 5% 정도를 제한되었다는 점이다. 또한, 전체적으로 패킷 전송률이 많이 떨어졌다는 점이다. 이것은 네트워크가 매우 혼잡한 상황에서는 새로운 메커니즘의 경우에도 낮은 성능을 보이게 됨을 의미한다. 비슷한 시뮬레이션 결과가 그림 6에서도 관측되었다. 그림 9은 싱크로 향하는 연결의 수를 10에서 20으로 증가시킬 경우 두 메커니즘의 성능을 보여주고 있다. 앞선 분석과 비슷하게 트래픽의 계속하여 증가하는 경우 둘 다 성능이 낮아지지만 새로운 기능을 추가한 경우, 그 속도가 원래의 GPSR에 비하여 늦게 이루어지고 있음을 알 수 있다.

4) 결과 분석

본 시뮬레이션 결과를 분석하면 제안된 메커니즘은 다수의 그림에서 알 수 있듯이 원래의 GPSR보다 높은 성능을 보여주고 있다. 하지만, 본 시뮬레이션에서 중요한 사실을 알 수 있다. 이는 싱크 주변의 홑 수에 따른 성능 분석으로 시뮬레이션 결과를 보면 에이전트 설정 범위에 따른 차이점이 거의 없음을 알 수 있다. 이는 현재의 시뮬레이션 환경이 밀집된 환경에서 수행되었다는 점에서 어느 정도 이해할 수 있다. 하지만, 다른 중요한 이유는 제안된 메커니즘이 송신자와 에이전트, 에이전트와 싱크 노드 사이에 동일하게 적용되기 때문이다. 이는 제안된 메커니즘의 경우에는 송신자와 에이전트간의 문제점을 해결하는 데에 초점이 맞추어져 있기 때문에 에이전트와 싱크 노드까지에 새로운 혼잡 제어 메커니즘을 적용한다면 보다 좋은 효과가 발생할 수 있다.

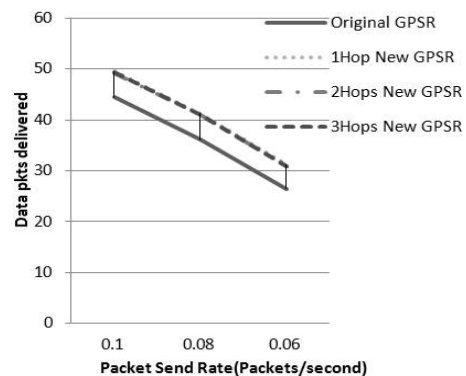


그림 5. 20개의 다른 연결에서의 패킷 전송 성공률
Fig. 5 Packet delivery ratio for 20 different connections

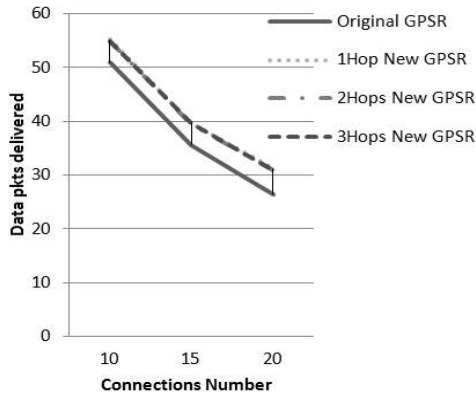


그림 6. 패킷 전송율이 0.06일 경우에 패킷 전송 성공률
 Fig. 6 Packet delivery ratio when interval between packets is 0.06 sec

IV. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 지리정보 라우팅 프로토콜의 대표적인 프로토콜인 GPSR의 greedy 포워딩 메커니즘으로 인한 혼잡 문제점을 지적하였다. 이 분야에 관련된 현재까지의 연구들은 대부분 성능 향상을 위한 새로운 메트릭을 제안하는데 비하여 본 논문에서는 에이전트와 새로운 메트릭을 동시에 제안하였다. 에이전트를 통하여 트래픽을 분산시키고 새로운 메트릭은 네트워크 환경을 보다 정확하게 반영시키게 된다. 이러한 기능들은 시뮬레이션을 통하여 성능이 평가되었다. 모든 경우에서 제안된 메커니즘을 GPSR에 탑재할 경우 성능 향상이 이루어지고 있는 것을 알 수 있다.

본 연구와 관련하여 송신자와 에이전트, 에이전트와 싱크 노드 사이에 다른 기법을 적용하기 위한 방안과 다양한 혼잡 인식을 위한 메트릭에 대한 연구가 계속 이루어질 것이다.

참고문헌

[1] Martin Mauve, et al, "A Survey on Position Based Routing in Ad-Hoc Networks", IEEE Network Magazine, Vol. 15, No. 6, November 2001, pp. 30-39.

[2] Brad N. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," in Proc. of ACM MobiCom, August 2000, pp. 243 - 254.

[3] Y.-B. Ko, and N. H. Vaidya, "Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks," in Proc. of ACM Mobicom, 1998, pp. 66-75.

[4] R. Zhang, H. Zhao, M.A. Labrador, "The Anchor Location Service (ALS) Protocol for Large-Scale Wireless Sensor Networks," in Proc. of CREATE-NET 2006, May 2006.

[5] Minhoo Choi, Junhyung Kim, Sooyeol Yang, Namkoo Ha, Kijun Han, "Load for Load Balancing for Efficient Routing in Wireless Sensor Networks," in Proc. of International Multi-symposiums on Computer and Computational Sciences, 2008, pp. 62-68.

[6] Fucui Yu, Younghwan Choi, Soochang Park, Euisin Lee, Min-Sook Jin, Sang-Ha Kim, "Sink Location Service for Geographic Routing in Wireless Sensor Networks," in Proc. of WCNC, 2008, pp. 2111 - 2116.

[7] A. Altalhi and G. Richard, "Virtual Paths Routing: A Highly Dynamic and Adaptive Routing Protocol for Ad Hoc Wireless Networks," in Proc. of Second IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, 2004.

[8] S. -J. Lee and M. Gerla, "Dynamic Load-aware Routing in Ad Hoc Networks," in Proc. of IEEE ICC, 2001, pp. 3206 - 3210.

[9] Matthew Fyffe, Min-Te Sun, and Xiaoli Ma, "Traffic-Adapted Load Balancing in Sensor Networks Employing Geographic Routing," in Proc. of IEEE WCNC, 2007.

[10] H. Dai, and R. Han, "A Node-Centric Load Balancing Algorithm for Wireless Sensor Networks," in Proc. of IEEE GLOBECOM, 2003, pp. 548-552.

[11] H. Hassanein, and A. Zhou, "Routing with Load Balancing in Wireless Ad Hoc Networks," in Proc. of the 4th ACM international workshop on modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems, 2003, pp 89 - 96.

저자소개



동리화(Lihua Dong)

2010.08 경상대학교 공학석사

※관심분야: 센서 네트워크, 이동 네트워크



김기일(Ki-II Kim)

2002.02: 충남대학교 이학석사

2005.02: 충남대학교 이학박사

2006.03 ~ 현재: 경상대학교
정보과학과 조교수

※관심분야: 센서 네트워크, 이동/무선네트워크, 애드
혹 네트워크, 프로토콜 공학