

HDR-WPAN 시스템을 위한 주파수 동기 성능분석

Performance Analysis of Frequency Synchronization for
HDR-WPAN System

박지우*, 강희곡**, 김재영***, 오창현*

Ji-Woo Park*, Hee-Gok Kang**, Jae-Young Kim***, Chang-Heon Oh*

요 약

본 논문에서는 HDR-WPAN(high data rate wireless personal area network) 시스템의 CAZAC sequence 특성을 이용한 주파수 동기 알고리즘을 제안하고, 신호 정상도 및 EVM(error vector magnitude)를 통해 성능을 분석해 본다. 제안된 방식에서 주파수 오프셋은 자기상관성이 우수한 12개의 CAZAC sequence 가운데 두 개 sequence의 각 샘플간 위상오차를 추정하였으며, 추정된 위상오차는 다음 sequence 내 각각의 샘플에 곱해지면서 위상오차를 보상하게 된다. 두 개의 sequence로 주파수 오프셋을 보정한 후 남은 잔류 주파수 오프셋은 샘플 당 최대 0.002도 이내가 되며 DQPSK의 경우 20[dB]에서 EVM의 허용 기준값을 만족할 수 있음을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인한다.

Abstract

In this paper, we propose a frequency synchronization algorithm using characteristic of CAZAC sequence for HDR-WPAN and analyze the performance by signal constellation and EVM(error vector magnitude). The proposed frequency offset technique estimated each sample phase error of two sequences among 12 CAZAC sequences which have excellent autocorrelated characteristic. Estimated phase error is multiplied to each sample of next sequence for compensating the frequency offset. The remaining frequency offset after compensating it with two sequences has maximum 0.002 offset ranges at each sample. The computer simulation proved that the permission of EVM value had satisfied in the case of DQPSK at 20[dB].

Key words : IEEE802.15.3; HDR-WPAN; Synchronization; Frequency offset, Packet detection.

I. 서 론

최근 홈 네트워크 및 유비쿼터스 네트워크에 대

한 요구가 증대하면서 가정 내 가전기기, 사무기기 및 각종 정보기기들을 근거리에서 배선의 불편 없이 고속으로 연결시켜줄 수 있는 고속 무선 PAN(wireless personal area network) 기술이 주목

* 한국기술교육대학교(Korea University of Technology and Education)

** 휴메이트(주)

*** 한국전자통신연구원(ETRI)

· 논문번호 : 2004-2-10

· 접수일자 : 2004년 11월 6일

을 받고 있다. 그 가운데 IEEE 802.15.3 working group에서 개발한 high data rate WPAN 기술은 근거리에서 무선 단말기들 사이의 초고속의 멀티미디어 전송을 목표로 하고 있다[1],[2].

2003년에 표준화 완료된 HDR-WPAN의 구체적인 특징을 살펴보면 기존의 ISM 밴드 대역인 2.4GHz에서 최고 55Mbps까지 5개의 서로 다른 채널을 지원하므로 가정 내 멀티미디어 데이터 트래픽에 적합하며, 자체적인 security suite를 보유하고 있을 뿐만 아니라 19.2Mbps의 HD급 비디오 데이터의 전송이 가능하다. 또한, QoS와 security를 지원하며, WLAN에 비해 낮은 전력을 소모하는 저가의 칩을 사용하고, 11Mbaud의 심볼 레이트를 이용하여 5가지 전송 모드(QPSK-TCM, DQPSK, 16/32/64 QAM-TCM)에서 데이터 전송을 11, 22, 33, 44, 55Mbps를 제공할 수 있도록 설계되어 있고, 단일 반송파 변조 방식으로 한번에 2048byte 길이의 데이터를 전송시킨다[3],[4]. 이 때문에 송·수신단의 주파수 동기 오차에 의한 주파수 오프셋에 크게 민감하지 않지만, 동기에 대한 보상이 이루어지지 않을 경우 정확한 성상도를 구현할 수 없기 때문에 수신단에서 신호를 복호할 수 없다.

이에 본 논문에서는 HDR-WPAN 시스템을 모델로 동기에 관한 시뮬레이터를 구성하여 신호 검출 및 주파수 동기를 수행해 보고자 한다. 이와 같은 과정에서 전력에 대한 신호 검출 알고리즘 및 CAZAC sequence를 통해 송·수신단의 오실레이터 차이로 발생하는 주파수 오프셋 보상 알고리즘을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 1장 서론에 이어 2장에서 HDR-WPAN 시스템의 주파수 오프셋 추정 알고리즘을 통한 보상 방법을 설명하고, 3장에서는 주파수 오프셋 추정 알고리즘을 모의실험 및 EVM을 통해 성능분석을 하며, 마지막 4장에서 결론을 맺는다.

II. 주파수 동기 알고리즘

기저대역 신호는 송신단의 국부 발진기에서 발생된 반송파 주파수에 의해 통과대역으로 천이되며, 수신단에서는 동일한 반송파 주파수에 의해 기저대

역 신호로 변환된다. 이 때, 기저대역 신호에는 반송파와 관련된 왜곡이 포함될 수 있는데, 왜곡은 크게 두 가지 형태로 구분될 수 있다.

첫 번째는 송신기와 수신기에서 사용하는 발진기의 특성이 안정적이지 못하여 발생하는 위상잡음으로 주파수가 정상적인 주파수 주위에서 시간에 따라 변동하는 것이다.

두 번째는 송신기 반송파 주파수와 수신기 반송파 주파수 차이에 의한 반송파 주파수 오프셋으로 수신된 기저대역 신호는 $\Delta f = f_c - f'_c$ 의 오프셋을 포함하게 된다[5].

송신기와 수신기의 반송파 사이에 주파수 오프셋이 존재하고, 위상잡음이 없는 경우 샘플링된 기저대역 시간영역 수신신호는 식 (1)과 같이 주어진다.

$$y_n = r_n e^{j2\pi\epsilon n} = r_n e^{j\theta n} \quad (1)$$

여기서, n 은 패킷의 길이, ϵ 는 sample duration ($1/T_{sample}$)으로 식 (2)과 같이 정규화된 반송파 주파수 오프셋으로 표현되며, θ 는 식 (3)과 같이 수신된 신호의 위상 값을 표현한다. HDR-WPAN 시스템에서는 이 θ 값을 추정하여 주파수 오프셋을 보상하게 된다.

$$\epsilon = \Delta f \cdot T_{sample} \quad (2)$$

$$\theta = 2\pi\Delta f t \quad (3)$$

2-1. CAZAC sequence

HDR-WPAN 시스템에서는 그림 1과 같이 CAZAC(constant amplitude & zero autocorrelation) sequence를 사용하게 되는데, CAZAC sequence는 16개의 sample로 구성된 1개의 심볼이 각각 12개가 연속적으로 구성되어 있으며, 마지막 심볼은 inverse된 sample로 구성되어 심볼 오프셋 추정을 할 수 있도록 설계되어 있다.

특히, HDR-WPAN 시스템에 적용된 CAZAC sequence는 복소수 신호이고, 위상 변조 시스템에서

흔히 사용되던 데이터로 생성될 수 있으며, 잡음에 대해서 강한 특성을 지니고 있을 뿐만 아니라, 자기 상관(auto correlation) 특성이 0으로 각 심볼의 평균 값을 통한 주파수 오프셋 추정 시 정확한 추정이 가능하도록 설계되어 있다.

CAZAC Sequence Element	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	1+j	1+j	1+j	1+j	-1+j	-1+j	1-j	1+j
	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
	-1-j	1+j	-1-j	1+j	1-j	-1-j	-1+j	1+j

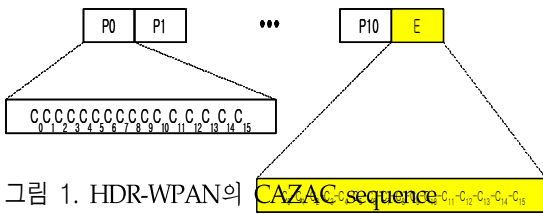


그림 1. HDR-WPAN의 CAZAC sequence
Fig. 1. CAZAC sequence of HDR-WPAN.

2-2. 주파수 동기 알고리즘

그림 2은 HDR-WPAN 시스템에서 사용되는 CAZAC sequence를 이용한 주파수 오프셋 동기 알고리즘을 나타내고 있다.

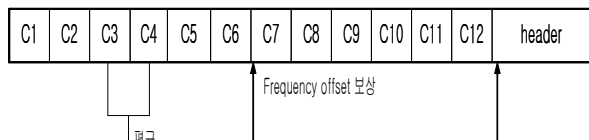


그림 2. HDR-WPAN 주파수 동기 알고리즘
Fig. 2. HDR-WPAN frequency synchronization algorithm.

일단, 주파수 오프셋이 발생하게 되면 한 샘플이 수신될 때마다 θ 만큼의 일정한 위상오차가 누적되어 발생하게 된다. 이 때문에 θ 만큼의 누적 위상차를 보상하기 위해서는 16 sample간 차이가 나는 인접 심볼과 conjugation 곱을 하여 주파수 오프셋에 의한 위상차 평균을 구한다. 이 평균을 통해 각 샘플 당 θ 만큼의 누적 위상오차가 발생했다고 추정할 수 있다. 추정된 샘플들의 평균 위상오차를 통해 주파수

오프셋의 보상이 되므로 많은 샘플의 평균을 취할수록 각 샘플이 틀어진 위상오차 θ 에 가깝게 되고 보다 정확한 보상을 할 수 있다.

III. 성능분석

3-1. 주파수 동기 알고리즘의 성능도

5.8GHz에서 AWGN, $E_b/N_0=20[\text{dB}]$, $\pm 10\text{ppm}$ 의 frequency tolerance와 sample duration 15MHz의 환경에서 payload length를 1000[byte]으로 했을 때, 주파수 오프셋이 발생하게 되면, 대략 샘플 당 2.784도의 위상오차 θ 가 발생하게 된다. 이 θ 값은 패킷의 길이에 따라 누적되어 DQPSK 변조했을 경우의 그림 3과 64 QAM 변조했을 경우의 그림 3에서와 같이 위상이 회전하는 성상도를 형성하게 된다.

위상오차 θ 를 보상하기 위해 세 번째와 네 번째 심볼 내에 각 샘플들의 평균 위상 오차를 계산하면 샘플 당 약 0.02도의 잔류 주파수 오프셋이 남아 그림 4와 그림 5와 같이 각각 20[dB]와 30[dB]의 DQPSK 변조방식에 따른 잔류 주파수 오프셋이 나타나게 된다.

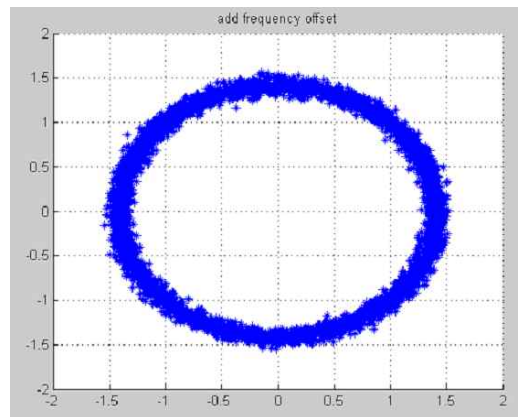


그림 3. 5.8GHz, AWGN, $E_b/N_0=20[\text{dB}]$ $\pm 10\text{ppm}$ 에서 주파수 오프셋이 발생할 경우 DQPSK 성상도
Fig. 3. DQPSK constellation when frequency offset generation at 5.8GHz, AWGN, $E_b/N_0=20[\text{dB}]$, $\pm 10\text{ppm}$.

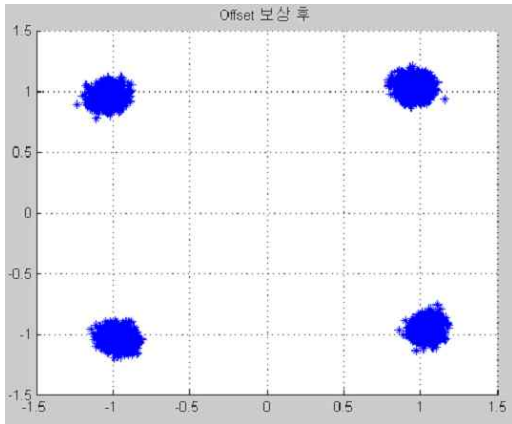


그림 4. Eb/No=20[dB]에서 잔류 주파수 오프셋에 의한 DQPSK의 성상도

Fig. 4. Constellation of DQPSK by remain frequency offset at Eb/No=20[dB].

그림 7과 그림 8은 같은 환경에서 64QAM의 성상도를 나타낸 것이다.

3-2. EVM 성능분석

잔류 주파수 오프셋은 데이터의 길이가 길어질수록 간섭의 영향과 위상오차가 누적되어 성능열화를 심화시킨다.

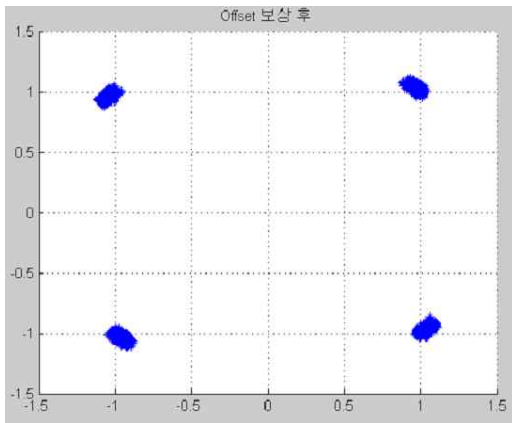


그림 5. Eb/No=30[dB]에서 잔류 주파수 오프셋에 의한 DQPSK의 성상도

Fig. 5. Constellation of DQPSK by remain frequency offset at Eb/No=30[dB].

이 같은 특성은 EVM(error vector magnitude)을 이용해 잔류 주파수 오프셋과 간섭의 영향을 알 수 있다. EVM은 잡음 및 간섭에 의해 발생하는 모

든 성좌점의 error가 평균적으로 얼마나 발생하는지를 알 수 있는 분석 파라미터로 아래의 그림 8과 같이 해석할 수 있다[2].

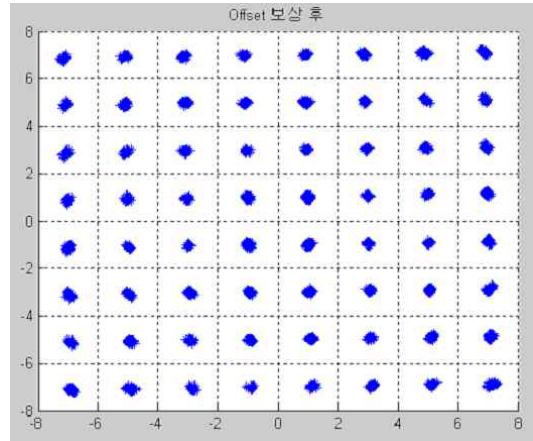


그림 6. Eb/No=20[dB]에서 잔류 주파수 오프셋에 의한 64QAM의 성상도

Fig. 6. Constellation of 64QAMK by remain frequency offset at Eb/No=20[dB].

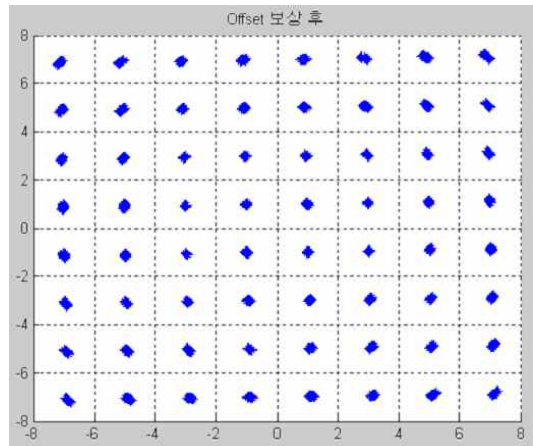


그림 7. Eb/No=30[dB]에서 잔류 주파수 오프셋에 의한 64QAM의 성상도

Fig. 7. Constellation of 64QAM by remain frequency offset at Eb/No=30[dB].

EVM의 계산을 위해 수신된 N개의 신호에 해당하는 $(\tilde{I}_j, \tilde{Q}_j)$ 를 추정하게 되고, 이상적인 신호 (I_j, Q_j) 와의 거리를 구하게 된다.

$$(\tilde{I}_j, \tilde{Q}_j) = (I_j, Q_j) + (\delta I_j, \delta Q_j)z. \tag{4}$$

$$EVM = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)}{S_{\max}^2}} \times 100\% \quad (5)$$

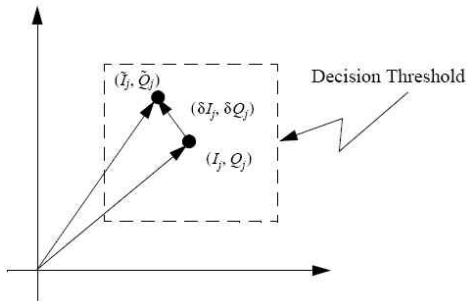


그림 8. HDR-WPAN에서의 Error Vector 계산 방법
Fig. 8. Error vector calculation method for HDR-WPAN.

여기서, S_{\max} 는 정상도를 위한 전체 패킷의 갯수를 나타내고, N 은 한 패킷 당 길이를 나타내며, $(\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)$ 은 에러벡터를 나타낸다.

표 1은 HDR-WPAN 시스템에서 1000개의 샘플을 전송했을 경우의 각 변조방식에 따른 EVM의 허용 기준값을 표현한다.

표 1. 여러 변조방식에 따른 EVM의 기준값
Table 1. Standard value of EVM from various modulation method.

Modulation	EVM(%)
64QAM	3.3
32QAM	4.8
16QAM	7.5
DQPSK	9.2
QPSK-TCM	20.0

그림 9의 EVM 시뮬레이션 파라미터는 AWGN 환경에서 전송대역 5.8GHz, payload length=1000[byte], 전송모드=DQPSK, 오실레이터간 주파수 오프셋 =±10ppm이다. 이 때, 주파수 오프셋을 보상하고 난 후 샘플 당 잔류 주파수 오프셋이 약 0.002도가 발생하며, 전송속도 22Mbps에 대한 정상도 오류(transmitter constellation error)기준이 표 1에 의해 EVM=9.2%로 정하고 있으므로 이에 대한 기준을 위 시뮬레이션 결과에 적용시켰을 경우 요구되는 Eb/No는 대략

20[dB]정도가 된다.

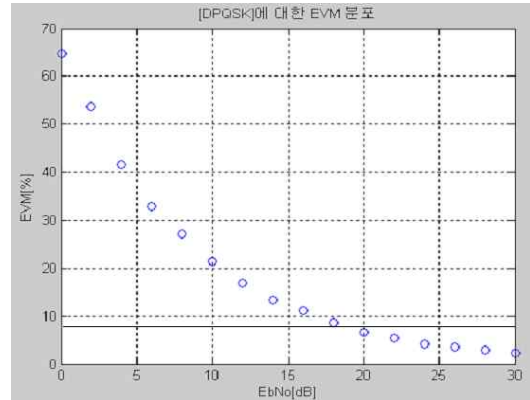


그림 9. 잔류 주파수 오프셋 0.002도에 따른 DQPSK의 EVM 성능

Fig. 9. EVM performance of DQPSK from remain frequency offset 0.002.

그림 10은 64QAM의 경우 EVM을 나타낸 것으로 DQPSK에 비해 상대적으로 조밀한 성좌점들 때문에 기준값인 EVM=3.2%에 대략 30[dB]이상이 필요함을 알 수 있다. 이는 잔류주파수 오프셋 0.002도의 영향으로도 잡음성분 때문에 성능열화가 발생했음을 알 수 있다.

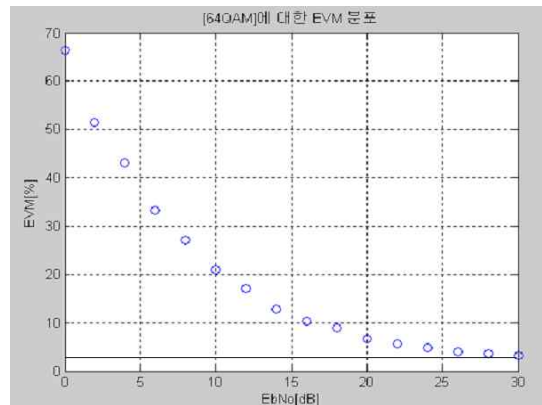


그림 10. 잔류 주파수 오프셋 0.002도에 따른 64QAM의 EVM 성능

Fig. 10. EVM performance of 64QAM from remain frequency offset 0.002.

IV. 결 론

주파수 오프셋과 관련하여 HDR-WPAN 시스템은 2048byte 길이의 single carrier로 전송되기 때문에 주파수 오프셋에는 크게 민감하지 않지만, 송·수신단

사이의 오실레이터 차이로 발생하는 주파수 오프셋을 보정하지 않으면 패킷 신호는 원 신호의 성좌점을 알 수 없는 형태가 된다.

DQPSK에서 주파수 오프셋 추정 알고리즘을 적용시키기 위해서는 주파수 오프셋의 보상과정에서 샘플 당 최대 0.002도 이내의 잔류 주파수를 허용해야만 20[dB]에서 EVM 기준값에 따른 성능을 확보할 수 있다. 64QAM의 경우 성상도가 조밀하게 구현되어 있어 상대적으로 DQPSK보다 더 높은 EVM를 요구하게 됨을 확인하였다.

본 논문에서는 CAZAC sequence의 두 심볼 간 위상오차를 이용하여 HDR-WPAN의 주파수 오프셋 추정 알고리즘을 제안하였으며, 제안한 알고리즘은 두 개의 심볼만으로도 높은 주파수 오프셋 보상 효과를 가지며, 샘플 당 허용 잔류 주파수 오프셋 범위 내에서 동작함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 전호인, “무선 홈 네트워킹 기술 표준화 동향 및 발전방향”, *한국통신학회*, 2004. 3.
- [2] IEEE Std 802.15.3, Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for High Rate Wireless personal Area networks(WPANs), 2003.
- [3] 박선옥, 하정락, 김성희, “고속률 WPAN의 기술 동향”, *주간기술동향*, 2003. 2.
- [4] 박봉혁, 이재호, “무선 홈 네트워크 기술”, *주간기술동향*, 2004. 4.
- [5] John Terry and Juha Heiskala, *OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide*. SAMS, 2002.

박 지 우(朴祉雨)



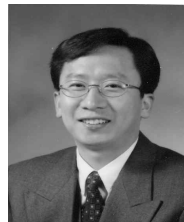
홈 네트워크

2002년 8월 : 한국기술교육대학교
정보기술공학부 정보통신전공(공학사)
2004년 11월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교
대학원 전기전자공학과 정보통신공
(석사과정)
※ 관심분야 : 멀티미디어 무선통신,
홈 네트워크

김재영

1990년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1992년 2월 : 연세대학교 대학원 전자 공학과 (공학석사)
1996년 8월 : 연세대학교 대학원 전자 공학과 (공학박사)
1996년 8월 - 1999년 2월 : 대우전자(주) 근무
1999년 3월 - 현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
※ 관심분야 : 멀티미디어 무선통신, 홈 네트워크

오창헌(吳昌憲)



1988년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과 (공학사)
1990년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 (공학석사)
1996년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 (공학박사)
1990년 2월 - 1993년 9월 : 한진전자(주) 기술연구소 근무
1993년 10월 - 1999년 2월 : 삼성전자(주) CDMA 개발팀 근무
1999년 3월 - 현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 조교수
※ 관심분야 : 이동통신, 멀티미디어 무선통신, SDR

강희곡(姜熙谷)



1998년 2월 : 충북대학교 전자공학과 졸업
1999년 8월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 석사
2002년 8월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 박사
2002년 7월 - 현재 : (주) 휴메이트/과장
※ 관심분야 : 이동통신, 무선 LAN, 홈네트워크, 무선멀티미디어통신