

항공관제통신용 AeroMACS 시스템의 시간 동기 성능 분석

Performance Analysis of Timing Synchronization Scheme for AeroMACS System

이은상*, 손경열**, 박윤옥**, 정윤희*

Eun-Sang Lee*, Kyun-Gyeol Sohn*, Youn-Ok Park*, and Yun-Ho Jung*

요 약

본 논문에서는 항공관제통신용 AeroMACS 시스템을 위한 다양한 시간 동기 알고리즘을 분석하고, 이들의 시간 동기 획득 성능을 제시한다. AeroMACS 시스템은 IEEE 802.16e mobile WiMAX 규격에 기반하여 구현되지만, WiMAX 시스템과 달리 5GHz 항공 주파수 대역에서 5MHz의 대역폭을 활용하여 통신을 수행한다. 변경된 사양에 따른 시스템 모델링 후에 apron (APR), runway (RWY), taxiway (TWY), park (PRK) 등 다양한 공항 환경에 대한 채널 모델에 기반하여 동기 획득 성능 평가가 수행되었다.

Abstract

In this paper, the performance evaluation results of the timing synchronization schemes are presented for aeronautical mobile airport communication systems (AeroMACS). AeroMACS, which is based on IEEE 802.16e mobile WiMAX standard, uses the aeronautical frequency band of 5GHz with the bandwidth of 5MHz. The simulation model of AeroMACS is constructed and the evaluation for the timing synchronization performance is performed with the various channel models such as apron (APR), runway (RWY), taxiway (TWY), and park (PRK).

Key words : AeroMACS, IEEE 802.16e Mobile WiMAX, Timing Synchronization

I. 서 론

오늘날 무선통신 시스템은 통신기술의 발전과 함께 채널 환경에 따른 한계를 극복하면서 데이터의 송·수신을 더욱 안정적이고 빠르게 전송할 수 있게 되었다. 하지만 현재 국내외의 공항에서 운영되는 통신 시스템은 다른 분야에서 사용되는 통신 시스템과 비교해보면 기술적인 면에서 급속한 변화가 이루어지지 않고 있다.

앞으로의 항공관제통신용 시스템은 데이터 송·수신에 있어 한 번에 더 많은 데이터를 고속으로 처리하기 위해 기존 항공관제통신용 시스템을 대체할 만한 새로운 시스템이 요구되어진다. RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics) 프로그램 관리 위원회는 2009년 7월 C-Band 대역에서 IEEE 802.16e Mobile WiMAX 규격에 기반한 새로운 항공관제통신용 시스템 규격을 제안하였고, 제안된 시스템은 AeroMACS (Aeronautical Mobile Airport Commu-

* 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신 공학부 (School of Electronics, Telecommunication and Computer Eng., Korea Aerospace University)

** 한국전자통신연구원 (ETRI)

· 제1저자 (First Author) : 이은상 (dmstkdgo@kau.ac.kr) · 교신저자 (Corresponding Author) : 정윤희 (yjung@kau.ac.kr)

· 투고일자 : 2012년 3월 12일

· 심사(수정)일자 : 2012년 3월 12일 (수정일자 : 2012년 4월 24일)

· 게재일자 : 2012년 4월 30일

nications System)로 명명되었다 [1]-[3].

AeroMACS 시스템에서 사용되는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술은 다중 경로 (multi-path) 환경에서 ISI에 강인한 특성으로 인해 WLAN, WiMAX 등 여러 시스템에서 운용되고 있는 통신 방식이다. 그러나 OFDM 통신 기법은 변·복조되는 부반송파들 간의 상호 직교성이 반드시 유지되어야 하는 제약 조건이 있다. 즉, 단일 반송파 시스템에 비해 시간 동기 오차에 매우 민감한 특징을 갖고 있다. 이러한 시간 동기 오차로 인한 문제점을 해결하기 위해 현재 WiMAX 시스템에서는 반복되는 특성을 갖는 프리앰블 신호를 프레임의 시작 신호로 고정하고, 수신 단에서는 이러한 프리앰블 신호에 대해 자기 상관함수 (auto-correlation)를 이용하여 동기를 획득하는 다양한 알고리즘이 제안 및 연구되어 왔다 [4]-[6].

AeroMACS 시스템은 WiMAX 시스템과 달리 주파수 전송 대역이 5GHz 항공 주파수 대역으로 정의되고, 주파수 대역폭은 5MHz로 변경되었을 뿐만 아니라, 공항이라는 특수한 채널 환경에서 운용된다. 이에 따라 본 논문에서는 WiMAX 시스템의 시간동기 알고리즘을 AeroMACS 시스템에 적용하여 시간동기 획득 성능을 평가하고 문제점을 분석하여 제시한다.

논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 항공관제 통신용 AeroMACS 시스템과 채널 모델을 설명하고, III장에서 AeroMACS 시스템을 위한 시간 동기 획득 알고리즘을 소개하고, IV장에서 AeroMACS 시스템 채널 환경에서 시간 동기 획득 성능 평가 결과를 제시하고, V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

2-1. AeroMACS 시스템 사양

그림 1은 AeroMACS 시스템의 블록도를 나타낸 것이다. AeroMACS 시스템의 주파수 대역은 5GHz, 주파수 대역폭은 5MHz를 사용하고 시스템은 공항 내에서 운용된다. 표 1은 AeroMACS 시스템 사양을 정리한 표이다 [1].

표 1. 항공관제통신용 AeroMACS 시스템 사양
Table 1. AeroMACS Specifications

System Profile	Key Parameter
Frequency Band	5000 ~ 5150 MHz
Channel Bandwidth	5 MHz
Duplexing Mode	TDD
Mobility	Max. 50 Knots (92.6Km/h) (1 Knot = 1.852 Km/h)
Modulation	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
MIMO Support	STC
FEC	Conv. Code, Turbo Code, HARQ
FFT-point (N)	N = 512

2-2. 채널 모델

AeroMACS 시스템을 위한 공항 내 채널 모델링에 대한 연구는 매우 활발히 진행되고 있다 [7]-[11]. 이 중 독일 German Aerospace Center (GAC)는 apron (APR), runway (RWY), taxiway (TWY), park (PRK)의 다양한 환경에 대한 채널모델과 그에 따른 PDP 모델을 제시하였고, 국내공항의 특성과도 유사한 특성을 갖고 있어 본 논문에서는 GAC의 채널 모델을 참조하여 성능분석을 수행하였다. 표 2는 각 채널 파라미터를 정리하여 보여준다.

표 2. 환경에 따른 채널 파라미터

Table 2. Channel parameters used for the different scenarios

	APR	PRK	TWY	RWY
K [dB]	0, 10, 20	0, -10	0, 10, 20	0, 10, 20
σ_t [us]	0.65	1.25	1.5	1.05
$\sigma_{f_{D_{min}}}$ $\sigma_{f_{D_{max}}}$ [Hz]	20, 50	10, 40	40, 95	100, 200
$f_{d_{max}}$ [Hz]	140	50	150	500
N_t	9	12	6	7
N_s	25	25	25	25

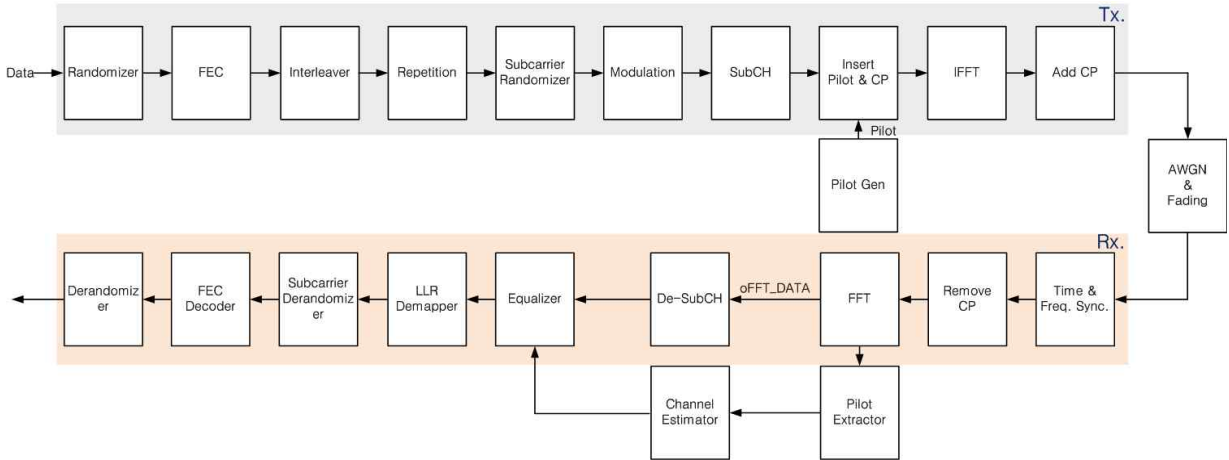


그림 1. 항공관제통신용 AeroMACS 시스템 블록도
Fig. 1. Block diagram of AeroMACS system

여기서 $K, \sigma_\tau, \sigma_{fd_{min}}, \sigma_{fd_{max}}, f_{d_{max}}, N_t, N_s$ 는 각각 Rician K-factor, delay spread, Doppler spread values, maximum Doppler shifts, number of taps, number of scatterers를 의미한다.

2-3. 프리앰블 구조

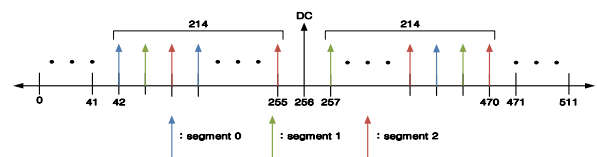
시간 동기는 상관특성이 우수한 프리앰블을 이용해서 동기를 획득하며, AeroMACS 시스템은 WiMAX 시스템의 프리앰블 구조를 동일하게 사용한다. 프리앰블을 구성하는 부 반송파는 특정 PN 코드가 BPSK(Binary Phase Shift Keying) 변조되어 전송되며, 수식 (1)로 규격에서 명시한 프리앰블 전송그룹 (preamble carrier set)에 의해 주파수영역에서 segment 별로 배치되어 전송 된다 [12].

$$PreambleCarrierSet_n = n + 3 \cdot k \quad (1)$$

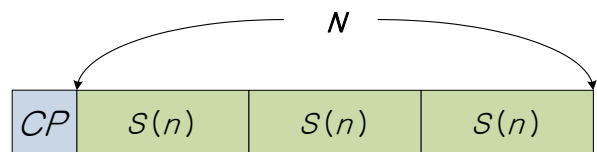
여기서 n, k는 각각 preamble carrier-set index로 0, 1, 2를 나타내고, k는 0~143개의 주파수 index를 나타낸다. 그리고 프리앰블 시퀀스는 총 114개로 구성되어 있다. 512개의 부 반송파 중 143개의 부 반송파에 프리앰블 시퀀스가 할당되며, 주파수영역에서 3간격으로 신호를 전송하므로, 시간영역에서는 세 번 반복되는 특성을 나타낸다. 규격에서 명시한 프리앰블은 DC 부 반송파와 마지막 부 반송파는 변조되지

않으며, 프리앰블로 전송되는 PN 시퀀스는 segment

, cell-ID 값에 의해 결정된다. 데이터 신호 대비 프리앰블 신호는 파워가 부스팅 되어 전송된다. 그림 2는 AeroMACS 5MHz profile의 프리앰블 시퀀스를 주파수영역과 시간영역에서 보여준다. 여기서 $s(n)$ 은 시간 영역에서 세 번 반복되는 특성을 나타내는 프리앰블 시퀀스이고, CP (Cyclic Prefix)는 인접 심볼 간 간섭 (Inter Symbol Interference, ISI)을 방지하기 위해 전체 신호에서 마지막 N/8 지점을 복제해서 붙인 신호이다.



(a) 주파수 영역 구조



(b) 시간 영역 구조

그림 2. 시간 및 주파수 영역의 프리앰블 구조
Fig. 2. AeroMACS preamble structure in time and frequency domain

III. 시간 동기 알고리즘

시간 동기 알고리즘의 기본 메커니즘은 상관함수 (correlation-function)를 이용한다. AeroMACS 시스템은 WiMAX 시스템을 기반으로 동작하며, WiMAX 시스템에서는 자기 상관 (auto-correlation)함수를 이용하여 시간동기를 획득한다.

3-1. Noh's 알고리즘 [13]

자기 상관 연산은 신호의 반복되는 구간에 대하여 시간동기를 획득하는 알고리즘으로 일반적으로 plateau가 발생하게 되고, 이러한 plateau는 동기 성능을 저하시키는 주된 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Noh는 상관윈도우 크기를 반복되는 구간에 맞게 조절함으로써, 상관 결과 값의 timing-metric을 plateau에서 peak가 발생하도록 조절하였다. 그림 3-(a)는 시간영역에서 세 번 반복되는 특성을 갖는 프리앰블에서 상관윈도우 (W= 2N/3)를 취하여 상관 연산을 취한 경우, CP구간이 시작되는 시점부터 최고값 (maximum peak)을 나타내고 CP가 지속되는 구간 동안 plateau가 반복된다. 이를 그림 3-(b)와 같이 CP구간까지 상관윈도우 (W=2N/3+N/8)를 취하면, CP의 시작 지점에서 peak가 발생하게 된다. Noh가 제안한 알고리즘 과정을 수식으로 정의하면, 수식 (2)-(4)로 나타낼 수 있다.

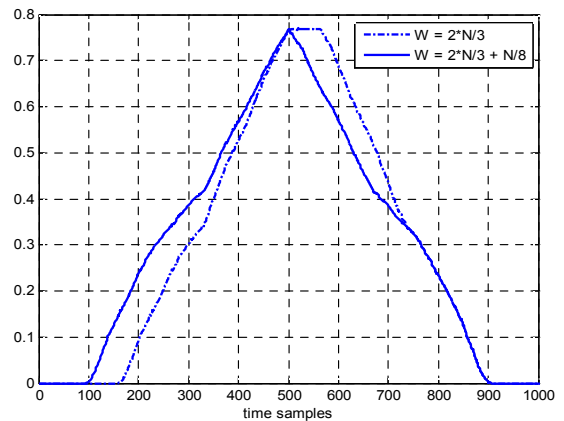
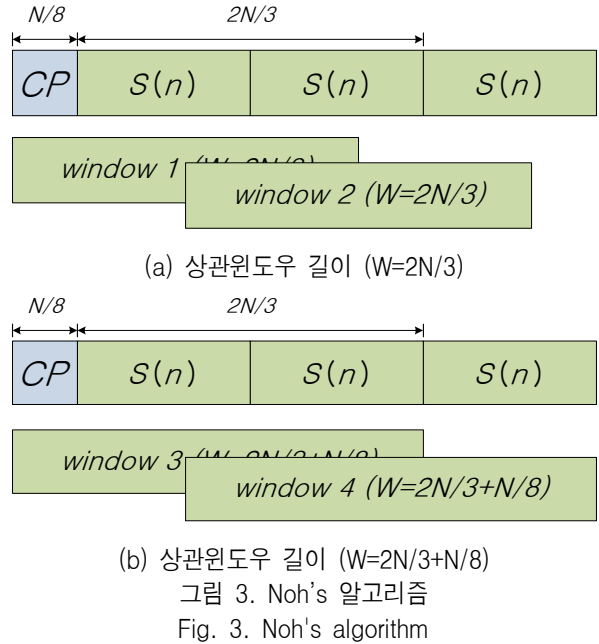
$$C_n = \sum_{k=0}^{N/3+N/8-1} r_{n+k} \cdot r_{n+k+D}^* \quad (2)$$

$$P_n = \sum_{k=0}^{N/3+N/8-1} r_{n+k} \cdot r_{n+k}^* \quad (3)$$

$$A_{Noh,n} = \frac{4 \cdot |C_n|^2}{(P_n + P_{n+D})^2} \quad (4)$$

수식의 r_n, C_n, P_n, A_n 는 각각 수신 신호, correlation 연산 값, 수신 신호의 power, 그리고 correlation 값을 [14]에서와 같이 정규화 하여 최종적으로 얻은

timing-metric 값을 의미 한다 [14]. 그리고 n, D는 시간영역에서의 index와 상관윈도우의 delay 길이를 의미한다. 그림 4는 Noh가 제안한 알고리즘의 timing-metric을 도시한 것이다.



3-2. Hurnanen's 알고리즘 [15]

Hurnanen이 제안한 알고리즘은 그림 5에서 보여지는 것처럼, 두 개의 correlation 연산을 취한 후 얻게 되는 timing-metric을 합하여 최종 correlation 연산 값을 얻게 되는 알고리즘이다. Hurnanen이 제안한 알고리즘은 두 개의 자기 상관 함수를 이용한다. 각

상관함수의 수식은 (5)-(8)로 정의되고, timing-metric 은 그림 6으로 도시된다. 수식 (5)에서 $A_{2N/3,n}$, $A_{Noh,n}$ 는 수신 프리앰블 신호에 대해 두 개의 다른 상관윈 도우 ($2N/3$, $2N/3 + N/8$)를 취하여

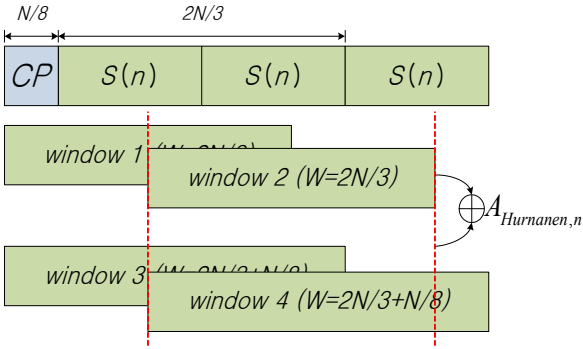


그림 5. Hurnanen's 알고리즘
Fig. 5. Hurnanen's algorithm

$$A_{Hurnanen,n} = A_{2N/3,n} + A_{Noh,n}, \quad (5)$$

$$A_{2N/3,n} = \frac{4 \cdot |C_{2N/3,n}|^2}{(P_{2N/3,n} + P_{2N/3,n})^2}, \quad (6)$$

$$C_{2N/3,n} = \sum_{k=0}^{N/2/3-1} r_{n+k} \cdot r_{n+k+D}^*, \quad (7)$$

$$P_{2N/3,n} = \sum_{k=0}^{N/2/3-1} r_{n+k} \cdot r_{n+k}^*, \quad (8)$$

얻은 자기 상관 연산 결과를 의미하고, $A_{Noh,n}$ 는 수식 (4)와 동일하다. Hurnanen이 제안한 알고리즘의 경우 두 개의 연산결과를 이용하게 되어, peak 값이 다른 알고리즘보다 높은 것을 확인 할 수 있다. 그리고 단일 연산 결과보다 두 개의 timing-metric을 이용하게 되어 시간 동기 획득 성능이 향상될 수 있다.

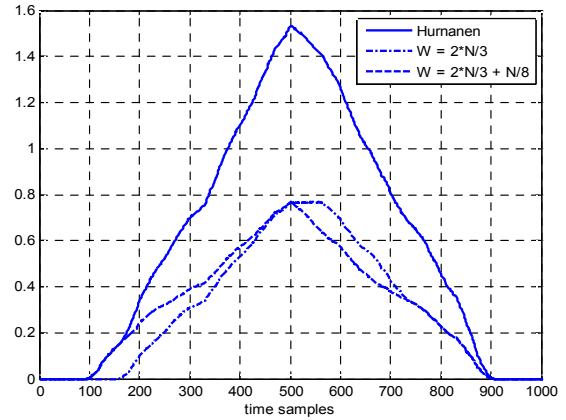


그림 6. Hurnanen's 알고리즘의 타이밍 메트릭
Fig. 6. timing-metric of Hurnanen's algorithm

하지만, 적용되는 상관윈도우가 어떤 방식이냐에 따라, 획득 성능은 달라진다. plateau를 갖는 metric이 최종 metric에 더해지기 때문에, 채널의 영향과 낮은 SNR 환경에서는 Noh의 알고리즘에 비해 낮은 성능을 보인다.

3-3. Seagraves' 알고리즘 [16]

Seagraves가 제안한 알고리즘은 여러 개의 상관윈도우를 취하고 이를 곱하여 최종 timing-metric을 얻는다. 그림 7은 Seagraves가 제안한 알고리즘을 그림으로 도시한 것이다.

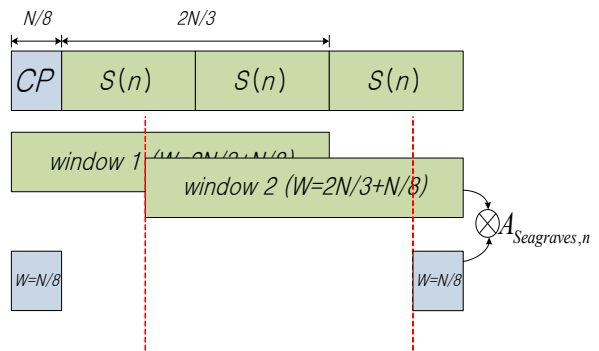


그림 7. Seagraves' 알고리즘
Fig. 7. Seagraves' algorithm

Seagraves가 제안한 알고리즘은 수식 (9)-(12)로 정의되고, timing-metric은 그림 8로 도시된다.

$$A_{Seagraves,n} = A_{Noh,n} \cdot A_{N/8,n}, \quad (9)$$

$$A_{N/8,n} = \frac{4 \cdot |C_{N/8,n}|^2}{(P_{N/8,n} + P_{N/8,n})^2}, \quad (10)$$

$$C_{N/8,n} = \sum_{k=0}^{N/8-1} r_{n+k} \cdot r_{n+k+N}^*, \quad (11)$$

$$P_{N/8,n} = \sum_{k=0}^{N/8-1} r_{n+k} \cdot r_{n+k}^*. \quad (12)$$

수식 (9)에서 $A_{Noh,n} \cdot A_{N/8,n}$ 은 수신 프리앰블 신호에 대해 두 개의 다른 상관 윈도우 ($2N/3 + N/8, N/8$)를 취하여 얻은 자기 상관 연산 결과를 의미한다. $A_{Noh,n}$ 은 수식 (4)와 동일하고, 수식 (10)은 윈도우 사이즈 ($W=N/8$)를 취하여 timing-metric을 계산한다.

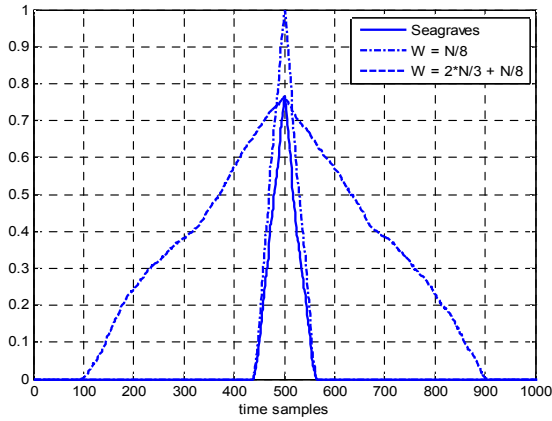


그림 8. Seagraves' 알고리즘의 타이밍 메트릭
Fig. 8. timing-metric of Seagraves' algorithm

Seagraves가 제안한 알고리즘은 두 timing-metric을 곱하여 최종 timing-metric을 얻게 되어 peak 값은 Noh, Humanen의 peak 값보다 낮지만 Noh, Humanen의 peak에 비해 날카로운 특성을 갖게되어 상대적으로 높은 동기 획득 정확도를 갖는다.

IV. 시뮬레이션 결과

AeroMACS시스템의 채널 모델은 7가지로 구분할 수 있다. 크게 4가지 채널에 모델이 있으며, 여기에서 LOS (Line of Sight) 성분에 의해 다시 7가지 채널로 구분된다. 4가지 채널은 apron (APR), runway (RWY), taxiway (TWY), park (PRK) 모델이며, 이 중 apron, runway, taxiway는 LOS 성분의 유무에 따라 Rician-fading, Rayleigh-fading 채널 모델로 구분된다. 그림 9~15는 7가지 채널 모델에 대해 세 가지 시간동기 알고리즘을 적용하여 성능을 평가한 결과 그래프이다. 수신신호는 채널 통과 후 열잡음이 가해지며, 10ppm의 주파수 오차가 존재하는 것으로 가정하였다.

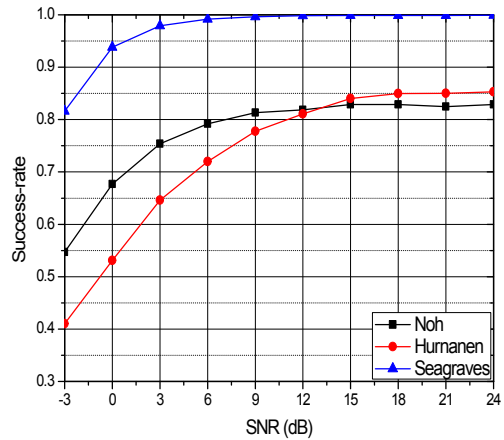


그림 9. APR-Rayleigh채널 환경에 대한 동기 획득 성능
Fig. 9. Success rate for APR-Rayleigh

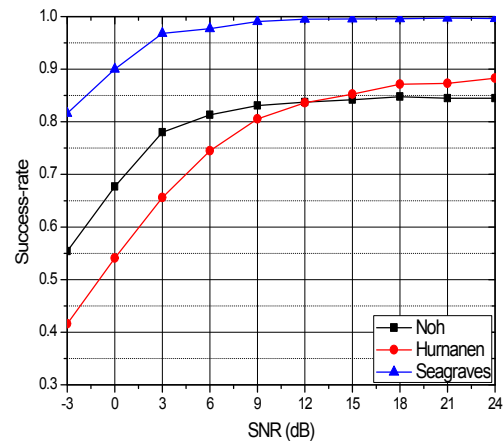


그림 10. APR-Rician채널 환경에 대한 동기 획득 성능
Fig. 10. Success rate for APR-Rician

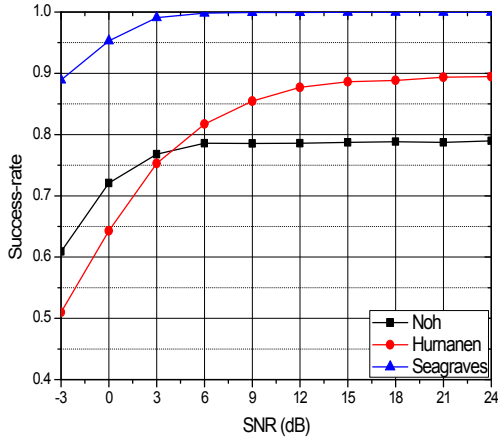


그림 11. RWY-Rayleigh채널 환경에 대한 동기 획득 성능

Fig. 11. Success rate for RWY-Rayleigh

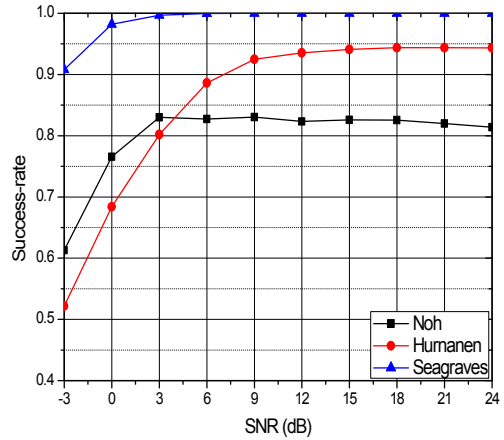


그림 14. TX-Rician채널 환경에 대한 동기 획득 성능

Fig. 14. Success rate for TX-Rician

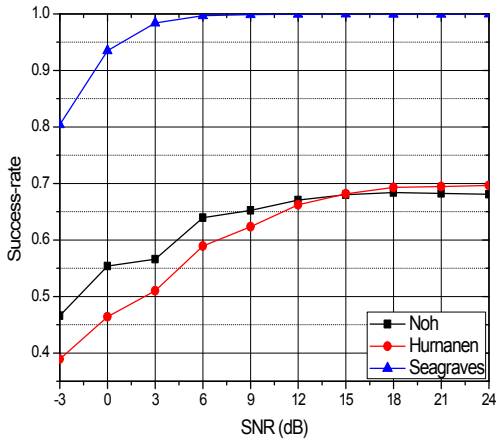


그림 12. RWY-Rician채널 환경에 대한 동기 획득 성능

Fig. 12. Success rate for RWY-Rician

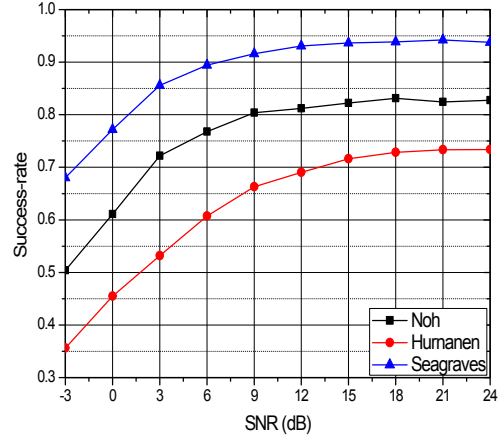


그림 15. PARK채널 환경에 대한 동기 획득 성능

Fig. 15. Success rate for PARK channel

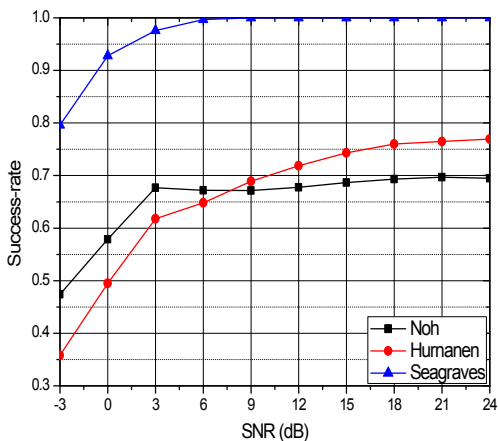


그림 13. TX-Rayleigh채널 환경에 대한 동기 획득 성능

Fig. 13. Success rate for TX-Rayleigh

7가지 채널 모델에 대한 시간동기 알고리즘을 적용한 결과, 모든 채널에서 Seagraves가 제안한 알고리즘의 성능이 가장 우수한 것을 알 수 있다. 그리고 단일 timing-metric과 두 가지 correlation을 더하여 얻은 timing-metric을 토대로 시간동기를 획득한 방식은 SNR이 증가함에 따라 시간동기 획득 성능은 증가하지만, Seagraves가 제안한 알고리즘 보다는 성능이 저하됨을 확인 할 수 있다.

Noh와 Humanen의 두 가지 알고리즘을 비교해 보면, PARK 채널 모델을 제외하고 낮은 SNR 환경에서는 Noh's 알고리즘이 Humanen's 알고리즘 보다 우수하지만 SNR이 증가함에 따라 Humanen's 알고리즘의

동기 획득 성능이 우수함을 확인 할 수 있다. 이는 Humanen's 알고리즘은 최종 metric을 얻기 위해 두 개의 metric을 더하게 되고, 그 중 하나가 plateau를 발생시키게 되는데, plateau는 낮은 SNR 환경에서 성능이 저하되는 특성이 발생한다. 이로 인해 metric을 합하더라도 원치 않는 지점에서 peak값을 나타내게 된다. 하지만 SNR이 증가할수록 Humanen's 알고리즘의 성능이 Noh's 알고리즘보다 개선된다. 이는 신호의 전송 파워가 강해지고, 이로 인해 채널과 노이즈의 영향에 큰 강인함을 나타내게 되어, plateau가 일정한 값을 나타내기 때문이다.

PARK 채널 모델의 경우, Seagraves' 알고리즘의 획득성능은 다른 채널 모델과 비교 시 SNR이 증가함에도 100%의 시간동기 획득 성능을 나타내지 않음을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있다. 이는 PARK 채널 모델의 경우 다중 경로 (multi-path) 값이 12-tap으로 다른 채널 모델보다 많은 다중 경로를 갖고 있으며, 이로 인해 자기 상관 연산을 계산하여 얻게 되는 최종 metric의 특성이 다른 채널 모델의 경우보다 열화되어 시간동기 획득 성능이 저하된 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 논문에서는 항공관제통신용 AeroMACS 시스템의 시간 동기 성능을 분석하고 평가하였다. AeroMACS 시스템은 공항 내에서 운용되는 시스템으로 IEEE 802.16e WiMAX 시스템에 기반하며, WiMAX 시스템과 달리 전송 주파수 대역과 대역폭이 다르고 공항 내 통신 환경에 적합한 새로운 채널 모델이 정의된다. 본 논문에서는 변경된 시스템 환경에 대해 기존 WiMAX 시스템에서 이용되는 시간 동기 알고리즘을 적용하여 성능 평가를 수행하고 분석하였다. 3가지 시간동기 알고리즘을 적용하여 시간 동기 획득 성능을 평가한 결과 PARK 채널에서는 현재의 동기 알고리즘으로 동기 성능이 만족되지 않아, 새로운 시간동기 알고리즘이 연구되어야 함을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(2012-0003331)을 받아 수행되었고, CAD Tool은 IDEC으로부터 지원받았음.

참 고 문 헌

- [1] P. Jacky and L. Luc, "IEEE 802.16e System Profile Analysis For FCI's Airport Surface Operation," *Eurocontrol*, Oct. 2009.
- [2] E. Hall, J. Budinger, R. Dimond, J. Wilson and R. Apaza, "Aeronautical Mobile Airport Communications System Development Status," *Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*, pp. A4-1-A4-15. May 2010.
- [3] Harris Corporation, "Aeronautical Mobile Airport Communications System Profile" *RTCA SC-223*. Mar. 2011.
- [4] T.M. Schmidl and D.C. Cox, "Robust frequency and timing synchronization for OFDM," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 45, no 12, pp. 1613 - 1621, Dec. 1997.
- [5] J.J. Van de Beek, M. Sandell, and P.O. Borjesson, "ML estimation of time and frequency offset in OFDM systems," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 45, no. 7, pp.1800-1805, July. 1997.
- [6] F. Tufvesson, O. Edfors and M. Faulkner, "Time and frequency synchronization for OFDM using PN-sequence preambles," *Vehicular Technology Conference*, vol. 4, pp. 2203 - 2207, Sep. 1999.
- [7] D. W. Matolak, I. Sen, and W. Xiong, "The 5-GHz airport surface area channel—Part I: Measurement and modeling results for large airports," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 57, no. 4, pp. 2014-2026, Jul. 2008.
- [8] D. W. Matolak, I. Sen, and W. Xiong, "The 5-GHz airport surface area channel—Part I: Measurement and modeling results for large airports," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 57, no. 4, pp. 2027-2035, Jul. 2008.
- [9] Y. Meng and Y. Lee, "Measurements and Characterizations of Air-to-Ground Channel Over Sea Surface at C-Band With Low Air-borne Altitudes," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 60, no. 4, pp. 1943-1948, May 2011.
- [10] T.A. Myrvoll and J.E Hakegard, "Measurement and modeling of the 5 GHz airport surface channel at Barajas Airport,"

Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS), pp. 1-10, May 2011.

- [11] P. Pulini, "Forward Link Performance Analysis for the Future IEEE 802.16-Based Airport Data Link," *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp. 1-5, May 2010.
- [12] *IEEE std 802.16e*, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16," Feb. 2006
- [13] J. Noh, T. Sun and K. Chang, "Algorithm for the Improvement of Time and Frequency Synchronization Performance in OFDM System," *Conference of Korea Inf. and Comm. Society. vol. 31, no. 4A*, pp. 402-411, Apr. 2006.
- [14] S. Muller-Weinfurter, "On the Optimality of Metrics for Coarse Frame Synchronization in OFDM : A Comparison," *IEEE PIMRC*, pp. 533-537, Sep. 1998.
- [15] T. Humanen, J. Poikonen and J. Paavola, "Coarse time and frequency synchronization applied in a mobile WiMAX system," *Wire-less Communication Systems (ISWCS)*, pp. 230-233, 2009.
- [16] E. Seagraves, C. Berry and Feng Qian, "Robust Mobile WiMAX preamble Detection," *Military Communications Conference (MILCOM)* , pp. 1-7, 2008.

이 은 상 (李殷相)



2011년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과
 2011년 3월~현재 : 한국항공대학교 전자공학과 석사과정
 관심분야 : MIMO/OFDM 통신 시스템, 항공통신 시스템, VLSI 신호처리, 모뎀 SoC

손 경 열 (孫鏡烈)



1992년 2월 : 건국대학교 전자공학과
 1994년 2월 : 건국대학교 전자공학과 석사
 1994년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
 관심분야 : 디지털 통신, 디지털 신호처리

박 윤 옥 (朴潤玉)



1986년 2월 : 한양대학교 공과대학 전자공학과 학사
 1998년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 석사
 2011년 2월 : 충남대학교 정보통신공학과 박사
 1985년~1987년 : 삼성전자 종합연구소 연구원
 1987년~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
 관심분야 : 이동통신 시스템, MIMO/OFDM, 신호처리, 영상처리, VLSI 설계

정 운 호 (丁胤豪)



1998년 2월 : 연세대학교 전자공학과
 2000년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 석사
 2005년 2월 : 연세대학교 전지전자공학과 박사
 2005년~2007년 삼성전자 책임연구원
 2007년~2008년 : 연세대학교 연구교수
 2008년~현재 : 한국항공대학교 부교수
 관심분야 : MIMO/OFDM 통신시스템, 항공통신 시스템, VLSI 신호처리, 모뎀 SoC 설계