

GSM 무선시스템에서 주파수정정 버스트 (FCB) 검출 알고리즘에 관한 연구

정회원 김 범 진*, 한 재 충**, 홍 승 역***

A Research on the FCB Detection Algorithm for the GSM Mobile System

Bum-jin Kim*, Jae-choong Han**, Sung-eok Hong*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 범 유럽 무선 셀룰러 전화의 표준안인 GSM 시스템에서 주파수 정정 버스트를 이용한 주파수의 검출 알고리즘을 제안하였다. 검출 알고리즘은 수신 신호의 샘플러, Correlator, Post Detection Combiner 등으로 구성되었다. GSM 단말의 수신단은 Broadcasting Channel을 인지하고 시스템 시간정보를 추출하는 과정에서 본 알고리즘을 이용한다. 본 알고리즘의 특성은 DSP를 이용하여 구현하거나 또는 ASIC화 하기에 적절한 구조를 가지고 있으며 특히 소모 메모리수를 줄임으로써 ASIC을 이용할 때 매우 적절하다. 알고리즘의 성능은 Correlator 및 Combiner에서 처리하는 데이터 윈도우의 크기 및 각각의 검출 문턱 값에 의해 결정된다. 또한 알고리즘의 실제 파라미터는 Correlator와 Combiner를 각각 독립적으로 성능의 분석을 하여 설정이 가능하다. 본 알고리즘은 DSP를 이용하여 구현되었으며 기저대역 시뮬레이션을 이용하여 성능의 검증을 수행하였다. 성능의 검증은 주파수 Offset이 Oppm 또는 15ppm의 값을 갖고 수신필터가 대역폭이 최소로 설정되었을 경우와 광대역일 경우를 가정하였다. 검증결과 다양한 가정하에서 알고리즘의 성능이 안정됨을 보였고 또한 구현의 복잡도가 현존하는 다양한 하드웨어상에서 구현가능함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we have proposed a FCB detection algorithm for the GSM system which is european cellular standard. The detection algorithm can be implemented using received signal sampler, correlator, and post detection combiner. GSM mobile phone can use the proposed algorithm for detection of the Broadcasting Channel, and to obtain the initial timing estimate. The proposed algorithm has a architecture which is suitable for DSP or ASIC implementation, and required memory size is small. The performance of the algorithm is a function of the processing data window size and the threshold values. Proper window size and the threshold values can be determined by analyzing the correlator and combiner. The proposed algorithm has been implemented using DSP, and the performance was verified using baseband simulation. The simulation assumed frequency offset values of Oppm and 15ppm with the receiver filter bandwidth set at both minimum and maximum. It is shown that the algorithm is robust under various assumptions, and suitable for real implementations.

* LG 종합기술원 정보기술연구소 CT 그룹

** 명지대학교 정보통신공학과

*** (주) 엠엠씨테크노로지

논문번호: 98512-1125

접수일자: 1998년 11월 25일

※ 본 연구는 한국과학재단 특정기초 연구지원사업(과제번호: 98-0101-07-01-3)에 의하여 일부 수행되었음.

파수등으로 인하여 시변하는 소위 주파수 선택적 페이딩 채널을 통과하게 되고 수신단에서는 수신신호 $x(t)$ 를 복조한 후 기저대역신호를 심플주기 단위로 샘플링을 하여 다음과 같은 이산시간 수신 신호를 얻는다.

$$r_n = \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{j2\pi f_c n T + j\theta} (e^{j\frac{\pi}{2} n} * b_n) + z_n \quad (2)$$

$$= \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{j2\pi f_c n T + j\theta + j\frac{\pi}{2} n} \sum_k e^{-j\frac{\pi}{2} k} b_k + z_n$$

위 식에서 각 변수는 다음과 같이 정의된다.

- f_c : 주파수에러
- θ : 위상에러 옵셋
- b_n : 등가 기저대역 채널충격응답
- z_n : AWGN with single sided power spectral density of N_0

수신신호는 수신단에서 식(1)에 표현된 FCB 송신신호와 Correlation을 구하고 1차 문턱값 테스트를 수행한다. 그리고 False Alarm 확률을 줄이고 Detection 확률을 증가시키기 위하여 Combining 과정을 통한 2차 테스트를 수행한다. 2차 테스트에서의 Combiner는 1차 테스트의 결과를 소위 Moving Sum 평균값을 취하여 2차 문턱값 테스트를 수행한다. 이러한 과정은 다음의 그림에 도식되었다.

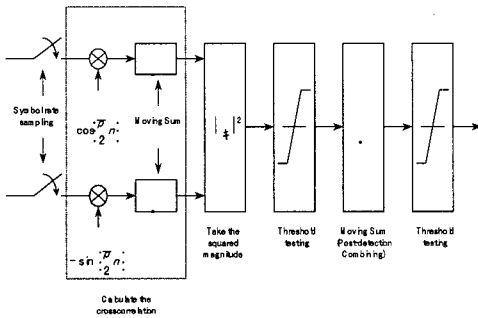


그림 2. FCB 검출기 블록도

그림 2에서의 Correlator는 다음의 Correlation 값을 생성한다.

$$R_l = \left| \sum_{n=N_1+1}^l r_n e^{-j\frac{\pi}{2} n} \right|^2 \quad (3)$$

위 식에서 N_1 은 Correlation을 구하는 윈도우 크기이다. Correlator 출력값은 다음의 수식을 이용하여 1차

문턱값 테스트를 거친 후 그 결과로서 테스트값 C_l 을 얻는다.

$$C_l = \begin{cases} 1 & \text{for } R_l \geq \gamma_1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

위 식에서 γ_1 은 1차 테스트의 문턱값이며, 테스트값 C_l 을 이용하여 2차로 다음의 수식과 같이 Moving Sum 평균값 D_l 을 구한다.

$$D_l = \sum_{k=N_2+1}^l C_k \quad (5)$$

위 식에서 N_2 는 평균값을 구하는 2차 윈도우의 크기이며 최종적으로 다음의 테스트를 수행하여 FCB 검출을 한다.

$$F_l = \begin{cases} 1 & \text{for } C_l \geq \gamma_2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

위 테스트의 결과가 1일 경우 FCB가 검출되었다고 판정한다. 앞에서 설명된 알고리즘은 크게 Correlation 부분과 Combiner부분으로 나눌 수 있다. 수신신호가 FCB일 경우 Power Spectral Density가 각 주파수 $\pi/2$ 에서 매우 큰값을 갖는데 일반 버스트는 이러한 특성이 없다. 따라서 Correlator는 이러한 정보를 단말에서 활용하여 수신신호가 FCB인지를 결정하게 된다.

주파수에러가 없을 경우 Correlator 윈도우 크기 N_1 를 증가시키면 Detection 확률은 증가하고 False Alarm 확률은 감소하게 되어 적절한 윈도우 크기를 설정함으로써 Correlator만을 이용하여 FCB검출을 수행할 수 있다. 그러나 주파수에러가 존재할 경우 윈도우 크기를 증가시키면 False Alarm 확률은 감소하지만 Detection 확률 또한 감소하게 되어 원하는 검출성능을 얻을 수 없다. 따라서 비교적 적은 윈도우 크기를 갖는 Correlator와 이를 다시 평균을 취하는 Combiner를 이용함으로써 검출 알고리즘의 성능을 향상시킬 수 있다. 단말이 초기에 주파수 에러를 모르는 상태에서 FCB 검출을 수행할 때 본 논문에서 제안한 Correlator-Combiner 형태의 검출 알고리즘을 활용함으로써 원하는 검출성능을 얻을 수 있다.

III. Correlator 성능분석

Correlator의 성능은 주파수에러 f_e , 윈도우 크기 N_1 , 신호대 잡음비, 그리고 1차 문턱값 γ_1 의 함수인 Detection 확률 및 False Alarm 확률을 구하여 분석할

수 있다. Detection 확률은 FCB신호가 수신되었을 경우 Correlator 의 값 R_i 이 문턱값 γ_1 을 넘을 확률로서 다음과 같이 표현된다.

$$P_d = \int_{R_i \geq \gamma_1} p(R_i) dR_i \quad (7)$$

$$= \int \int_{x^2+y^2 \geq \gamma_1} p(x, y) dx dy$$

위 식에서 확률밀도함수 $p(x, y)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$p(x, y) = \frac{1}{2\pi N_1 \sigma^2} \exp \left[-\frac{1}{2N_1 \sigma^2} \{ (x-a)^2 + (y-b)^2 \} \right]$$

, where

$$x = \text{Re} \left[\sum_{n=-N_1+1}^N r_n e^{-j\frac{\pi}{2}n} \right]$$

$$y = \text{Im} \left[\sum_{n=-N_1+1}^N r_n e^{-j\frac{\pi}{2}n} \right]$$

$$a_i = E[x]$$

$$b_i = E[y]. \quad (8)$$

식 (7)를 이용하여 약간의 유도과정을 거쳐서 Detection 확률을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$P_d = Q \left(\sqrt{\eta(N_1)}, \frac{\gamma_1 N_1}{|S_F(f_e)|} \sqrt{\eta(N_1)} \right), \text{ where}$$

$$\gamma_1 = |S_F(f_e)| \frac{\sqrt{\gamma_1}}{N_1 M_1}$$

$$\eta(N_1) = \frac{2|S_F(f_e)|^2}{N_1 B T} \frac{\bar{E}_b}{N_0}$$

$$M_1 = E[x + jy]$$

$$S_F(f_e) = e^{j\pi f_e(N_1-1)T} \frac{\sin(\pi N_1 f_e T)}{\sin(\pi f_e T)} \quad (9)$$

위 식에서 $Q(\cdot)$ 함수는 Marcum's Q-Function이고 \bar{E}_b 는 평균 수신신호의 비트당 에너지이며 B 는 등가 잡음대역폭이다. 위식을 이용하여 신호대잡음비 $\frac{\bar{E}_b}{N_0}$ 와 주파수에러 f_e 가 주어졌을 때 적절한 Detection 확률을 얻기 위한 시스템 설계 파라미터인 윈도우 크기 N_1 과 테스트 문턱값 γ_1 을 결정할 수 있다. 이때 설정된 파라미터 값들이 다음에 설명된 False Alarm 확률의 조건도 만족해야 함은 물론이다.

False Alarm 확률은 수신신호가 FCB가 아니고 일반 버스트신호일 때 Correlator 출력이 1차 테스트 문턱값을 넘을 확률로 정의된다. 일반 버스트신호의 이산시

간 수신신호는 다음과 같이 PAM(Pulse Amplitude Modulation)으로 표현된다 [4], [5].

$$r_n = \sqrt{\frac{2E}{T}} e^{j2\pi f_c n T + j\theta} \sum_k j^{n-k} a_{n-k} h_k + z_n \quad (10)$$

위 식에서 $\{a_n\}$ 은 송신데이터로 ± 1 의 값을 취하고 균등분포를 가지며, $\{h_k\}$ 는 송신필터의 총격응답과 채널총격응답이 Convolution된 복합응답이다. 약간의 유도과정을 통해 False Alarm 확률은 다음과 같이 유도된다.

$$P_f = E_a \left[Q \left(\sqrt{\eta(N_1)}, \frac{\gamma_1 N_1}{|S_N(f_e)|} \sqrt{\eta(N_1)} \right) \right] \text{ where}$$

$$S_N(f_e) = \sqrt{N_1 + 2 \sum_{n=0}^{N_1-1} \cos(2\pi f_e n T) R_a(n)}$$

$$R_a(n) = \sum_{m=0}^{N_1-n-1} a_{n+m} a_m \quad (11)$$

위 식에서 $E_a[\cdot]$ 은 송신데이터 벡터 $\mathbf{a} = \{a_0, \dots, a_{N-1}\}$ 에 대한 기대값이며 $R_a(n)$ 는 \mathbf{a} 의 샘플 자기상관함수이다. 위식을 이용하여 주어진 채널하에서 False Alarm 확률의 조건에 맞는 시스템 파라미터 설정을 수행한다.

위에서 유도된 Detection 확률과 False Alarm 확률의 정확도와 시스템 파라미터 설정의 한 예를 들기 위하여 다음과 같은 전송환경에서 시뮬레이션 및 유도된 확률값을 다양한 Correlator 윈도우 크기를 이용하여 문턱값의 함수로서 그림 3-6에 도시하였다. 전송환경은 페이딩 채널에서 신호대 잡음비가 5dB를 가정하고, 일반적으로 TCXO(Temperature Compensated Crystal Oscillator)를 시스템 클럭으로 사용할 때 주파수 에러가 15ppm인 경우를 최악의 경우로 가정하므로 주파수 에러는 0 또는 15ppm을 갖게 하였다. 그림 3,4에서는 Detection 확률을 나타낸다. 이때 Correlator의 윈도우 크기가 증가함에 따라 주파수 에러가 0ppm일 경우 Detection 확률이 커지며 주파수 에러가 15 ppm 일 경우에는 확률이 작아진다. 그림 5,6에서는 False Alarm 확률을 나타낸다. 그림에서 Correlator의 윈도우 크기가 증가하면 주파수 에러가 0ppm인 경우와 15ppm 인 경우 모두 False Alarm 확률이 작아진다. 그리고 일반적인 경향은 주파수 에러가 증가하면 False Alarm 확률이 커진다. 따라서 주파수 에러가 0ppm인 경우에는 윈도우 크기를 크게 하여 Detection 확률을 충분히 크게 하고 False Alarm 확률을 충분히 작게 할 수 있으므로 Correlator만으로도 원하는 FCB 검출기를 설계할 수 있다. 그러나 주파수 에러가 15ppm인 경우와 같이 클 경

우 Detection 확률을 높이기 위하여 윈도우 크기를 감소시키면 동시에 False Alarm 확률이 증가하므로 Correlator 만으로는 원하는 성능의 FCB 검출기를 설계하기 어렵다. 따라서 주파수에러가 존재하는 실제 시스템에서는 원하는 성능을 얻기 위하여 Correlator와 Combiner를 동시에 필요로 한다.

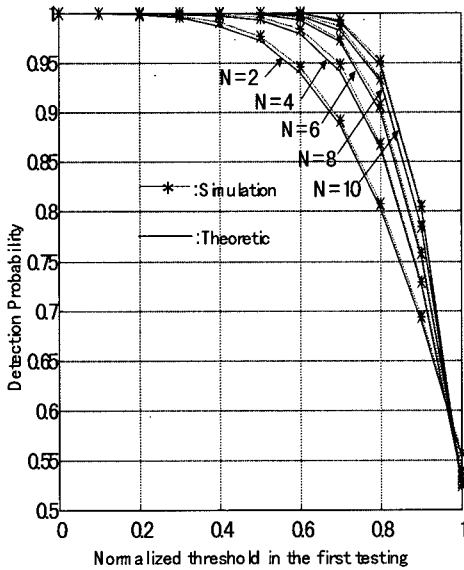


그림 3. Detection 확률
($\frac{E_b}{N_0} = 5 \text{ dB}, f_e = 0, B = \frac{1}{T}$, AWGN Channel)

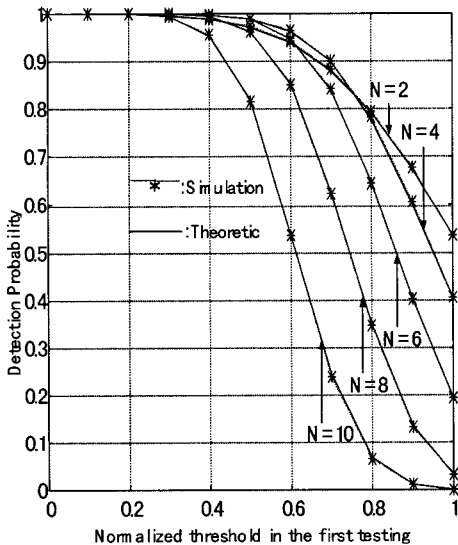


그림 4. Detection 확률
($\frac{E_b}{N_0} = 5 \text{ dB}, f_e = 15 \text{ ppm}, B = \frac{1}{T}$, AWGN Channel)

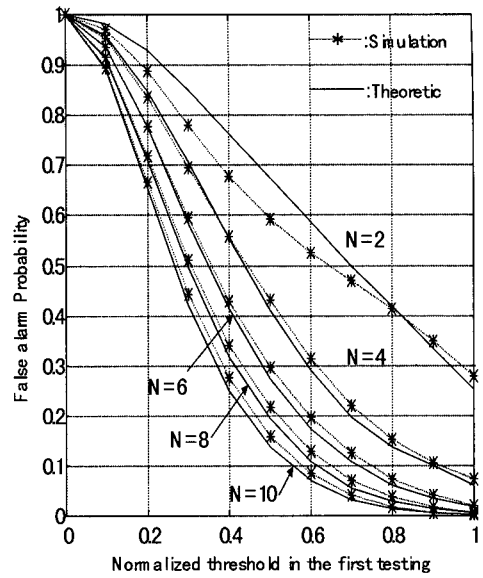


그림 5. False Alarm 확률
($\frac{E_b}{N_0} = 5 \text{ dB}, f_e = 0, B = \frac{1}{T}$, AWGN Channel)

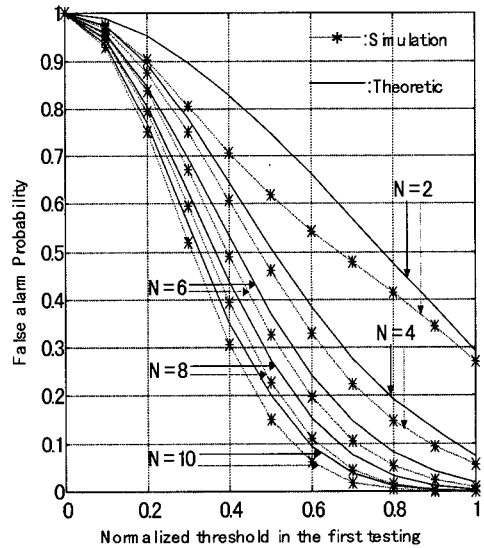


그림 6. False Alarm 확률
($\frac{E_b}{N_0} = 5 \text{ dB}, f_e = 15 \text{ ppm}, B = \frac{1}{T}$, AWGN Channel)

IV. Combiner 성능분석 및 FCB 검출기의 설계

Combiner의 성능은 Correlator 출력의 통계적 특성의 함수인 Combiner 출력의 Detection 확률(또는 Detection

하지 못할 확률)과, Correlator 출력의 통계적 특성 및 FCB가 아닌 구간의 길이의 함수인 Combiner 출력의 False Alarm 확률을 구하여 분석할 수 있다. Combiner의 성능은 이것의 입력이 되는 Correlator의 출력의 통계적 특성만 알면 Correlator와는 독립적으로 분석이 가능하다. 여기에서 Correlator 출력의 통계적 특성으로서 Combiner의 특성에 영향을 미치는 것은 Correlator 출력의 Detection 확률 및 False Alarm 확률이다. Correlator 출력의 Detection 확률이 0.75이고 False Alarm 확률이 0.30일 때에 다양한 값의 Combiner 윈도우 크기와 2차 테스트 문턱값을 이용하여 시뮬레이션을 통해 구한 Detection 하지 못할 확률과 False Alarm 확률을 그림 7, 8에 나타낸다. 이 때에 FCB가 아닌 구간의 길이는 19 타임슬롯으로 하였으며 여기에서 1 타임슬롯은 156 비트로 구성된다.

그림 7, 8 에 의하면 Combiner 윈도우의 크기가 커질수록 Detection 확률과 False alarm 확률은 모두 감소하고 2차 테스트 문턱값 증가에 따른 두 확률의 감소율은 모두 증가한다. 두 확률의 변화 경향은 같지만 그 정도가 다르므로 이 성질을 적절히 이용하면 원하는 FCB 검출기의 성능(Detection 확률과 False Alarm 확률)을 얻을 수 있는 Combiner를 설계할 수 있다. 예를 들면, 원하는 FCB 검출기의 Detection 확률과 False Alarm 확률을 만족시키는 Combiner 윈도우 크기와 2차 테스트 문턱값의 쌍의 집합을 두 확률에 대하여 각

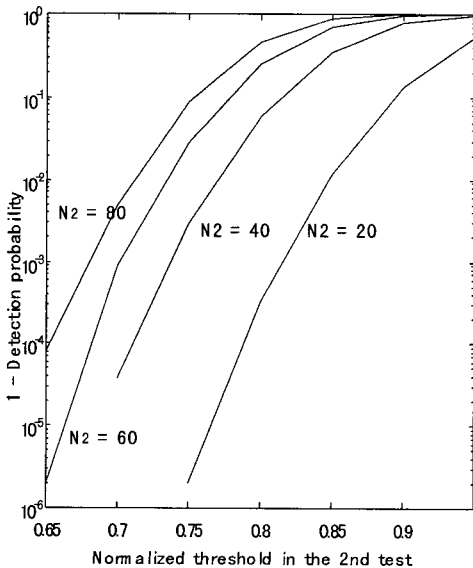


그림 7. Combiner 출력의 Detection 하지 못할 확률

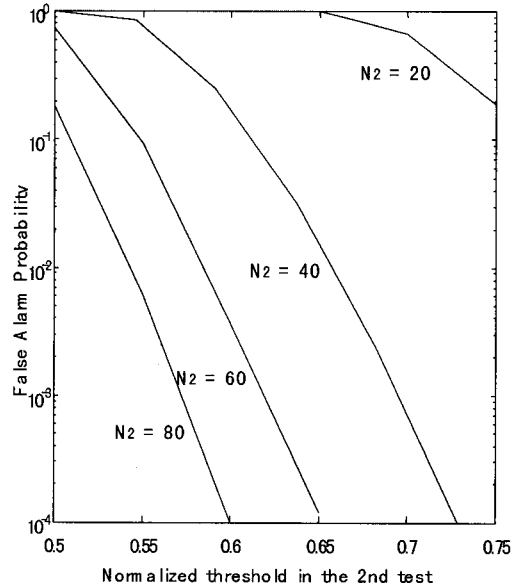


그림 8. Combiner 출력의 False Alarm 확률

각 구한 다음 이 두 집합의 교집합을 구하면 바로 그것이 원하는 성능의 Combiner 설계 파라미터 값의 집합이 된다.

Correlator와 Combiner의 성능을 각각 독립적으로 분석가능하다는 사실은 이 두 모듈을 독립적으로 설계할 수 있다는 것을 말해 준다. FCB 검출기의 설계 과정은 다음과 같다.

- (1) FCB 검출기의 Detection 확률과 False Alarm 확률을 결정한다. 이것은 FCB 검출기의 평균 Detection 시간과 분산에 의해 결정된다.
- (2) (1)에서 결정한 두 확률을 만족시키는 Combiner를 설계한다. 이것은 Correlator 출력의 Detection 확률과 False Alarm 확률에 따라서 (1)의 두 확률을 만족시키는 Combiner 윈도우 크기와 2차 테스트 문턱값의 쌍의 집합을 구하는 과정이다.
- (3) (2)에서 Combiner의 설계 조건이 되는 Correlator 출력의 Detection 확률과 False Alarm 확률을 만족시키는 Correlator를 설계한다. 이것은 Correlator 윈도우의 크기와 1차 테스트 문턱값의 쌍의 집합을 구하는 과정이다.

이 과정을 통하여 설계된 FCB 검출기는 계산의 복잡도, 원하는 False Alarm 확률 및 Detection 확률 값에 따라 다양한 형태의 구현이 가능하다.

V. 결론

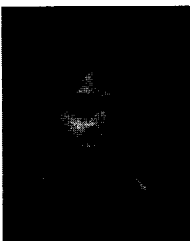
본 논문에서는 GSM 시스템에서 단말의 시간동기의 Acquisition 및 주파수 Acquisition등을 수행하기위한 FCB 검출 알고리즘을 제안하고 성능을 분석하였다. 알고리즘은 DSP를 이용하여 검증하였으며 구현측면에서 다양한 하드웨어를 이용할 수 있게 간단한 구조를 갖는다. 설계시 검출 알고리즘의 False Alarm 확률 및 Detection 확률의 분석을 통하여 알고리즘의 파라미터를 선정하는 작업이 요구되며 따라서 하드웨어에서 검출 지연시간, 복잡도등이 고려되어야 한다. 검출 알고리즘은 다양한 통신시스템에서 동기획득을 위한 Preamble이 존재하는 경우 초기의 동기추정을 위해 적용될 수 있다.

참고 문헌

- [1] GSM Recommendations, 05.10.
- [2] GSM Recommendations, 05.02.
- [3] Mobin, Mohamed Shafiul, et al, "Coarse frequency burst detector for a wireless communications systems, such as for use with GSM," *European Patent Application*, Application no. 95308759.0, 1996.
- [4] Pierre A. Laurent, "Exact and approximate construction of digital phase modulations by superposition of amplitude modulated pulses (AMP)," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-43, no. 2, pp. 150-160, Feb. 1986.
- [5] G. K. Kaleh, "Simple coherent receivers for partial response continuous phase modulation," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 7, pp. 1427-1436, Dec. 1989.

김 범 진(Bum-jin Kim)

정회원

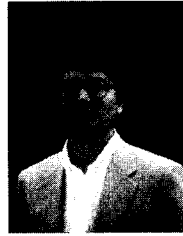


1993년 2월 : 서울대학교
전자공학과 (학사)
1995년 2월 : 서울대학교
전자공학과 (석사)
1995년~현재 : LG종합기술원
정보기술연구소 연구원

<주관심 분야> 유·무선모뎀, 이동통신시스템

한 재 충(Jeachoong Han)

정회원



1988년 : 서울대학교 제어계측공학과(학사)
1990년 : Texas A&M University
통신전공(석사)
1994년 : Texas A&M University
통신전공(박사)
1994년~1995년:LG전자기술원
선임연구원

1995년~현재 : 명지대학교 전자·정보통신공학부 조교수
<주관심 분야> 이동통신, 디지털모뎀, 추정이론

홍 승 익(Sungeok Hong)

정회원



1984년 : 서울대학교 전기공학과
(학사)
1986년 : KAIST 전기·전자공학과
(석사)
1995년 : KAIST 전기·전자공학과
(박사)
1984년~1997년 : LG전자연구소
연구원

1997년~현재 : (주)엠엠씨 테크놀로지 대표이사
<주관심 분야> ADSL, Home Networking, WLAN