

---

# DS-CDMA/TDMA 주파수 공유 시스템의 성능 개선

백승선\* · 강희조\*\*

Performance Improvement of Frequency Sharing of DS-CDMA/TDMA System

Seung Sun Baik\* · Heau Jo Kang\*\*

## 요약

직접 확산 부호 분할 다원 접속시스템과 시분할 다원 접속시스템을 동일 주파수 대역에서 중첩되어 전송할 때 DS-CDMA 신호에서의 TDMA 신호의 협대역 간섭이 문제된다. 본 논문에서는 DS-CDMA 신호의 협대역 간섭파를 제거하는 방법으로 복소 다중 비율 필터 뱅크 ( Complex Multirate Filter Bank : CMFB )를 이용해서 협대역 간섭파 제거법을 제안하고, 간섭제거기( CCI canceller )를 이용해서 다중접속간섭을 제거하여 DS-CDMA 신호의 성능을 개선한다. 본 논문은 AWGN, MAI 및 NI환경하에서 DS-CDMA 신호와 TDMA 신호의 주파수 공유 시스템에 적용할 때의 DS-CDMA 신호의 특성에 대해서 해석하였다. 또한, 복소 필터 뱅크와 간섭제거기를 직렬 연결한 노치필터를 채용하여 성능개선을 이룰 수 있었다.

## ABSTRACT

In this paper proposes a new techniques for the frequency sharing of DS-CDMA(Direct Sequence Code Division Multiple Access) and TDMA(Time Division Multiple Access) system. In this system, the narrowband TDMA signals can cause intolerant interferences to CDMA signals. In this paper, DS-CDMA/TDMA frequency sharing system have been analyzed in AWGN (Additive white Gaussian Noise), MAI (Multi Access Interference) and NI (Narrowband Interference) environment. Also, performance improvement has been obtained by adopting an adaptive notch filtering scheme using complex filter bank and CCI canceller.

## 1. 서론

반도체기술, 컴퓨터기술의 발전에 의해, 사회활동이 크게 변화하고, 정보의 중요도가 더욱 더 높아지고 있다. 사회의 고도 정보화에 따라서, 음성·데이터·화상·영상 등의 멀티미디어를 양방향으로 전송하는 것이 필요로 하고, 그것에 대처할 수 있도록 고속·대용량의 정보 교환이 가능한 정보 통신 시스템의 연구가

각 국에서 진행되고 있다.

직접 스펙트럼 확산 방식을 이용한 부호 분할 다원 접속 (DS-CDMA: Direct Sequence Code Division Multiple Access) 시스템은 기존의 협대역 통신 시스템에 있어 시 분할 다원 접속 (TDMA: Time Division Multiple Access) 시스템과 비교해서 높은 주파수 이용효율이 얻어지고, 무선 통신로 상에 발생하는 다중 경로 페이딩에 대해서 강한 성질을 가지기 때

---

\* 전주공업대학 정보통신과  
접수일자: 2001. 7. 26

\*\* 동신대학교 전기전자공학부

문에 근래에 육상 이동체 통신의 분야에서 주목되고 있다[1][2]. 그러나 DS-CDMA 신호는 극히 넓은 대역이 필요하기 때문에 DS-CDMA 시스템에서 독립적인 주파수 대역을 할당해서 운용하는 것이 곤란하기 때문에 주파수 분할 다윈 접속 (FDMA: Frequency Division Multiple Access), TDMA 시스템과 동일 주파수대역에서 DS-CDMA 신호를 중첩해서 전송하는 것이 검토되고 있다[3][4].

DS-CDMA 시스템은 기존 사용자에 대해 다른 사용자의 PN코드를 이용하여 다시 확산하여 이것들을 시간 T만큼 지연시킨 수신신호에서 빼줌으로써 다중접속간섭(MAI: Multi Access Interference)을 제거할 수 있게 된다.[8] 협대역 신호의 수신에 있어서, DS-CDMA 신호는 광대역의 간섭파로 되며, DS-CDMA 신호가 열 잡음과 같은 정도의 전력 스펙트럼 밀도로 억제되어 있는 경우, 필터에 통과하는 것에 의해 DS-CDMA 신호의 대부분의 전력을 제거하는 것이 가능하기 때문에, 협대역 신호 전송 특성에 대한 영향은 적다. 한편, 협대역 신호는 광대역의 DS-CDMA 시스템에 있어서는 역확산 때, CDMA 신호로는 역으로 확산되어서 전력 밀도가, 잡음 레벨까지 내려가게 된다. 따라서 일반적인 DS-CDMA 시스템은 NI에 강하게 되어 있지만 간섭과 전력이 DS-CDMA 신호와 비교해서 충분히 높은 경우 그 영향은 무시할 수 없기 때문에 CDMA신호에 대하여 협대역 간섭 문제를 해결하기 위해서 종래의 여러 가지 방법이 검토되고 있다[5][6]. DS-CDMA 시스템은 기존 사용자에 대해 다른 사용자의 PN코드를 이용하여 다시 확산하여 이것들을 시간T만큼 지연시킨 수신신호에서 빼줌으로써 다중접속간섭(MAI: Multi Access Interference)을 제거할 수 있게 된다[7].

본 논문에서는 AWGN과 MAI 및 NI환경에서 DS-CDMA/TDMA 주파수 혼용시스템의 성능을 분석하고 성능개선 기법으로서 다중비율 필터뱅크를 응용한 노치 필터와 간섭제거기(CCI canceller: Co-Channel Interference)를 채용한 경우 성능 개선을 분석하였다. 성능개선 기법을 채용한 경우 노치 필터와 간섭제거기를 독립적으로 채용한 경우와 직렬로 접속한 경우의 성능개선을 각각 비교·분석하였다.

## II. 해석모델

본 논문에서는 가우스 잡음(AWGN)과 다중접속간섭(MAI: Multi-Access Interference) 그리고 협대역 간섭과 환경을 모델링하였다. DS-CDMA 수신기로는 상 회선에 있어서 송신 전력 제어가 완전하게 되고 확산 계열에 대해서 완전하게 동기가 되고 있는 것으로 한다. 그림 4에 DS-CDMA 신호의 수신기 구성을 나타낸다. TDMA 신호와 같이 수신된 DS-CDMA 신호와 가장 최초로 베이스 밴드 영역에서 주파수 변환되고 A/D (Analog to Digital) 변환만 한다. 그래서 복소 다중 비율 필터 뱅크에 입력되고 TDMA 신호가 제거된 후 간섭제거기에 입력되어 MAI가 제거되고 역 확산만 한다.

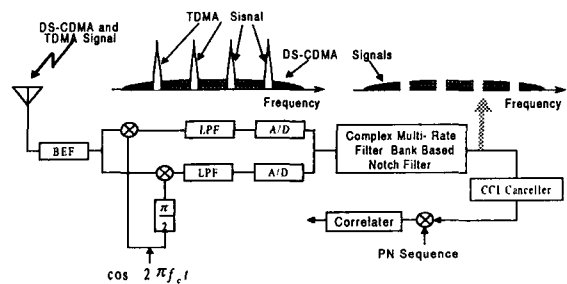


그림 1. DS-CDMA/TDMA 시스템의 수신기

### 2.1 다중접속간섭(MAI)

다른 사용자에 의한 MAI은 가우스 랜덤 변수로 취급되는데 하나의 간섭신호가 MAI에 기여하는 정도는 다음과 같다.

단  $N:PN$

$$MAI = \frac{2}{3N} E_b \cdot \rho^2 \quad (1)$$

코드의 길이  $\rho$ : 송신 신호의 순시 진폭

그러므로 DS-CDMA 시스템의 신호대 잡음비는 다음과 같다.

$$\gamma_{DS} = \frac{\rho^2}{\frac{2(M-1)}{3N} \cdot \rho^2 + \frac{N_o}{E_b}} \quad (2)$$

단,  $E_b/N_o$ : 비트에너지 대 잡음전력비,  $M$ :

DS-CDMA 신호의 사용자 수

다른 사용자에게 의한 MAI은 가우스 랜덤 변수로 취급되는데 기지국이 모든 사용자에게 같은 전력으로 신호를 송신한다면 간섭신호도 기준 신호와 똑같은 경로 손실을 갖는다고 간주한다. NI가 존재하지 않는 AWGN 전송로에서 MAI이 존재할 때는 DS-CDMA 신호의 비트 오류 특성은 다음 식으로 주어진다.

$$P_{DS} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma_{DS}}) \quad (3)$$

### 2.2 복소 필터뱅크

근래 디지털 신호 처리 분야에서는 신호의 샘플링 비율을 변화하여 신호를 처리하는 다중 비율 신호 처리 기술이 주목되고 있다. 복소 필터뱅크를 무선 통신 분야에 적용하기 위해서 필터뱅크를 복소화한 복소 다중 비율 필터뱅크는 해석 필터뱅크(Analysis Filter Bank)와 합성 필터뱅크(Synthesis Filter Bank)로 나뉘고, 그림 2.1a)에 3단 구성의 복소 필터뱅크를 나타낸다. 예로는 첫 번째의 필터뱅크 출력의 한 쪽을 그 다음 단의 필터뱅크에 입력하고, 2번째에 있어서도 한쪽의 출력을 3번째의 필터뱅크에 입력하고 있다. 이 필터뱅크를 이용한 경우 해석 필터뱅크측의 최종적인 출력의 주파수 분해능은 전 주파수 대역의  $1/2^3$ 로 된다. 단수를 변하는 것에 의해서 NI의 주파수 위치에 대해서 주파수 분해능을 설정하는 것이 가능하여 효율 좋게 협대역 간섭 제거를 할 수 있다 [5].

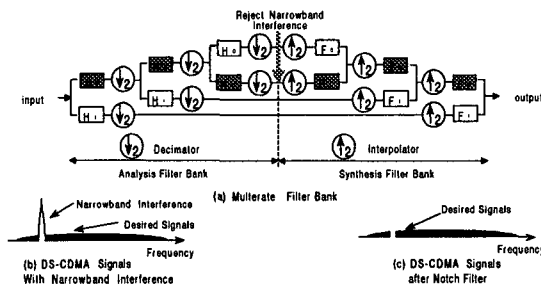


그림 2 복소 필터뱅크를 이용한 NI 제거법

그러므로 DS-CDMA 시스템과 TDMA 시스템을 하나의 기지국에서 통합하고, 동시에 복조하는 것이 이론적으로 가능하게 된다.

TDMA 신호가 NI로서 대역 내에 존재하는 경우의 비트 오류 특성은 역확산 후의 TDMA 신호의 전력

$P_I$ 와 사용자수  $I$ 가 간섭 전력으로서 더해진 다음 식으로 주어질 수 있다. AWGN 전송로에서 MAI과 NI가 존재하는 DS-CDMA 신호의 비트 오류 특성은 다음 식으로 주어진다.

$$P_{NI} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_0 + \frac{2}{3} E_b \frac{M-1}{G_p} + \frac{P_I}{B_c}}} \right) \quad (4)$$

DS-CDMA 에는 송신 측에서 확산으로 이용한 부호와 같은 부호를 걸어 맞추어 주는 것에 의해서 역확산을 하기 때문에 확산 부호의 상관 특성은 DS-CDMA 신호의 특성을 결정하는 중요한 요소가 된다. 노치 필터를 이용한 경우 이 상관 특성이 왜곡되어, DS-CDMA 신호의 특성이 열화하는 것이 예상된다.

AWGN 전송로에서 MAI과 NI가 존재하고 있을 때 NI가 제거된 후의 DS-CDMA 신호의 비트 오류 특성은 다음 식으로 주어진다.

$$P_{Notch} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b(1-\beta)}{N_0 + \frac{2}{3} E_b \frac{M-1}{G_p}}} \right) \quad (5)$$

$\beta$ 는 DS-CDMA 신호 대 노치 필터의 대역폭 비이다.

### 2.3 간섭 제거기

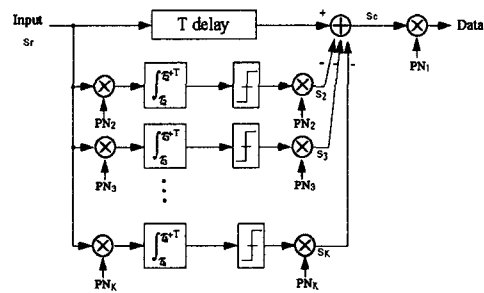


그림 3. 간섭제거기 구조

그림 3에서 수신 신호  $S_r$  구성하고 있는 신호  $S_2, S_3, \dots, S_k$ 에 비트 에러가 발생하지 않았다면 MAI은 완벽하게 제거된다. 그러나 수신신호  $S_r$ 에서  $i$ 번 ( $i = 2, 3, \dots, k$ ) 사용자 수신신호에만 상관 검파 과정에서 에러가 발생하였다면  $PN_i$ 에 의해 상관

수신되어 복원되는 신호는  $S_r$ 에 포함된  $S_i$ 의 신호와 다른 것이 되고 이것이 다시  $PN_i$ 에 의해 확산되어 T 시간 지연된  $S_r$  신호에 더해지게된다. 이때 예러가 발생한  $i$ 번째 사용자의 신호는 수신신호  $S_r$ 에 MAI으로 더해지므로 신호  $S_c$ 는  $S_i$  사용자에 의한 MAI의 2배의 전압(전력면에서는 4배)을 포함하게 된다.[7]

결과적으로 신호  $S_c$ 와  $S_1$  사용자의 수신신호 사이의 신호 대 잡음비  $\gamma_{CCI-DS}$ 는 다음식과 같이 주어진다.

$$\gamma_{CCI-DS} = \frac{E_b}{N_0 + 4P_{DS} \times \frac{2}{3} E_b \frac{M-1}{G_p}} \quad (6)$$

여기서 NI가 존재할 경우를 고려하면 신호 대 잡음비  $\gamma_{CCI-NI}$ 는 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$\gamma_{CCI-NI} = \frac{E_b}{N_0 + 4P_{NI} \times \frac{2}{3} E_b \frac{M-1}{G_p} + \frac{PI}{B_c}} \quad (7)$$

각각의 식(6),(7)를 대입하여 DS-CDMA 신호의 비트 오류 특성을 구한다.

$$P_{CCI} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma_{CCI}}) \quad (8)$$

### 2.4 복소 필터 뱅크와 간섭제거기 직렬접속

DS-CDMA/TDMA 주파수 혼용 시스템에는 기지국으로 사용자에 대한 DS-CDMA 및 TDMA의 양쪽의 채널 할당을 제어하기 위해서 TDMA의 반송파 주파수와 대역폭은 이미 알고 있다고 가정할 수 있다. 그 때문에 NI 제거를 하는 복소 다중 필터 뱅크의 구성에는 TDMA 신호의 반송파 주파수와 대역폭에 대하여 항상 최적하게 이용할 수가 있으며 간섭제거기에 의해 MAI을 제거하여 오류성능 개선을 할 수가 있다.

AWGN 전송로에서 NI와 MAI이 제거된 후의 DS-CDMA 신호의 비트 오류 특성은 다음 식으로 주어진다.

$$\gamma_{Notch-CCI} = \frac{E_b(1-\beta)}{N_0 + P_{Notch} \times \frac{8}{3} E_b \frac{M-1}{G_p}} \quad (9)$$

$$P_{Notch-CCI} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma_{Notch-CCI}}) \quad (10)$$

### III. 해석결과 및 검토

본 논문에서는 AWGN과 MAI 및 NI환경에서 DS-CDMA/TDMA 주파수 혼용 시스템에서 노치 필터와 간섭제거기를 독립적으로 채용한 경우와 직렬로 접속한 경우의 성능개선을 분석하였다. DS-CDMA 신호 대 NI의 전력비 ( $P_I$ ), NI의 갯수 ( $I$ ), DS-CDMA 신호의 사용자 수 ( $M$ ), 처리 이득( $G_p$ )등의 함수로 하여 이론 해석한 결과를 그림 4 ~그림 6에 나타내었다.

그림 4는 CDMA 사용자수( $M$ ) 10명일 때 NI가 20개 존재하는 경우 AWGN과 MAI 및 NI환경에서 DS-CDMA/TDMA 주파수 혼용시스템의 오류 특성을 나타낸 것으로, 복소 필터 뱅크와 간섭제거기를 모두 채용하여 오류 특성이 현저하게 개선됨을 알 수 있다. 예를 들어,  $E_b/N_0=10$  [dB]에서 AWGN과 MAI 및 NI 환경에서 오류이  $1.46 \times 10^{-3}$ 에서 복소 필터 뱅크와 간섭제거기를 모두 채용할 때 오류이  $9.07 \times 10^{-6}$ 이고 복소 필터 뱅크만을 채용할 경우에는  $2.02 \times 10^{-4}$ 이고 간섭제거기만을 채용할 경우에는  $4.15 \times 10^{-4}$ 으로 각각 개선되었다. MAI가 NI보다 적기 때문에 복소 필터 뱅크의 성능 개선폭이 간섭제거기보다 더 큼을 알 수 있다.

그림 5는 NI가 20개 존재할 때 그림 4와 달리 CDMA 사용자수( $M$ ) 50명일 때를 고려한 경우로 복소 필터 뱅크와 간섭제거기를 독립적으로 채용한 경우보다 이들을 직렬접속한 경우가 큰 폭의 성능개선을 달성함을 알 수 있으며, 이 때 NI와 MUI가 거의 완벽히 제거됨으로써 AWGN환경의 오류특성에 접근함을 알 수 있다. 예를들어,  $E_b/N_0=10$  [dB]에서 AWGN과 MAI 및 NI환경에서의 오류이  $1.61 \times 10^{-2}$  복소 필터 뱅크와 간섭제거기를 모두 채용할 때 오류이  $3.51 \times 10^{-5}$ 이고 복소 필터 뱅크만을 채용할 경우에는  $1.15 \times 10^{-2}$ 이고 간섭제거기만을 채용할 경우에는  $6.87 \times 10^{-4}$ 오류를 보인다.

그림 6는 CDMA 사용자수( $M$ ) 50명일 때 NI가 10개 존재하는 경우 AWGN과 MAI 및 NI환경에서 DS-CDMA/TDMA 주파수 혼용시스템의 오류 특성을 나타낸 것으로, 복소 필터 뱅크와 간섭제거기를 모두 채용하여 오류 특성이 현저하게 개선된다.  $E_b/N_0$

=10[dB]이하에서는 복소 필터 뱅크와 간섭제거기를 모두 채용할 때 오율이  $1.83 \times 10^{-5}$ 이고 복소 필터 뱅크만을 채용할 경우에는  $1.01 \times 10^{-2}$ 이고 간섭제거기만을 채용할 경우에는  $1.44 \times 10^{-4}$ 이다. 그림 5와 달리 NI가 감소하여 간섭제거기가 보다 효과적인 것을 알 수 있는데 MAI가 NI보다 적기 때문에 간섭제거기로는 NI를 제거할 수 없기 때문에 NI가 증가하면 간섭제거기의 성능은 열화 한다. 처리이득은 127로 하고 DS-CDMA 신호 대 NI의 전력비를 0[dB]로 한다.

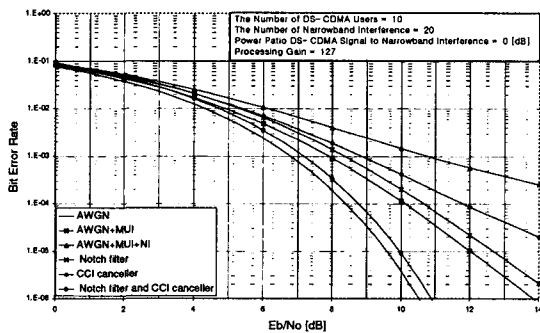


그림 4. AWGN과 MAI 및 NI환경에서 DS-CDMA/TDMA 주파수 혼용시스템의 오율 특성 I

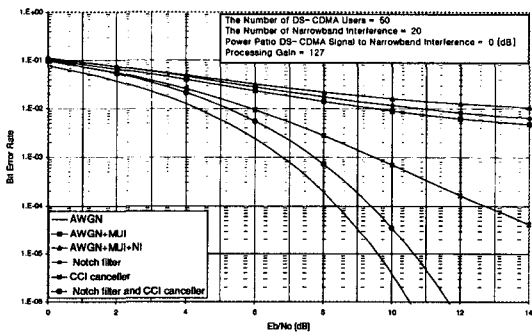


그림 5. AWGN과 MAI 및 NI환경에서 DS-CDMA/TDMA 주파수 혼용시스템의 오율 특성 II

#### N. 결론

본 논문에서는 AWGN과 MAI 및 NI환경에서 복소 필터 뱅크에 의한 NI를 제거하는 방법과 CDMA에서 간섭제거기에 의한 MAI를 제거하는 방법을 직렬로 접속하여 DS-CDMA/TDMA 주파수 혼용 시스템에 이론적으로 적용하였다. NI와 MUI가 거의 완벽히 제

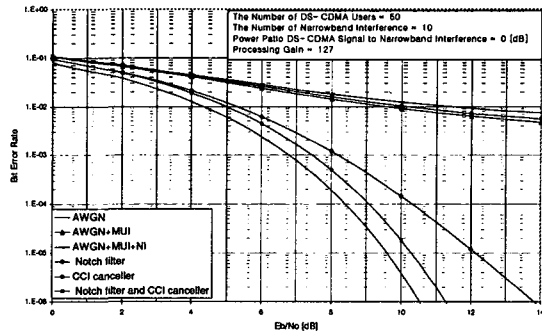


그림 6. AWGN과 MAI 및 NI환경에서 DS-CDMA/TDMA 주파수 혼용시스템의 오율 특성 III

거됨으로써 AWGN환경의 오율특성에 접근함을 알 수 있다. DS-CDMA 신호의 손실을 최소화하고 NI의 완전히 제거하는 필터 기법에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

#### V. 참고문헌

- [1] R. L. Pickholtz, L. B. Milstein and D. L. Shilling, "Spread Spectrum for Mobile Communication", IEEE Trans. on Vol. Technol, Vol. 40, No. 2, May. 1991.
- [3] R. L. Pickholtz, D. L. Shilling, L. B. Milstein, "Theory of Spread Spectrum Communication-A Tutorial", IEEE Trans. on Commun, Vol. COM-30, No. 5, May. 1982.
- [3] H. H. Hmimy, S. C. Gupta, "Overlay of Cellular CDMA on AMPS Forward and Reverse Link Analysis", IEEE Trans. Veh. Technol, Vol. 45, No. 1, Feb. 1996.
- [4] T. Adachi, M. Nakagawa, "Spread-Spectrum Sharing Using Comb Spectrum Structure in a Microcell/Microcell Cellular Architecture" IEICE Trans. on. Commun., Vol. E79-B, No. 10 Oct. 1996.
- [5] H. V. Poor and L. A. Rusch, "Narrowband Interference Suppression in Spread Spectrum CDMA," IEEE Personal Communications, Vol. 1, No. 3, pp. 14-27, 1994.

- [6] P. P. Vaidyanathen, "Multirate Digital Filters, Filter Banks, Polyphase Networks, and Applications: A Tutorial", Proceedings of The IEEE, Vol. 78, No. 1, Jan. 1990.
- [7] M. B. Pursley, "Performance Evaluation for Phase-Coded Spread-Spectrum Multiple-Access Communication-Part I: System Analysis," IEEE Trans. Commun. Vol. COM-25, No. 8, Aug. 1977.



백승선 (Seung-Sun Baek)  
1988.2 단국대학교 대학원 전자공학과 공학석사  
1997 - 현재 전주공업대학교 정보통신과 부교수

[관심분야] 무선통신, 이동통신 및 위성통신, 멀티미디어 통신, 무선광통신



강희조(Heau-Jo Kang)  
1994. 2 한국항공대학교 항공전자공학과 공학박사  
1994. 7 ~ 1995. 12 전자통신연구원 위성망 연구소 초빙연구원  
1996. 8 ~ 1997. 8 오사카 대학교 공학부 통신공학과 객원교수

1998. 3 ~ 1998. 8 전자통신연구원 무선이동 위성 통신 시스템 연구소 초빙연구원

2000. 6 ~ 현재 한국전자파학회 호남지부 지부장  
1999.12 ~ 현재 동신대학교 기술혁신센터(TIC) 부소장

2000. 7 ~ 현재 동신대학교 지역산업정보화센터장  
1990. 3 ~ 현재 동신대학교 전기전자공학부 교수

[관심분야] 무선통신, 이동통신 및 위성통신, 환경전자공학, 무선광통신, 밀리미터파 통신, ITS 통신시스템, 멀티미디어 통신, PELD