

전술 Ad-hoc 네트워크에서 노드 생존성 향상을 위한 프로토콜 설계

A Routing Protocol for Improving Node Survivability in Tactical Ad-hoc Network

김 영 안* 박 건 우**
Young-An Kim Gun-Woo Park

Abstract

TICN, a next-generation tactical communication network based on a wireless network, acts as the backbone of the whole network. TICN requires the routing which takes both survivability of passage, reliability, and safety of wireless link into consideration. A tactical network like TICN may maintain the passage for just a short period of time due to topology's frequent changes; In this process all nodes, dependent on batteries for their necessary energy, are restricted by batteries' durability in due course. To overcome this shortcoming, the up-to-date protocols consider only either of diminishing or balancing out energy consumptions. Thus there was a limitation to enhancing both throughput and energy efficiency.

The thesis proposes a protocol which regards both throughput and energy efficiency, and enhances node survivability by means of minimizing and balancing energy consumption of the whole network. The protocol brings out an improvement in throughput and makes each node's energy usage more effective.

Keywords : TICN, Tactical Ad-hoc Network, Throughput, Node Survivability, Energy Efficiency

1. 서론

정보통신 환경은 기존의 상용 통신 환경과 달리 지형 제한이 있는 다양한 통신 환경에서 생존성, 안전성, 신뢰성 있는 통신을 요구한다. 또한 고정된 기간 시설

이 없는 전장의 통신환경을 극복할 수 있도록 무선통신 체계와 전술노드 체계의 구축이 필요하다.

현재 정보통신 기술 및 네트워크 인프라의 발전으로 미래의 전장 환경은 플랫폼 중심에서 통신망과 응용체계가 통합된 네트워크 중심의 지휘통제가 이루어지는 NCW(Network Centric Warfare)로 이동하고 있다. 이에 우리군에서도 현재 운용중인 SPIDER와 통합군 차원의 전략 기동통신체계의 제한사항을 극복하고, NCW 환경에서 군이 요구하는 정보통신 지원능력의 증추적 역할을 담당할 정보통신 기반체계를 구축하기

† 2012년 11월 10일 접수~2013년 1월 25일 게재승인
* 국방대학교(Korea National Defense University)
** 합동군사대학교(Joint Force Military University)
책임저자 : 김영안(roundsun@kndu.ac.kr)

위한 차기 전술통신체계인 TICN(Tactical Information Communication Network) 체계를 구축 중에 있다^[1]. TICN은 현재 전술망에 비해 대용량 전송능력 및 기동성을 바탕으로 네트워킹 능력의 획기적 향상을 목표로 하고 있다.

지금까지는 TICN과 같은 전술 애드혹 네트워크^[2]에서 요구하는 전술 노드에 대한 생존성 보장을 위한 에너지 측면에 초점이 맞추어진 라우팅 프로토콜들이 A Balanced Energy Consumption Algorithm by Threshold-Tuning(BECT), Minimum Transmission Power Routing(MTPR), Minimum Battery Cost Routing(MBCR) 등과 같이 파워를 고려한 방식들이 제안되었다. 하지만 이와 같은 프로토콜들은 에너지 소모를 감소시키거나 또는 에너지 소모의 균형을 이루는 어느 한 측면만을 고려했다^[3,4]. 따라서 처리량과 에너지 효율성 향상의 두 가지 측면을 모두 향상시키기에는 제한이 있었다. 즉 에너지 소모 측면만을 고려할 경우 처리량 측면의 성능이 저하되고, 처리량 측면만을 고려한 경우 노드들의 에너지 소모가 전반적 증가하고 각 노드들이 비효율적으로 에너지를 소모하게 된다. 따라서 이와 같은 단점을 보완할 새로운 프로토콜이 필요하다.

본 논문에서는 처리량과 에너지 효율성을 동시에 고려하여 네트워크 전체의 에너지 소모를 최소화하고 균형된 에너지 소모를 통해 노드의 생존성을 향상시킬 수 있는 프로토콜을 제안한다. 제안방식은 처리량의 향상과 각 노드들의 에너지 사용에 대한 효율성을 증가시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구들에 대하여 설명하고, 3장에서는 제안방안인 노드 생존성 향상을 위한 라우팅 프로토콜에 대해 기술한다. 4장에서는 시뮬평가를 통하여 제안방안의 효율성을 기존방법과 비교 평가하고, 마지막 5장에서는 논문의 결론을 맺는다.

2. 관련연구

가. BECT

BECT(A Balanced Energy Consumption Algorithm by Threshold-Tuning)는 에너지가 부족한 노드들이 라우팅 경로에 포함되어 전체 네트워크의 수명을 단축시키는 문제점을 해결하기 위해 제안된 Threshold-Tuning을 통한 균형적인 에너지 소모 알고리즘이다^[5].

BECT는 균형된 에너지 소모라는 메트릭을 사용함으로써 사용측면에서는 어느 정도 효율적이나 홉 수가 고려되지 않기 때문에 네트워크 전반적으로 처리율이 감소되는 단점을 가지고 있다. Fig. 1에서 N2가 배터리 잔량이 충분하지 않은 노드로 판단될 경우 라우팅 경로는 노드 N1-N2-N3-N4 대신, 노드 N1-N5-N6-N7-N8-N4 보다는 N1-N5-N6-N3-N4이 선택된다. 이와 같이 최단 경로가 설정되는 경우가 많아지면 처리율 측면에서 비효율적이 된다.

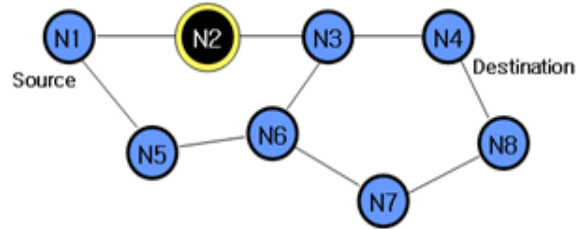


Fig. 1. Data forwarding of intermediate nodes with energy threshold

나. MTPR

MTPR(Minimum Transmission Power Routing)은 경로에 참가한 노드들의 전체적인 전송 전력 소모량을 고려하여 경로를 설정하는 프로토콜로 전송 전력함수를 사용한다^[6]. 일반적인 경로 $r_d = n_0, n_1, \dots, n_d$ 가 있다고 가정하자. 여기서 n_0 는 소스 노드이고 n_d 는 목적지 노드이다. $T(n_i, n_j)$ 가 홉(n_i, n_j)를 통해 전송할 때의 소모되는 에너지를 나타낸다고 할 때 이 경로에 대한 전체적인 전송 전력은 식 (1)과 같다.

$$P(r_d) = \sum_{i=0}^{d-1} T(n_i, n_{i+1}) \quad (1)$$

최적의 경로를 r_0 라고 한다면 $P(r_0) = \min\{P(r_j) | r_j \in r^*\}$ 이다. 여기서 r^* 는 모든 가능한 경로들의 집합을 말한다. 필요한 전송 전력은 d^a 에 비례한다. 여기서 d 는 두 노드 사이의 거리이고 a 는 손실 파라미터로서 일반적으로 ($2 \leq a \leq 4$)이다.

전체 전송 전력은 이동 노드들의 수명 시간과 연관되기 때문에 중요한 측정값이라고 할 수 있다. 그러나 이것은 네트워크의 전체적인 전력 소비량을 줄일 수 있다고 하더라도 각 노드의 수명시간을 직접적으로 반영하지는 않는다. 따라서 각 노드의 수명시간을 고

려하기에는 부적절한 프로토콜이라 할 수 있다.

다. MBCR

MBCR(Minimum Battery Cost Routing)은 전체적인 잔여 배터리 용량을 고려하여 경로를 설정하는 프로토콜로 전원 비용함수를 사용한다^[6]. 시간 t 일 때 노드 n_i 의 배터리 용량을 C_i^t 라고 하고, 노드 n_i 의 전원 비용함수를 $f_i(C_i^t)$ 라고 하자. 노드의 잔여 용량이 작을수록 패킷 전달을 꺼릴 것이므로, 전원 비용함수를 식 (2)와 같이 정의할 수 있다.

$$f_i(C_i^t) = \frac{1}{C_i^t} \tag{2}$$

배터리 용량이 감소함에 따라 노드 n_i 에 대한 비용함수의 값은 증가할 것이다. D_j 개의 노드들로 구성된 경로 i 에 대한 전원 비용 R_j 은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_j = \sum_{i=0}^{D_j-1} f_i(C_i^t) \tag{3}$$

MBCR은 전체적인 잔여 배터리 용량이 최대값인 경로를 찾아내기 위해서 전원 비용이 최소인 경로 i 를 선택한다. 이렇게 선택된 경로 i 의 전원 비용 R_i 는 식 (4)를 만족한다.

$$R_i = \min R_i | j \in A \tag{4}$$

A 는 모든 가능한 경로들의 집합이다. 배터리 용량이 라우팅 프로토콜에 직접 관여하기 때문에 특정 노드에 집중되는 것을 예방할 수 있다. 그러나 전원 비용함수의 합계만 고려하기 때문에 배터리 용량이 얼마 남지 않은 노드들을 포함한 경로가 선택될 가능성이 있다. 따라서 MBCR은 모든 노드의 전원을 균등하게 사용하지 못하는 단점이 있다.

3. 제안하는 라우팅 프로토콜 기법

지금까지 대부분의 Ad-hoc 네트워크의 라우팅 프로토콜에 대한 연구는 단말간 지연감소, 배터리 소모의

최소화 및 균형된 에너지 소모 중 어느 한 측면만 중점을 둔 연구들로 네트워크가 전반적으로 안정적이면서 동시에 각 노드들의 균형된 파워 소모 및 파워소모의 최소화를 유지하기에는 어려움이 있었다^[7~9].

Fig. 2에서와 같이 본 논문은 처리량과 에너지 효율성을 동시에 고려하여 네트워크 전체의 에너지 소모를 최소화하고 균형된 에너지 소모를 통해 노드의 생존성을 향상시킬 수 있는 프로토콜을 제안한다.

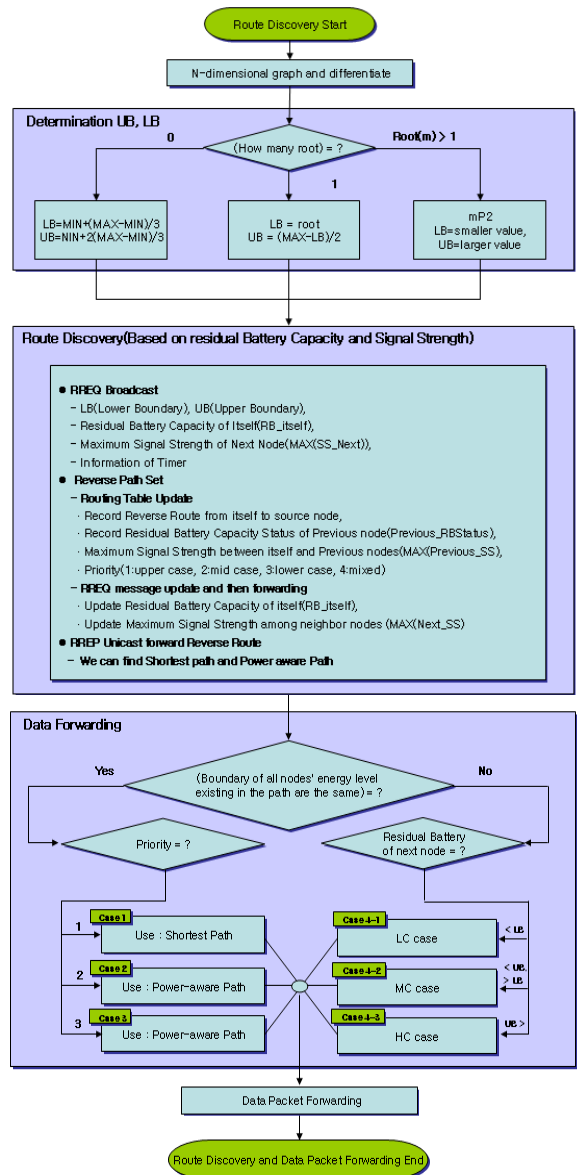


Fig. 2. Proposal Routing Operation

가. 배터리 임계치 설정 과정

본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜은 노드별 배터리 잔량을 산출하여 그에 대한 평균 노드수를 나타낸 그래프의 기울기 변화로 임계치(LB : Lower Bound, UB : Upper Bound)를 정한다. 여기서는 LB값을 30, UB값을 70으로 가정했다.

제안방식에서는 RREQ 및 RREP 사이클을 사용하여 최단 경로를 찾는다. 각 모바일 노드(Ni)는 RREP가 다음 노드(Ni+1)의 에너지 정보를 가지고 있다. 소스 노드에서는 RREP를 수신해서 가지고 있는 에너지 정보를 이용하여 모바일 노드의 평균 잔여 배터리 용량을 확인할 수 있다. 그 결과는 식 (5)와 같이 n-차원 방정식으로 표현된다.

$$y = ax^n + bx^{n-1} + cx^{n-2} + \dots + z \quad (5)$$

여기서 a, b, c, ..., z ≥ 0이고 n은 -1보다 큰 정수이다. 그래프에서 변곡점(extreme value)을 찾기 위해 식 (5)을 미분하면 식 (6)과 같다.

$$y' = ax^{n-1} + b(n-1)x^{n-2} + c(n-2)x^{n-3} + \dots = 0 \quad (6)$$

그래프를 사용하여 LB와 UB를 Fig. 3과 같이 정의한다.

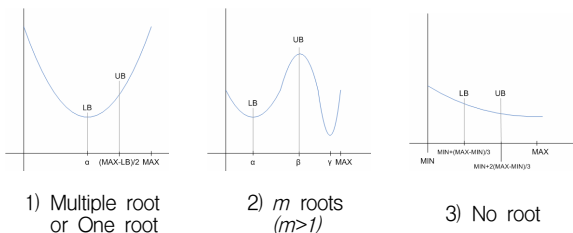


Fig. 3. The graph is expressed as n-dimensional equation

나. 경로탐색(Route Discovery)

소스 노드는 목적지 노드까지의 경로를 찾기 위해 이웃노드들에게 배터리 잔량에 대한 판단 기준인 임계치, 자신의 배터리 잔량(RB_itself), 다음 노드와 신호세기 중 최대값을 갖는 신호세기{MAX(Next_SS)}에 대한 정보를 RREQ 메시지에 LB, UB를 첨부하여 브로드캐스트 한다.

RREQ를 받은 중간 노드들은 자신이 목적지 노드가

아닐 경우 수신한 RREQ 메시지를 참고로 하여 라우팅 테이블에 소스 노드까지의 역경로, 이전 노드의 배터리 상태(Previous_RBStatus), 이전 노드의 최대 배터리 잔량{MAX(Previous_RB)}, 이전 노드간의 최대 신호세기{MAX(Previous_SS) 및 우선순위(Priority) (1, 2, 3, 4)에 대한 정보를 기록 또는 갱신한다. RREQ 메시지는 여러 노드로부터 중복 수신될 수 있기 때문에 중복 수신된 RREQ 메시지는 해당 노드가 가지고 있는 라우팅 테이블의 필드값과 중복 수신한 RREQ 메시지의 관련 필드값을 비교하여 라우팅 테이블의 갱신여부를 판단하기 위해서만 사용되며 더 이상 포워딩 하지 않고 버린다(Table 1 참조).

Table 1. RREQ Message Format

Source	Destination	...	LB	UB	RB_itself	MAX(Next_SS)

· Routing table

Destination	Next	...	Previous_RBStatus	MAX(Previous_RB)	MAX(Previous_SS)	Priority

Fig. 4는 소스 노드(N1)로부터 목적지 노드(N8)까지 경로탐색에 대한 과정을 나타낸 그림으로 각 노드들은 네트워크 전반에 대한 배터리 잔량과 신호세기에 대한 정보를 알게 된다.

라우팅 테이블에서 N1의 초기값은 LB = 30, UB = 70, RB_itself = 50, MAX(Next_SS) = 5로 RREQ 메시지를 브로드캐스트 한다.

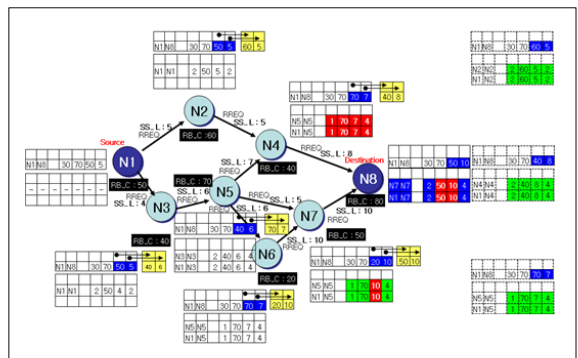


Fig. 4. Procedure for RREQ forwarding

Fig. 4와 같은 과정을 통해 RREQ 메시지를 수신한 목적지 노드는 RREQ 송신자에게 RREP 메시지를 유니캐스트 한다. RREP 메시지는 각 노드들이 가지고 있는 라우팅 테이블의 역경로를 참조하여 유니캐스트되며 최종적으로 소스 노드가 RREP를 수신하게 되면 전체 경로가 설정된다. 이와 같이 설정된 경로는 각 노드 배터리 잔량과 신호세기에 대한 정보가 동시에 고려되며 배터리 잔량에 대한 임계치를 기준으로 배터리 잔량 또는 신호세기 중 어느 쪽에 우선순위를 부여하여 경로를 설정할지가 함께 고려된다.

다. 패킷 전달(Packet Forwarding)

먼저, 제안 프로토콜은 한 홉(one hop) 거리에 있는 노드의 최대 배터리 잔량과 신호세기에 대한 정보를 얻는다. 다음, 각 노드의 배터리 잔량이 충분한지를 배터리 잔량의 임계치(LB, UB)를 이용함으로써 구분한다. 충분하다고 판단되면 최단 경로로 경로가 연결된다. 충분하지 않다고 판단된다면 신호세기 우선순위를 판단하여 경로가 연결된다. 데이터 패킷 전송은 배터리 잔량에 따라 네 가지로 구분되는데, 네 번째 경우는 다시 자세하게 세 가지로 구분했다.

1) Case 1 : 모든 노드의 배터리 잔량 > UB

모든 노드의 배터리 잔량이 충분하다면 데이터 패킷은 최단경로로 보내진다. 배터리 잔량이 충분한 경우, 제안기법은 홉 거리(hop distance)에 있어서 우선권이 주어진다. 배터리 잔량이 언제나 충분하다면 최단 경로의 이용은 쉽게 이해가 간다. 비슷한 방법으로, 모든 노드의 배터리 잔량이 충분하면 제안기법은 에너지 효율성을 고려하지 않고 홉 거리를 고려한다.

2) Case 2 : LB < 모든 노드의 배터리 잔량 ≤ UB

모든 노드의 배터리 잔량이 중간 수치라면 제안기법은 에너지 효율성을 고려한다. Fig. 5에서 보듯이 경로 N1-N3-N5-N7-N8은 배터리 잔량과 신호세기를 고려해서 데이터 패킷은 N1-N3-N5-N7-N8을 통해 전송된다.

3) Case 3 : LB ≥ 모든 노드의 배터리 잔량

모든 노드의 배터리 잔량이 불충분하다면 Case 2와 같이 에너지 효율성을 고려한다. Fig. 5에서 보듯이 경로 N1-N3-N5-N7-N8은 배터리 잔량과 신호세기를 고려해서 데이터 패킷은 N1-N3-N5-N7-N8을 통해 전송된다.

다. 모든 노드의 배터리 잔량이 LB보다 낮은 경우에는 제안기법은 더욱 신중하게 에너지 효율성을 고려한다. 즉, 제안기법은 대체 경로를 유지하는 데 사용되는 에너지 소모를 막을 방법이 없다.

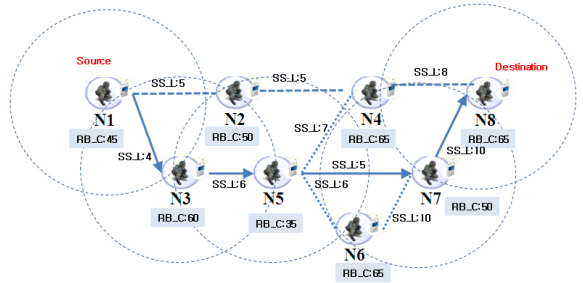


Fig. 5. Case2 : LB < All nodes' Residual Battery Capacity ≤ UB

4) Case 4 : 존재하는 모든 노드의 배터리 잔량 다음 노드(next node)의 배터리 잔량에 따른 Low Case(LC), Mid Case(MC)와 High Case(HC)의 세 가지에 대해 Fig. 6에서와 같이 정의할 수 있으며 다음과 같다.

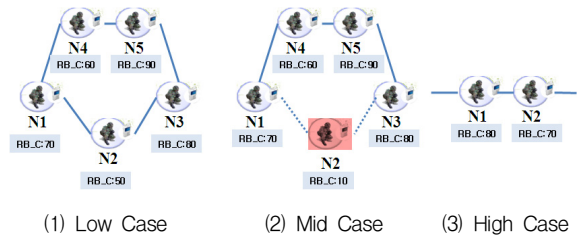


Fig. 6. Detail cases such as Low Case(LC), Mid Case (MC), and High Case(HC)

가) LC(다음 노드의 배터리 잔량 < LB)

우선, 배터리 잔량이 LB보다 높은 다음 노드로 연결되는 경로를 찾는다. 만약 배터리 잔량이 LB보다 작을 경우 그 다음 노드를 찾는다. 새 경로의 에너지 레벨은 경로 노드의 최소 배터리 잔량에 의해 결정된다. 다음으로 데이터 패킷을 경로를 통해 전송한다.

나) MC(LB < 다음의 배터리 잔량 < UB)

배터리 잔량이 LB보다 높은 다음 노드로 연결되는 경로를 찾는다. 만약 배터리 잔량이 LB보다 작을 경우 그 다음 노드를 찾는다. 대체 경로의 에너지 레벨

은 LC와 같이 경로 노드의 최소 배터리 잔량에 의해 결정된다. 대체 경로는 사용하지 않으며 최단 경로를 이용해서 데이터 패킷을 전송한다.

다) HC(다음 노드의 배터리 잔량 > UB)

데이터 패킷을 링크를 사용해 다음 노드로 전송한다.

예를 들면, Fig. 7에서 UB가 70이고 LB가 30일 때, 소스 노드(N1)에서 목적지 노드(N14)까지 경로는 N1-N4-N5-N3-N6-N7-N8-N13-N14이다. 노드 N2의 배터리 잔량이 LB보다 낮으므로 LC에 의해 경로는 N4, N5가 된다.

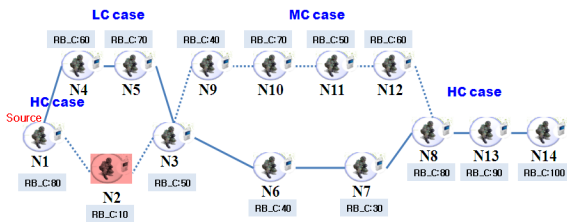


Fig. 7. Route discovery example

N6과 N7의 배터리 잔량은 LB보다는 높고 UB보다는 낮아서 MC에 의해 N9-N10-N11-N12-N8은 역 경로가 된다. N1, N13, N14는 UB보다 높은 배터리 잔량을 가지고 있기 때문에 노드로의 링크는 HC에 의해 사용된다.

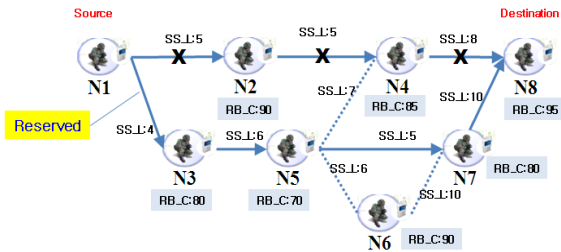


Fig. 8. When a route is set by assigning priority to energy efficiency

라. 경로 유지(Route Maintenance)

데이터 패킷 전송 중 노드 중 하나가 이동하거나 다운되면 이전노드(previous node)가 RERR(Route Error) 메시지를 전송하고 다른 경로를 이용해 데이터를 전송한다. 대체 경로는 라우팅 도중 배터리 잔량에 부여된 우선권에 따라 정해진다. 에너지 효율성에 우선권

을 주어 경로가 정해졌을 때, Fig. 8과 같이 최단 경로가 포함된 경로가 존재한다면 그 경로는 대체 경로로 선택된다. 반대로, 휴간 거리를 기준으로 경로가 정해졌을 때에는 에너지 효율성을 고려한 패스(path)가 포함된 경로가 있다면 그 경로는 대체 경로로 선택된다.

마. 이론적 해석

전술 애드혹 네트워크에서는 모바일 노드가 데이터 패킷을 처리하면서 자체 전파지연을 발생시키며, 경로가 길수록 낮은 처리량을 보인다(Packet Delivery Ratio). 긴 경로도 필요하지만, 이러한 링크를 지원하기 위해서는 높은 전송전력이 필요하다. 따라서 높은 전력이 소모되기 때문에 경로 설정 시 최단 경로(최소 홉 경로)로 설정하면 낮은 패킷 전송률이 발생되게 된다. 패킷 전송률(PDR)은 소스(S)에서 전송한 패킷 수와 목적지(D)에서 수신된 패킷 수에 대한 비율로 정의되며, PDR은 식 (7)과 같다.

$$PDR = \frac{D}{S} \quad (7)$$

d는 소스와 목적지까지 경로의 길이이며, a는 2와 4 사이의 경로 손실 지수이며, 통신매체의 특성에 의존한다. Pt가 송신전력, 목적지의 수신전력 Pr일 때 수신전력은 식 (8)과 같다.

$$P_r = P_t \times d^{-a} \quad (8)$$

여기서 d > 0이면, d는 식 (9)와 같은 조건을 만족한다.

$$d = \sqrt[a]{\frac{P_t}{P_r}} \quad (9)$$

따라서 높은 전력은 경로가 최단 경로가 될 때까지 소모된다. β는 패킷 손실률, $\frac{(1-\beta)}{d}$ 는 성공 송신률일 때, PDR은 식 (10)과 같다.

$$PDR = \frac{R}{T} = \frac{\frac{(1-\beta)}{d}}{T} = \frac{(1-\beta)}{d \cdot T} = \frac{(1-\beta)}{\sqrt[a]{\frac{P_t}{P_r}} \cdot T} \quad (10)$$

패킷 전송률은 경로의 전달 길이에 반비례한다. 본 논문에서 제안한 방식에서는 최단 경로를 사용과 d와 Pt를 작은 값으로 사용한다. 결과적으로 낮은 에너지 소모 및 높은 데이터 전송률을 가지므로 노드 생존성 보장이 가능하다.

4. 성능평가

가. 실험 환경

제안기법을 평가하기 위해서 NS-2를 사용하였으며, Table 2의 시뮬레이션 조건에 의해 기존 프로토콜들과의 성능을 비교 평가하였다.

Table 2. Simulation Parameter

Energy models		Lucent 2Mb/s Wave 802.11 card
Energy	Transmit	1.4 W
	Receiving	1.0 W
	Listening/Idle	0.83 W
	Sleeping	0.043 W
Terrain Dimension		1000 × 1000
Simulation Time		0, 100, 300, 600, 900
Number of Nodes		50
Traffic		<ul style="list-style-type: none"> • Packet size : 512 byte • Packet Interval : 5 packets/s
Number of Traffic		10, 20 nodes

나. 평가 결과

1) 패킷 전송률(PDR)

패킷 전송률은 기존방식이나 제안방식 모두 95% 이상을 나타내고 있지만 제안방식은 97% 이상으로 Fig. 9와 같이 가장 성능이 양호하게 나타나고 있다.

제안방식과 BECT는 비슷한 성능을 나타내며 정적인 환경에서 보다 이동성이 큰 환경에서 MTPR, MBCR에 비해 더 큰 성능을 보이고 있다. 정적인 환경에서는 전력의 소모에 따른 turn-off되는 노드의 수량이 패킷 전송률에 미치는 영향보다 라우팅 경로 변경에 의한 링크 단절로부터 발생하는 데이터 손실이

패킷 전송률에 더 큰 영향을 미치기 때문에 이동성이 큰 환경에서 보다는 성능에 있어서 작은 차이를 나타낸다.

이와 같은 결과는 신호세기에 의한 링크의 안정성과 배터리의 균등한 사용에 따른 링크 단절의 최소화가 패킷 전송률에 큰 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다.

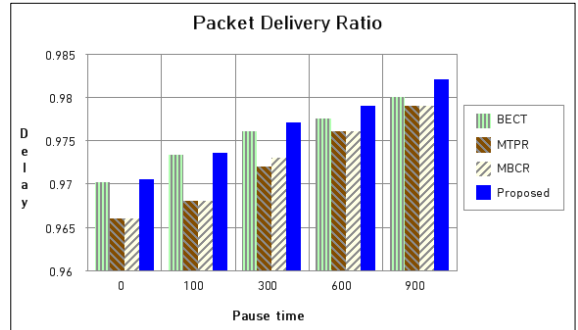


Fig. 9. Data Delivery Ratio versus Pause time

2) 단말간 지연율

단말간 지연은 이동성이 큰 환경일수록 배터리 잔량과 신호세기를 동시에 고려한 제안방식의 성능이 Fig. 10과 같이 우수하게 나타났다. 기존 방식은 이동성이 커질수록 배터리의 비효율적 사용에 의한 turn-off되는 노드가 많아져 경로 재설정과정이 빈번하게 이루어짐으로써 단말간 지연시간이 증가하는 것으로 볼 수 있다.

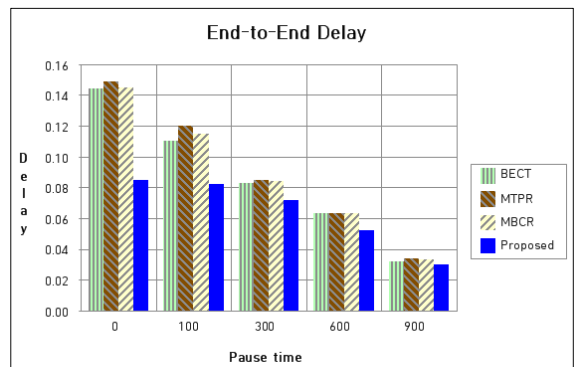


Fig. 10. End-to-End Delay versus Pause Time

파워를 고려한 프로토콜들 중 MTPR은 전력전송 분포에 따라서 홉 수가 더 많아지는 경로를 선택하는

경우가 다수 발생하여 지연이 전반적으로 크게 발생한다. 전원 비용 측면을 고려한 MBCR과 에너지의 균등한 사용을 추구하는 BECT는 유사한 지연을 나타내고 있다. 제안방식은 이동성이 큰 환경에서 링크의 안정성과 각 노드의 수명주기를 연장시킴으로써 노드의 turn-off에 의해 발생하는 경로 재설정 과정이 감소함에 따라 단말간 지연시간이 감소됨을 알 수 있다. 또한 경로 재설정시 처음부터 다시 경로탐색과정을 거치지 않고 바로 대체 경로를 통한 데이터 전송이 가능하므로 그에 따른 지연이 감소됨을 확인할 수 있다.

3) 평균 에너지 소모율

정지시간에 따른 평균 에너지 소모율에 대한 그래프로 이동성이 큰 환경에서 제안방식은 기존방식에 비해 Fig. 11과 같이 MTPR에 비해 2%, MBCR에 비해 4%, BECT에 비해 2%의 성능 향상을 보인다. 정적인 환경에서는 MBCR에 비해 2%, BECT에 비해 2%의 성능향상을 보인다. 하지만 MTPR에 비해서는 0.8% 낮은 성능을 보인다. MTPR은 전송전력분포에 따라 홉 수가 더 많아지는 경로 선택이 다수 발행하여 노드들의 배터리 잔량을 유지하는데 실패하게 된다. 결국 각 노드의 수명시간을 연장하는데 실패하게 되므로 좋은 결과를 얻기 위해 홉 수를 추가로 고려하게 되므로 최소 홉 방식과 비슷해 실제적으로 에너지 소모를 크게 감소시키지는 못하고 있다.

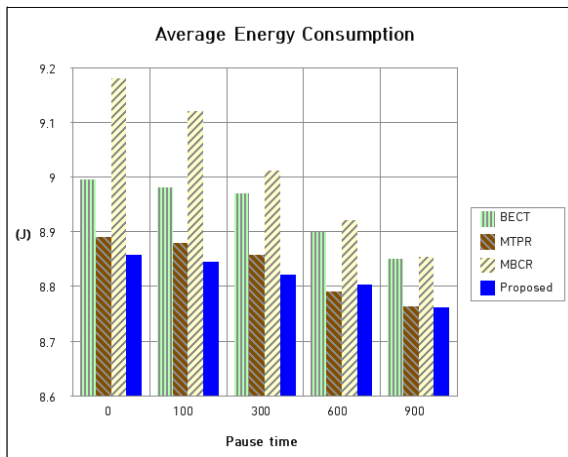


Fig. 11. Throughput(Random disposition)

하지만 제안방식의 경우 배터리 잔량과 신호세기가 동시에 고려되기 때문에 신호세기가 양호한 경로는 노

드간의 전송 거리가 가까워 적은 전송파워를 통해 데이터 패킷을 전송할 수 있기 때문에 배터리 소모를 줄일 수 있다. 즉 소모되는 배터리 양을 줄이기 위해서는 두 노드간의 거리, 배터리 잔량, 노드간의 신호세기 등에 대한 다양한 정보를 적용하는 것이 에너지를 보다 적게 사용하는 것을 확인 할 수 있다.

5. 결론

TICN과 같은 전술 애드혹 네트워크에서 모바일 노드의 생존성은 중요한 문제이다. 이러한 문제 해결을 위해 본 논문에서는 노드의 생존성을 향상시키는 라우팅 프로토콜을 제한했다. 제안 프로토콜은 처리량과 에너지 효율성을 동시에 고려하여 네트워크 전체의 에너지 소모를 최소화하고 균형된 에너지 소모를 통해 네트워크 수명을 좀 더 오래 지속시킬 수 있는 방식이다. 또한, 전송지연을 최소화하기 위해 최단 경로를 설정하고, 경로 홉 거리, 잔여 배터리 용량과 데이터 전송으로 인해 발생하는 노드 에너지 소비 균형의 부족을 방지하고, 에너지 소비를 최소화하기 위해 신호의 강도를 고려하여 선택하는 방식이다.

실험결과 제안프로토콜이 처리량과 에너지 효율성 측면에서 다른 프로토콜보다 우수하다는 것을 증명했다. 결론적으로 처리량과 에너지 효율성을 동시에 고려하므로 안정적인 경로를 설정하고 잔여 배터리 용량에 대한 임계값을 지정하여 라우팅 횟수가 많은 노드를 통제하므로 전술 애드혹 네트워크에서 노드들의 에너지 사용에 대한 효율성을 증가시켜 모바일 노드의 생존성 향상에 기여한다.

References

[1] "Total of TICN System", ROK Headquarter, 2008. 4.
 [2] Young C. Park, "A Study of Survivable Routing in Tactical Networks", International Conference on Computing, Communications and Control Technologies (CCCT) 2007, pp. 246~249, 2007.
 [3] A. M. Hegland, E. Winjum, S. F. Mjolsnes, C. Rong, O. Kure. and P. Spiling, "A survey of key Management in Ad Hoc Networks", IEEE Communications Surveys & Tutorials, 3rd Quarter

- 2006.
- [4] Marco M. Mostrel, "Issues on the Design of Survivable Common Channel Signaling Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 12, No 3, pp. 526~532, 1994.
- [5] J. Chang, J. Jang, "BECT : A Balanced Energy Consumption Algorithm by Threshold-Tuning for Mobile Ad Hoc Networks", 13th Joint Conference on Communication and Information 2003(JCCI2003), Apr. 2003.
- [6] Weifa Liang, Yang Y., "Maximing Battery Life Routing in Wireless Ad Hoc Networks", Proc. of the 37th Hawaii Conference, 2004.
- [7] Xiang-Yang Li, Yu Wang, Haiming Chen, Xiaowen Chu, Yanwei Wu, and Yong Qi, "Reliable and Energy Efficient Routing for Static Wireless Ad Hoc Networks with Unreliable Links", IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems(TPDS), Vol. 20, pp. 1408~1421, Oct. 2009.
- [8] L. Cao, T. Dahlberg, Y. Wang, "Performance Evaluation of Energy-Efficient Ad Hoc Routing Protocols", in Proc. IPCCC, IEEE, pp. 306~313, 2007.
- [9] Hagen Woesner, Jean-Pierre Ebert, Morten Schlager, Adam Wolisz, "Power Saving Mechanisms in Emerging Standards for Wireless LANs : The MAC Level Perspective", IEEE Personal Communications, Vol. 5, pp. 40~48, Jun. 1998.