

이동통신로의 통신로 용량

○ * ** *
고 봉 진, 노 재 성, 조 성 준

* 한국항공대학 항공통신정보공학과
** 동양전자통신주식회사 중앙연구소 무선 통신실

Channel capacity in mobile communication channel

○ * ** *
Bong Jin KO, Jae Sung RHO, Sung Joon CHO

* Dept. of Telecomm. & Inform. Eng., Hankuk Aviation Univ.
** OTELCO R&D Center

Abstract : We have derived the channel capacity of mobile communication channel in m -distribution fading which covers various fading including Rayleigh fading. And the degradation of channel capacity due to correlation between two diversity branches has been calculated for the case of maximum ratio combining technique. The obtained channel capacity is represented in figures as function of carrier to noise ratio, the fading figures and power correlation coefficient between two diversity branches.

1. 서 론

통신로상에서 신호의 전송대역이 무한대이거나 또는 잡음이 존재하지 않는다면 단위시간당 무한대의 정보를 전송할 수 있다. 그러나 실제의 전송로에서는 전송대역이 제한되어 있고 언제나 잡음이 존재한다. 대역 B와 신호전력 S가 모두 제한되어 있고 잡음 N이 존재하는 통신로의 통신로 용량 C는 다음과 같이 나타내진다[1], [2].

$$C = B \log_2(1 + S/N) \quad [\text{bits/sec}] \quad (1)$$

통신로 용량이란 주어진 통신로에서의 정보 전송율의 상한치를 나타내는데 이동 통신로와 같은 페이딩 환경에서는 페이딩의 강약에 따라 통신로 용량 즉 정보의 최대 전송율이 달라지게 되며 이는 가변용량 전송방식[3]등에 있어서 중요한 파라미터가 된다.

렉일리 페이딩하에서 육상 이동 통신로에 대한 통신로 용량은 기존에 Lee[4]가 구한 바가 있는데 본 논문에서는 레

일리 페이딩을 포함하는 일반적인 페이딩 모델로서 나카가미의 m -분포 페이딩을 도입하여 여러가지 페이딩 환경하에서의 통신로 용량을 구하고자 한다.

또 다이버시티 기법으로서는 Lee 논문에서와 같이 최대비 합성 기법을 채택하되 2-가지(branch) 사이의 상관의 정도에 따른 통신로 용량의 변화를 알아내고자 한다.

이와 같은 연구는 페이딩 환경하에서 통신을 행하는데 있어서 통신로 용량의 감소에 대비한 송신전력의 증가량이라든가 통신방식에서의 array수의 변경 등을 결정하는 데에 있어서 기본 자료가 될 것이다.

2. 페이딩환경하의 통신로 용량

그림 1에 페이딩 환경하의 통신로 모델을 보인다.

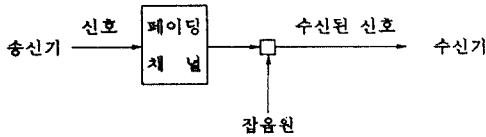


그림 1. 통신로 모델

신호가 페이딩을 받게 되면 신호대 잡음비는 일정하지 않고 시간에 따라 변화하는데 이 때의 통신로 용량은 신호대 잡음비의 관점에서 구해야 한다[4]. 따라서 신호대 잡음비를 함수로 하는 m -분포의 확률 밀도 함수를 이용할 필요가 있다[5].

$$p(\gamma) = \frac{m^m}{\Gamma(m)} \frac{\gamma^{m-1}}{r_0^m} \exp(-m\gamma/r_0) \quad (2)$$

여기서 m : 페이딩 지수,

r_0 : 신호대 잡음 전력비(=S/N),

$\Gamma(\cdot)$: Gamma 함수.

또한 레일리 페이딩의 확률 밀도 함수[6]는 다음 식과 같이 나타내지는데 이는 식(2)의 m -분포 페이딩에서 $m=1$ 일 때에 해당한다.

$$p(\gamma) = \frac{1}{r_0} \exp\left[-\frac{\gamma}{r_0}\right] \quad (3)$$

따라서 m -분포 페이딩 환경하의 통신로 용량은 식(1)에 식(2)를 적용하여 다음과 같이 신호대 잡음비(γ)에 대해 평균을 취하면 구할 수 있다.

$$\langle C \rangle = B \int_0^{\infty} \log_2(1+\gamma) \cdot \frac{m^m}{\Gamma(m)} \frac{\gamma^{m-1}}{r_0^m} \exp(-m\gamma/r_0) d\gamma \quad (4)$$

윗 식을 수치 계산하여 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서의 통신로 용량은, 대역폭 B로 정규화 시킨 값인데 실제의 통신로 용량은 그림에서의 통신로 용량값에 대역폭 B를 곱한 값이 된다. 그림 2에서 $m=1$ 일때가 레일리 페이딩의 경우로서 통신로 용량이 제일 적고, m 값이 커질수록 즉 페이딩이 약해 질수록 잡음만이 존재하는 통신로 용량에 접근해 간다는 것을 알 수 있는데 $m=20$ 에서는 거의 잡음만이 존재하는 통신로 용량에 근접한다. 신호대 잡음 전력비가 각각 10[dB], 20[dB], 30[dB]일 때의 통신로 용량을 표 1에 나타내었다.

표 1. m -분포 페이딩 환경하의 통신로 용량

신호대 잡음 전력비		10[dB]	20[dB]	30[dB]
통신로 용량	가우스 잡음	3.46 B	6.66 B	9.97 B
	m -분포 페이딩($m=20$)	3.43 B	6.62 B	9.93 B
	레일리 페이딩($m=1$)	2.91 B	5.88 B	9.14 B

신호대 잡음비가 10[dB]인 경우, 가우스 잡음만의 통신로 용량과 레일리 페이딩 환경하에서의 통신로 용량 사이에는 약 0.55 B 정도, 또 신호대 잡음비가 30[dB]인 경우는 약 0.83 B 정도의 차가 나는데 이로부터 신호대 잡음비가 클수록 페이딩의 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

3. 다이버시티기법에 의한 통신로 용량의 개선

다이버시티 기법으로서는 최대비, 등이득, 선택 합성법 등이 있으나 여기서는 이 중 성능의 개선이 가장 크다고 알려져 있는 최대비 합성 다이버시티를 고려 한다[4].

레일리 페이딩 환경하에서 2-가지(branch) 사이에 상관관계가 존재할 때, 최대비 합성 다이버시티에 대한 신호대 잡음비의 확률 밀도 함수는 다음 식과 같이 주어진다[7].

$$p(\gamma) = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \exp\left[-\frac{\gamma}{\lambda_1}\right] - \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \exp\left[-\frac{\gamma}{\lambda_2}\right] \quad (5)$$

단, $\lambda_1 = r_0(1 - |K|)$, $\lambda_2 = r_0(1 + |K|)$,

$|K|^2$ 은 상관 계수.

윗식에서 r_0 는 1-가지의 신호대 잡음비인데 2-가지의 신호대 잡음비가 서로 같다면 γ 의 평균값 $\langle \gamma \rangle$ 는 $2 \cdot r_0$ 가 되어 윗식은 다음과 같이 나타내진다.

$$p(\gamma) = \frac{2}{\lambda_1' - \lambda_2'} \exp\left[-\frac{2\gamma}{\lambda_1'}\right] - \frac{2}{\lambda_1' - \lambda_2'} \exp\left[-\frac{2\gamma}{\lambda_2'}\right] \quad (6)$$

단, $\lambda_1' = \langle \gamma \rangle(1 - |K|)$, $\lambda_2' = \langle \gamma \rangle(1 + |K|)$

따라서 식(1)에 식(6)을 적용하여 신호대 잡음비, r (=S/N)에 대해 평균을 취하면 레일리 페이딩하에서 2-가지 간에 상관관계가 있을 때의 최대비 합성 다이버시티에 의한 통신로 용량을 구할 수 있는데 다음과 같다.

$$\langle C \rangle = B \int_0^{\infty} \log_2(1+\gamma) \cdot \frac{2}{\lambda_1' - \lambda_2'} \left[\exp\left\{-\frac{2\gamma}{\lambda_1'}\right\} - \exp\left\{-\frac{2\gamma}{\lambda_2'}\right\} \right] d\gamma \quad (7)$$

윗식을 수치 계산한 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서 K2는 상관 계수로서 값이 0이면 2-가지간의 상관이 없을 때이고 상관 계수가 1에 가까워 질수록 2-가지 사이에 상관이 커질 때인데 상관이 클 때일수록 다이버시티 효과가 적어진다는 것을 알 수 있다. 신호대 잡음비, γ 가 10[dB]인 경우, 각 상관 계수에 따른 통신로 용량을 표 2에 나타내었다.

다.

표 2. 각 상관 계수에 따른 통신로 용량($\gamma=10$ [dB]일때)

상관 계수 K2	0.0	0.3	0.5	0.7	0.9
통신로 용량 C	3.17 B	3.11 B	3.06 B	3.01 B	2.95 B

그림 5에 레일리 페이딩 환경하에서 최대비 합성 다이버시티 기법을 이용하였을 때, 각 상관 계수에 따른 통신로 용량을 참고문헌[4]의 결과(branch의 수, M=2인 경우)와 대비하여 나타내었다. 그림 5에서 2-가지 사이에 상관이 없을 경우(K2=0)와 참고문헌[4]의 결과가 일치 됨을 볼 수 있다(* 표시는 참고문헌[4]의 결과임). 상관 계수에 따른 변화를 살피기 위해, 예로서 상관이 없을 때와 상관 계수가 0.9일 때를 살펴 보았는데 상관이 없을 때에 비해 상관 계수가 0.9일때의 통신로 용량이 약 0.32 B 만큼 작아진다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 레일리 페이딩을 포함하는 m-분포 페이딩 환경하에서의 이동 통신로의 통신로 용량을 구하는 식을 유도 하였는데 이로서 이동 통신로 환경(페이딩 심도와 신호대 잡음비 등)에서의 정보 전송율의 상한을 구할 수 있다.

구체적인 예로서 레일리 페이딩 환경하에서 최대비 합성법을 도입 하였을 때, 2-가지 사이의 상관 계수의 변화에 따른 통신로 용량을 수치 계산하여 그림으로 나타내고 검토

하였는데 그 결과 다음과 같은 것을 알 수 있었다.

- 1) 잡음만이 존재할 때의 통신로 용량과 레일리 페이딩과 잡음이 함께 존재할 때의 통신로 용량의 차는 신호대 잡음비가 클 때일수록 더욱 커진다.
- 2) 레일리 페이딩 환경하에서 최대비 합성 다이버시티 기법을 채용할 때, 2-가지사이의 상관이 적을 수록 더욱 큰 효과를 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] C. E. Shannon and W. Weaver, *The mathematical theory of communication*, Illinois:Illinois Univ. Press, pp.100-107, 1949.
- [2] H.Taub and D. L. Shilling, *Principles of communication systems*, New York:Mcgraw-Hill, pp.421-423, 1971.
- [3] 李煥珍, 小牧省三, 森永規彦, "타이바시受信を用いた可變容量デジタル無線傳送方式の特性,"(日本) 電子情報通信學會論文誌, vol.J75-B-11, no.5, pp.268-275, 1992年 5月.
- [4] W. C. Y. Lee, "Estimate of channel capacity in Rayleigh fading environment," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol.39, no.3, pp.187-189, 1990.
- [5] 滑川每彦, 奥井重彦, *通信方式*, 日本 東京:森北出版株式会社, pp.230, 1989年 9月.
- [6] W. C. Y. Lee, *Mobile communication design fundamentals*, Indianapolis:Howard W.Sams & Co.,pp.28, 1986.
- [7] 洪 煥 成, "디지털 移動無線通信을 위한 位相-周波數 혼합 變調 方式의 性能에 關한 研究," 한국항공대학 항공전자공학과 대학원 석사학위 논문, 1985년.

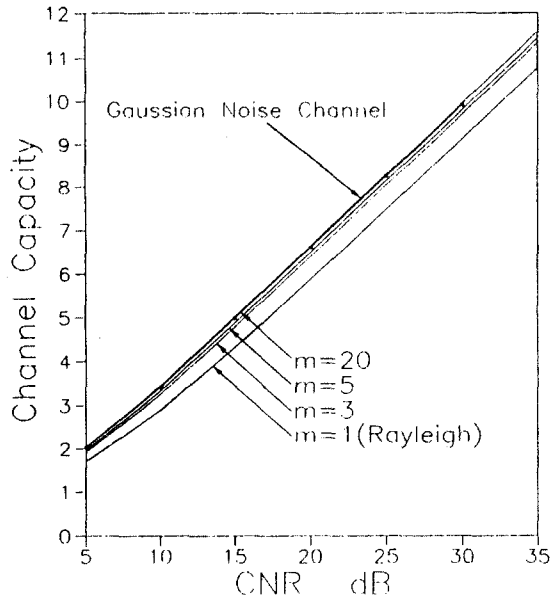


그림 2. m-분포 환경하의 통신로 용량

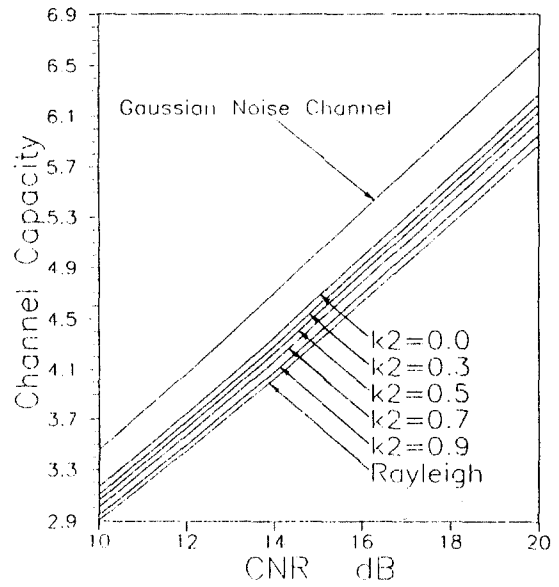


그림 3. 레일리 페이딩 환경하에서 2-가지 사이의 상관 계수의 변화에 따른 통신로 용량의 변화

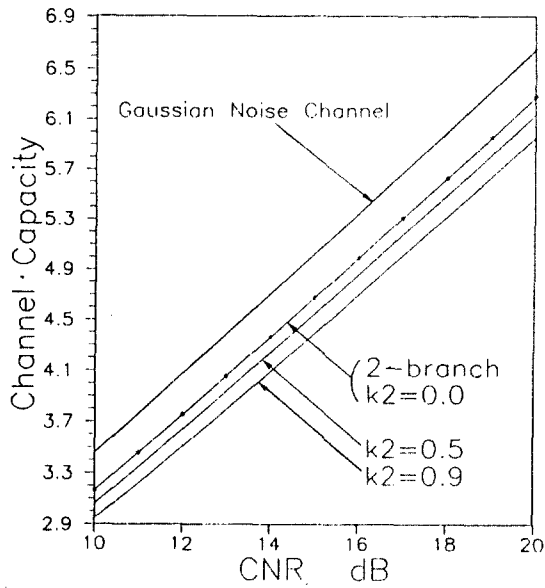


그림 4. 레일리 페이딩 환경하에서 최대비 합성 다이버시티 수신시의 2-가지 사이의 상관 계수의 변화에 따른 통신로 용량의 변화