

---

# MANET에서 효율적인 ATICC(Adaptive Time Interval Clustering Control) 알고리즘에 대한 연구

김영삼\* · 이강환\*\*

한국기술교육대학교

A Study on the Efficient

ATICC(Adaptive Time Interval Clustering Control) Algorithm for MANET

Young-sam Kim\* · Kang-whan Lee\*\*

Korea University of Technology and Education

E-mail : verdino@kut.ac.kr

## 요 약

MANET(Mobile Ad-hoc Network)은 기간망에 의존하지 않는 이동 노드들로 구성된 자율망 또는 추론망 토폴로지에 의한 멀티홉 무선 네트워크이다. MANET을 구성하는 각 노드의 이동성, 속도 그리고 에너지와 같은 다양한 속성정보는 망의 특징과 운영을 결정하는 요인이다. 특히 망의 운영상, 전송 대역폭과 에너지 사용에 따른 제약을 가지며 이러한 특징을 고려한 라우팅 프로토콜의 설계 및 하드웨어 개발이 중요하게 요구된다. 본 논문에서는 계층적 클러스터 구조의 MANET 환경에서 노드의 에너지 속성과 네트워크의 트래픽 상태를 고려한 적응적 시간차 노드관리 기법인 ATICC(Adaptive Time Interval Clustering Control)을 제안한다. 제안된 ATICC은 시간차 노드 관리 기법인 TICC(Time Interval Clustering Control)[1]에 기반하며 노드에 최적화된 Active/Sleep, Idle Listening 상태를 적응적으로 설정한 후 패킷을 전송함으로써 계층적 클러스터 내의 각 노드의 균형적인 에너지 소모를 이루는 에너지 효율적인 방식이다. 제안한 노드관리 방법은 기존의 LEACH, TICC과 비교 실험하고 그 성능을 검증하였다. 실험 결과, 제안한 노드관리 방법이 노드별 에너지 소모량을 줄였으며 전체 네트워크의 생존시간을 연장함으로써 기존의 방법 보다 우수함을 확인하였다.

## 키워드

MANET, Sensor network, Routing Protocol, Transmission control, Node Management

## 1. 서 론

최근 무선통신기술의 발전과 다양한 센서 노드의 개발로 인해 무선 센서 네트워크와 이동 호스트로 구성된 MANET 그리고 차세대 컴퓨팅 기술인 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에 대한 관심과 연구가 활발히 이루어지고 있다. 일반적으로 MANET을 구성하는 각 노드들은 이동성, 속도 그리고 에너지와 같은 다양한 속성정보를 가진다. 하지만 전송 대역폭과 에너지 사용에 제약을 가지며 이러한 특징이 노드간의 잦은 회선 단절과 경로 재설정 문제를 유발한다[4]. 따라서 네트워크 내에 제어 메시지 및 데이터 패킷이 과도하게 생성되어 네트워크 트래픽 증가를 유발하며, 불필요한 에너지 소모로 인해 노드의 수명을 단축시켜 결과적으로 전체 네트워크의 수명이 단축되는 큰 문제점을 야기하게 된다. 그러므로 노드의 한정된

에너지 자원을 낭비하지 않고 네트워크에 트래픽이 집중되지 않도록 하는 효율적인 노드관리 및 패킷 전송에 대한 방안이 필수적이다.

본 논문에서는 제기된 문제점을 해결하기 위해 에너지 효율적인 노드관리 기법인 ATICC을 제안한다. 제안 기법은 노드의 에너지 속성에 따른 시간차 노드 관리 기법인 TICC[1]에 기반한다. ATICC은 노드의 에너지 속성값에 따라 분류된 계층적 클러스터 구조의 MANET환경에서 노드의 에너지 속성과 네트워크의 트래픽 상태를 고려하여 노드에 최적화된 Active/Sleep, Idle Listening 상태를 적응적으로 설정한 후 패킷을 전송함으로써 계층적 클러스터 내의 각 노드의 균형적인 에너지 소모를 이루는 에너지 효율적인 방식이다. 이를 통해 네트워크의 트래픽이 집중됨을 사전에 방지하고 효율적인 패킷 전송을 통해 불필요한

에너지 소모를 줄이게 된다. 성능을 확인하기 위해 기존의 LEACH, TICC과 노드별 에너지 소모량, 전체 네트워크의 생존시간을 비교하였다.

본 논문의 구성은 1장 서론에 이어 2장에서 관련 연구를 간략히 제시하고, 3장에서는 제안 방법에 대해 자세히 기술한다. 4장에서는 실험 및 분석을 하고, 5장의 결론으로 맺는다.

## II. 관련 연구

MANET의 환경에서는 노드의 에너지 소모를 줄이기 위해 MAC계층과 네트워크 계층에서 다양한 에너지 효율적인 프로토콜들이 제안되어왔다. 그 중 가장 대표적인 경쟁기반의 동기식 MAC 프로토콜은 S-MAC[5]과 T-MAC[6]이다. 경쟁 기반의 동기식 MAC 프로토콜은 SYNC 패킷을 이용하여 노드들간의 동기화를 수행하며, 주기적인 활성(active)과 휴면(sleep) 상태를 반복하여 불필요한 에너지 소모를 줄이는 메커니즘이다. S-MAC은 RTS/CTS 신호를 사용하는 경쟁기반 MAC 프로토콜로써 SYNC 패킷을 사용하여 노드들 간의 가상 클러스터(virtual cluster)를 구성, 스케줄 관리를 통해 동기화를 수행한다. 하나의 프레임은 활성과 휴면주기로서 이루어지는데, 휴면 주기 동안에는 센서 노드들은 송수신기의 기능을 꺼놓고 활성 주기에는 송수신기의 기능을 다시 켜서 이웃 노드들과 데이터를 송·수신하게 된다. S-MAC에서는 이러한 활성과 휴면 주기를 반복적으로 사용하여 통신 오버헤드를 줄이고 에너지 절감 효과를 향상시킨다. 하지만 모든 노드의 휴면 주기가 고정되어 통신상황에 유연하지 못한 단점이 있다. T-MAC은 S-MAC 기법에 타이머 기능을 추가하여 정해진 시간동안 이벤트가 발생되지 않으면 타임아웃되어 센서 노드들이 바로 휴면 상태로 들어가도록 하여 에너지 절감효과를 가져오도록 설계되었다. 하지만 상대적으로 전송 지연이 증가된다는 단점을 가지고 있다. 한편 네트워크 계층의 대표적인 라우팅 프로토콜은 LEACH[2]를 들 수 있다. LEACH는 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜이다. 클러스터 기반의 모든 센서 노드는 클러스터헤더로 데이터를 전송하며 헤더는 데이터 병합을 통해 수집된 데이터를 모아서 싱크 노드로 전송한다. 때문에 클러스터헤더에 에너지 소모가 집중되게 된다. LEACH에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 클러스터헤더 교체 알고리즘을 사용하여 클러스터헤더를 확률식에 근거하여 라운드(Round) 단위로 교체함으로써 에너지 소모의 평균화를 보장했다. 하지만 클러스터헤더노드와 싱크노드의 거리가 클러스터헤더의 최대 전송거리보다 멀 경우 통신이 단절되는 단점이 있다.

## III. 적응적 시간차 노드관리 기법 ATICC

본 논문에서 제안하는 ATICC은 노드의 에너지 속성에 따른 시간차 노드 관리 기법인 TICC[1]에 기반한 에너지 효율적인 노드관리 기법이다. ATICC은 계층적 클러스터 구조의 MANET환경에 적합하게 설계되었으며 UoC(Ubiquitous system On a Chip) 구조라 부르는 CRS(Context-aware Recognition Switch)/DOS(Dynamic and Optimal Standard)가 접목된 시스템 구조를 기반으로 한다. UoC 구조는 상황인식(Context Aware)에 따라 각 주변상황의 상태값을 시스템이 스스로 가중치를 두고 판단하여 시스템에 가장 필요한 최적의 기준값을 유동적으로 설정해주는 구조이다. 유동적으로 기준을 설정한다는 개념은 특히 노드가 지닌 환경에 따라 채집된 정보로부터 유연하고 자유도가 높은 네트워크 구성특성이 있는 MANET에서 가장 중요시 되어야 하는 개념 중의 하나이다. ATICC이 접목된 노드의 UoC 구조는 그림 1과 같다.

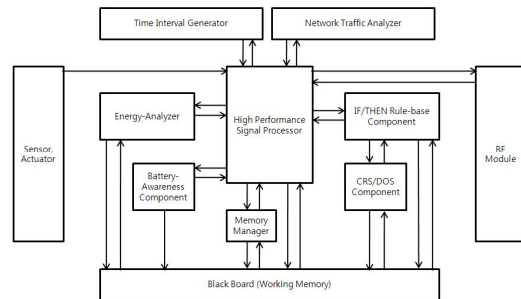


그림 1. ATICC이 접목된 UoC 구조도

제안된 UoC 구조는 각 기능별 Component들로 구성되어 있다. High Performance Signal Processor는 ATICC 알고리즘을 구동하는 시스템의 Main Processor이다. Battery-Awareness Component는 노드의 성능을 좌우하는 에너지 자원인 Battery 잔량을 확인한다. Energy-Analyzer Component는 노드의 Battery 잔량에 따라 Energy Level을 분류한다. CRS/DOS Component는 노드의 주변상황에 따른 최적의 기준값을 가중치를 두고 판단한다. IF/THEN Rule base Component는 지정된 IF/THEN 규칙에 따라 연산을 수행한다. Black Board(Working Memory)는 노드에서 사용하는 내부 ROM, RAM 또는 외부 메모리 등을 총칭하며 Memory Manager를 통해 메모리 사용을 관리한다. Time Interval Generator는 Energy Level, CRS/DOS에 의해 선정된 값 그리고 네트워크의 트래픽 상태를 고려하여 노드의 상태 시간인 TA(Time Active), TS(Time Sleep), TI(Time Idle Listening)을 설정한다. Network Traffic Analyzer는 네트워크 트래픽의 상태를 RTS/CTS의 횟수, 패킷 재전송 횟

수, 응답지연시간 등을 이용하여 파악한다. Sensor, Actuator는 주변환경에 대한 각종 데이터를 취득하기 위한 전처리 입력 모듈이다. 마지막으로 RF Module은 데이터를 전송하는 RF Transceiver로써 본 연구에서는 Microchip의 MRF24J40을 사용하였다. 표 1은 TX, RX, Sleep 상태에서 MRF24J40이 소모하는 전류값을 보여준다.

표 1. MRF24J40의 상태별 전류소모 특성

상태	전류소모
Tx	19 mA
Rx	23 mA
Sleep	2 uA

일반적으로 노드는 Tx, Rx모드에 있을 때 보다 Sleep 상태에 있을 때에 전류소모가 적다. LEACH에서는 Tx, Rx상태에서 전송 패킷 당 소모되는 에너지에 대해 다음과 같이 모델링 하였다.

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec} \times k + e_{amp} \times k \times d^2 \quad (1)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} \times k \quad (2)$$

위의 모델링에서 보면 Tx상태에서는 신호의 증폭연산을 위한 에너지 파라미터  $e_{amp}$ 와 전송거리에 관한 파라미터  $k$ 가 추가되어 Rx상태에서 소모되는 에너지량에 비해 크다는 것을 알 수 있다.

이와 관련하여 특히 본 논문에서 제안하는 ATICC은 노드의 전류소모 특성을 고려한 노드의 동작상태인 Active, Sleep 그리고 Idle Listening 상태를 노드의 에너지 상태와 네트워크의 트래픽 상황을 고려하여 최적의 값으로 조절함으로써 노드의 에너지 소모를 줄인다. 각 상태는 상태유지 시간인 TA, TS, TI값을 가진다. TA는 노드 활성화 시간, TS는 노드 휴면시간 그리고 TI는 TA상태에서 노드가 아무런 동작도 하지 않는 Idle Listening 상태시간을 의미한다. 각 상태유지 시간은 다음의 기준에 의해 조절 및 설정된다.

기준 1. 노드의 Energy Level이 높고 네트워크의 트래픽이 적다면 TA시간을 + $\alpha$ 만큼 길게하고 TS시간은 - $\beta$ 만큼 짧게 조절한다. 반대의 상황인 경우 TA시간을 - $\alpha$ 만큼 짧게하고 TS시간을 + $\beta$ 만큼 길게 조절한다.

기준 2. 노드의 TA시간동안 데이터의 전송 및 노드의 동작에 관한 이벤트가 발생하지 않는 시간이 오래도록 지속된다면, 즉 TI시간이 길어진다면 TA시간을 - $\alpha$ 만큼 짧게하고 TS시간은 + $\beta$ 만큼 길게 조절한다. 역시 반대의 상황인 경우 TA시간을 + $\alpha$ 만큼 길게하고 TS시간은 - $\beta$ 만큼 짧게 조절한다.

두 가지 기준을 이용하여 TA, TS, TI상태 시간을 적응적으로 조절하여 노드의 전송 및 동작을

관리함으로써 네트워크의 트래픽 집중을 사전에 방지 할 수 있으며, 네트워크의 혼잡으로 인해 발생하던 패킷 재전송 등의 과정에서의 불필요한 에너지 소모를 줄였다. 또한 계층별로 전송처리 시간을 다르게 함으로써 Energy Level이 높은 노드와 상대적으로 낮은 노드사이의 에너지 소모의 균등화를 통해 전체 네트워크의 수명시간을 향상시키는 결과를 가져왔다. 그림 2은 ATICC에 의해 각 계층별 노드의 설정된 TA, TS, TI상태시간 설정에 대한 개념도를 보여준다.

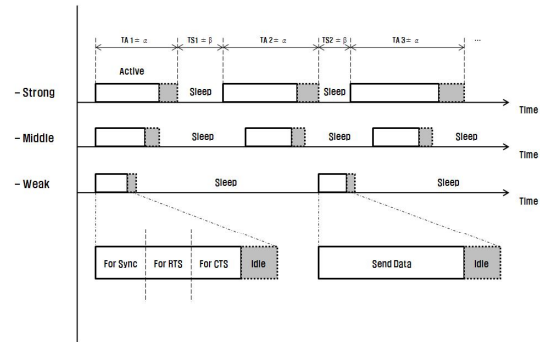


그림 2. ATICC의 상태시간 개념도

그림 3은 시간차 노드관리 기법인 TICC과 적응적 시간차 노드관리 기법인 ATICC 알고리즘을 통해 생성된 계층적 클러스터의 논리적 구조의 예를 보여준다[1].

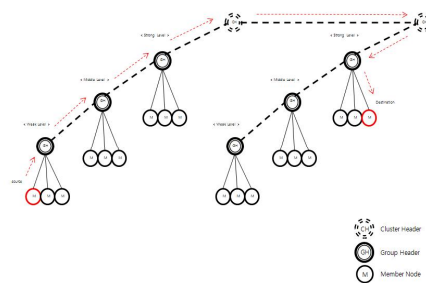


그림 3. 계층적 클러스터의 논리적 구조도 예시

#### IV. 실험 및 분석

제안한 ATICC 알고리즘의 에너지 효율성에 대한 증명을 하기 위해 Energy Level과 네트워크 트래픽 상황이 다른 두가지의 경우를 가정한 각 노드를 무작위로 26개 추출하여 시뮬레이션 하였다. ATICC에서 적응적으로 설정하는 상태유지 시간인 TA, TS, TI는 식(3),(4),(5)과 같다.

$$TA_{(n+1)} = TA_{(n)} \times \left( \frac{E_L \times E_R}{N_T} \right) k \quad (3)$$

$$TS_{(n+1)} = TS_{(n)} \times \left( \frac{N_T}{E_L \times E_R} \right) k \quad (4)$$

$$TI_{(n+1)} = TI_{(n)} \times \left( \frac{1}{T_{XE} \times R_{XE}} \right) k \quad (5)$$

위의 식에서  $E_L$ 은 노드의 에너지 레벨,  $E_R$ 은 노드의 에너지 잔여량,  $N_T$ 는 네트워크 트래픽 상태값,  $k$ 는 비례상수 값,  $T_{XE}$ 는 TX상태에서의 이벤트 발생여부,  $R_{XE}$ 는 RX상태에서의 이벤트 발생여부를 나타낸다. TA, TS, TI를 이용한 ATICC의 에너지 소모에 관한 모델링은 식(6)과 같다.

$$E_T = (E_{Tx} + E_{Rx}) \times \left( \frac{TA}{TS \times TI} \right) k \quad (6)$$

ATICC의 에너지 모델링은 LEACH에 기반 하였다.  $E_T$ 는 노드의 전체 에너지 소모를,  $E_{Tx}$ ,  $E_{Rx}$ 는 LEACH의 에너지 모델링 파라미터이다. 이러한 식을 이용하여 LEACH, TICC, ATICC의 전체 네트워크의 생존시간인 Life-time을 비교한 결과 그림 4, 5와 같은 결과를 확인 할 수 있었다.

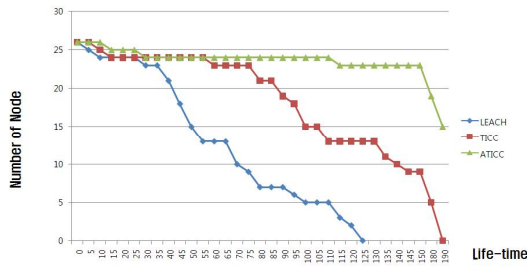


그림 4. 클러스터 생존시간(Life-time) 비교 네트워크의 트래픽이 집중된 상황

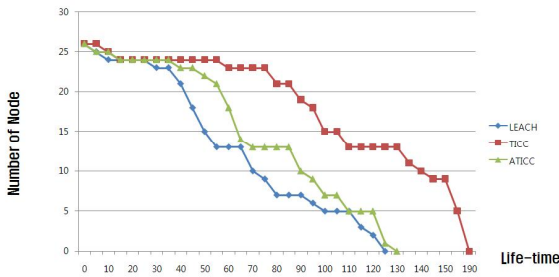


그림 5. 클러스터 생존시간(Life-time) 비교 네트워크의 트래픽이 집중되지 않은 상황

시뮬레이션 결과 ATICC 알고리즘은 네트워크의 트래픽이 집중된 상황에서는 불필요한 재전송 및 컨트롤 패킷의 낭비가 없기 때문에 클러스터의 생존시간을 향상시킬 수 있고, 반대의 상황에서는 패킷의 전송이 원활하기 때문에 신속히 데이터를 처리할 수 있으나 클러스터의 생존시간은

LEACH 보다는 향상된 결과를 가져오나 TICC 알고리즘에 비해서는 효율성이 조금 떨어지는 결과를 보였다.

## V. 결 론

본 논문에서 제안한 ATICC 알고리즘은 계층적 클러스터구조의 MANET환경에서 노드의 에너지 속성과 네트워크의 트래픽 상태를 고려한 적응적 노드 관리 방법이다. 노드의 상태 유지 시간인 TA, TS, TI값을 조절함으로써 네트워크의 트래픽의 집중도를 낮추었다. 또한 Energy Level이 높은 노드와 상대적으로 낮은 노드간의 에너지 소모의 균등화를 이루어 전체 클러스터 생존시간을 향상시키는 결과를 가져왔다. 하지만 망의 구조가 단순하고 네트워크의 트래픽이 많이 발생하지 않은 곳에서는 ATICC 알고리즘의 효율성이 다소 낮을수 있다는 단점을 발견하였다. 앞으로 ATICC을 다양한 구조, 상황 그리고 환경에서 적용시키기 위한 연구가 더욱 필요하겠다.

## Acknowledgment

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

## Acknowledgment

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전력기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

## 참고문헌

- [1] 김영삼, 두경민, 이강환, "노드의 속성을 고려한 효율적인 TICC(Time Interval Clustering Control)알고리즘에 관한 연구," 한국해양정보통신학회논문지, v.12 no.9, pp.1696-1702, 2008
- [2] Wendi Rabiner Heinzelman, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," the 33rd hawaii International conference on System Sciences, 2000
- [3] Wendi B. Heinzelman, "An Application Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor networks," IEEE Transactions on wireless communications, vol 1, no 4, 2002
- [4] 신종희, "무선 센서네트워크에서 교차계층 설계 기반의 에너지 효율적인 데이터 전송 기법," 한국컴퓨터정보학회논문지, vo.13 no.4, 2008
- [5] Wei Ye, John Heidemann, Deborah Estrin, "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.12, No.3, June 2004
- [6] J.M. van Dam "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", Delft University of Technology, June, 2003