

狭帯域移動伝搬路の位相分布特性と応用

Phase Distribution and Application in Narrow Band Mobile Radio Channels.

中嶋 健一 曾我 智之 小園 茂
Kenichi NAKAJIMA Tomoyuki SOGA Shigeru KOZONO

千葉工業大学 電気電子情報工学専攻

Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering,

Chiba Institute of Technology

〒 275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1

2-17-1, Tsudanuma, Narashino-shi, Chiba-ken, 275-0016, Japan

1. まえがき

移動通信の進歩は目覚しくデータ、動画配信など高速・大容量伝送を必要とする本格的なマルチメディア化が展開されようとしている。この次世代移動通信の無線伝送方式としてマルチチャネルによる狭帯域化によって多重伝搬路を克服する OFDM 等が研究されている^{[1]-[3]}。この OFDM 方式は、無線伝送路としては狭帯域であるが、方式として高速・大容量化を図るために一般に多チャンネル化が図られる。また、狭帯域伝送のため情報信号の 1 シンボル長が長くなる。そのため、本稿では特に DQPSK 等の差動変調時に問題になる 1 シンボル長間の無線伝送路の位相特性を検討した。伝送路は見通し内・外と広範囲として、移動に伴う 1 シンボル長間の無線伝送路の位相差の密度分布、累積分布をコンピュータシミュレーションによって明らかにしている。また、空間選択ダイバーシチを適用した場合も検討した。位相差特性の応用例として DQPSK 変調時のランダム FM 劣化による BER を位相差累積分布から推定し、その結果は信号伝送より求めた結果とよく一致した。

2. 理論検討

1) 伝搬モデル

Fig.1 に見通し内の伝搬モデルを示す。伝搬モデルは見通し内・外とし、到来波数を N 、各到来波の振幅 A_l 、通路長 L_l 、到来角 θ_l とする。通路長 L_l は最小通路長 L_{min} と最大通路長 $L_{min} + \Delta L_{max}$ の間を一樣分布する。振幅 A_l は式(1)によって指数的に減衰する。

$$A_l = \exp\{-(L_l - L_{min})/\Delta L_0\} \cdot \dots \cdot (1)$$

但し、 ΔL_{max} は最大過剰通路長、 ΔL_0 は平均通路長差を表す。また、第 1 到来波を直接波とし、その振幅は遅延波の電力和の K 倍とし、これを電力比と呼ぶ。但し K の単位は dB を用いる。到来角 θ_l は $0 \sim 2\pi$ で一樣分布する。これらの条件下の遅延プロファイル例を Fig.2 に示す。

2) 伝搬路の位相

伝搬モデルの条件下において、情報信号のシンボル長を T_s とした時、第 M シンボル後 (時間で MT_s 後) の第 l 到来波の伝搬路位相 φ_{Ml} 及びチャネルの伝搬路位相 ψ_M は次式で表せる。

$$\varphi_{Ml} = 2\pi \left\{ \left[(L_l - L_{min}) / \lambda \right] - (M f_m T_s \cos \theta_l) \right\} \cdot \dots \cdot (2)$$

$$\psi_M = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sum_{l=1}^N A_l \sin \varphi_{Ml}}{\sum_{l=1}^N A_l \cos \varphi_{Ml}} \right\} \cdot \dots \cdot (3)$$

但し、 f_m は最大ドップラー周波数。従って、第 M と $M-1$ シンボル間の位相差 $\Delta\psi$ は次式となる。

$$\Delta \psi = \psi_M - \psi_{M-1} \dots \dots \dots (4)$$

また、見通し外で振幅がレイリー分布する時の、1シンボル長間の位相差の $-\infty$ から $\Delta\psi$ までの累積値は式(5)で求められることが報告されている^[3]。但し、 $\omega_m = 2\pi f_m$ 。

$$p(\Delta\psi) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \sqrt{2} \frac{\Delta\psi}{\omega_m T_s} \left(1 + 2 \frac{\Delta\psi^2}{\omega_m^2 T_s^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \right\} \dots \dots (5)$$

3. シミュレーションと結果

3.1 シミュレーションパラメータ

シミュレーションパラメータをTable1に示す。搬送波周波数 f_c を5GHz、到来波数 N を10波、平均通路長差 ΔL_0 を200m、電力比は $K = -\infty, 0, 5, 10, 15, 20$ dB、狭帯域伝送路のバンド幅 f_0 を20kHzとする。シミュレーションは $f_m T_s$ 及び K をパラメータとして行い、 f_c が5GHzの時、 $f_m T_s = 0.01, 0.05, 0.1$ に対する移動速度 v は各々12, 60, 120 m/sである。各シミュレーション値は各伝搬路あたり1λ以上走行し、サンプル数が 10^8 個以上となるように複数の伝搬路数を繰り返して行った。このサンプルデータを基に1シンボル長間の位相差の密度分布、累積分布を作成した。

3.2 シミュレーション結果

1) 位相差の変動例

Fig.3は $f_m T_s = 0.05$ とした時の振幅、位相、位相差($\times 10$ 倍)を示し、Fig.3(a)は $K = -\infty$ dB(見通し外)、(b)は $K = 10$ dB(見通し内)の結果である。Fig.3(a)は振幅、位相、位相差が移動距離に伴って大きく変化しており、特に振幅が深く落ち込む時は位相差の変化が大きい。Fig.3(b)は(a)の様な大きな変化は見られない。これは直接波に相当する第1到来波が他の遅延波よりも非常に大きな電力を持っているため振幅、位相、位相差が主に第1到来波に支配されているためと考えられる。

2) 位相差分布特性

Fig.4は $f_m T_s$ を0.01, 0.05, 0.1として、各 $f_m T_s$ において K を $-\infty, 0, 5, 10, 15, 20$ dBと変化させた時の密度分布を示す。位相差は $0 \sim 2\pi$ を400等分(0.9度の量子化)としてデータ処理した。図から $f_m T_s$ が増加すると位相差が広範囲に分布することがわかる。また、 K が $-\infty$ と0dBではピーク1個を持ちほぼ同じ分布型となるが、5dBを越えると密度は正負対称のM型分布となって、ピークを2個持つようになる。これは K の増加に伴って第1到来波の直接波特性に近くなるためと推察される。

Fig.5はFig.4を基に作成した位相差累積分布で、Fig.5(a), (b), (c)は $f_m T_s = 0.01, 0.05, 0.1$ の各累積分布を示す。位相差累積値は K が $-\infty$ dBに比べ10dBを超えると、著しく改善されている。また、 $K = 5$ dBでも位相差 $|\pm \pi/4|$ の累積値は約半桁程度の改善となっている。Fig.5(b), (c)では0 radの近辺の正と負で累積分布が交差している点がある。これはFig.4のM型の形状によって起こるもので、位相差0rad周辺の密度が K が大きいほど小さくなるためこのような交差が生じると考えられる。そのため交差している位相差の値はFig.4のM型のピーク値による位相差とおおよそ一致する。また、各図中には、Rayleigh分布における、式(5)の理論値も示してある。各 $f_m T_s$ においてシミュレーション値と理論値はほぼ合っている。

3) ダイバーシチ適用時の位相差分布特性

Fig.6は、 $\lambda/2$ 空間選択ダイバーシチを適用した場合の密度分布を示す。図からダイバーシチを適用すると K が $-\infty, 0$ dBの位相差特性は大きく改善され、位相差0 rad付近のピーク値が高く、また、分布幅も小さくなっている。しかし、 K が5dBより大きくなるとピーク値の変化が僅かに現れる程度で、ダイバーシチによる位相差の改善効果が少なくなることが予想される。

Fig.7はFig.6を基にして作成した累積分布である。Fig.7(a),(b),(c)のすべてにおいて位相差特性は改善されているが、特に K が $-\infty, 0$ dBの時、位相差特性の改善効果が大きくなっている。 K が5dB以上で改善効果が小さくなるのは、Fig.3からもわかる様に位相差が大きく変化しないためと推察される。

4. 位相差分布特性の応用

1)伝搬路の位相差累積分布によるBER推定

伝搬路位相差の累積分布からDQPSK遅延検波を用いた時の、ランダムFM劣化によるBERの推定を試みる。この時の位相差累積分布は、遅延プロファイルによる受信電力に熱雑音を付加した時の分布を用いる。推定は以下のように行った。

DQPSKの1bit errorは位相差が+(又は-) $\pi/4$ から+(又は-) $3\pi/4$ の間にある時に生じる, 2bit errorは位相差が+(又は-) $3\pi/4$ 以上(又は以下)の時に生じる。これ以外の位相差間ではbit errorは生じない。従って, ある受信レベル(E_b/N_0)に対して求めた累積位相分布から, 上に述べた原理に基づき1bitと2bit errorの生じる確率を求め, それらを加えてBERを推定する。

2)位相差分布及び信号伝送から求めたBERの比較

Fig.8はDQPSKの遅延検波によるランダムFM劣化によるダイバーシチが無い時のBER特性を示し, Fig.8(a)は伝搬路位相差分布からのBER推定を, (b)はOFDMでサブチャネル数を256として信号伝送によるシミュレーションから求めたBERである^[4]。(a),(b)の伝搬路条件等は等しく, $f_m T_s=0.05$ とした時の結果である。両図において K が $-\infty$, 5dBの時, 約 10^{-2} 付近にフロアが現れているが, K が10dBの時は約 2×10^{-4} 付近にフロアが現れBERは2桁程度小さくなっている。図より(a)と(b)のBER特性は各 K に対してほぼ等しい値を示している。これより位相差分布を用いてBER推定が可能なのことがわかる。また, 図には熱雑音(AWGN)時のBER理論曲線も参考のために示してある^[5]。

5. まとめ

移動通信の見通し内・外の伝搬路において, 狭帯域無線チャネルの伝搬路位相特性をコンピュータシミュレーションで明らかにした。位相特性は正規化フェージング周波数 $f_m T_s$, 直接波と過剰遅延波の電力比 K (dB)をパラメータとして, 情報信号1シンボル長間の無線伝送路の位相差の密度分布及び累積分布を明らかにした。その結果, 位相差は $f_m T_s$ 及び K に大きく依存する。 $f_m T_s \leq 0.01$ の時, $K > 10$ dBでは位相差はほとんど現れないが, $K < 5$ dBになると $|\pm\pi/4|$ 以上の位相ずれの累積値は 10^{-3} 以上となる。 $f_m T_s=0.05$ になると $K \leq 10$ dBで $|\pm\pi/4|$ 以上の位相ずれの累積値は 10^{-3} 以上となる。また, $f_m T_s=0.1$ では, $K=20$ dBでも $|\pm\pi/4|$ 以上の位相ずれの累積値は 10^{-1} 以上と劣化する。

空間ダイバーシチを適用すると, $f_m T_s < 0.05$, $K=-\infty \sim 20$ dBで $|\pm\pi/4|$ 以上の位相ずれの累積値は1桁以上改善され, ダイバーシチは有効である。

また, 位相差累積分布の応用例として, OFDMにDQPSKの遅延検波を適用した場合のBER推定を試みた。位相差より推定したBERは, 信号伝送によるシミュレーションから求めたBERとよく一致し, 位相差累積分布からランダムFM劣化によるBER推定が可能なのことを示した。

参考文献

- [1]Richard van Nee Ramjee Prasad, "OFDM FOR WIRELESS MULTIMEDIA COMMUNICATIONS", Artech House Boston. London, 2000.
- [2]Leonard.J.Cimini, "Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiple access", IEEE Trans. Commun., vol.COM-33, pp.665-675, July. 1985.
- [3]Alireza Seyebi and Gary J. Saulnier, "General ICI Self-Cancellation Scheme for OFDM Systems", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. 54, No. 1, pp.198-210, Jan. 2005.
- [4]王鋭, 小園茂, "移動伝搬路の位相分布特性", 信学技報, A・P2003-170, 2003-11.
- [5]曾我智之, 山田満雄, 小園茂, "見通し内外伝搬路におけるOFDM-DQPSK BERに与えるドップラーシフトとICIの影響", 電子情報通信学会, 2005年ソサエティ大会 B-5-70.
- [6]C.R.Cahn : "Combined digital phase and amplitude modulation communication systems," IRE Trans. Commun.Syst., vol.CS-8, pp.150-155, Sept.1960.

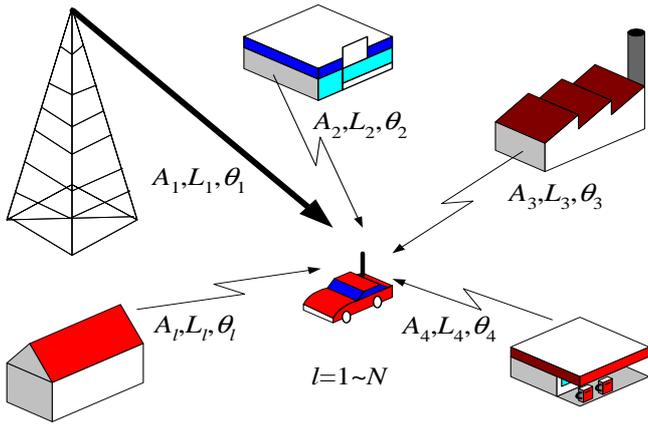


Fig.1. Propagation model(LOS).

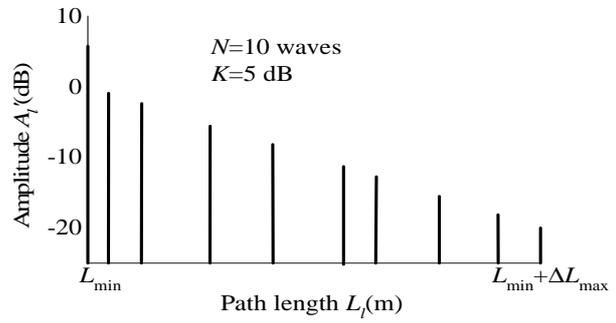
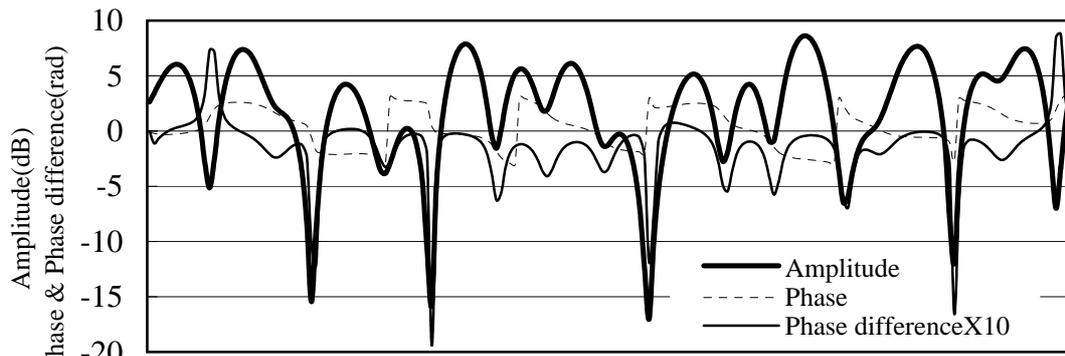
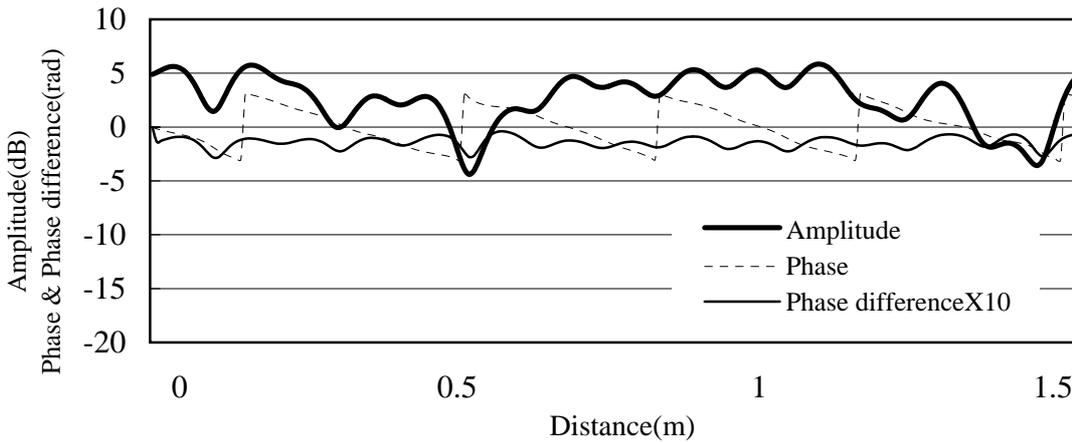


Fig.2. Example of delay profile.



(a) $K = -$ dB



(b) $K = 10$ dB

Fig.3. Example of received signal ($f_m T_s = 0.05$).

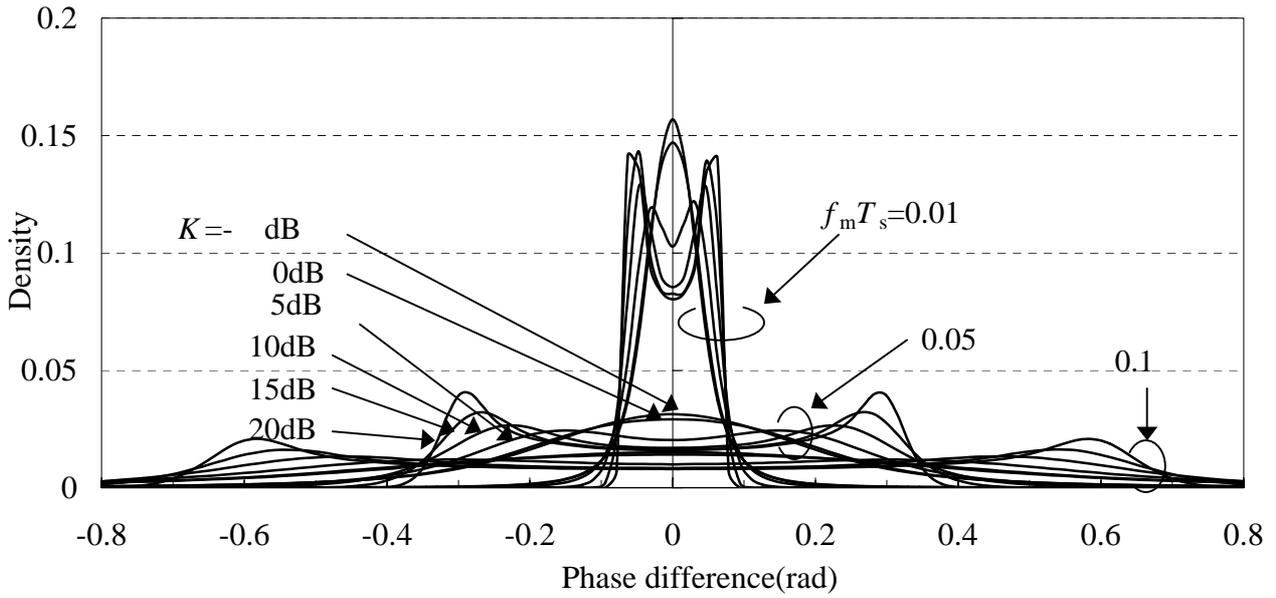


Fig.4. Phase difference density distribution.
(No diversity)

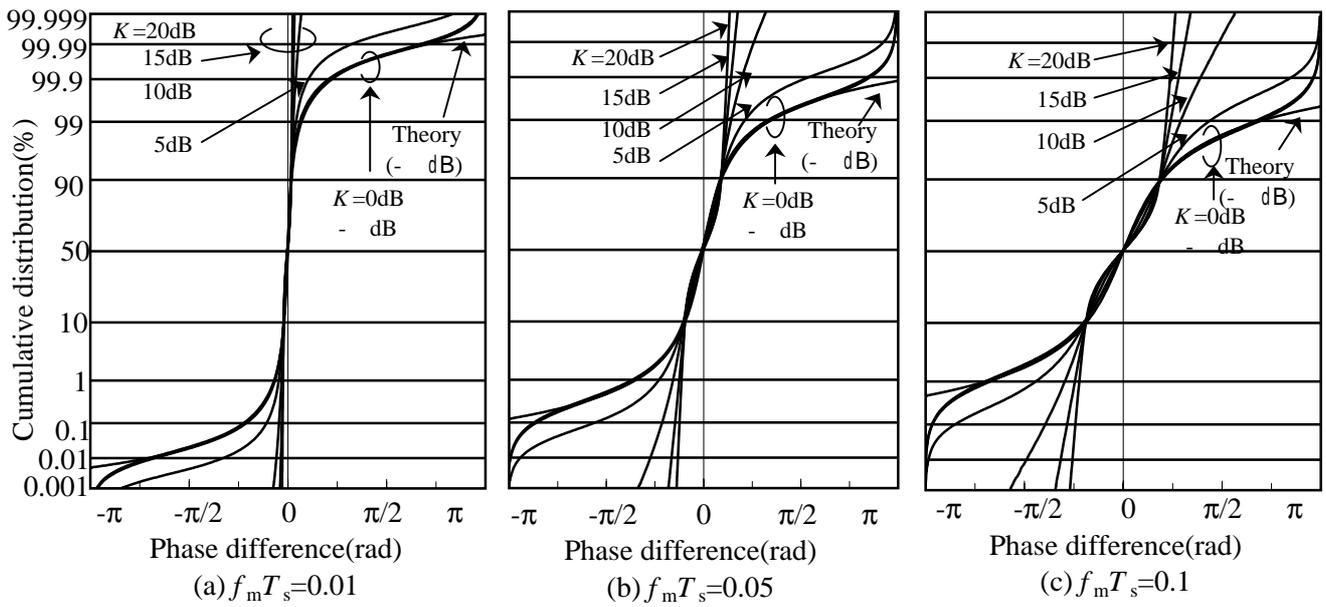


Fig.5. Phase difference cumulative distribution.
(No diversity)

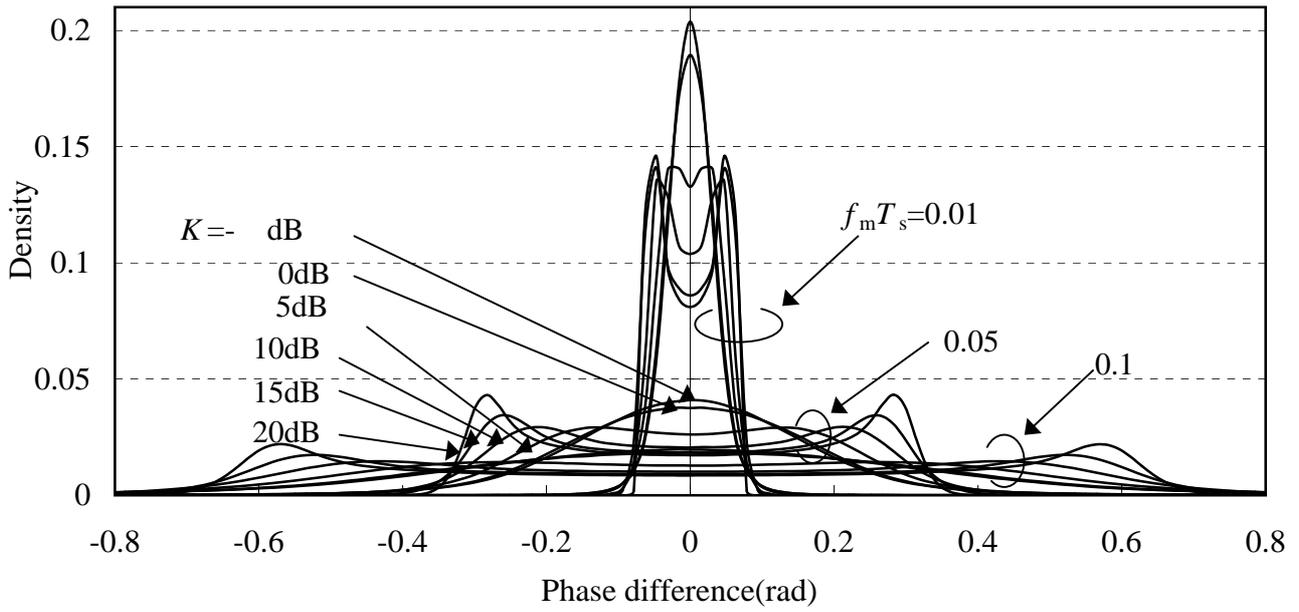


Fig.6. Phase difference density distribution.
(With diversity)

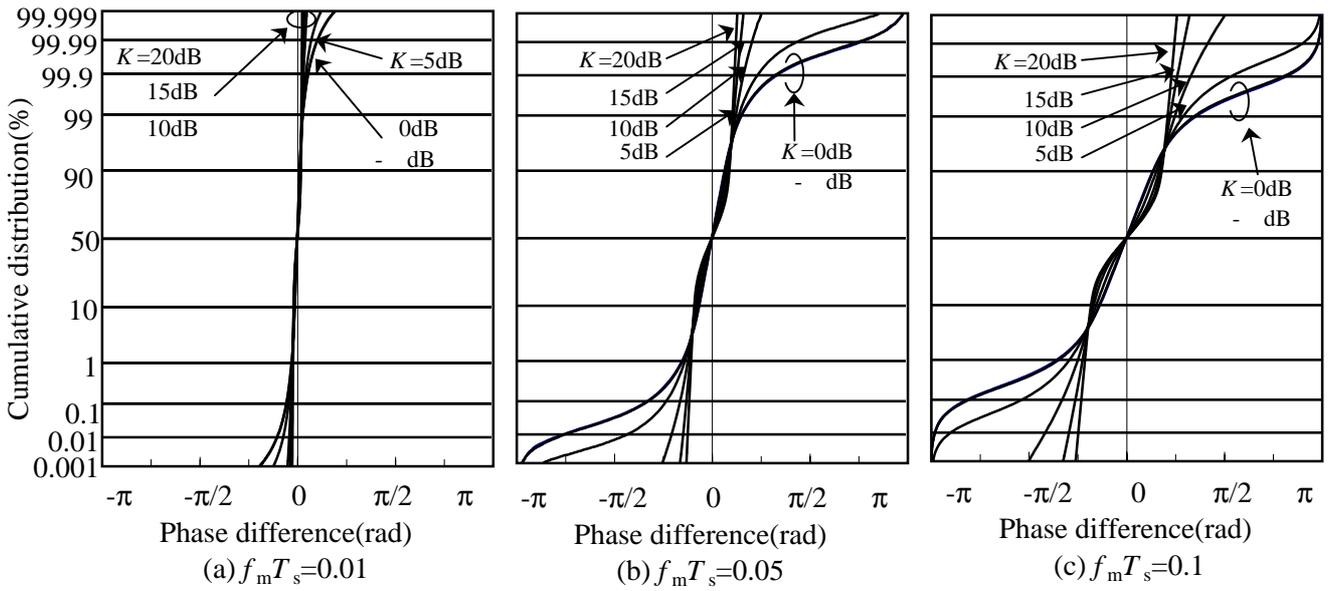


Fig.7. Phase difference cumulative distribution.
(With diversity)

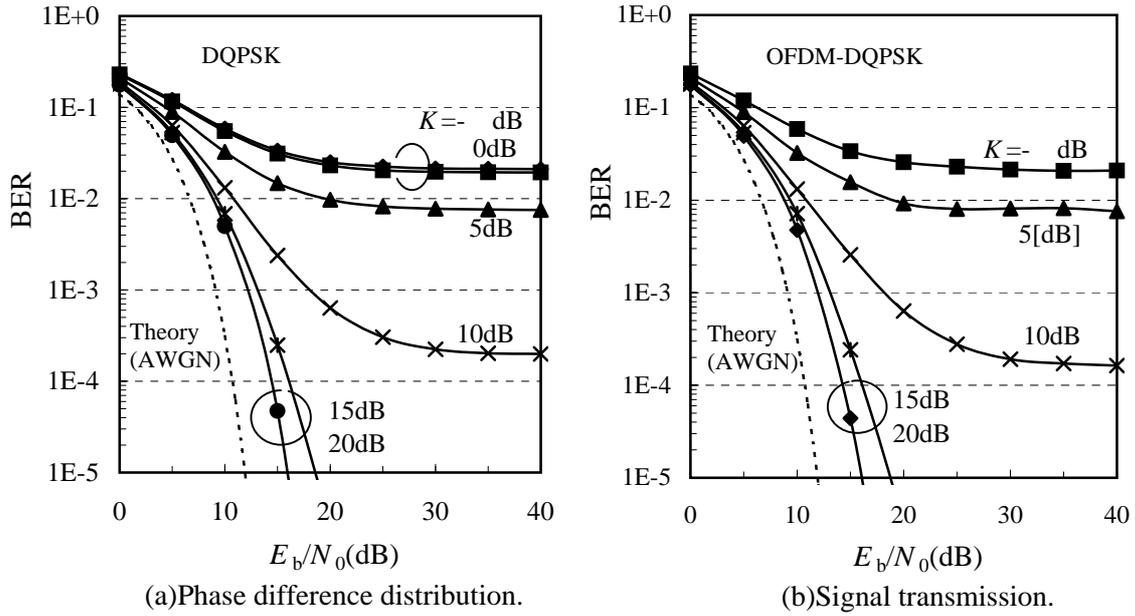


Fig.8. BER performance estimated by phase difference distribution and signal transmission (No diversity, $f_m T_s = 0.05$).

Table 1. Simulation parameters.

Propagation	Frequency f_c	5 GHz
	Number of arriving waves N	10 waves
	Ave.excess path length ΔL_0	200 m
	Arriving wave amplitude	Exponential dis.
	Power ratio K	- ,0,5,10,15,20 dB
System	Bandwidth f_0	20 kHz
	Modulation	DQPSK
	Demodulation	Delay detection
	$f_m T_s$	0.01, 0.05, 0.1
	Diversity	$\lambda/2$ space / selection
	E_b/N_0	0 ~ 40 dB