

# 효과적인 PRACH 검출기 설계: 다중 Threshold 관점

송윤태, 최상원

경기대학교 전자공학과

opp1397@kyonggi.ac.kr, swchoi20@kyonggi.ac.kr

## On the Design of Effective PRACH Detection: Multi-Stage Threshold Perspective

Yoon Tae Song, Sang Won Choi

Kyonggi Univ.

### 요약

본 논문에서는, 상관 전력 기반의 효과적인 Physical Random Access Channel (PRACH) 검출기를 설계한다. 구체적으로는, 여러 단계의 Threshold를 정교하게 설계하여 PRACH 신호를 구분짓는 Preamble (PID)와 PRACH 관련 시간 정보를 얻는다. 본 논문의 가장 큰 contribution은 단계 별 Threshold의 유효성을 높이기 위하여 중요한 정보량을 발견한 것과 단계별 Threshold 사이의 연관성을 극대화한 것이다. 이를 통해 유효한 Threshold를 선별하고, Timing 정보 기반의 새로운 Threshold를 설계하였으며, 위 Threshold들을 연계하여 Multi-stage threshold 기반의 검출 기법을 설계하고, 검출 확률 및 오경보 확률 관점에서의 성능을 최적화하였으며, 수치 성능 실험을 통해, 본 PRACH 검출 기법의 타당성을 입증한다.

### I. 서론

Long Term Evolution (LTE)와 New Radio (NR)에서 기지국과 단말과의 통신을 위해 다운 링크와 업 링크 과정을 거쳐야 한다. [1] 그 중 Physical Random Access Channel (PRACH) preamble은 RACH 과정에서 단말이 보내는 상향 동기 신호로서 단말과 기지국 사이의 통신을 위한 연결에 필수적인 신호이며, 이 신호를 통한 동기 과정의 성공 여하에 따라 단말의 기지국 전송 성능이 결정된다. PRACH Preamble을 보내는 RACH 과정은 단말과 기지국과의 통신을 위한 필수적인 과정이다.

안정적인 RACH 과정을 달성하기 위하여 물리 계층에서는 상관특성이 좋은 PRACH 프리앰블 송신 신호의 설계가 필요하며, 이와 동시에 PRACH 프리앰블의 수신 알고리즘 설계가 중요하다. PRACH Preamble 검출기는 기본적으로 상관 전력 기반으로 동작하며, 얻은 신호를 기반으로 Power Delay Profile (PDP)을 생성하고 분석하여 PRACH preamble의 Preamble ID (PID)와 시간정보 Time Advance (TA)를 얻는다. PDP를 분석하는 데 있어서 Threshold를 정교하게 설계하는 것이 중요하다. 사용되는 Threshold는 크게 두 가지 용도로 사용이 되는데 하나는 그 알고리즘의 최적의 PDP를 만들기 위해서 PDP를 가공하는 PDP Refinement 관점에서의 Threshold와 최종적으로 신호를 검출하는 Threshold로 나뉜다.

여러 연구로 제시된 다양한 Threshold들 중에서 본 논문에서는 Noise Threshold, Signal Threshold, Average Power Threshold에 대해 분석하고, 향상된 PDP refinement를 달성하기 위해 기존에 제시된 여러 Threshold를 활용하고, 최적화하여 Multi-stage Threshold를 생성하고, 새로운 Threshold를 제안하여 이를 토대로 향상된 Multi-stage threshold 기반의 PRACH preamble 검출기를 제안한다.

### II. 본론

RPACH preamble을 검출하는데 Search Window (SW) 마다 PDP의 값들을 분석하여 가장 큰 값을 가진 peak의 위치를 찾는다. SW의 길이는  $N_{SW} = \left\lfloor \frac{N_{CS}N_{FFT}}{L_{RA}} \right\rfloor$ 로 정의된다. 위 식에서  $N_{CS}$ 는 Cyclic shift 길이,  $N_{FFT}$ 는 FFT Size,  $L_{RA}$ 은 Preamble 시퀀스의 길이를 가

리킨다. 그러므로 Detector에서는  $N_{SW}$ 만큼의 길이를 가지는 64개의 SW 구역을 나누어 각 SW에서의 Peak의 위치를 찾는다. 각 SW마다 Threshold를 사용하여 peak의 존재 여부와 그 위치를 찾고, 그 위치에 따라 송신기에서 보낸 PID와 그 Timing Advance (TA)를 추정하여 송신기와의 동기를 맞춘다.

#### 1) Noise Threshold

Noise threshold는 Search window (SW) 안에서 가장 큰 값과 그 좌우의 N 개씩의 값, PeakAround (PA)를 기준으로 하며, PA는 다음 식으로 정의된다.

$$PA_N(i, N) = \sum_{k=P-N}^{P+N} SW(k) \quad (1)$$

위 식에서  $i$ 는 64개의 SW 중에서의 index를 의미하고,  $P$ 는 SW 내에서 가장 큰 값의 위치를 의미한다. PA가 정해지면, 그 외의 값들은 잡음으로 여긴다. 잡음으로 판별한 값들의 평균에 일정한 값의 Scaling factor  $K_n$ 를 곱한다.

$$T_n(i) = K_n * (\sum_{k=1}^{L_{sw}} SW(k) - PA_N(i, N)) / L_{sw} \quad (2)$$

식 (2)에서  $L_{sw}$ 는 SW의 길이를 나타낸다. 위와 같이 정해진  $T_n$  이상의 값을 가진 부분만 남겨둔 후 그 부분을 Peak의 후보로 판단한다.

#### 2) Average power Threshold

Average power threshold는 SW의 평균을 Scaling factor  $K_A$ 를 곱해서 그 이하의 값이 나오면 제거하는 방식이다.

$$T_A(i) = K_A * (\sum_{k=0}^{L_{sw}-1} SW(k)) / L_{sw} \quad (4)$$

위와 같이 정해진  $T_A$ 를 이용하여 최종 Peak의 후보를 골라낸다.

#### 3) Signal Threshold

Signal threshold는 SW 내에서 가장 큰 값에 일정 Scaling factor  $K_s$ 를 곱해서 그 이하의 값이 나오면 제거하여 유효한 신호를 판별하는 알고리즘이다.  $T_s(i) = K_s * P(i)$ 의 식으로 정해진  $T_s$ 을 이용해서 최종 Peak의 후보를 골라낸다.

#### 4) Timing Threshold

제안 기법에서는, 기존 기법 대비 더 향상된 PDP Refinement를 위해 Timing threshold를 제안한다. 시뮬레이션 결과 Average power threshold 기반으로 설계한 Multi-stage threshold의 성능이 Noies threshold 기반의 것보다 높은 성능을 보여 Average power threshold, Signal threshold 와 Timing threshold를 기반으로 Multi-stage threshold를 설계하였다.

**Proposed scheme** 더 유효한 timing 정보 기반의 preamble ID 및 TA Detection

**Input:** 수신된 Received signal들로 구한 PDP들

**Output:** 각 SW에서의 Time Advane (TA) 정보

1. PDP들을 64개의 SW로 분류한다.
2. **for**  $i = 1, \dots, 64$  **do**
3.  $i$ 번째 SW에 Signal threshold 이상의 값을 Peak 후보로 남겨놓는다.
4.  $i$ 번째 SW에서 Average power threshold 이상의 값을 Peak 후보로 남겨놓는다.
5. Peak 후보 중 가장 큰 값과 그 위치 P를 찾는다.
6. P-m부터 P+m까지를 PA(i, m)로 선언한다.
7. **if**  $\frac{L_{sw}}{2} \geq P$  **then**
8. SW 위치 1부터 P-m까지 중에서 Peak 후보가 있는지 확인한다.
9. peak 후보가 있다면 그 위치를  $i$ 번째 SW의 TA 정보로 출력한다.
10. **else**
11. SW 위치 P+m부터 끝까지 중에서 Peak 후보가 있는지 확인한다.
12. peak 후보가 있다면 그 위치를  $i$ 번째 SW의 TA 정보로 출력한다.
13. **end if**
14. **end for**

제안 기법의 성능은 기존 상관전력 기반의 검출 기법과 함께 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP) 규격에서의 요구사항[2]인 SNR -6dB에서의 성능을 이미 충분히 충족하므로 제안 기법의 추가적인 성능의 향상을 입증하기 위하여 -10dB 환경에서의 상황에 맞춰 알고리즘의 최적화를 진행하였다. 최적화를 진행한 최적화 Scaling factor는 표 1에 기술되어 있다.

표 1. Threshold 별 Scaling factor 최적화 (SNR=-10dB 기준)

	$K_n$	$K_s$	$K_A$	N	m	$P_d$	$P_f$
Signal threshold	-	0	-	-	-	0.6864	0.1408
Noise threshold	9	-	-	24	-	0.8638	0.0347
Noise&Signal threshold	9	0	-	24	-	0.8638	0.0347
Average power threshold	-	-	6.8	-	-	0.9331	0.0080
Proposed scheme	0	0.6	9	6	4	0.9760	0.0043

각 SNR 마다 각 알고리즘에 대한 성능을 구하였고 이는 그림 1,2와 같다.

### III. 결론

본 논문에서는 PRACH 검출기의 성능 향상을 위해 Multi-stage threshold를 제안하여 기본 상관전력기반의 검출기의 출력 결과인 PDP를 정교하게 개선하고, Timing 정보를 활용하여 신호가 있는 SW의 경우 더 낮은 값의 Peak를 선택하도록 하여, 오경보 확률을 줄이고, 신호가 있는 SW의 경우 정답 Timing의 Peak를 선택하도록 유도하여, 검파 확률

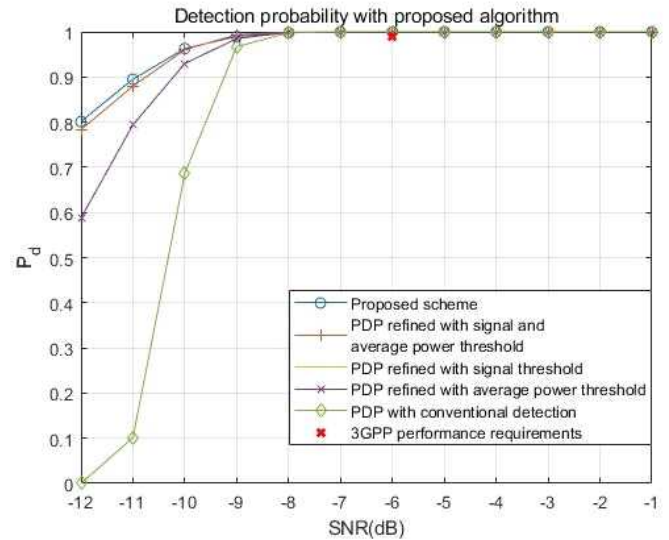


그림 1. Detection probability with average power threshold proposed scheme

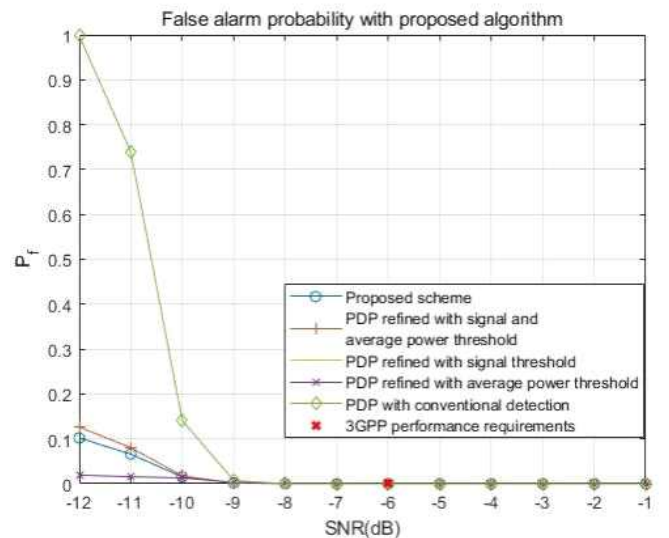


그림 2. False alarm probability with average power threshold proposed scheme

을 높였다. 또한 Multi-stage threshold의 설계를 위해 각 threshold를 분석하였다. Timing threshold는 비록 가장 큰 값을 가진 Peak가 아닐지라도 Timing 정보를 활용하여 Peak 후보 중 더 신뢰할만한 값을 선별하여 더 정확한 검파에 기여함을 수치 성능을 통해 보였으며, 3GPP 성능 요구사항을 만족시키는 물론 기존의 검출 방식 대비 방식보다 주목할만한 성능 이득이 있음을 확인하였다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021-0-00165, 5G+ 지능형 기지국 소프트웨어 모뎀 개발)

### 참 고 문 헌

- [1] 3GPP TS 38.211 v17.2.0, "5G NR physical channels and modulation," June 2022.
- [2] 3GPP TS 38.104 v 17.5.0, "Base station radio transmission and reception," Mar. 2022.
- [3] T. A. Pham and B. T. Le, "A proposed preamble detection algorithm for 5G-PRACH," in Proc. Int. Conf. Adv. Technol. Commun., pp. 210-214 Oct. 2019.