

IEEE 802.11 기반 시스템에서 채널추정에 관한 연구

김한중

한국기술교육대학교 전기전자통신공학부

A study on the Channel Estimation Scheme in IEEE 802.11 Based System

Hanjong Kim

School of Electrical, Electronics and Communication Engineering

요 약 무선 랜 시스템은 고속의 데이터를 전송하기 위하여 끊임없이 진화 중이며 통신성능을 향상시키기 위해서는 더욱 정밀한 채널추정이 필수적으로 요구된다. 본 논문에서는 IEEE 802.11 기반 무선 모델의 PLCP 구조에서 기존의 긴 훈련심볼만을 이용하여 채널을 추정하는 LS 알고리즘의 성능을 개선하고자 하였다. 48개의 부반송파 중에서 12개의 위치에 짧은 훈련 심볼을 전송하고 있다는 사실을 이용하여 2개의 긴 훈련심볼 뿐만 아니라 하나의 짧은심볼도 함께 사용하여 채널을 추정하는 새로운 LS 추정 알고리즘을 제안하였다. 두 개의 긴 훈련심볼 뿐만 아니라 짧은 훈련 심볼을 이용함으로써 보다 향상된 채널 추정을 제공할 수 있음을 보였으며 제안된 채널 추정알고리즘은 IEEE 802.11p WAVE 차량통신 시스템에도 적용이 가능하리라 생각된다. 또한 학부 및 대학원의 OFDM 관련 채널 추정 교육 시 본 논문의 내용이 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

주제어 : IEEE 802.11 기반 무선 모델, LS 추정 알고리즘, 긴 훈련심볼, 짧은 훈련심볼,

Abstract Wireless LAN system is evolving toward high-speed data transmission and more accurate channel estimation is necessarily required to improve communication performance. The PLCP preamble field in IEEE 802.11 based wireless MODEM consists of ten short symbols and two long symbols and is used for synchronization and channel estimation. The existing least square (LS) channel estimation is based on only two long training symbols. After estimating channel response separately by using each long training symbol, the final channel estimation is obtained by the average of each estimation. In this paper, a new channel estimation algorithm is presented to improve the performance of the existing LS channel estimation algorithm. From the fact that the short training symbol consists of 12 non-zero subcarriers, it gives us a clue of being able to additionally estimate at least one fourth of channel coefficients. The new LS algorithm performs channel estimation based on both two long training symbols and a short training symbol. The proposed LS algorithm shows a little bit performance improvement over the existing LS estimation and it will be able to be applied to the IEEE 802.11p WAVE system.

Key Words : IEEE 802.11 based wireless MODEM, Least square Channel estimation, long training symbol, Short training symbol

* 본 논문은 2012년도 한국기술교육대학교 연구제과건연구비 지원에 의하여 연구되었음

Received 5 February 2014, Revised 6 March 2014

Accepted 20 March 2014

Corresponding Author: Hanjong Kim(Korea University of Technology and Education)

Email: hjkim@koreatech.ac.kr

ISSN: 1738-1916

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

스마트폰의 대중화와 함께 부각된 무선 랜 시스템이 데이터를 더욱 고속으로 전송하기 위하여 진화되어 가고 있는 현 추세에 발맞추어 고속무선 랜 시스템에서 성능 향상을 얻기 위하여서는 더욱 정밀한 채널 추정이 요구된다[1][2][3][4].

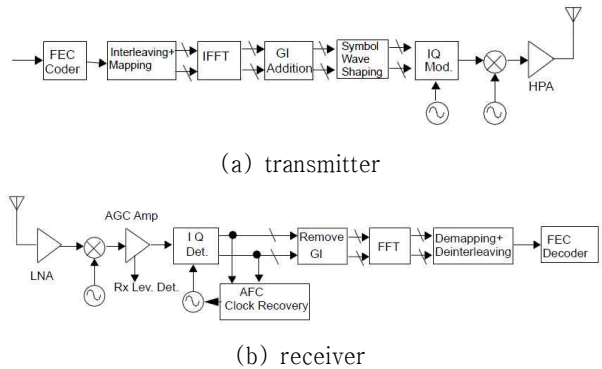
이에 본 연구에서는 IEEE 802.11a/g/n에서 사용되는 PLCP(Physical Layer Convergence Procedure) 프리엠블 구조에서 기존의 긴 훈련심볼만을 이용하여 채널을 추정하는 방법[1][5]의 성능을 향상시키기 위하여 긴 훈련심볼 뿐만 아니라 짧은 심볼도 함께 사용하는 새로운 LS(Least Square) 채널 추정 알고리즘을 제안하고 무선 랜 환경에서 새로운 알고리즘과 기존의 알고리즘을 비교하여 본 알고리즘의 우수성을 입증하고자 한다.

본 논문의 구성으로 2장에서는 IEEE 802.11 기반 무선 랜 시스템에 대하여 살펴보고, 3장에서는 IEEE 802.11 기반 무선 랜 시스템에서 사용하고 있는 프리엠블 구조에 대하여 살펴본다. 제 4장에서는 2가지 형태의 기존의 채널 추정 알고리즘과 새로이 제안하려는 알고리즘에 대하여 기술하고 V장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 새로운 알고리즘의 우수성을 입증한 후 제 5장에서 결론을 맺는다.

2. IEEE 802.11 기반 무선 랜 시스템

[그림 1]은 IEEE 802.11a 무선모뎀의 블록도를 나타내며 그림에서 나타난 바와 같이 송신단에서 입력된 데이터는 스크램블링되고 콘볼루션 부호기와 인터리버를 거쳐서 부반송파로 변조되는데, 이 때 전송률에 따라서 각기 다른 부호율, 인터리빙 크기(N_{CBPS}) 및 변조방식을 갖게 된다. 이러한 전송률에 따른 파라미터가 [표 1]에 주어져 있다. 그 후 4개의 파일럿 톤이 데이터 부반송파에 더해져서 총 52개의 부반송파에 신호가 전송되며 12개의 가상 부반송파가 더해져서 64 IFFT에 입력된다. IFFT를 통과한 시간영역 신호에 CP(Cyclic Prefix)가 더해져서 하나의 OFDM 심볼이 형성되며 여기에 윈도우를 취하여 전송하게 된다. 수신단에서는 송신단의 역과정이 일어나며 동기화과정이 추가된다, 먼저 정해진 훈련 심볼을 사

용하여 심볼 타이밍 옵셋, 반송파 주파수 옵셋, 채널을 추정하는 과정이 선행된 후 데이터가 FFT를 통과하여 48개의 부반송파에 신호가 출력된다. 이 신호는 등화기를 통과하여 채널응답이 보상된 후 비트열로 변환되어 비터비 복호기와 디스크램블러를 거쳐서 최종 데이터로 출력된다[1][6][7].



[Fig. 1] Block diagram of IEEE 802.11a/g wireless MODEM

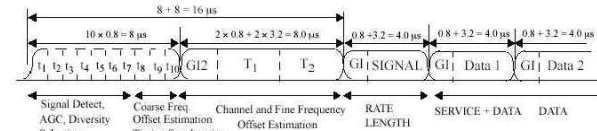
<Table 1> Transmission parameters of IEEE 802.11a/g

Data rate (Mbits/s)	Modulation	Coding rate (R)	Coded bits per subcarrier (N _{BPSK})	Coded bits per OFDM symbol (N _{CBPS})	Data bits per OFDM symbol (N _{DBPS})
6	BPSK	1/2	1	48	24
9	BPSK	3/4	1	48	36
12	QPSK	1/2	2	96	48
18	QPSK	3/4	2	96	72
24	16-QAM	1/2	4	192	96
36	16-QAM	3/4	4	192	144
48	64-QAM	2/3	6	288	192
54	64-QAM	3/4	6	288	216

3. IEEE 802.11 기반 무선랜 시스템의 프레임 구조

IEEE 802.11a/g/n과 IEEE 802.11p에서 사용되는 PLCP(Physical Layer Convergence Procedure) 프리엠블의 구조는 [그림 2]과 같다. PLCP 프리엠블은 $t_1 \sim t_{10}$ 으로 이루어진 10개의 짧은훈련심볼(short training

symbol)과 T_1 과 T_2 로 이루어진 2개의 긴훈련심볼(long training symbol)로 구성된다. IEEE 802.11a/g/n의 경우 전체주기는 $16\mu s$ 이며 IEEE 802.11p의 경우 전체주기는 $32\mu s$ 이다[6][7][8].



[Fig. 2] PLCP preamble structure

3.1 짧은훈련심볼

짧은훈련심볼은 일반적으로 수신단에서 AGC, 다이버시티선택, 타이밍 동기화, 대략적인 주파수 동기화를 이루는데 사용되고 (식 1)과 같이 주파수 영역에서 12개의 위상변조된 부반송파로 구성된다[7].

$$S_{-26,26} = \sqrt{13/6} \times \{0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, -1 - j, 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, -1 - j, 0, 0, 0, -1 - j, 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1 - j, 0, 0, 0, -1 - j, 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0\} \quad (1)$$

여기에서 $\sqrt{13/6}$ 은 52개의 부반송파 중에 12개의 부반송파만을 사용하는 OFDM 심볼의 평균전력을 정규화하기 위해서 곱해진다. 52개의 부반송파 중에서 12개의 부반송파를 이용하는 짧은 훈련 심볼의 파수영역신호를 [그림 3]에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 부반송파가 실리는 12개의 위치는 -24, -20, -16, -12, -8, -4, 4, 8, 12, 16, 20, 24이다.



[Fig. 3] Short symbol in frequency domain

짧은 훈련심볼은 주파수영역에서 4배수에 해당하는 부반송파에만 0이 아닌 신호가 실리기 때문에 FFT 주기의 1/4에 해당하는 주기를 가지며 10번 반복된다. 그러므로 이와 같은 짧은 훈련심볼은 (식 1)의 짧은훈련심볼에

IFFT를 취한 것을 2번 반복하고 IFFT 출력의 마지막 32개의 샘플을 순환확장(Cyclic extension)한 것과 동일하게 된다. 그러므로 아래와 같이 주파수영역에서 동일한 2개의 짧은훈련심볼이 두 개의 OFDM 심볼로 전송되는 것과 같이 나타낼 수 있다

$$X_l[k] = X_l^S[k] \quad (2)$$

$$(l=0, 1, k=-24, -20, -16, -12, -8, -4, 4, 8, 12, 16, 20, 24)$$

여기에서 $X_l[k] = X_l^S[k]$ 은 1번째 OFDM의 k번째 부반송파에 실려 전송되는 짧은훈련심볼을 나타낸다. 위의 (식 2)에 대하여 (식 3)과 IFFT를 취하고 2번 반복한 후 IFFT 출력의 마지막 32개의 샘플을 순환확장하면 (식 4)와 같이 짧은훈련심볼이 만들어진다.

$$x_l[n] = \sum_{k=0}^{N-1} X_l[k] e^{j2\pi kn/N} \quad n=0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3)$$

$$x^S = \{x_1[n]/2, x_0[n], x_1[n]\} \quad (4)$$

3.2 긴훈련심볼

긴훈련심볼은 채널추정과 미세주파수동기화를 위해 사용되며 (식 5)와 같이 주파수영역에서 53개(DC의 0를 포함)의 위상변조된 부반송파로 이루어진다[8].

$$L_{-26,26} = \{1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 0, -1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 0, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, 1, 1, 1\} \quad (5)$$

긴훈련심볼도 짧은훈련심볼과 동일하게 (식 5)의 긴훈련심볼에 IFFT를 취한 것을 2번 반복하고 IFFT 출력의 마지막 32개의 샘플을 순환확장하면 되므로 아래 (식 6)과같이 주파수영역에서 동일한 2개의 긴훈련심볼이 두 개의 OFDM 심볼로 전송되는 것과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_l[k] = X_l^L[k] \quad n=2, 3 \quad k=-26 \sim 26 \quad (6)$$

위의 (식 6)에 대하여 IFFT를 취하고 2번 반복한 후 IFFT 출력의 마지막 32개의 샘플을 순환확장하면 (식 7) 과같이 긴훈련심볼이 만들어진다.

$$x^L = \{x_3[n]/2, x_2[n], x_3[n]\} \tag{7}$$

그러므로 짧은훈련심볼과 긴훈련심볼로 이루어진 프리엠블은 (식 8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$x = \{x^S, x^L\} = \{x_1[n]/2, x_0[n], x_1[n], x_3[n]/2, x_2[n], x_3[n]\} \tag{8}$$

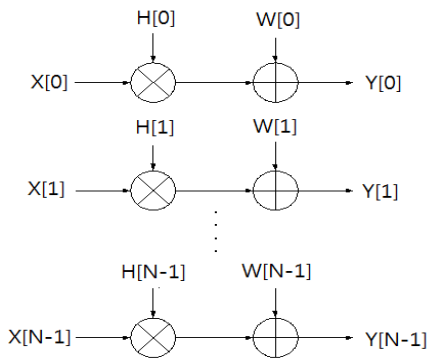
(식 8)의 프리엠블 신호가 채널을 통해 전송된 경우, 무선채널을 통과한 후에 수신된 프리엠블 신호를 (식 9)에 나타내었다.

$$y = \{y^S, y^L\} = \{x_1[n]/2, x_0[n], x_1[n], x_3[n]/2, x_2[n], x_3[n]\} * h_l[n] + w_l[n] \tag{9}$$

여기에서 $h_l[n]$ 은 1번째 OFDM 심볼의 무선채널 임펄스응답을 나타내며 $w_l[n]$ 은 AWGN 잡음을 나타낸다.

OFDM 심볼동기가 이루어졌다는 가정 하에서 FFT이후 주파수영역에서 수신신호는 (식 10)과 같이 표현된다.

$$Y_l[k] = H_l[k]X_l[k] + W_l[k] \tag{10}$$



[Fig. 4] OFDM transmission system model

여기에서 $H_l[k]$, $W_l[k]$ 은 1번째 OFDM 심볼의 k번째 부반송파에서 채널의 주파수 응답과 잡음을 나타낸다.

그러므로 [그림 4]와 같이 OFDM 시스템에서 FFT이후 주파수영역에서 수신신호는 각 부반송파에서 입력심볼과 채널의 주파수 응답의 곱으로 표현된다.

4. 새로운 채널 추정 알고리즘의 제안

LS(Least Square) 채널추정기법은 수신단에서 사전에 알고 있는 훈련심볼을 이용하여 채널을 추정하는 기법이다. 훈련심볼을 이용하는 LS 채널추정기법으로 기존의 방법과 제안하는 방법에 대하여 기술하면 다음과 같다.

4.1 하나의 긴 훈련심볼을 이용한 LS 채널 추정 방법

OFDM 시스템에서 각 부채널에 대해 수신신호는 채널과 송신신호의 곱으로 표현되기 때문에 하나의 긴 훈련 심볼을 이용한 LS 채널 추정기법으로 추정된 채널은 다음과 같다[6].

$$\hat{H}[k] = \hat{H}_l[k] = Y_l[k]/X_l^L[k] \quad l=2 \text{ or } 3 \tag{11}$$

4.2 두개의 긴 훈련심볼을 이용한 LS 채널 추정 방법

프리엠블 구조에서 프리엠블은 2개의 긴훈련심볼로 전송되므로 각 2개의 긴 심볼에 대하여 다음과 같이

$$l=2, \hat{H}_2[k] = Y_2[k]/X_2^L[k] \tag{12}$$

$$l=3, \hat{H}_3[k] = Y_3[k]/X_3^L[k] \tag{13}$$

독립적으로 LS 채널 추정기법을 적용하여 채널을 추정한 후 (식 14)와 같이 평균을 취하여 채널을 추정한다 (평균된 LS채널 추정)[7].

$$\hat{H}[k] = \frac{1}{2} \{ \hat{H}_2[k] + \hat{H}_3[k] \} \tag{14}$$

4.3 새로운 알고리즘의 제안

앞에서 설명한 것과 같이 짧은훈련심볼도 긴훈련심볼과 같이 2개의 OFDM 심볼로 이루어진 것으로 간주될

수 있으며 [그림 3]에서와 같이 부반송파는 12개의 위치인 -24, -20, -16, -12, -8, -4, 4, 8, 12, 16, 20, 24에서만 심볼이 존재하므로 긴훈련심볼 뿐만 아니라 짧은훈련심볼도 함께 이용하여 LS 추정기법으로 채널을 추정하는데 알고리즘은 다음과 같으며 [그림 5]에 나타내었다.

- 1) (식 12)를 이용하여 l=2인 긴 훈련심볼에 대한 채널 추정
- 2) (식 13)을 이용하여 l=3인 긴 훈련심볼에 대한 채널 추정
- 3) 짧은 훈련 심볼을 이용하여 채널 추정
 - 심볼값이 존재하는 12개의 부반송파의 경우 아래의 식과 같이 짧은훈련심볼을 이용하여 해당부반송파에 대한 채널을 추정

$$\hat{H}_1[k] = Y_1[k]/X_1^g[k] \quad (15)$$

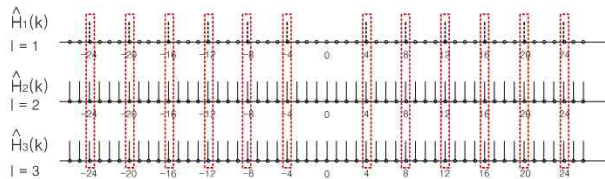
(k=-24,-20,-16,-12,-8,-4,4,8,12,16,20,24)

- 심볼값이 존재하지 않는 그 이외의 부반송파의 경우에는 ①②에서 긴훈련심볼을 사용하여 추정된 채널값의 평균값을 사용

$$\hat{H}_1[k] = \frac{1}{2} \{ \hat{H}_2[k] + \hat{H}_3[k] \} \quad (16)$$

- 4) 평균을 취하여 채널 추정 : 독립적으로 LS 채널 추정기법을 적용한 1) 2) 3)에 대하여 평균을 취하여 채널을 추정한다.

$$\hat{H}[k] = \frac{1}{3} \{ \hat{H}_1[k] + \hat{H}_2[k] + \hat{H}_3[k] \} \quad (17)$$



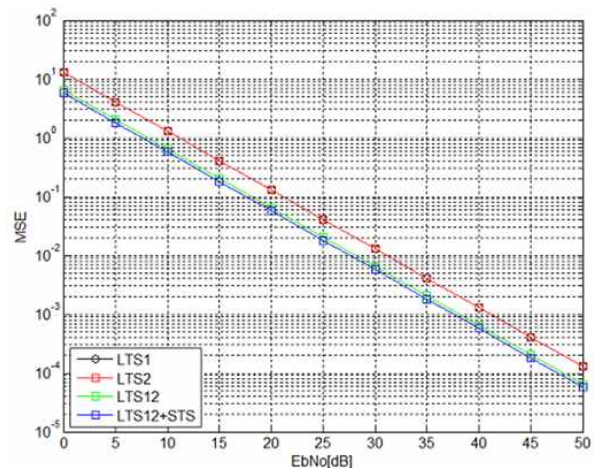
[Fig. 5] Proposed algorithm

5. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 채널모델로는 전력이 지수함수적으로 감소하는 IEEE 802.11 채널 모델 환경을 모델링하여 사용하였으며[1][9] 다음과 같이 MSE(mean square error)를 이용하여 채널추정기법들에 대한 성능을 살펴보았다.

$$MSE = E[(H[k] - \hat{H}[k])^2] \quad (18)$$

모의실험을 수행한 결과는 [그림 6]과 같다. 여기에서 $H(k)$ 와 $\hat{H}[k]$ 는 정확한 채널과 추정된 채널을 나타낸다. [그림 6]에서 LTS1과 LTS2는 단지 하나의 긴 훈련 심볼을 사용한 경우로 MSE 값이 동일함을 알 수 있다. 또한 LTS12는 긴 훈련 심볼 2개를 사용하여 채널을 추정하는 경우로 긴 훈련 심볼 하나만을 사용한 경우에 비하여 3dB 가량의 성능 향상을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한 제안한 새로운 알고리즘은 긴 훈련 심볼 2개를 사용하는 기존의 방법에 비하여 약 0.5dB 정도의 성능 향상을 보이고 있음을 알 수 있으며 이로부터 보다 정확하게 채널을 추정하고 있음을 알 수 있다.



[Fig. 6] Simulation result

6. 결론

무선 랜 시스템은 고속의 데이터를 전송하기 위하여 끊임없이 진화 중이며 통신성능을 향상시키기 위해서는 더욱 정밀한 채널추정이 필수적으로 요구된다. 본 논문

에서는 IEEE 802.11 기반 무선 모뎀의 PLCP 구조에서 10개의 짧은 훈련 심볼을 이용하여 기존의 긴 훈련심볼만을 이용하여 채널을 추정할 알고리즘의 성능을 개선하고자 하였다. 두 개의 긴 훈련심볼 뿐만 아니라 짧은 훈련 심볼을 이용함으로써 보다 향상된 채널 추정을 제공할 수 있음을 보였으며 제안된 채널 추정알고리즘은 IEEE 802.11p WAVE 차량통신 시스템에도 적용이 가능하리라 생각된다.

ACKNOWLEDGMENTS

This thesis is to note on the sabbatical research grant of KOREATECH faculty in 2012.

REFERENCES

- [1] Young-Soo Cho, MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB, Hongreung Science Publishing, 2008.
- [2] Jee-Hoon Kim, Heejung Yu, and Sok-Kyu Lee, "Channel Estimation Scheme for WLAN Systems with Backward Compatibility" ETRI Journal, Volume 34, Number 3, pp 450~453, June 2012
- [3] Bixing Ye, "Improved pilot design and channel estimation for 60GHz OFDM based on IEEE 802.11.ad", Wireless Communication and Networking Conference (WCNC) 2013, pp. 4129~4133. July 2013.
- [4] A. Tomasoni, D. Gatti, S. Bellini, M. Ferrari and M. Sitti, "Efficient OFDM Channel Estimation via an Information Criterion," IEEE Trans. on Wireless Communication, Vol. 12, No.3, pp. 1352~1362, March 2013.
- [5] H. Yuan, Y. Ling and H. sun and W. Chen, "Reaearch on Channel Estimation for OFDM receiver Receiver Based on IEEE 802.11a," IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN 2008), pp.13~16, July, 2008.

- [6] Juha Heiskala, and John Terry, OFDM Wireless LANs: A Theoretical and practical Guide, 2002, SAMS
- [7] IEEE Computer Society, "IEEE standard for information technology - telecommunications and information exchange between systems - local and metropolitan area networks - specific requirements part 11: Wireless LAN medium access control and physical layer specifications." IEEE Std 802.11, June 2007.
- [8] G. Matz, "Wireless OFDM systems." Lecture Notes, 2008.
- [9] IEEE P802.11-97/96, "Tentative criteria for comparison of modulation methods," 1996.
- [10] IEEE Std. 802.11n, IEEE Standard for Information Technology-Telecommunications and Information Exchange between Systems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY)

김 한 중(Kim, Han Jong)



- 1986년 2월 : 한양대학교 전자공학과(공학사)
- 1988년 8월 : 연세대학교 전자공학과(공학석사)
- 1994년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학박사)
- 1994년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

- 관심분야 : 방송시스템, 신호처리 및 마이크로 프로세서 응용
- E-Mail : hjkim@koreatech.ac.kr