

멀티캐스트 라우팅에서의 전력 분산 제어(DPC)에 관한 연구

A Study on Distributed Power Control for Energy Efficiency in Multicast Routing

정 현 기 · 양 승 인*

Hyun-gi Chung · Seung-In Yang*

요 약

고전적인 라우팅 알고리즘들은 목적지에 도달하기 위한 홉 수를 최소화하는데 있다. 본 논문의 DPC는 홉 간 전력 레벨 선택은 경로를 보장하면서 적은 에너지를 소비하도록 사용된다. 모든 상황에서 최고의 성능을 위해서 자동적으로 안전 마진(security threshold)을 설정하기 위한 것으로 안전 마진을 가변하면서 멀티캐스트 라우팅 알고리즘(AMRIS, ODMRP)에 대한 에너지 이득을 통해 에너지 분산 제어 효과를 분석하였다. 본 논문에서 실험한 DPC는 AMRIS 라우팅 알고리즘의 경우에는 node의 존재 영역이 비교적 좁은 곳에서 성능 향상을 볼 수 있었으며, ODMRP 라우팅 방식의 경우는 넓은 영역에서 DPC 적용을 통해 에너지 이득 절감 효과를 얻을 수 있었다.

Abstract

The classic routing algorithms try to minimize the number of hops to reach a destination. In our DPC(Distributed Power Control) this hop-by-hop power level selection is also used to select the path guaranteeing low energy consumption. The main goal is to realize a dynamic protocol able to be aware of mobility and to automatically set security threshold in order to get the best performance in every situation. In conclusion, the simulation DPC has improved energy gain of the AMRIS routing algorithm at the narrow area, and ODMRP routing algorithm has improved energy gain at the wide area.

Key words : DPC, AMRIS, ODMRP Routing

I. 서 론

Ad-Hoc 네트워크는 고정된 네트워크 기반 없이 이동하는 호스트들로 이루어진 다중 홉 무선 네트워크로 Ad hoc 네트워크에서 호스트(노드)들은 네트워크에서 라우터처럼 데이터를 포워딩하는 기능을 담당한다. 기존 routing protocol(proactive protocol)에서는 최단 경로(즉 홉 수를 최소화)를 선택하는데 근거를 두고 적용하고 있다. Ad hoc 네트워크에서는 다른 측면으로 홉 수는 다소 길더라도 에너지 소모를 줄이는 방식을 적용하고 있다. 최근 여러 논문에서

여러 형태의 라우팅 알고리즘에 대한 에너지 소모^{[1],[3]}에 대한 비교를 자주 행하고 있다. 즉 목적지에 정확하게 패킷을 전달하는데 필요한 에너지를 근거를 두고 있다. 특히 DPC는 일반적인 네트워크뿐만 아니라 무선 통신 분야에서도 소모 에너지 효율을 높이는 방법 중의 하나로 다양한 연구가 이루어지고 있다^[4].

본 논문에서는 라우팅 경로에서 최소 에너지를 소모하는 즉 에너지 효율을 최대로 하는데 목적을 두고 있다. 다양한 연구에서 매트릭스는 경로상의 노드의 배터리 상태를 고려하거나 전송 전력과 직접

「본 연구는 숭실대학교 교내 연구비 지원으로 이루어졌음.」
(주)스펙트럼통신기술(Spectrum Co., Ltd.)

*숭실대학교 정보통신전자공학부(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

· 논문 번호 : 20060814-095

· 수정완료일자 : 2006년 9월 22일

적인 관련을 갖는다. 본 논문에서 전송 전력은 두 노드 간 일반 링크의 비용 함수로 이용되며, 본 논문에서 실험을 통한 DPC^[5] 구현은 에너지 절약을 얻기 위함으로 모든 상황에서 최고의 성능을 얻기 위해 자동적으로 안전 마진을 설정하는 것이다. 기존의 classic 방식과 DPC 적용 시 멀티캐스트 라우팅 방식에 대한 성능 비교 평가를 통해 에너지 이득의 정도를 분석하고자 한다.

II. DPC 관련 사항

2-1 DPC(Distributed Power Control) 메커니즘

DPC은 에너지 소비를 줄이고 전체 네트워크의 성능을 높이기 위해 홉 간 적절한 전송 전력 레벨(transmit power level)을 임시적으로 선택하는 것에 기반한다. 기존 무선 환경에서 에너지 소비에 대한 연구 동향은 에너지 소비 최소화 방법, 에너지 소비 균등화 방법(즉 전체 시스템의 에너지 소비는 늘더라도 전체 수명을 연장시키는 방법), 노드들이 불필요한 통신 부분을 잠시 중지시키는 방법 등을 이용한다면 DPC는 일정 영역에서 거리에 따라 전력을 달리하는 개념으로 classic(노드와 노드 간에 최대로 전력을 송신하는 방식)과 구별되는 내용이다. DPC는 패킷을 전송하는데 필요한 총 에너지를 최소화(반드시 홉 수의 최소화를 보장하지는 않는다.)하는 방식으로 노드와 노드 간에 손실에 의해 매번 전력을 달리하는 개념이라고 할 수 있다.

그리고 이러한 전송 전력 레벨은 경로 발견과 선택 과정에서 링크 비용함수로 사용된다. 여기서 전송 전력을 선택하는 기준은 다음과 같다^[5].

$$P_{tx} = P_{rx} - P_{rx} + S_r + Secth \quad (1)$$

식 (1)에서 P_{tx} 는 전송된 전력, P_{rx} 은 수신된 전력을 나타내며, S_r 은 정확한 패킷 수신을 위해 필요한 최소 전력 레벨 즉 수신 감도를 나타내며, $secth$ (security threshold)는 안전 마진으로 채널과 간섭 레벨 변동을 고려한 즉 채널이 비대칭인 경우를 고려하여 전송을 보다 안정적으로 할 수 있도록 만들기 위한 전력 마진이다.

여기서 최대 송신 출력을 20 dBm으로 하였다. Classic에서는 최대 전력(20 dBm)을 항상 사용하는데

DPC는 식 (1)에 의해서 계산된 P_{tx} 을 이용하는데 P_{tx} 가 최대 송신 출력보다 작으면 P_{tx} 을 이용하여 송신하며, P_{tx} 가 크면 최대 송신 전력을 사용한다.

DPC에서의 이러한 홉 간 전력 레벨 선택은 경로를 보장하면서 적은 에너지 소비를 하도록 선택한다. 사실 모든 링크들과 관련된 P_{tx} (전송 전력)값은 패킷 경로를 선택하는 라우팅 알고리즘에 의해 사용되는 비용 함수로서 고려된다. 즉, 이것은 종단 간 에너지 절약으로 구현된다. 본 논문에서는 멀티캐스트 방식의 대표적인 라우팅 프로토콜로 AMRIS(Ad-hoc Multicast Routing protocol utilizing Increasing id-numberS)^{[6],[7]}, ODMRP(On Demand Multicast Routing Protocol) routing protocol^[8] 방식에 DPC 개념을 적용하는 것에 초점을 둔다.

여기서 AMRIS 라우팅 방식은 전체 멀티캐스트 트리의 재구성의 오버헤드를 줄이기 위해 각 노드에 할당하는 MSM-ID를 이용하여 지역적으로 트리를 재구성하는 트리 기반형 라우팅 방식이며, ODMRP 라우팅 방식은 FG(Forwarding Group) 노드로 선출하여 멀티캐스트 그룹 데이터 전송을 담당하는 메쉬를 구성하는 방식으로 주기적으로 메쉬를 구성하는 FG 노드들을 재선정하기 때문에 이 주기가 길어지면 메쉬 분리로 데이터 손실이 발생한다. 또한 ISO/OSI 참조 모델의 물리 계층, 데이터 링크 계층, 네트워크 계층의 전형적인 모든 특성을 통합하여 실험을 하였다.

2-2 확인을 위한 성능 지표(Index)

DPC 적용을 통한 성능 평가 파라미터는 다음과 같다. 라우팅 성능 매트릭스로 P_{df} (Packet delivery fraction), T_{ad} (Average delay time, 동기 트래픽에 관련된 패킷 전달 평균 지연 시간(second)), E_p (패킷당 사용되는 평균 에너지) 등을 이용한다.

$$P_{df} = \frac{\text{제대로 수신된 수}}{\text{각 노드에서 만들어진 총 패킷 수}} \quad (2)$$

그리고 각 라우팅의 경우에 DPC와 기존 방식과의 비교는 다음에 설명하는 성능 지표를 보임으로 수행될 것이다. 여기서 성능 지표를 나타내는 파라미터는 E_p 와 P_{df} 를 이용해서 에너지 이득(ϵ), 성공 확률(P_w)을 계산한다.

$$\epsilon = \frac{E_p^C - E_p^{DPC}}{E_p^C} \times 100\% \quad (3)$$

$$P_w = \frac{P_{df}^{DPC} - P_{df}^C}{P_{df}^C} \times 100\% \quad (4)$$

여기서 w 첨자 C(classic)는 기존에 존재하는 라우팅을, DPC는 기존 라우팅에 DPC를 적용한 경우를 나타낸다. 식 (3), (4)는 DPC를 가지고 얻을 수 있는 성능 향상이 어느 정도 되는지를 나타내는 것으로 ϵ 값이 (+)인 경우는 DPC의 적용시 에너지 감소를 의미하며, 즉 에너지 효율이 좋아졌다고 할 수 있다. (-)인 경우에는 에너지 소모가 많게 된다. 그리고 P_w 는 (+)인 경우가 DPC를 적용한 경우의 성공 확률이 크게 됨을 알 수 있다.

$$T = \frac{T_{ad}^{DPC}}{T_{ad}^C} \quad (5)$$

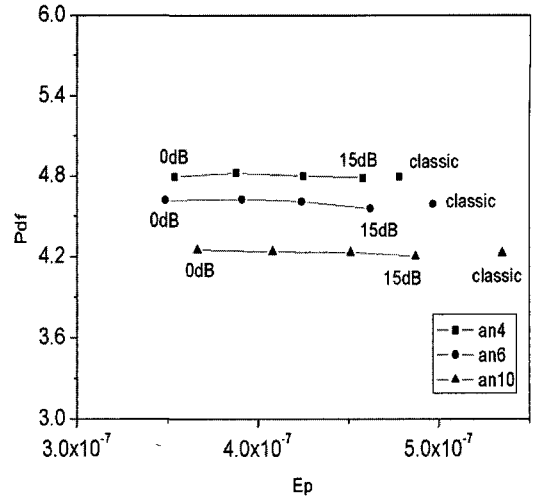
여기서 파라미터는 $T < 1$ 일 경우가 향상되고 있음을 보여주고 있는 것이다.

III. 결과 및 고찰

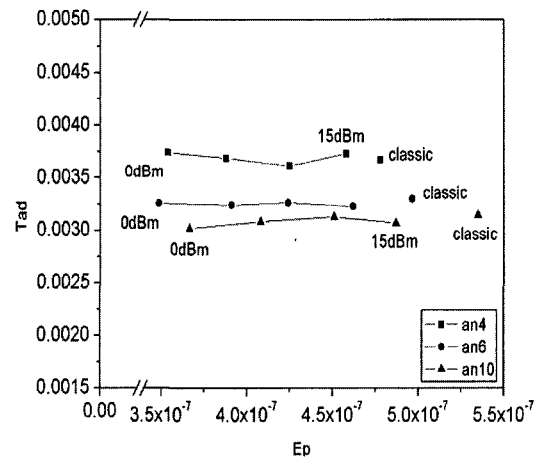
본 논문에서는 송신 최대 출력을 20 dBm으로 하고 노드 수를 10개, 능동 노드(active node) 수를 4, 6, 10개로 가변하면서 실험했을 때 DPC 적용 시 에너지 감소를 볼 수 있었다. 노드들은 정방형 내에서 랜덤하게 분포하며, 노드의 위치가 변화하면 E_p 와 P_{df} 의 변화를 보이므로 200개의 결과를 평균 계산했다. 기존의 라우팅 방식(classic)에서는 송신 최대 출력을 항상 최대로 하는데 비해, DPC에서는 송신 출력을 0 dBm에서 22 dBm의 범위에서 가변을 통해 최적의 에너지 이득 절감 효과를 얻기 위해 안전 마진을 설정하고 있다. DPC 제어 방식을 적용하면 안전 마진을 어느 정도 설정하느냐에 따라 에너지 이득 절감 효과를 볼 수 있다.

그림 1(a)에서 DPC를 적용하는 경우에 패킷 당 사용되는 평균 에너지 E_p 가 classic한 경우보다 적게 나타나고 있어 DPC 적용을 통한 에너지 절감 효과를 볼 수 있다.

그림 1(a)에서 안전 마진 0 dB일 때 에너지 이득(ϵ)이 크게 나타나는데 이는 전력 여유분(안전 마진)을 사용하지 않았기 때문이다.



(a)



(b)

그림 1. DPC 개념을 적용한 AMRIS 라우팅 방식에서 능동 소자 수와 E_p 의 변화에 대한 (a) P_{df} , (b) T_{ad} 비교(영역 100 m×100 m)

Fig. 1. P_{df} and T_{ad} vs E_p with active node numbers as parameter in AMRIS Routing mode using DPC(area 100 m×100 m).

또한 AMRIS 방식의 경우에 그림 1에서 보듯이 능동 노드 수가 적을수록 P_{df} 는 증가하며, T_{ad} 도 증가하고 있다.

여기서 P_{df} 는 전달된 패킷들의 비율(packet delivery fraction)을 의미하며, T_{ad} 는 하나의 패킷이 정확하게 최종 목적지까지 전송하는데 걸리는 평균 시간이며, E_p 는 시뮬레이션 동안 사용된 총 에너지를

표 1. AMRIS와 ODMRP 라우팅의 성능 결과(영역 100 m×100 m, 능동 노드=4)

Table 1. The performance of AMRIS and ODMRP (area 100 m×100 m, active node=4).

	Secth	ϵ [%]	P_w [%]	T
AMRIS	0 dB	25.9	-0.01	1.01
	5 dB	18.8	0.6	1.00
	10 dB	11.1	0.1	0.98
	15 dB	4.18	-0.2	1.01
ODMRP	0 dB	-8.14	-0.8	1.21
	5 dB	-61.9	-0.4	1.21
	10 dB	-90.6	-0.4	1.18
	15 dB	-104.2	-0.3	1.18

정확하게 전송된 패킷 수로 나눈 비를 의미한다.

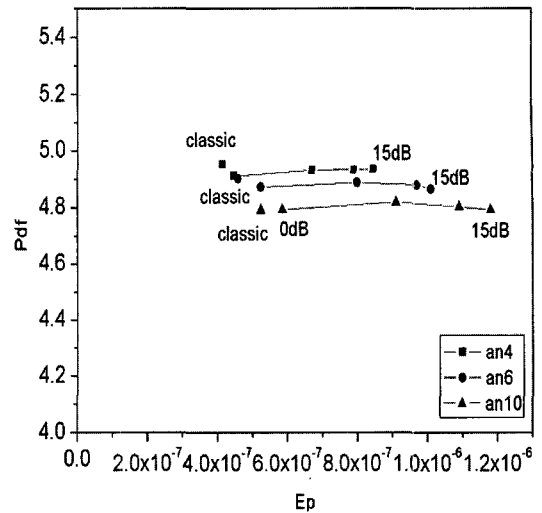
이상의 결과 중 능동 노드가 4인 경우를 정리한 표 1에서 보면 AMRIS 라우팅 방식은 영역이 좁은 곳(100 m×100 m)에서 에너지 이득 ϵ 가 (+)가 되므로 에너지 효율이 좋아졌다. 즉 전체 에너지 사용은 감소되었다. 또한 ODMRP 라우팅 방식의 경우는 그렇지 못했다. 그리고 AMRIS 방식은 안전 마진 10 dB에서 T 가 1보다 작게 되었다.

또한 900 m×900 m의 영역의 결과인 그림 3, 4의 결과 중 능동 노드가 4인 경우만 정리한 표 2에서 ODMRP 라우팅 방식은 안전 마진 0 dB에서 AMRIS 방식보다는 더 큰 에너지 이득을 얻을 수 있으며, ODMRP 방식의 경우는 그림 2에서 보듯이 능동 노드 수가 작을수록 P_{df} 가 크게 나타나며, T_{ad} 는 작게 되었다.

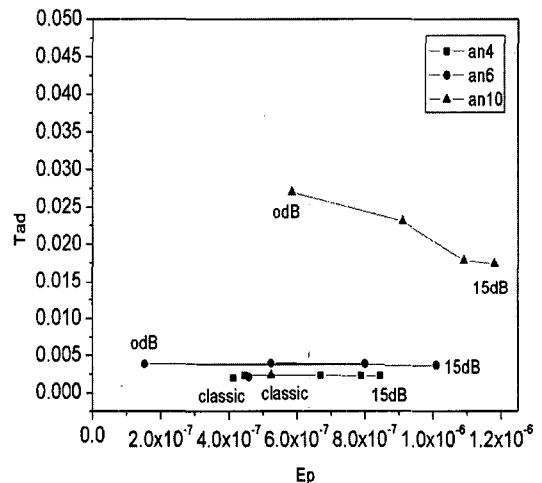
안전 마진 10 dB 이상에서는 ϵ 이 (-) 부호가 되어 DPC 적용시 classic한 경우보다 E_p 가 크게 나타나 에너지 절감 효과를 얻기 곤란했다.

표 1, 2에서 AMRIS 방식은 좁은 영역에서 에너지 이득이 우수하게 나타나며, DPC 적용 시 비율 T 가 1보다는 미세한 정도로 크며, 넓은 영역에서는 에너지 이득이 적은 반면에 비율 T 는 1보다 작게 나타난다. ODMRP 방식의 경우는 AMRIS 방식과는 다소 반대의 경향을 보이고 있다.

그림 1, 3의 결과로부터 만든 표 3에서 능동 노드 수의 변화에 따른 특성을 보면 AMRIS 방식은 안전 마진 0 dB에서 DPC 적용시 능동 노드 수가 클수록



(a)



(b)

그림 2. DPC 개념을 적용한 ODMRP 라우팅 방식에서 능동 소자 수와 E_p 의 변화에 대한 (a) P_{df} , (b) T_{ad} 비교(영역 100 m×100 m)

Fig. 2. P_{df} and T_{ad} vs E_p with active node numbers as parameter in ODMRP routing mode using DPC(area 100 m×100 m).

큰 에너지 이득을 볼 수 있다.

그림 1, 3의 결과를 정리한 표 4에서 보면 좁은 영역에서 안전 마진 0 dB에서 능동 노드 수가 6개 혹은 10개로 하는 경우에서 P_w 값이 (+)로 나타나고 있으며, 능동 노드 수를 크게 할수록 P_w 는 일관성 있게 감소와 증가를 보이지 않으며, 비율 T 는 작게 됨을 알 수 있다.

표 2. AMRIS와 ODMRP 라우팅의 성능 결과(영역 900 m×900 m, 능동 노드=4)

Table 2. The performance of AMRIS and ODMRP (area 900 m×900 m, active node=4).

	<i>Secth</i>	ϵ [%]	P_w [%]	T
AMRIS	0 dB	25.1	-8.1	0.96
	5 dB	7.2	-0.4	0.97
	10 dB	-6.35	-0.3	0.99
	15 dB	-5.78	1.1	0.99
ODMRP	0 dB	35.5	-4.3	1.03
	5 dB	7.03	-1.6	1.03
	10 dB	-3.85	0.9	1.02
	15 dB	-6.4	0.6	1.02

표 3. AMRIS 라우팅 에너지 이득

Table 3. Energy gain for AMRIS routing.

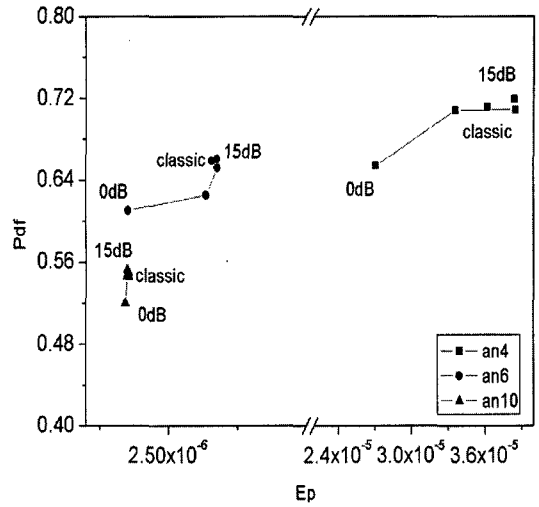
<i>Secth</i> Act. node	Energy gain, ϵ [%]			
	100 m×100 m		900 m×900 m	
	0 dB	15 dB	0 dB	15 dB
4	25.9	4.18	25.1	-5.78
6	29.7	6.97	46.5	-2.74
10	31.5	8.95	1.71	-1.71

표 4. AMRIS에서 P_w , T 비교(영역 100 m×100 m)

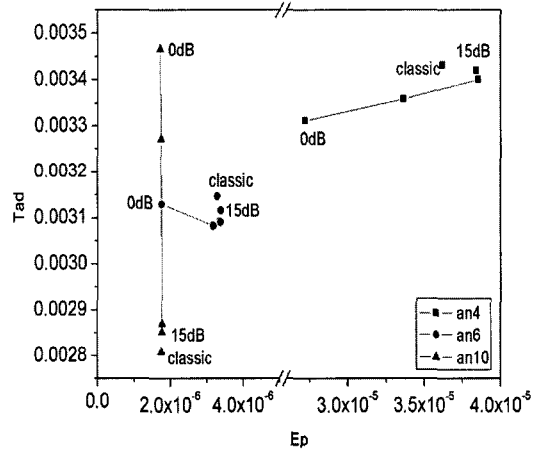
Table 4. P_w vs. T for AMRIS routing(area 100 m×100 m).

<i>Secth</i> Act. node	P_w [%]		T	
	0 dB	15 dB	0 dB	15 dB
4	-0.01	-0.2	1.01	1.01
6	0.63	-0.76	0.98	0.97
10	0.51	-0.65	0.96	0.97

그리고 그림 3(a)와 같이 영역을 넓게 하는 경우, 능동 노드 4, 6, 10인 경우에 안전 마진을 0 dB에서 5 dB 범위를 설정하면 classic한 경우보다 E_p 가 적어 에너지 이득(ϵ) 효과를 볼 수 있지만 안전 마진 5 dB 이상을 설정하는 경우에는 DPC 적용시의 E_p 가 classic의 E_p 보다 크게 되어 에너지 절감 효과를 볼 수 없다. 그리고 그림 3(a)에서 능동 노드 4, 안전



(a)



(b)

그림 3. DPC 개념을 적용한 AMRIS 라우팅 방식에서 능동 소자 수와 E_p 의 변화에 대한 (a) P_{dfr} (b) T_{ad} 비교(영역 900 m×900 m)

Fig. 3. P_{dfr} and T_{ad} vs E_p with active node numbers as parameter in AMRIS routing mode using DPC(area 900 m×900 m).

마진 15 dB일 때 P_{dfr} 가 크게 나타나며, 그림 3(b)에서 능동 노드 10일 때 안전 마진 0 dB에서 T_{ad} 가 크게 나타난다.

넓은 영역(900 m×900 m)에서의 AMRIS 방식 경우인 그림 3의 결과를 정리한 표 5에서 보면 안전 마진 15 dB에서 능동 노드 4 또는 6인 경우에 (+)값을 보인다. 그리고 안전 마진 0 dB에서 T 는 능동 노드 수에 따라 증가하고 있는데 이는 좁은 영역(100 m×

표 5. AMRIS에서 P_w , T 비교(영역 900 m×900 m)
Table 5. P_w vs. T for AMRIS routing(area 900 m×900 m).

Secth Act.node		P_w [%]		T	
		0 dB	15 dB	0 dB	15 dB
4		-8.1	1.06	0.96	0.99
6		-7.35	0.1	0.99	0.98
10		-5.85	-1.14	1.23	1.02

100 m)의 표 4의 결과와는 반대의 경향을 보이고 있다. 또한 active node 수 4, 6인 경우 T 가 1보다 작았다. 넓은 영역(900 m×900 m)에서 ODMRP 방식 경우는 그림 4에서 보면 안전 마진 0 dB에서 5 dB 범위에서 에너지 이득 효과를 볼 수 있다. 그리고 능동 노드 수가 작을수록 P_{df} 가 크며, T_{ad} 는 약간 감소한 후 증가하였다.

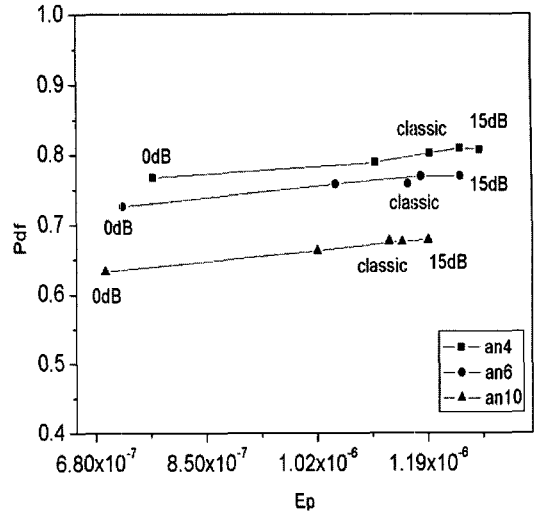
표 6에서 보면 900 m×900 m에서 안전 마진 0 dB 일 때 능동 노드에 따라 에너지 이득이 증가했고, 표 3과 비교하면 ODMRP 방식의 경우가 ϵ 이 더 커서 넓은 경우에 에너지 이득 면에서 좋게 나타나고 있다. 그러나 100 m×100 m에서는 AMRIS 방식에서 에너지 이득 ϵ 이 (+)가 되어 에너지 이득 면에서 우수했다.

따라서 표 3과 표 6을 비교하면 AMRIS 방식이 좁은 영역에서 안전 마진을 가변할 때 능동 노드 수에 따라 전체적으로 보다 큰 이득을 보여 AMRIS 방식은 영역이 좁은 곳에서 우수한 에너지 이득을 보임을 알 수 있다.

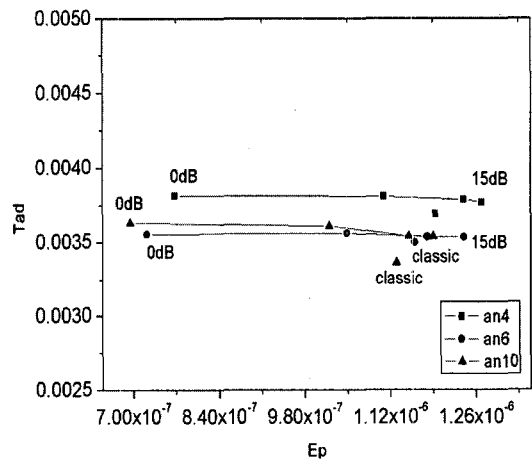
표 7과 표 8을 비교하면 900 m×900 m에서 P_w 값은 안전 마진 15 dB에서만 (+)을 보이며, T 역시

표 6. ODMRP 라우팅 에너지 이득
Table 6. Energy gain for ODMRP routing.

Secth Act.node		Energy gain, ϵ [%]			
		100 m×100 m		900 m×900 m	
		0 dB	15 dB	0 dB	15 dB
4		-8.14	-104.2	35.5	-6.4
6		-14.1	-120.2	37.7	-6.9
10		-11.6	-125.6	38.5	-5.31



(a)



(b)

그림 4. DPC 개념을 적용한 ODMRP 라우팅 방식에서 능동 소자 수와 E_p 의 변화에 대한 (a) P_{df} , (b) T_{ad} 비교(영역 900 m×900 m)
Fig. 4. P_{df} and T_{ad} vs E_p with active node numbers as parameter in ODMRP routing mode using DPC(area 900 m×900 m).

1에 보다 가깝게 나타난다. 따라서 ODMRP 방식은 전반적으로 넓은 영역에서 우수한 특성을 보인다.

IV. 결론

본 논문에서는 Ad hoc 네트워크 환경에서 멀티캐스트 라우팅 알고리즘의 에너지 효율을 개선하는 수단으로 DPC를 적용하여 실험하였다. 전송 전력을

표 7. ODMRP에서 P_w , T 비교(영역 100 m×100 m)
Table 7. P_w vs. T for ODMRP routing(area 100 m×100 m).

Act.node \ Secth	P_w [%]		T	
	0 dB	15 dB	0 dB	15 dB
4	-0.81	-0.34	1.21	1.18
6	-0.57	-0.71	1.92	1.78
10	0.02	0.01	1.14	1.15

표 8. ODMRP에서 P_w , T 비교(영역 900 m×900 m)
Table 8: P_w vs. T for ODMRP routing(area 900 m×900 m).

Act.node \ Secth	P_w [%]		T	
	0 dB	15 dB	0 dB	15 dB
4	-4.27	0.6	1.03	1.02
6	-4.23	1.49	1.01	1.00
10	-6.49	0.2	1.08	1.05

다르게 할당함으로써 경로 설정 프로토콜의 효율성을 높일 수 있다. 성능과 지연 관점에서 QoS의 제한된 감쇠가 효과적으로 보이지만 어떤 경우는 양호한 에너지 절약과 지연 특성을 보이는 상호 균형(trade-off)을 이루고 있음을 보여준다. 실험을 통한 결론은 송신 최대 출력을 20 dBm으로 하는 경우에서 기존의 classic한 경우보다는 패킷당 사용되는 에너지 E_p 가 적어 DPC 적용시 원하는 에너지 절감 효과를 얻을 수 있었다. 결론적으로 AMRIS, ODMRP 라우팅 방식 모두에서 안전 마진을 적절히 설정하는 과정에서 에너지 감소 효과를 얻을 수 있음을 알았다.

특히 AMRIS 라우팅 알고리즘의 경우는 DPC를 적용하는 경우, 비교적 node의 분포 영역이 좁은 경우의 상황에서 대체적으로 양호한 에너지 감소를, ODMRP 라우팅 알고리즘의 경우는 넓은 영역에서 에너지 감소 효과가 나타남을 알 수 있었다.

본 연구에서 분석한 결과를 표본값으로 하여 라

우팅 방법에 따른 안전 마진을 적절히 가변한다면 적응적인 라우팅 방법을 선택하는 지표가 될 것이다. 또한 향후 DPC 방법을 적용하여 다양한 프로토콜에서의 노드 이동성 효과를 조사할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] Carla-Fabiana Chiasserini, "An energy-efficient method for nodes assignment in cluster-based Ad hoc network", *Wireless Networks*, vol. 10, pp. 223-231, 2004.
- [2] Christine E. Jones, Krishna M. Silvalingam, Prathima Agrawal, and Jyh Cheng Dhen, "A survey of energy efficient network protocol for wireless networks", *Wireless Networks*, vol. 7, pp. 343-358, 2001.
- [3] C. E. Jones, K. M. Sivalingam, P. Agrawal, and J. C. Chen, "Survey of energy efficient network protocols for wireless networks", *ACM Wireless Networks*, Sep. 2001.
- [4] S. Jagannathan, Maciej Zawodniok, and Q. Shang, "Distributed power control for cellular networks in the presence of channel uncertainties", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 5, pp. 540-549, Mar. 2006.
- [5] Gianluca Mazzini, Michele Zorzi, "Distributed power control for energy efficient routing in Ad hoc network", *Wireless Network*, vol. 10, pp. 29-42, 2004.
- [6] C. C. Chiang, M. Gerla, and L. Zhang, "Forwarding multicast protocol(FGMP) for multihop", *Mobile Wireless Network*, ACM-Balzer Journal of Cluster Computing 1, pp. 187-196, Dec. 1998.
- [7] K. Obraczka, G. Tsudik, "Multicast routing issues in ad hoc networks", *Proceeding of the IEEE ICU-PC98*, vol. 1, pp. 751-756, Oct. 1998.
- [8] M. J. Lee, Y. K. Kim, "Patch ODMRP: An Ad-hoc network multicast routing protocol", *Proceeding of ICOIN-15*, pp. 537-543, Feb. 2001.

정 현 기



1986년 2월: 숭실대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 2월: 숭실대학교 전자공학과 (공학석사)
1991년 2월: 숭실대학교 전자공학과 박사수료
1998년~현재: (주)스펙트럼 통신기술 책임연구원

[주 관심분야] 임베디드, 이동 통신, 전파 간섭 분석

양 승 인



1974년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
1976년 2월: 한국과학기술원 전기공학과 (공학석사)
1987년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1983년~1984년: University of Michigan 객원교수

1991년~1992년: University of Colorado MIMICAD Center 객원교수

1996년~1999년: 한국통신기술협회 RSG-9 의장

1996년~2005년: 한국전자과학회 학술이사, 부회장, 회장

1978년~현재: 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수, 공대 학장 역임, 한국전자과학회 명예회장

[주 관심분야] 위성방송수신용 평면 안테나 개발, M/W 전송망과 위성망과의 간섭 분석, 위상 잡음 최소화 연구, MMIC 설계