

선박환경에서 CSMA/CA기반 HR-WPAN 시스템의 에너지 효율적 전송파라미터 선택방식분석

준회원 박영민*, 이우영*, 정회원 이성로*, 종신회원 이연우**°

Energy Efficient Transmission Parameters Selection Method for CSMA/CA based HR-WPAN System under Ship Environment

Young-Min Park*, Woo-Young Lee* *Associate Members*, Seong-Ro Lee* *Regular Member*
Yeonwoo Lee**° *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 선박에 적용할 e-네비게이션을 위한 HR(high rate)-WPAN(Wireless Personal Area Network) 시스템에 대한 전송 파라미터를 분석하여 최적 전송파라미터 선택방식을 제시한다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.3 CSMA/CA기반의 HR-WPAN을 SAN(Ship Area Network)에 적용할 경우에 고려되어야하는 에너지 효율성 측면에서의 전송파라미터들을 분석하고 에너지를 절약할 수 있는 전송파라미터 결정방식에 대하여 각 선박환경별로 분석하여 제안한다. 특히 SAN환경에서 무선채널의 경로손실(path loss)을 결정하는 가장 큰 파라미터인 선박의 다양한 재질을 고려하여 각 HR-WPAN의 전송파라미터별로 에너지 소모량을 분석하여 파라미터 선택방안을 제시한다. 시뮬레이션 결과 선박환경에 따라서 전송률 선택방식, 전송전력 조절 방식 및 데이터 분할크기의 적절한 선택에 따라 에너지 효율성능이 결정됨을 보였다.

Key Words : CSMA/CA, WPAN, Energy Efficiency, SAN, e-Navigation

ABSTRACT

In this paper, we propose the energy efficient transmission parameter selection method for Wireless Personal Area Network (WPAN) system which is applied to e-Navigation system considering various ship models environment. An appropriate selection of transmission parameters of HR-WPAN system is very essential to be considered for saving WPAN devices' energy consumption, when HR-WPAN system is applied to ship area network (SAN). Therefore, we propose an energy consumption model for a ship area network employing IEEE 802.15.3 based CSMA/CA HR-WPAN model and analyze the effect of transmission parameter selection on the performance of energy consumption. In particular, the path loss is the major performance decision parameter for the SAN employing HR-WPAN system, since it varies according to the material of shipbuilding such as steel(for large ship), FRP(for medium size ship) and compound wood(for small ship). Thus, we analyze and demonstrate that the proper transmission parameter selection of transmit power, PHY data rate and fragment size for each ship model could guarantee energy efficiency.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (NIPA-2009-C1090-0902-0010)

* 목포대학교 정보공학부 정보통신공학전공

** 목포대학교 정보공학부 정보통신공학전공 (ylee@mokpo.ac.kr) (°:교신저자)

논문번호 : KICS2009-07-302, 접수일자 : 2009년 7월 20일, 최종논문접수일자 : 2009년 9월 15일

I. 서 론

최근 유비쿼터스 통신 연결성(connectivity)을 위해서 WPAN(wireless personal network)와 같은 기술의 도입으로 기존의 확립된 인프라 구조가 없이도 개인 통신 장치가 서로 통신이 가능하게 되었다. WPAN 장치들은 대개 에너지 소모에 있어서 많은 제약을 받는 환경에서 동작하기 때문에 기존의 무선 네트워크 컴포넌트보다 더 적은 평균 전력 소모만으로도 동작할 수 있어야 한다. 무선 센서 네트워크 응용에서와 같이 넓은 영역에 걸쳐 분산된 많은 수의 장치들을 위해 자주 배터리를 바꾸어 주는 것이 거의 불가능한 일이다. 따라서, 각 장치에서는 제약된 배터리 수명으로 인하여 에너지 효율적 동작은 WPAN 장치들에 있어서 가장 필수적인 요구 사항이다.

이러한 WPAN 기술은 LR-WPAN과 HR-WPAN 기술로 분류되어 다양한 분야에 적용되고 있다. 특히, WPAN 기술의 선박내에 적용하려는 시도는 최근 다양하고 활발히 진행되고 있다. 선박내에 적용되는 LR-WPAN기술은 주로 선박의 주요 장치에 대한 모니터링용으로 적용되는 사례로 볼 수 있다. 예를 들어 선두, 갑판, 엔진룸, 샙프트, 각종 밸브, 탱크, 선체 등에 센서를 부착하여 선체의 휘는 정도, 진동, 압력, 유량, 수량, 압력, 온도, 습도 등의 측정 데이터를 선장실 등에 위치한 싱크노드에서 수신하여 모니터링 시스템을 구축하는 것으로 LR-WPAN을 사용하여 이를 현실화할 수 있다. 반면에 IEEE 802.15.3 HR-WPAN 기술은 QPSK-TCM, DQPSK-TCM, 16QAM-TCM, 32QAM-TCM와 64QAM-TCM 등과 같은 변조방식을 사용하여 11Mbps, 22Mbps, 33Mbps, 44Mbps, 55Mbps와 같은 다섯 가지의 고속 데이터 전송률을 지원한다. 이러한 HR-WPAN기술은 설치방식이나 ad-hoc 망 구성방식의 편의성에 의하여 WLAN기술에서 적용할 수 없는 영역에서 WPAN의 대체기술이나 대응기술로 고려가 가능하다. 또한 선박내의 장치의 고도화, 멀티미디어화 및 전송데이터의 대용량화 추세에 의하여 HR-WPAN가 후보기술로서 고려될 수 있다.

따라서 본 논문에서는 향후 WLAN기술로 대체가 가능한 HR-WPAN 시스템에 대하여 선박환경에의 적용방안을 고려한다. 특히 경쟁방식인 CSMA/CA 방식을 중심 모델로 하여 에너지 소모와 관련된 전송파라미터들에 대한 분석과 선박환경에서의 에너지 소모량 분석을 제시하고, 전송파라미터의 선택

방식이 에너지 효율성 증대에 어떠한 영향을 미치는가를 분석하여 제시한다. 특히 선박환경에서는 대형선박의 경우 철골(steel) 구조가 많은 반면 중소형 선박은 FRP소재의 선박이므로 전송전력 대비 경로손실의 차이가 성능을 결정하는 가장 큰 파라미터이므로 이것을 중심으로 HR-WPAN 시스템을 선박내 네트워크(SAN: Ship Area Network)을 구성하는 데 있어서의 성능을 분석하여 제시한다. 시뮬레이션 결과 선박환경에 따라서 고정 전송률 선택 방식과 전송전력 조절 방식의 선택이 중요함을 보였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 CSMA/CA기반 HR-WPAN 시스템모델을 제시하고 3장에서 전송 에너지 소모량 분석식을 보인다. 4장에서는 선박환경에서의 CSMA/CA HR-WPAN의 전송 시스템 파라미터에 따른 성능분석 결과를 제시하고, 결론을 5장에서 맺는다.

II. CSMA/CA HR-WPAN 시스템 모델

IEEE WPAN 표준에서 피코넷(piconet)은 무선 ad-hoc 네트워크로 다수의 독립적인 장치들이 서로 통신하며 일반적으로 사방으로 최소 10m정도를 커버하는 개인 또는 개체 주위의 적은 영역으로 제한된다^[1]. 피코넷의 참여 장치들 중 하나는 피코넷 조정자(PNC)의 역할을 한다고 가정한다. PNC는 비콘(beacon)신호에 대한 시간 정보를 지원하고 QoS를 관리한다.

그림 1은 WPAN의 슈퍼프레임 구조를 보인다. 경쟁 접근 기간(CAP: Contention Access Period)은 명령 또는 비동기 데이터를 통신하는데 사용되며, 비경쟁 기간(Contention Free Period, CFP)은 명령이나 isochronous 스트림, 그리고 비동기 데이터 연결을 위해서 사용되는 채널시간 할당(channel time allocation, CTA)을 위해 예약 된다^[1]. 본 논문에서는 IEEE 802.15.3 High-Rate(HR) WPAN 시스템을 CSMA/CA기반 WPAN시스템 모델의 참조모델로 사용한다. 높은 수준의 QoS가 보장되어야 하는 실시간 서비스들은 WPAN의 CFP에서 지원되어야

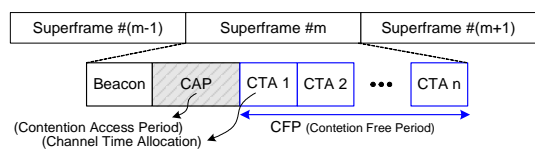


그림 1. WPAN 슈퍼프레임 구조

하는 반면, best-effort 서비스와 같이 낮은 수준의 QoS가 요구되는 서비스들은 WPAN에서 무선 자원들은 보다 효율적으로 사용하기 위해 CAP에서 지원되어야 한다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 에너지 소모가 적어야 하고 어느 정도의 QoS가 필요한 CAMA/CA기반 무선 센서 네트워크를 위해 사용될 수 있다. HR WPAN 시스템은 변조방식 QPSK-TCM, DQPSK-TCM, 16QAM-TCM, 32QAM-TCM과 64QAM-TCM 각각에 대해서 11/22/33/44/55Mbps와 같은 다섯 가지의 데이터 전송률을 지원한다. IEEE 802.15.3 표준은 최대 2048 바이트, 최대 전송 전력은 0dBm에서 10 dBm을 지원한다. 변조 수준 정보와 fragmentation에 대한 정보는 PHY와 MAC헤더에 각각 포함된다.

CAP에서의 기본 매체접근기법은 CSMA/CA라 가정한다. 임의의 WPAN 디바이스 장치는 한번에 한 프레임을 전송한다고 가정하고, ACK 프레임을 제외하고는 모든 프레임의 전송에 exponential 백오프(backoff) 알고리즘을 적용한다. 장치는 경쟁 윈도우(CW; contention window) 크기 CWk를 선택하는데 CWk는 0과 CWk,max 사이의 임의 값이며, CWk,max는 k번째 시도에서 최대 허용가능한 CW 크기를 나타낸다. 다음은 CW카운터를 유지하는데 이는 매체가 pBackoffslot에 대응되는 시간동안 유희상태일 때만 감소된다. 채널이 사용 중 일때마다 CW카운터는 값이 변하지 않고 장치는 다른 장치의 전송이 끝날 때까지 기다리며, SIFS(Short Interframe Space)기간은 그 후로 지나치게 된다. 다음으로 장치는 유지된 CW 카운터 값으로 반송파 감지(carrier sensing) 동작을 계속한다. CW 카운터가 0이 되었을 때 장치는 채널이 BIFS(Backoff Interframe Space)에 대응되는 시간동안 idle 상태이면 즉시 프레임을 전송한다. 다음으로 만약 ACK 프레임이 전송 시도에 따른 RIFS(Retransmission Interframe Space)동안 장치에 의해 수신되지 않는다면 장치는 재시도 카운터값을 증가시킨 후 앞에 제시한 과정을 반복한다.

2.1 선박내 HR-WPAN 시스템 모델

본 논문에서 고려하는 선박내 HR-WPAN 시스템 모델의 개념도는 그림 2에 보인바와 같다. 여기서 HR-WPAN의 네트워크 구성은 HR-WPAN 표준 네트워크 구성 모델인 피코넷을 바탕으로 하고, PNC를 중심으로 스타구조나 메시 구조로 WPAN을 구성할 수 있다. 각 DEV들은 선박내의 측정센서와 연동하여 센싱된 데이터를 PNC에 전달하는 역할을

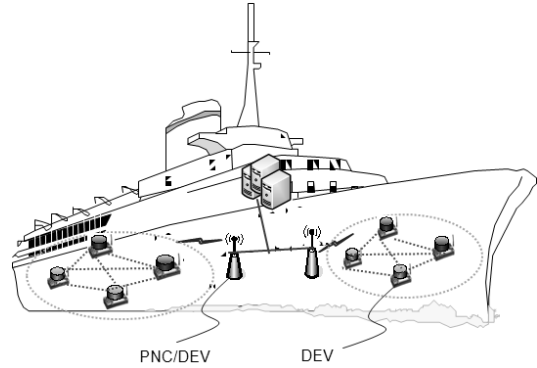


그림 2. 선박내 HR-WPAN 구성도

수행한다. 선박 내에서는 다음과 같은 위치에 센서를 부착하고 측정할 수 있는 데이터의 유형은 표 1과 같다.

본 논문에서는 선박환경의 특수성을 고려하여 HR-WPAN 시스템을 선박환경에 적용할 경우 고려되어야 하는 전송 파라미터를 분석하고 에너지를 절약할 수 있는 전송파라미터 결정방식에 대하여 제안한다. 따라서 선박내 네트워크(SAN) 환경에서 전송전력소모에 가장 큰 영향을 미치는 선박의 재질에 대한 영향을 분석한다. 일반적으로 대형선박의 경우 steel 구조가 많은 반면 중소형 선박은 FRP소재의 선박이므로 전송전력 대비 경로손실의 차이가 좁은 영역 내에서 네트워크 구성하는 피코넷 환경에서의 성능을 결정하는 가장 중요한 전송 파라미터로 고려 할 수 있다. 따라서 표 2와 같이 선박의

표 1. 선박내 WPAN 설정시 센서 설치 위치와 용도

위치	용도
선두	파도에 의한 선박의 휘는 정도 및 진동 측정
갑판	파도에 의한 선박의 휘는 정도 측정
엔진룸	온도, 습도, 진동, 압력 측정
샤프트	휘는 정도, 진동 측정
탱크(식수, 연료)	유량 및 수량 측정
선체	Hull Stress(배의 휘는 정도) 측정
선장실	싱크노드를 통한 측정데이터 수집, 모니터링, 데이터베이스화 및 알람서비스

표 2. 선박환경 설정 파라미터

	Parameter	Value
Path loss	Steel 선박	60 dB
	FRP (중소형선박)	55 dB
	소형선박	50 dB

구성 재질에 따라서 다른 전송 투과성과 손실율은 WPAN 시스템에서 총괄적으로 전송신호가 겪는 path loss의 형태로 표현할 수 있을 것이다. WPAN 시스템 전송 파라미터에 따른 정확한 실측치나 모델링 값이 존재하지 않으므로 본 논문에서 표 2와 같이 소형선박의 경우에는 일반적인 WPAN path loss 값을 설정한 반면, steel 선박이나 FRP 중소형 선박의 경우에는 path loss 값을 높게 설정하여 철강이나 기타 다른 재질에 의한 전파 감쇄의 영향을 고려한다.

III. CSMA/CA기반 에너지 소모량 분석

본 장에서는 앞서 설명한 CSMA/CA 매체 접근 모델로 전송할 경우 장치에서 필요한 에너지 소모량을 분석한다. CSMA/CA 모델에서의 필요 에너지는 전송과 감지를 위한 에너지(E_{CS}), ACK 수신을 위한 에너지(E_{ACK})와 데이터 전송 에너지(E_{tx})에 대응하는 수신 에너지(E_{rx})로 구분할 수 있다. 그러므로 프레임이 성공적으로 전송하고 수신하는 데 요구되는 에너지는 다음 식(1)과 같다.

$$E_{frame}(L, R, P_t) = E_{rx} + E_{tx}(L, R, P_t) = E_{CS} + E_{ACK} + E_{tx}(L, R, P_t) \quad (1)$$

여기서 L 은 데이터 분할(fragment) 크기, R 은 데이터 전송률(변조 수준), P_t 는 전송 전력을 나타내고, 이러한 파라미터들은 물리적 회로내의 에너지 소모에 직접적인 영향을 주는 것들로서 에너지 소모량을 결정하는 가장 중요한 파라미터들이다. 본 논문에서는 위 세 가지 전송파라미터들에 대하여 주로 분석한다. MSDU(MAC Service Data Unit)을 L 크기로 분할(fragment)해서 보내기 때문에 $\lceil L_{MSDU}/L \rceil$ 프레임으로 분할하여 전송해야 한다. 결과적으로 전체 MSDU를 전송하는 데 요구되는 에너지는 식 (2)와 같다.

$$E_{MSDU}(L, R, P_t) = \left\lceil \frac{L_{MSDU}}{L} \right\rceil \cdot E_{frame}(L, R, P_t) + E_{frame}(L_{remain}, R, P_t) \quad (2)$$

L_{remain} 은 MSDU가 고정된 크기의 L 개의 fragment 들로 분할된 후 남은 데이터의 크기이다. CSMA/CA 매체접근 프로토콜에서의 동작은 프레임을 전송하고자 할때 i 번 실패했다고 가정하고, 데이터 전송률 R 과 전송전력 P_t 로 L 바이트의 한 프레임을 전송할 때 요구되는 에너지는 프레임 전송시간(T_{frame}) 동안 소모된 전력의 곱이므로 식 (3)과 같다.

$$E_{tx}(L, R, P_t) = (i+1) \cdot T_{frame}(L, R) \cdot P_{tx}(P_t) \quad (3)$$

또한 ACK 프레임의 수신을 위해 필요한 에너지는 다음 식 (4)와 같이 기술된다.

$$E_{ACK} = T_{ACK} \cdot P_{rx} \quad (4)$$

T_{ACK} 는 ACK 프레임의 전송 시간을 나타내며, 식 (3)과 식 (4)의 P_{tx} 와 P_{rx} 는 프레임을 송신하고 수신하는데 필요한 전력량을 나타낸다. 이것은 참고문헌 [2]에서 설명한대로 식 (5)와 식 (6)에 정의하였다.

$$P_{tx} = P_{c_mod} + \frac{P_t}{\eta} \quad (5)$$

$$P_{rx} = P_{c_demod} + P_r \quad (6)$$

여기서 P_t 는 송신자의 전송 전력, η 는 전력 증폭기의 효율(efficiency)을 나타내고, P_r 은 수신기 앞단에서 소모되는 전력을 나타낸다. P_{c_mod} 는 다른 기저대역 프로세서(baseband processors)들을 포함한 변조 회로에서 소모되는 전력이고, P_{c_demod} 는 다른 기저대역 프로세서들을 포함한 복조 회로에서 소모되는 전력이다. 본 논문에서는 [2]에서와 같이 변조기와 복조기 회로에서 소모되는 전력 P_{c_mod} 와 P_{c_demod} 를 같은 값 P_c 로 정의하였다. 또한, CSMA/CA 프로토콜에서 $(i+1)$ 번째 시도에서 전송이 성공적하였음을 가정할 경우, 채널 탐지에 필요한 에너지 E_{cs} 는 식 (7)과 같다.

$$E_{CS} = P_t \cdot \left[\sum_{k=1}^i [pBackoffslot \cdot (CW_k + N_{STOP,k}) + N_{STOP,k} \cdot (T_{busy,k} + SIFS) + BIFS + RIFS] + [pBackoffslot \cdot (CW_i + N_{STOP,i}) + N_{STOP,i} \cdot (T_{busy,i} + SIFS) + BIFS + SIFS] \right] \quad (7)$$

$$\approx P_t \cdot \left[\sum_{k=1}^{(i+1)} [pBackoffslot \cdot (CW_k + N_{STOP,k}) + N_{STOP,k} \cdot (T_{busy,k} + SIFS) + BIFS + RIFS] \right]$$

$N_{STOP,k}$ 는 k 번째 전송시도에서 멈춘 CW 카운터 수, $T_{busy,k}$ 는 k 번째 시도에 대하여 다른 장치의 전송때문에 채널이 사용된 시간을 나타낸다. 반송파 감지 과정에서 소모되는 전력은 장치가 전송과 유무만 감지하기 때문에 실제 데이터 수신을 위해 필요한 전력보다 적다. 따라서 본 논문에서는 전송과 감지 과정에서 소모되는 전력 P_{rx}^* 는 실제 데이터 수신 전력의 약 40% 정도 (즉, $0.4P_{rx}$)로 가정한다.

CSMA/CA 매체접근 프로토콜에서 최악의 경우에 소모되는 에너지는 P_{rx}^* 와 $pBackoffslot$ 의 곱이

다. 그리고 ACK 모드로 데이터 프레임을 전송하여 성공적으로 전송하였을 경우, 장치는 ACK 프레임을 기다리는 동안 부가적인 에너지를 소모한다. 또한 ACK 프레임이 SIFS의 끝에 도착할 때도 최악의 경우가 된다. 프레임을 성공적으로 전송하기 전에 전송 시도 횟수 i 값과 식 (7)에서의 $N_{STOP,k}$, CW_k , $T_{busy,k}$ 값은 미리 알 수가 없기 때문에 확률적으로 예측한다. 피코넷 장치가 n 개 있다고 가정할 경우 전송이 성공적으로 이루어질 확률은 식 (8)과 같다.

$$P_s = (1 - FER) \cdot \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{1-(1-\tau)^n} \quad (8)$$

FER은 프레임 에러율(Frame Error Rate), τ 는 한 장치가 $pBackoffslot$ 동안 전송할 확률로 참고문헌 [3]의 반복 알고리즘에 의해 알 수 있다. 그러므로 한 프레임이 성공적으로 전송되기 전 전송시도 평균횟수는 $E[i] = 1/P_s - 1$ 이고, 채널이 $pBackoffslot$ 동안 idle이 아닐 확률은 $P_b = 1 - (1-\tau)^n$ 이다. 또한, 전송을 시도하기 전 연속적인 idle slot의 평균 갯수는 $E[\Delta] = 1/P_s - 1$ 로 계산하고, 식 (9)를 통하여 한 프레임을 성공적으로 전송하기 위해 CW 카운터가 멈추는 평균 횟수를 구할 수 있다 [4].

$$E[N_{STOP}] = \frac{E[CW]}{\max(E[\Delta], 1)} - 1 \quad (9)$$

식 (9)에서 한 프레임을 성공적으로 전송하기 위한 CW의 평균값은 식 (10)과 같이 계산된다.

$$E[CW] = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{CW_{i,max}} j \cdot P(i, j) \quad (10)$$

여기서 m 은 exponential backoff 알고리즘의 재시도 회수에 대한 최대값이고, $P(i, j)$ 는 재시도 횟수가 i 이고 CW크기가 j 인 정상상태 확률(steady-state probability)을 나타내며 식 (11)과 같이 기술된다.

$$P(i, j) = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{\text{retry_count}(t) = i, CW(t) = j\} \quad (11)$$

식 (11)의 정상상태 확률을 계산하기 위해 본 논문에서는 참고문헌 [5]와 [6]에 기술된 고려사항들과 평균 CW 사이즈를 위한 Markov chain 모델을 사용한 분석식을 적용한다. 따라서 IEEE802.15.3 표준에 제시한 재시도 최대 횟수(m)를 3의 값을 사용

하여 고려한 전송 실패 확률 q 는 $q = 1 - (1 - FER)(1 - p)$ 이고, 다른 장치의 전송으로 인한 충돌 확률은 $p = 1 - (1 - \tau)^{n-1}$ 이다. 이때, FER은 채널의 환경 요인에 따라 달라질 수 있으나, 본 논문에서 일반화를 가정하여 AWGN 채널 환경을 고려한다. i 와 j 가 정수이고 $0 \leq i \leq m$, $0 \leq j \leq CW_{i,max}$ 인 Markov chain의 정상상태 확률 $P(i, j)$ 는 다음 식 (12)을 통하여 알 수 있고 식 (13)과 같은 특성을 갖는다.

$$P(i, j) = \begin{cases} \frac{CW_0 - j}{CW_0} \cdot P(0,0) & i = 0 \\ \frac{CW_i - j}{CW_i} \cdot q^i \cdot P(0,0) & 0 < i < m \\ \frac{CW_m - j}{CW_m} \cdot \left(q^m + \frac{q^{m+1}}{1-q} \right) \cdot P(0,0) & i = m \end{cases} \quad (12)$$

$$\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{CW_{i,max}} P(i, j) = 1 \quad (13)$$

그러므로 $P(0,0)$ 은 다음 식 (14)와 같음을 알 수 있다.

$$P(0,0) = \frac{2(1-2q)(1-q)}{(1-2q)(CW_0+1) + q \cdot CW_0(1-(2q)^m)} \quad (14)$$

식 (12), (13)과 (14)를 사용하여 한 프레임을 성공적으로 전송하기 위한 CW의 평균값은 식 (10)에 대입하여 계산할 수 있다. 결과적으로, WPAN 표준은 CAP동안 RTS/CTS를 적용하지 않기 때문에 식 (15)에 의해 계산된 $T_{busy,k}$ 측정값을 통해 지원하는 데이터 속도와 유용한 fragment 크기를 구할 수 있다.

$$E[T_{busy,k}] = E\left[\frac{\text{the available fragment sizes}}{\text{the supported data rates}} \right] \quad (15)$$

식 (16)의 $T_{success_frame}$ 이 $T_{frame}(L, R)$ 의 전송 시간동안 전송되는 프레임이 성공적으로 수신되는 데 요구되는 시간을 나타낸다면, MSDU를 성공적으로 수신하는데 필요한 평균 시간은 식 (17)에서와 같이 $T_{success_MSDU}$ 가 MSDU를 위해 최대 허용되는 지원 시간(D_{max})보다 짧다.

$$T_{success_frame}(L, R) \approx E[i+1] \cdot [pBackoffslot \cdot (E[CW] + E[N_{STOP}]) + E[N_{STOP}] \cdot (E[T_{busy}] + SIFS) + T_{frame}(L, R) + BIFS + RIFS] + T_{frame}(L, R) \quad (16)$$

$$T_{success_MSDU} = \left[\frac{L_{MSDU}}{L} \right] \cdot T_{success_frame}(L, R) + T_{success_frame}(L_{remain}, R) \leq D_{max} \quad (17)$$

위에서 제시한 에너지 소모량 분석식들을 바탕으로 에너지 소모에 영향을 미치는 파라미터들을 중심으로 HR-WPAN 시스템을 선박환경에 적용하였을 때, 각 전송파라미터들에 의한 에너지 소모량을 시뮬레이션을 통하여 분석하여 제시하였다. 특히 식 (1)과 식 (2)를 중심으로 하고, 다른 확률식과 Markov chain에 의한 정상상태 확률들을 고려하여 시뮬레이션 모델을 구성하였다.

IV. 시뮬레이션 모델 및 결과

4.1 시뮬레이션 모델

본 논문에서는 HR-WPAN 네트워크의 선박환경에서의 성능을 검증하고 전송파라미터에 따른 총 에너지 소모량을 분석하여 대형, FRP중소형, 소형 선박에서 에너지 효율성을 증대시킬 수 있는 전송파라미터를 결정하는 것이 중요하다. 제안된 에너지 소모량 분석식을 통하여 에너지 소모를 결정하는 HR-WPAN 전송파라미터인 전송전력(P_t), 전송데이터율(R) 및 전송 데이터 분할크기(L)에 대하여 잡음 채널상태에 따른 에너지 소모량을 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 시뮬레이션 모델에서의 네트워크 구성이나 장치들의 CSMA/CA 프로토콜 동작은 IEEE802.15.3의 표준을 바탕으로 수행하고, 확률적인 환경을 필요로하는 부분은 본 논문에서 제시한 확률식들을 바탕으로 실제와 유사하게 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 효율적으로 에너지 소모를 제어하고 파라미터들의 영향을 분석하기 위하여 전송파라미터들 중에서 영향을 분석하고자 하는 고정 파라미터이외의 파라미터들은 채널 상태에 따른 최소의 에너지를 요구하는 선택을 하도록 하는 파라미터 선택알고리즘을 사용하여 설정하였다⁶⁾. 성능평가를 위하여 IEEE 802.15.3 HR-WPAN 시스템의 파라미터를 기준으로 그림 1의 경쟁 접근기간(CAP)에 대하여 실험하였다. 실험을 위해 IEEE 802.15.3 표준에 명시된 바와 같이 fragment 크기(L)는 최대 2048바이트까지, 최대 전송 전력은 0dBm에서 10dBm 사이의 스텝 크기(step size) 2dB로 가정하였다. 다른 파라미터들은 표 3과 표 4에 제시하였으며, 실험을 위한 피코넷 모델내에 10개의 WPAN 장치가 존재한다고 가정하여 시뮬레이션을

표 3. IEEE 802.15.3 물리 계층 파라미터

파라미터	값
fragment 사이즈(bytes)	2048,1792,1536,1280, 1024,512,256,64
헤더 지속시간(11 Mbps)	31.27 μ s
헤더 지속시간(22, 33, 44, and 55 Mbps)	22.54 μ s
TACK	22.54 μ s
SIFS	10 μ s
RIFS	27.27 μ s
BIFS	17.27 μ s
pBackoffslot	17.27 μ s
경쟁윈도우 사이즈 $i \in (0,3)$, CW _i	$8 \cdot 2^i - 1$

표 4. 에너지 파라미터

Parameter	Value	
Pc	400 mW	
Pr	50 mW	
Path loss	Steel 선박	60 dB
	FRP 중소형선박	55 dB
	소형선박	50 dB
η (PA efficiency)	0.1	

수행하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

그림 3에서는 각 선박환경에 따라 다르게 설정된 경로손실(path loss)에 따라 분석된 HR-WPAN의 에너지 소모량에 대한 시뮬레이션 결과를 보였다. 그림에서는 채널의 상태에 따라 데이터 분할크기, 데이터 전송률 파라미터를 적응적으로 변경시키는 알고리즘을 사용하였으므로, 각 고정 전송 전력에 대해서 비교하였다. 시뮬레이션 결과, steel ship의 경우 예상대로 에너지 소모량이 가장 큼을 알 수 있고, 전송전력을 최대 $P_t=8dBm$ 으로 설정할 경우 FRP ship보다 우수한 에너지 소모 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 즉, 대형 steel선박과 FRP선박이 잡음전력이 높은 열악한 환경에서는 전송전력 파라미터를 최대로 설정하고, 데이터 분할크기나 데이터 전송률을 적응적으로 설정하는 파라미터 선택 방식이 최소 QoS를 보장하면서 최소의 에너지 소모 성능을 달성할 수 있는 방식임을 알 수 있다. 따라서 선박의 소재가 전파에 의한 에너지 소모가 많은 경우에는 전송전력을 높게 설정하여 고정적으로 전송할 경우 만족할 만한 성능을 기대할 수 있을 것이라는 결론을 얻을 수 있다.

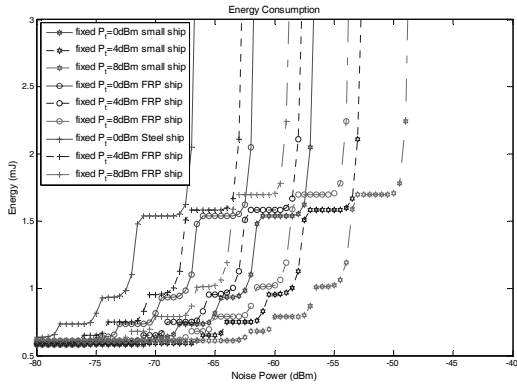


그림 3. 고정 전송전력(Pt) 전송파라미터에 대한 선박의 종류에 따른 잡음전력대비 에너지 소비량 비교 성능

그림 4에서는 데이터 전송률(PHY rate)을 고정시킨 상태에서 데이터 분할크기, 전송 전력을 채널의 상태에 따라 적응적으로 선택하는 경우에 대한 에너지 소모량을 각 선박환경별로 비교한 결과를 보였다. 잡음전력이 -65dBm이하인 환경에서는 고정 전송률이 11Mbps로 설정한 경우 모든 선박환경에서 에너지 소모효율성이 우수함을 보였다. 결론적으로 잡음전력이 높은 경우에는 FRP ship이나 소형선박은 33Mbps로 데이터 전송률을 설정하고, 대형 steel 선박은 22Mbps로 설정하는 것이 유리한 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그림 5에서는 데이터 분할크기(fragment size)를 고정시킨 상태에서 전송 전력 및 데이터 전송률을 채널의 상태에 따라 적응적으로 변경시키는 경우에 대한 에너지 소모량을 각 선박환경별로 비교하였다. 고정 데이터 분할크기가 1024byte와 2048byte인 경우 대체로 선박환경에 관계없이 에너지 소모량이

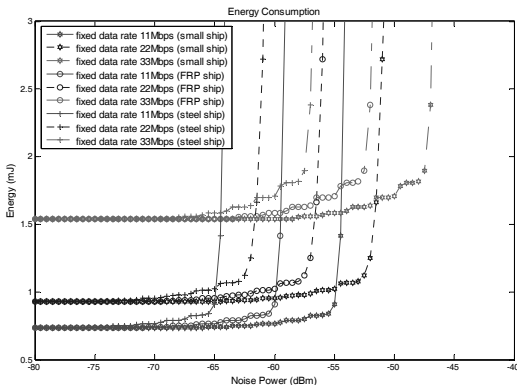


그림 4. 고정 데이터 전송률(R) 전송파라미터에 대한 선박의 종류에 따른 잡음전력대비 에너지 소비량 비교 성능

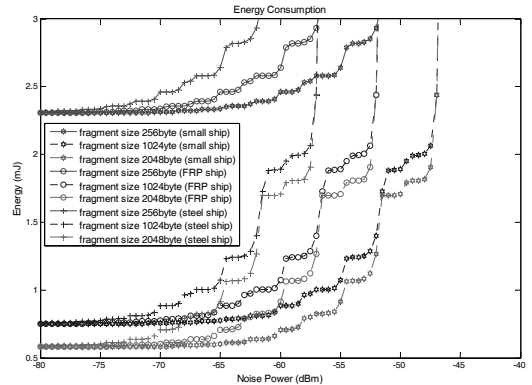


그림 5. 고정 데이터 분할크기(fragment size) 전송파라미터에 대한 선박의 종류에 따른 잡음전력대비 에너지 소비량 비교 성능

비교적 작음을 알 수 있다. 이렇게 잡음전력의 증가에 상관없이 일정한 에너지 소모량을 보이는 것은 MSDU의 데이터 분할크기(fragment size)를 크게 하는 것이 전송에너지 효율 면에서 유리하다는 결론을 유추할 수 있다. 데이터 분할크기가 작은 경우에는 전송할 수 있는 채널환경이 충분함에도 불구하고 전송 횟수를 증가시킴으로써 발생하는 에너지 소모량이 증가함에 따라 발생하는 성능열화로 볼 수 있다. 각 선박환경별로 에너지 소모 성능을 비교한 결과, 예상대로 소형 선박-FRP선박-대형선박 순으로 에너지 효율성능이 우수함으로 알 수 있고, 데이터 분할크기는 2048byte로 설정하는 것이 우수하나, 채널환경이 악화되는 경우에는 다른 파라미터들과의 선택을 고려하여 데이터 분할크기를 작게하고 전송전력을 높이는 방식이 최소 QoS나 데이터 throughput을 만족할 수 있을 것이다. 이러한 결과는 그림 6에 제시하였다.

그림 3, 4, 5의 결과를 통합적으로 비교해 볼 때, 대형선박의 경우 잡음전력이 낮은(-70~-65dBm)이하의 환경에서는 저속의 전송 데이터율 (11Mbps) 전송 방식이나 데이터 분할크기가 큰 전송방식 (2048byte)으로 전송파라미터를 설정하거나, 전송 전력을 최대 $P_t=8dBm$ 으로 설정할 경우가 에너지 효율 면에서 유리하다. 소형선박의 경우에는 모든 경우에서 상대적으로 우수한 에너지 효율성능을 얻을 수 있었고, 그 중에서도 데이터 분할크기를 2048byte로 설정하고 전송데이터율과 전송 전력을 적응적으로 제어하는 전송방식이 가장 우수한 에너지 효율성능을 기대할 수 있다는 결론을 얻었다.

그림 3, 4, 5에서 제시한 시뮬레이션 결과들은

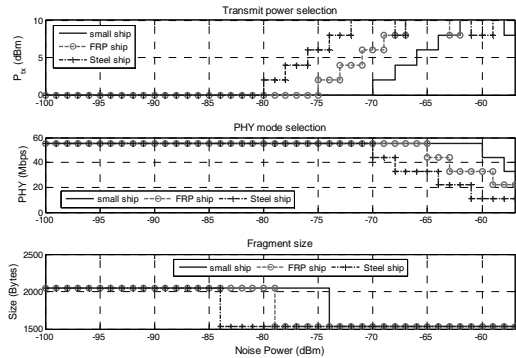


그림 6. 최소의 에너지 소모량을 보장하는 잡음전력 레벨에 대한 각 선박환경에서의 전송파라미터들의 선택방식

전송 파라미터 중 하나를 고정으로 설정하고 나머지 파라미터들을 제어하여 에너지 소모량이 최소인 경우를 보인 것이고, 그림 6은 세가지 전송파라미터들을 통합적으로 제어하여 최소의 에너지 소모량을 보이는 파라미터 조합의 결과를 보인 것이다. 즉, 잡음전력이 낮은 경우 그림 4에서는 데이터 전송률을 11Mbps로 낮추는 것이 에너지 소모량이 적으나, 그림 6의 경우에는 데이터 전송률, 전송 전력 및 데이터 분할크기 제어 중에서 가장 작은 에너지 소모량이 기대되는 방향으로 파라미터를 설정하기 때문에 데이터 전송률이 높은 경우가 선택되었다.

그림에서 보인 바와 같이 선박의 재질에 따른 파라미터 선택은 대체로 비슷하지만 대형선박의 경우 잡음이 증가함에 따라 전송전력을 빠르게 높여야 하고, 데이터 분할크기를 낮추는 방향으로 파라미터를 선택함을 알 수 있다. 그렇지만 데이터 전송률에 대해서는 둔감함을 알 수 있다. 결과적으로 그림 6에서 알 수 있듯이 저잡음전력 환경에서는 모든 선박환경에서 전송전력을 낮게 설정하고, 데이터 전송률(PHY rate)를 최대로 설정하고, 데이터 분할크기는 적당하게 설정하는 것이 에너지 소모량을 줄일 수 있다는 결론을 내릴 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 선박환경에 적용하기 위한 CSMA/CA기반의 HR-PAN시스템의 전송 파라미터를 분석하여 에너지를 절약할 수 있는 전송파라미터 결정방안에 대하여 제안하였다. 대형 steel 선박과 중소형 FRP선박 및 소형선박에 대하여 감쇄요인을 반영하여 각각의 전송파라미터 별로 에너지 효율성을 비교분석하였다.

결과적으로 감쇄가 심한 대형 steel 선박의 경우 고정 전송전력을 높게 설정하거나, 데이터 전송률을 낮게 설정하거나, 데이터 분할크기를 크게 설정하여 낮은 잡음전력레벨에서는 에너지 효율을 향상시킬 수 있다는 결론을 얻었다. 또한 소형선박의 경우에는 상대적으로 채널환경이 우수하여 전송파라미터 선택에 큰 제약을 받지 않지만 데이터 분할크기를 고정하는 방식이 다른 파라미터 설정에 비해 에너지 효율 성능 면에서 유리하다는 결론을 얻었다. 또한 최소의 에너지 소모량을 달성하는 세 가지 파라미터 제어선택방식을 사용할 경우에는 저잡음 환경에서는 전송전력을 낮게 설정하고, 데이터 전송률(PHY rate)를 최대로 설정하고, 데이터 분할크기는 적당하게 설정하는 것이 에너지 소모량을 줄일 수 있다는 결론을 내릴 수 있다.

따라서 HR-WPN 시스템 모델을 감쇄가 심한 선박환경에 적용할 경우에 적절한 전송파라미터 선택과 조정에 따라서 에너지 소모량을 감소시킬 수 있고, 선박의 특성에 맞게 설정함에 따라 에너지 효율성을 향상시킬 수 있음을 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE Draft Std 802.15.3: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks, Feb., 2003.
- [2] D. Qiao, S. Choi, A. Jain, K. Shin, "MiSer: An Optimal Low-Energy Transmission Strategy for IEEE 802.11a/h," *MobiCom*, Sep., 2003.
- [3] P. Cali, M. Conti, and E. Gregori, "Dynamic tuning of the IEEE 802.11 protocol to achieve a theoretical throughput limit," *IEEE ACM transactions on networking*, Vol. 8, pp. 785-799, 2000.
- [4] E. Ziouva and T. Antonakopoulos, "CSMA/CA performance under High Traffic Conditions: Throughput and Delay analysis," *Elsevier Computer Communications*, Vol. 25, pp. 313-321, 2002.
- [5] G. Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 3, pp. 535-547, March, 2000.
- [6] Y. Joo, Y. Lee, "QoS Guaranteed and Energy

Efficient Transmission for Wireless Personal Networks System,” IEICE Transactions on Communications, Vol. E91-B, No. 6, pp. 1980-1988, June, 2008.

박 영 민 (Young-Min Park) 준회원



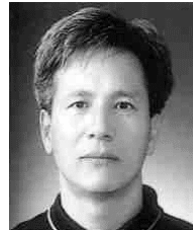
2008년 2월 목포대학교 정보통신공학전공 학사
<관심분야> 무선통신, 해상무선통신, 해양텔레매틱스

이 우 영 (Woo-Young Lee) 준회원



2009년 2월 목포대학교 정보통신공학전공 학사
<관심분야> 무선통신, 해상무선통신, 해양텔레매틱스

이 성 로 (Seong-Ro Lee) 정회원



1987년 2월 고려대학교 전자공학과
1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사
1996년 8월 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사
2005년 3월~현재 목포대학교 정보공학부 정보공학전공 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레매틱스응용분야, 임베디드시스템, 생체인식시스템

이 연 우 (Yeonwoo Lee) 종신회원



1994년 2월 고려대학교 전자공학과 석사
2000년 2월 고려대학교 전자공학과 박사
2000년 3월~9월 고려대학교 BK21 박사후 연구원
2000년 10월~2003년12월 영국

Edinburgh 대학교 Research Fellow

2004년 1월~2005년 8월 삼성종합기술원, 4G연구팀
2005년 9월~현재 국립목포대학교 정보공학부 정보통신공학전공, 조교수

<관심분야> 해상무선통신, e-Navigation, Cognitive Radio, 4G 이동통신, Wireless Sensor Network, RRM.