

Array 안테나와 간섭제거기를 채용한 비동기식 IMT-2000 시스템의 수신성능 분석

⁰왕 용 철* 우 병 훈** 이정도*** 강 희 조*
*동신대학교 전기전자공학과 **전주공업대학 정보통신과
*** (주) 에스피 컴텍 연구소

Performance Analysis of the Asynchronous IMT-2000 System Receiver with Array Antenna and CCI Canceller

⁰Yong Chul Wang* Byung Hoon Woo** Jeong Do Lee*** Heau Jo Kang*
* Dept. of Electrical & Electronic Eng., Dongshin Univ.
** Dept. of Information & Communication Eng., Jeonju Technical College.
*** SP Com Teach co., LTD

요 약

본 논문은 광대역 무선통신환경에서 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에 기반한 비동기 IMT-2000 시스템의 송수신 시스템을 구성하여 기지국의 수신성능을 분석한다. 이동국과 기지국간의 Uplink채널 환경을 고려하였으며, 다중경로 페이딩(Multi-path Fading)채널과 다중접속간섭(Mult-Access Interference : MAI)에 의한 성능열화의 대책으로 Adaptive array 안테나와 동일채널 간섭제거기(Co-Channel Interference Canceller : CCI Canceller)를 직렬로 채용하였을 경우의 수신성능을 수치해석을 통하여 분석하였다. Adaptive array 안테나는 방향성(Directivity: D=2.67)을 이용하는 3-element array 안테나를 채용하였으며 성능분석 결과, Adaptive array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 연결하였을 경우 다중접속간섭이 효과적으로 감소하여 수신성능이 큰 폭으로 향상됨을 알 수 있었다.

1. 서 론

이동전화망은 음성 서비스를 위주로하는 제3세대 아날로그 방식(AMPS)에서 음성·저속 데이터(9.6Kbps, 14.4Kbps)를 제공한 제2세대 디지털 방식(IS-95A, B)으로 발전했다. 지금은 모든 통신사업자들의 관심 대상인 위성과 육상을 포함하는 IMT-2000이란 제3세대 방식으로 진화해 나가고 있다. 제2세대에서 제3세대로의 이행은 현재의 네트워크 및 주파수를 활용하여 점진적으로 데이터 속도를 높여가는 업그레이드형 접근 방법과 새로운 네트워크 및 고대역 주파수를 활용하여 직접 고도화된 고속 데이터 서비스로 진화하려는 혁신적 접근방법이 있다. 또한, 제4세대망으로 2Mbps의 대역폭 제한이 없는 광대역 멀티미디어 응용과 광대역 무선 인터넷 접속을 가능하게 하는 MEDIAN·BAHAMA·AWA 프로젝트 등이 연구되고 있다. IMT-2000을 통해 하나의 단말기를 지니고 세계 어느 지역에서나 통화가 가능한 Terminal mobility가 실현되고, 지능망인 UPT(Universal personal Telecommunication) 서비스를 통해 언제·어디서나·어떠한 단말도 이용할 수 있는 Personal mobility가 실현될 것이다. 완벽한 개인 이동성은 지능망을 기반으로 구축된 이러한 망들이 결합될 때 비로소 이룩된다. 현재 IMT-2000의 고유 서비스로는 위치정보서비스·무선호출서비스·메시지서비스·트래픽 및 합병서비스 등이 있다. 초기의 IMT-2000은 셀룰러·PCS가 공존하는 상태에서 가능한 서비스가 제공될 것이고, 본 제도에 이르면 최대 2Mbps 이하의 육상 서비스와 16Kbps의 위성 서비스가 제공될 것이다[1].

이동통신 시스템의 성능과 수용용량에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 다중경로 페이딩과 다중접속 간섭에 의한 성능열화

가 주요인이다. 이동통신에서 전송로를 통과한 다중파는 다중경로 페이딩과 다중경로 간섭을 받게 되므로 수신전력 레벨이 불규칙적으로 변동하게 되어, 멀티미디어 디지털 전송 시스템 설계에 있어서 큰 문제점이 된다. 다중경로 페이딩 환경에서는 수신 전제강도 레벨이 수신기의 열잡음 레벨 가까이 열화되고, 고속 디지털 전송시 지연시간이 길어져 전송대역에 주파수 선택성 페이딩이 발생되어 전송특성이 열화된다. 따라서, 고속 고품질 디지털 전송을 실현하기 위해서는 수신전제강도 레벨저하에 대한 열화보상과 다중경로 페이딩 대책이 불가피하다[2].

본 논문에서는 3GPP에 제안된 표준안을 기초로 송수신 시스템을 구성하고, 페이딩 환경에서 MAI를 감소시키기 위한 방안으로 수신단에 방향성(Directivity : D=2.67)을 이용하는 3-element array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 연결하여 성능 분석을 행하였다. 참고로 Adaptive array 안테나의 빔 방향을 적응 알고리즘(Adaptive algorithm)에 의해 유동적으로 변화시키지 않고 안테나의 방향성만을 고려하였다.

2. 시스템 모델

W-CDMA 시스템 구조는 그림 1과 같이 대역확산 시스템의 구조를 가지며, 비동기식 IMT-2000시스템 자체는 무선접속방식으로 W-CDMA방식을 충족하는 형태이므로, 본 논문에서는 비동기식 DS-SSMA/QPSK 시스템의 역방향 링크전송을 가정하며, 채널모델은 송수신간에 하나이상의 다중경로 채널이 존재하는 무선채널을 고려한다.

2.1 시스템 해석 모델

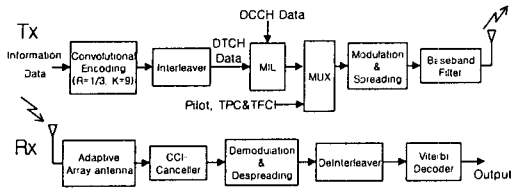


그림 1. W-CDMA 시스템모델

IMT-2000 시스템은 데이터 전송시 데이터를 다중화하여 이용하므로 사용자의 정보 데이터가 물리 채널로 맵핑되는 과정이 다양하게 존재한다. 본 논문에서는 Uplink DPDCH/DPCCH(32sbps) 채널 송신 모델을 고려하였다. 고려되어진 시스템 모델은 정보 비트의 오차 확률을 측정하기 위한 입력을 DTCH로부터 받고 컨벌루션 코딩, interleaving을 거친 후 DCCH 데이터와 multiplexing 된 후 2차 interleaving을 시키게 된다. 이후 물리 채널로의 맵핑시 TPC, TFCL, Pilot 심볼과 규격에서 정해진 패턴으로 multi-plexing한 후 spreading 코드와 scrambling 코드를 이용하여 확산한다. Data modulation은 dual channel QPSK 형태로서 I와 Q 채널에 해당 channelization code로 확산된 신호가 BPSK로 변조되어 들어와서 complex 신호로 변환되며 각 이동 단말을 구별하기 위한 scrambling code로 complex scrambling이 수행된 후 Base band 필터를 거친후 무선채널로 전송된다. 이렇게 변조되어 송신된 신호는 페이딩채널과 다중접속 간섭환경을 거쳐 수신되는데 수신기는 송신기와 반대과정인 복조를 하게된다.

수신기는 Adaptive array 안테나와 간섭제거기가 직렬로 연결된 시스템에 입력된 후 송신기의 반대과정으로 데이터를 복원하게 된다.

본 논문에서 해석하는 3GPP가 제안한 IMT-2000 시스템의 Layer1과 Layer2 처리를 위한 채널 구조는 기본적인 3가지 채널로 정의된다[3].

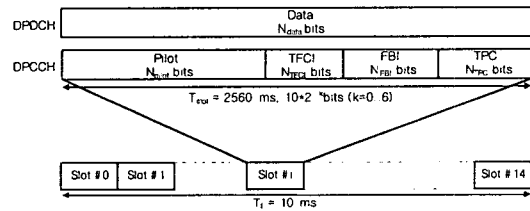


그림 2. Uplink 물리 채널 구조

- Logical 채널 : Layer2/MAC에 의해 상위 Layer로 전달
- Transport 채널 : Layer1에 의해 Layer2/MAC으로 전달
- Physical 채널 : Layer1에서 다루어지는 채널.

Logical 채널은 전송되는 정보의 종류에 의해 정의된다. Transport 채널은 데이터 특성과 전송방법에 의해 정의되는 채널로서 일반적으로 2 그룹으로 구분된다.

- Common 채널 : 특정 MS로의 정보 전송시 MS의 인증이 필요.
- Dedicated 채널 : MS가 물리채널, 즉 코드 혹은 주파수에 의해 확인됨.

Physical 채널들은 Radio frame, 그리고 Time slot의 Layer 구조로 이루어진다. 물리 채널의 심볼 전송율에 따라 Radio frame과 Time slot의 구성이 바뀐다.

Radio frame은 15개의 Time slot으로 이루어진 처리 단위이다. Time slot은 정보 심볼들의 구성 단위로 Time slot 당 심볼의 수는 물리 채널에 의해 결정된다. 심볼은 다수의 칩들로 구성되는데, 이는 물리 채널의 확산 값과 동일하다. 그림 2는 Uplink의 물리 채널 구조를 나타낸다.

2.2 Adaptive array 안테나 기법

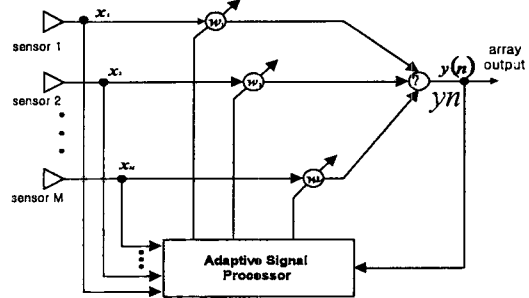


그림 3. M개의 element를 갖는 Adaptive array 안테나 구조

Adaptive array 안테나 기법은 방향성을 이용, 희망신호와 간섭신호의 방향에 따라 적응적인 빔 형성을 통해 희망신호의 이득을 높여줌으로써 수신 신호의 성능을 향상시킨다.

빔 패턴 $A(\theta)$ 는 희망신호의 방향으로 beam-forming되고 간섭신호의 방향으로 null-steering 되도록 안테나 element에 의해 형성되는 beam의 형태를 말한다. 따라서 빔 패턴은 셀 내 희망신호의 이동과 간섭신호의 분포정도 및 수신 신호의 세기에 따라 순시적으로 변동하게 된다. 본 논문에서는 셀 내에 사용자가 일양하게 분포하고 기지국과 이동국 사이에 전력 제어가 완벽하게 이루어진다고 가정한다. 또한, 빔 패턴의 구성은 수평방향만 고려한다. 이대의 빔 패턴은 $0^\circ \sim 360^\circ$ 까지 정규화된 형태로 간주될 수 있다. 정규화된 빔 패턴 $G(\theta)$ 와 그에 따른 방향성(D)은 다음과 같다[4],[5].

$$G(\theta) = 10 \log_{10} \left\{ \frac{|A(\theta)|^2}{M^2} \right\} \text{ [dB]} \quad (1)$$

$$D = \frac{2\pi}{\int_0^{2\pi} G(\theta) d\theta} \quad (2)$$

단, $A(\theta)$: 빔 패턴, M : 안테나 element 수,

D : Directivity .

방향성 D 는 안테나의 최대 방사 밀도 방향의 방향이득을 말하며, 본 논문은 T. S. Reppaport의 결과[4]와 같이 2.67인 경우를 고려한다.

2.3 동일채널 간섭제거 (CCI cancellation) 기법

그림 4는 동일채널 간섭제거기를 채용하는 수신기 모델을 나타낸다.

수신 시스템의 동기 및 각 사용자의 시간지연 ($T - \tau_k$)에 대한 조정은 완벽하다고 가정한다. 그림 4에서 기준 사

용자 이외의 다른 사용자의 신호성분은 각 지로에서 각 사용자마다 고유하게 할당된 PN 코드 (PN₂, ..., PN_K)로 역확산하여 hard decision 이후에 다시 동일한 PN 코드에 의해 확산된다. 이 확산된 다른 사용자의 신호 (s₂, ..., s_K)를 T 시간 만큼 지연된 원래의 수신 신호 (s_r)에서 빼줌으로써 MAI가 제거된 s_c를 얻게된다. 이때 수신 신호 s_r을 구성하고 있는 신호 s₂, ..., s_K에 비트 에러가 발생하지 않았다면 MAI는 완벽하게 제거된다 [6].

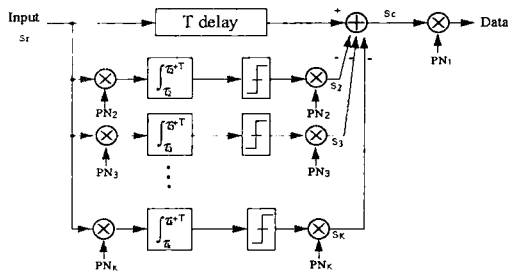


그림 4. 동일채널 간섭제거기 구조

2.4 컨벌루션 부호화 기법

본 논문에서 적용하는 컨벌루션 부호로는 비동기식 IMT -2000 시스템의 역방향 링크에서 사용되고 있는 부호율이 1/3이고 구속장이 9인 것을 이용한다. 부호율 1/3이고 구속장 9인 컨벌루션 부호에 대응되는 전달함수 $T(D)$ 는 다음과 같다[7].

$$T(D) = 5D^{18} + 7D^{20} + 36D^{22} + 85D^{24} + 204D^{26} + 636D^{28} + 1927D^{30} + 5416D^{32} + 15769D^{34} + \dots \quad (3)$$

$$\frac{dT(D, N)}{dN} \Big|_{N=1} = 11D^{18} + 32D^{20} + 195D^{22} + 564D^{24} + 1473D^{26} + 5129D^{28} + 17434D^{30} + 54092D^{32} + 171117D^{34} + \dots \quad (4)$$

3. 무선통신 채널 환경

3.1 페이딩 채널 환경

페이딩 채널의 임펄스 응답이 존재하는 구간 간격이 한 칩 이내인 경우를 Flat 페이딩이라 하며, 가시거리(LOS : Line of sight) 경로의 존재 여부에 따라 수신 신호의 통계적인 특성은 레일리(Rayleigh), 혹은 라이시안(Rician) 분포로 모델링된다. 송신측으로부터 경로 신호 중 직접적인 경로가 존재하지 않는 경우, 즉 도시 환경과 같이 송신측과 수신측이 건물에 의해 가려져 직접적인 경로가 없는 경우는 수신 신호의 수신 진폭은 다음 식과 같은 레일리 분포의 통계적 특성을 가진다[8].

$$p(R) = \frac{R}{S} \exp\left(-\frac{R^2}{2S}\right), 0 \leq R \leq \infty \quad (5)$$

단, S : 수신 평균 전력

반면 교외 지역과 같이 송신측과 수신측 사이에 직접적인 경로가 존재하는 경우는 식 (6)과 같은 라이시안 분포로 모델링된다[7].

$$p(R) = \frac{R}{S_r} \exp(-K) \exp\left(-\frac{R^2}{2S_0}\right) I_0\left(R\sqrt{\frac{2K}{S_r}}\right), 0 \leq R \leq \infty \quad (6)$$

식(6)에서 $I_0(\cdot)$ 는 첫 번째 종류의 0차인 수정된 Bessel 함수이며, K는 S₀를 신호성분이 가장 강한 경로의 평균전력, S_r를 나머지 경로들의 평균 전력으로 표현했을 때 S₀/S_r에 해당하는 파라미터이다. 즉 직접파 대 반사파의 비를 나타낸다.

3.2 다중 접속 간섭 채널 환경

기지국과 이동국간에 완벽한 전력제어(power control)와 간섭신호도 기준신호와 같은 크기의 전력제기와 경로 손실을 갖는다고 고려한다면, 기준 사용자 이외의 다른 사용자에 의한 MAI는 가우시안 랜덤 변수로 간주할 수 있다. 따라서 간섭신호의 전력 스펙트럼 밀도를 N_i라고 하면 $\sigma_i^2 = N_i/2$ 이므로 하나의 간섭신호가 MAI에 기여하는 정도는 다음과 같다.

$$MAI = N_i = \frac{2}{3N} E_b \cdot \rho^2, \quad (7)$$

단, ρ : 송신 신호의 순시 진폭.

그러므로 모든 사용자의 간섭을 고려한 DS/CDMA 시스템의 신호 대 잡음비 ($\gamma_s = SNR_{DS}$)는 다음과 같다.

$$SNR_{DS} = \frac{E_b \cdot \rho^2}{\frac{2(K-1)}{3N} E_b \cdot \rho^2 + N_o}, \quad (8)$$

단, N : PN 코드 길이, K : 사용자수,

4. 계산결과 및 검토

본 장에서는 다중경로 페이딩 환경에서 DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능과 성능개선 기법으로써 array 안테나와 간섭제거기를 독립적으로 채용한 경우, array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 연결하였을 경우의 성능개선 정도를 수치계산을 통해 비교·분석하였다. 표 1은 본 논문의 성능분석을 위한 파라미터를 나타내며 그림 5-7은 Indoor, Outdoor to Indoor, Vehicular 환경에서의 성능분석 결과를 보여준다.

표 1. 성능분석 파라미터

Modulation	DS-CDMA/QPSK
Bandwidth	5MHz
Length of PN Code (N)	31
convolution coding	R=1/3, k=9
Number of User	3
Racian Factor (kr)	0, 5, 10 [dB]

그림 5는 Indoor환경에서 표준안에 기초한 컨벌루션 부호화 및 제안된 3-element array 안테나와 간섭제거기를 독립적으로 채용한 경우와 직렬로 접속한 경우의 DS-CDMA/QPSK 시스템의 수신성능을 분석하였다. 페이딩 환경과 간섭제거기만을 채용했을 경우에는 Eb/No=20[dB]에서도 멀티미디어 서비스기준인 10⁻⁶을 달성할 수 없었다. 하지만 array 안테나만을 채용한 시스템에는 Eb/No=약 12.5[dB], array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 접속했을 경우 Eb/No=약 10[dB]에서 10⁻⁶을 달성할 수 있었다.

그림 6은 Outdoor to Indoor 보행자 이동환경에서 동일조건으로 DS-CDMA/QPSK 시스템의 수신성능을 분석하였다.

Indoor 환경처럼 페이딩 환경에서는 멀티미디어 서비스를 할 수 없었으며 array 안테나와 간섭제거기를 독립적으로 채용하였을 경우 약 $E_b/N_0=8.8, 11[\text{dB}]$ 에서 10^{-6} 을 만족할 수 있었다. array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 접속하였을 경우에는 약 $E_b/N_0=7.5[\text{dB}]$ 에서 10^{-6} 을 만족하였다.

그림 7은 Vehicular 및 High antenna 차량 이동 환경에서 동일조건으로 DS-CDMA/QPSK 시스템의 수신 성능을 분석하였다. 해석결과 모든 환경에서 멀티미디어 서비스를 만족할 수 있었으며 array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 접속하였을 경우와 페이딩환경일 경우 BER 10^{-6} 을 기준으로 할 때 약 $6[\text{dB}]$ 정도의 성능개선이 있었다.

결과적으로 array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 채용한 구조에서 array 안테나는 희망신호와 다른각도로 수신되는 간섭신호를 억압하고, 잔여간섭신호 및 희망신호와 동일각도로 수신되는 간섭신호는 동일채널 간섭제거기에서 제거함으로써 다중접속간섭을 효과적으로 감소시킬 수 있었다. 이는 그림 5~7에서 array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 채용한 경우와 array 안테나만을 채용했을 경우 성능분석에서 BER 10^{-6} 을 기준으로 할 때 $1\sim 1.5[\text{dB}]$ 의 성능개선이 있음을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 IMT-2000 시스템 표준안을 기초로 송수신 시스템을 구성하여 광대역 무선채널 환경 및 다양한 시스템 운용환경에서 시스템 성능을 분석하였다. 수신 성능의 개선을 위하여 다중접속간섭을 감소시키는 방안으로 Adaptive array 안테나(방향성: 2.67)와 간섭제거기를 직렬로 연결하는 시스템을 적용하였으며, 표준안에 기초한 권별루션 부호화기법을 사용하였다.

Adaptive array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 채용함으로써 array 안테나는 희망신호와 다른각도로 수신되는 간섭신호를 1차적으로 제거하고, 간섭제거기는 잔여간섭신호 및 희망신호와 동일한 각도로 수신되는 간섭신호를 2차적으로 제거하여 멀티미디어 서비스 기준인 BER 10^{-6} 의 오율기준을 만족시킬 수 있었다. 결과적으로 고려되어진 환경에서 array 안테나와 간섭제거기를 동시에 채용한 시스템 구조는 IMT-2000 수신시스템으로 적합함을 알 수 있었다.

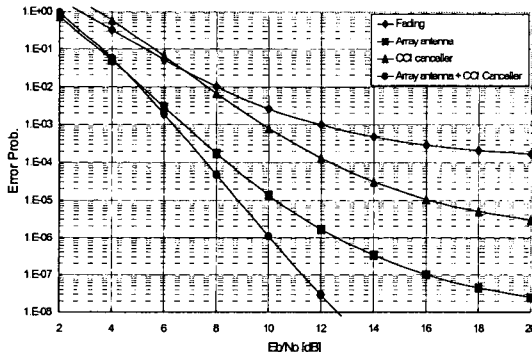


그림 5. Indoor 환경에서 IMT-2000 시스템의 수신성능분석 ($K_r=0[\text{dB}]$)

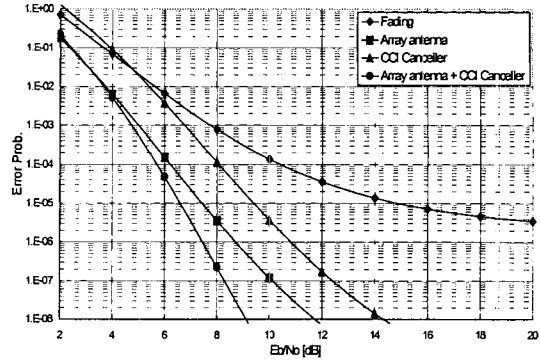


그림 6. Outdoor to Indoor 환경에서 IMT-2000 시스템의 수신성능분석($K_r=5[\text{dB}]$)

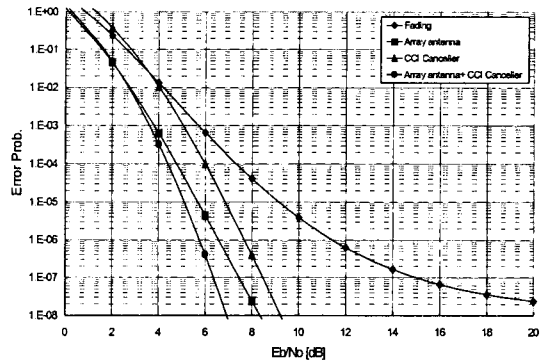


그림 7. Vehicular 환경에서 IMT-2000 시스템의 수신성능분석($K_r=10[\text{dB}]$)

<본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: 2000-1-30200-009-1) 지원으로 수행되었음>

[참고문헌]

- [1] 전자신문, "IMT-2000과 통신분야의 변화," 2000년 3월28일.
- [2] 이정도, "다중반송파 변조를 이용하는 고속 디지털 전송 시스템에 관한 연구," 동신대학교 전기전자공학과 박사학위논문, 2000년 2월.
- [3] 3G, TS 25.211 V3.2.0, Mar. 1999.
- [4] J. C. Liberti, Jr. and T. S. Rappaport, "Analytical results for capacity improvements in CDMA," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, no. 3, pp. 680-690, Aug. 1994.
- [5] J. Litva and T. K. Lo, *Digital Beamforming in Wireless Communications*, Artech House, Inc. 1996.
- [6] S. Tachikawa, "Characteristics of M-ary/spread spectrum multiple access communication systems using co-channel interference cancellation techniques," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E76-B, no. 8, pp. 941-946, Aug. 1993.
- [7] L. Jhong Sam and L. E. Miller, *CDMA System Engineering Handbook*, Boston · London, Artech, 1998.
- [8] Proakis, J. G., *Digital Communications*, NewYork, McGraw-Hill, 1983.
- [9] 3GPP, TS25. 101 UE Radio Transmission and Reception.