

# ダイバーシチ受信を用いた可変容量デジタル無線伝送方式の特性

正員 李 嬉珍<sup>†</sup>      正員 小牧 省三<sup>†</sup>      正員 森永 規彦<sup>†</sup>

## Performance of the Controlled Capacity Digital Radio System with Diversity Reception

Hee-Jin LEE<sup>†</sup>, Shozo KOMAKI<sup>†</sup> and Norihiko MORINAGA<sup>†</sup>, Member

あらまし 本論文は、可変伝送容量制御を行うデジタル無線伝送方式において、フェージングの影響を軽減する技術として用いられるダイバーシチを併用した場合の効果について理論的解析を行ったものである。その結果、可変容量方式にダイバーシチを併用することにより、1～3倍のトラヒック疎通率改善効果が得られることが明らかとなった。また、ダイバーシチ方式と可変容量伝送方式をそれぞれ単独に使用した場合について上記改善効果の比較を行い、可変容量方式の効果はダイバーシチ多重度2～4に相当することが明らかとなった。

キーワード：可変容量伝送、フェージング、ダイバーシチ、無線通信、多値変調

### 1. まえがき

従来の無線伝送路においては、変調多値数を一定値に固定したままで伝送を行ってきた。しかし、一般には伝送すべきトラヒック量に変動があることから、これに適合させるため、多値数を可変にする可変容量伝送方式が提案された<sup>(1)</sup>。この方式によると、発生したトラヒックに応じて伝送容量を変化させることができるため、トラヒック閑散時には多値数を低下させフェージングなどの異常伝搬時に対する耐力を向上させると共に、トラヒック繁忙時には多値数を増加させてピークを柔軟に吸収することが可能となる。

一方、マルチパスフェージングが存在する無線通信路では、フェージングの影響を受けにくくするために、ダイバーシチおよび自動等化器などの補償技術が検討されてきた<sup>(2),(3)</sup>。特に、ダイバーシチと自動等化器を併用した場合の伝送路瞬間時間率改善効果は、それぞれ単独に用いられた場合の改善効果の積より大きい相乗効果が存在することも明らかにされている<sup>(4)</sup>。このような相乗効果は、トラヒックの量にかかわらず変調多値数を一定値に固定した従来の固定容量伝送方式に対する効果であり、伝送容量をトラヒックに応じて変化させ得る可変容量伝送方式に、ダイバーシチ等のフェ

ージング補償技術を用いた場合の改善効果に関する解析は、まだ行われていない。

本論文では、可変伝送容量制御を行う無線伝送方式に、フェージングの影響を軽減する技術として用いられるダイバーシチを併用したときの疎通率改善効果に対する理論的解析を行う。同時に、可変容量方式とダイバーシチ技術をそれぞれ単独に使用した場合の効果と比較し、可変容量制御を補償技術としてとらえた場合の位置付けを明らかにする。

### 2. ダイバーシチを用いた可変容量伝送方式の構成

ここでは、可変容量伝送に由来からフェージングの影響を軽減する技術として用いられるダイバーシチを併用したときの疎通率改善効果を明らかにするための解析手法を以下に示す。

発生した情報トラヒックが相手に届かない主な原因を考えると次の二つに分類できる。

- ・伝送すべきトラヒック量が変動し、トラヒックピーク時に伝送路または交換機の容量を超えたことによるトラヒック呼損

- ・無線伝送路において発生するフェージングによる情報の瞬断

以下、前者に述べたトラヒックピーク時に生じる呼損率を $P'$ 、後者に述べたフェージング時に生じる瞬断率

<sup>†</sup> 大阪大学工学部通信工学科，吹田市

Faculty of Engineering, Osaka University, Suita-shi, 565 Japan

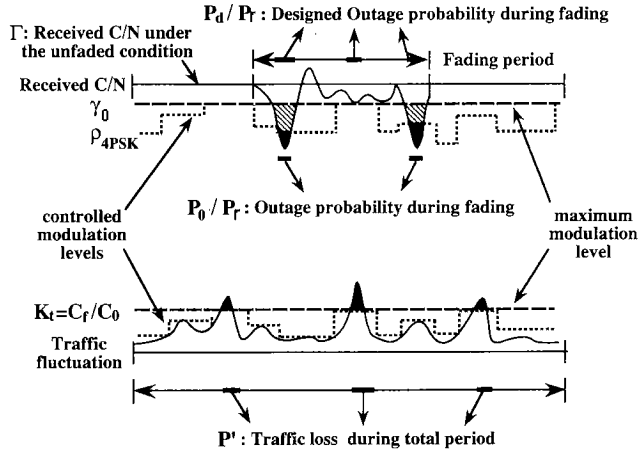


図 1 可変容量伝送方式の概念図  
Fig. 1 Concept of controlled capacity system.

を  $P_0$  とする。

トラヒック変動による呼損発生は交換設備に余裕があるとした場合は、伝送可能な伝送容量を大きくすることによって改善できるが、占有帯域幅を広げず伝送容量を大きくするためには変調信号を多値化する多値 QAM 変調が用いられる。しかし、変調多値数を増すと、無線伝搬路で生じるフェージング環境下では、その影響を強く受け伝送路が瞬断しやすくなる。従って、上述の二つの呼損または瞬断原因に対する対策は互いにトレードオフの関係にある。

従来の無線伝送方式は、フェージング時にも一定の伝送品質を満足することを最大目標にして検討されているため、変調多値数は、フェージングがない場合に実現可能な値よりも小さく設計されている。このため、トラヒックが大きくなった場合は、呼損が発生しやすくなっている。また、これを防止するため多値数を大きくした場合には、フェージングに対する抵抗力が低下し、伝送路における回線瞬断が生じやすい状態となる。

一方、変調多値数をトラヒック量に応じて可変にすると、トラヒック増大時には従来の固定伝送容量で使用していたものより多値数を大きくすることによって更に大きなトラヒックを伝送することができるし、また、トラヒック量が少ないときには、固定容量伝送におけるように一定多値数まで不要ビットを挿入する必要がなく、固定伝送容量に比べて多値数を減少させることができ、フェージングの影響を受けにくくすることができる。

上記のような可変容量伝送を行う具体的な制御方法を図 1 に示す。この制御方法では、伝送路設計瞬断率  $P_d$  と定常時 CN 比  $\Gamma$  に対応してあらかじめ定められた最大多値数  $l_{max}$  を設定し、 $l_{max}$  の信号を誤りなく (符号誤り率  $10^{-6}$  以下で) 伝送し得る CN 比を  $\gamma_0$  とする。また、トラヒックがその多値数を超えるような場合においても、それ以上に変調多値数を増大せず、最大多値数のままで伝送するような制御を行う。一方、伝送すべきトラヒック量が減少した場合は、トラヒック量に応じて順次変調多値数を小さくするという伝送容量制御を行う。この場合、最小変調多値数については、QAM 変調系列を考慮すると QPSK または BPSK が現実的な最小多値数と考えられるが、本解析においては仮想的にそれよりも多値数を低減した変調方式を含んだ計算を行っている。このような制御を行うと図 1 に示すように、トラヒック呼損は最大多値数を用いたときの伝送可能な容量  $C_f$  を超えたトラヒックが発生した場合に生じる。もう少し詳しく説明を加えると、伝送路設計瞬断率  $P_d$  は定常時 CN 比  $\Gamma$  と  $l_{max}$  に対応する CN 比  $\gamma_0$  との差分 (いわゆるフェードマージン) で決定されるので、逆に  $\Gamma$  と  $P_d$  を与えれば、 $\gamma_0$ 、 $l_{max}$  が算出できる。従って、伝送可能な最大容量  $C_f$  は  $\gamma_0$  の関数として与えられ、最大容量  $C_f$  を超えて発生したトラヒックは呼損  $P_f$  となる。

一方、図 1 に示すように、最大多値数  $l_{max}$  で固定的に伝送する場合には、フェージングによる瞬断率  $P_0$  は受信信号電力が  $\gamma_0$  以下となる確率であり、この場合は、設計瞬断率  $P_d$  (図 1 上部の斜線領域) と等しくな

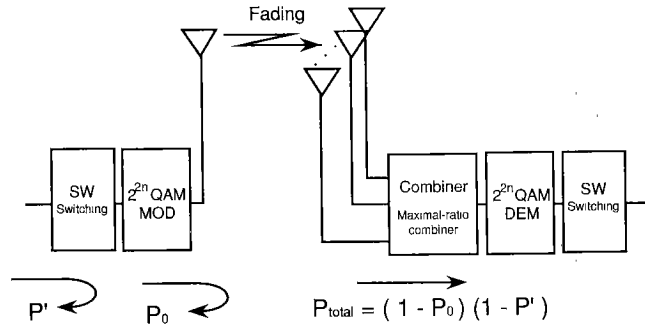


図 2 可変容量伝送方式の構成  
Fig. 2 Configuration of controlled capacity system.

る。しかし、トラヒック量の減少に応じて小さい多値数で伝送するような制御を行う場合には図 1 上部の黒色領域が伝送路瞬断率  $P_0$  となり、この値は一般には、先の  $P_d$  より小さい値となる。本論文では、可変容量伝送適用時のフェージングによる瞬断率  $P_0$  としてシビヤサイドの近似値  $P_d$  を用いることにし、総合疎通率の下限値を  $P_d = P_0$  として理論解析する。

以上に述べたことから、トラヒック量の発生確率とフェージングの発生確率が互いに独立であるとした場合、受信側におけるトラヒックの総合疎通率  $P_{total}$  は、トラヒック変動時の疎通率  $1 - P'$  とフェージング時の疎通率  $1 - P_0$  の積で求めることが可能となる。以上に述べた解析手順の流れを付録 1 に示し、解析の詳細については次章以降に述べる。

なお、図 1 に示すように、以下の具体的な解析で使用する瞬断率  $P_0$  と  $P'$  は全時間を 1 にした場合の瞬断率および呼損率と定義し、フェージング発生時間帯を 1 とする場合は、 $P_r$  で除する必要がある。

更に、本解析に使用するダイバーシチ受信を用いた可変容量伝送方式の装置構成を図 2 に示す。また、計算の簡単化のため、伝送路で発生するフェージングはレイリーフェージングとし、瞬断の発生原因は、レベル低下であるとし、トラヒックの分布はポアソン生起過程と密接に関連した指数分布を仮定する。

### 3. ダイバーシチ受信時の疎通率

#### 3.1 レイリーフェージング時の疎通率 $(1 - P_0)$

レイリーフェージング発生時、 $M$  個の各ダイバーシチ枝での平均搬送波電力対雑音電力比(平均 CN 比)がすべて等しいとすると、最大比合成ダイバーシチの出力 CN 比  $\gamma$  の確率密度関数  $p(\gamma)$  は次のように与えられる<sup>(6)</sup>。

$$p(\gamma) = \frac{\gamma^{M-1}}{(M-1)! \Gamma^M} \exp\left(-\frac{\gamma}{\Gamma}\right) \quad (1)$$

ここで、 $\Gamma$  はフェージング回線における各ダイバーシチ枝の平均 CN 比を示す。今、フェージングによる瞬断を、出力 CN 比  $\gamma$  がある十分小さなスレッショルドレベル  $\gamma_0 (\gamma_0 \ll \Gamma)$  以下に低下する場合と定義する。この場合、出力 CN 比  $\gamma$  が  $\gamma_0$  を超えない確率は近似的に、

$$P[\gamma \leq \gamma_0] = \int_0^{\gamma_0} p(\gamma) d\gamma \doteq \frac{1}{M!} \left(\frac{\gamma_0}{\Gamma}\right)^M \quad (2)$$

で与えられるので、 $P_r$  をレイリーフェージング発生確率とすると、瞬断率  $P_0$  は、式(2)と  $P_r$  の積として、

$$P_0 = P_r \frac{1}{M!} \left(\frac{\gamma_0}{\Gamma}\right)^M \quad (3)$$

で表される。すなわち、疎通率は式(3)を用いて  $1 - P_0$  で与えられる。

また、ちょうど瞬断となるときダイバーシチ出力 CN 比  $(\gamma = \gamma_0)$  は、式(3)より、

$$\gamma_0 = \Gamma \cdot \sqrt[M]{M! P_0 / P_r} \quad (4)$$

で表される。

#### 3.2 トラヒック変動時の疎通率 $(1 - P')$

次に、トラヒック変動時の疎通率は、前節で述べたようにトラヒック量が最大多値数に相当する伝送容量以下になる確率に相当する。ここで、トラヒック量  $x$  の確率密度関数  $p(x)$  が平均値  $1/\lambda$  の指数分布

$$p(x) = \lambda \exp(-\lambda x) \quad (5)$$

に従うと仮定する。トラヒックの呼損は発生トラヒックが最大変調多値数から定まる伝送容量  $C_r$  を超えた場合に発生する。 $C_r$  を定常時に伝送可能な容量  $C_0$  で正規化した値を  $K_r$  (伝送容量減少係数)とした場合、 $K_r$  は最大多値数で伝送可能な伝送容量に相当することから、トラヒック変動時の伝送路の疎通率  $1 - P'$  は

$$1 - P' = \int_0^{K_t} \lambda \exp(-\lambda x) dx = 1 - \exp(-\lambda K_t) \quad (6)$$

と定義できる。但し、 $P'$  はトラヒック変動によるトラヒック呼損率である。また、容量  $C_0$  は CN 比  $\Gamma$  に対応する(すなわち理想状態における)伝送容量であり、 $C_0$  のときにここで仮定している式(5)の分布に従うトラヒック(総量1)をほぼ全体的に疎通し得るものと仮定する。一方、実際の容量制御は  $C_r$  を上限とするので、 $K_t (= C_r/C_0)$  までの容量積分値式(6)で疎通率を表現し得る。

さて、本論文では、2. で仮定したようにフェージング瞬断率  $P_0$  より定まる式(4)の  $\gamma_0$  を最大多値数に対応する  $C/N$  と考えているので、この場合、 $K_t$  は次式で与えられる(付録参照)。但し、多値変調方式として  $2^{2n}$  QAM 変調を用いる場合を考える。

$$K_t = \frac{\log_2 \left( 1 + 3^M \sqrt{M!} P_0 / P_r \cdot \frac{\Gamma}{\rho_{4psk}} \right)}{\log_2 \left( 1 + 3 \cdot \frac{M! \Gamma}{\rho_{4psk}} \right)} \quad (7)$$

ここで、 $\rho_{4psk}$  は 4 相 PSK 変調における所要 CN 比である。従って、トラヒック変動時の疎通率は、式(6)と(7)を用いると、

$$1 - P' = 1 - \exp \left( -\lambda \cdot \frac{\log_2 \left( 1 + 3^M \sqrt{M!} P_0 / P_r \cdot \frac{\Gamma}{\rho_{4psk}} \right)}{\log_2 \left( 1 + 3 \cdot \frac{M! \Gamma}{\rho_{4psk}} \right)} \right) \quad (8)$$

で与えられる。

### 3.3 総合疎通率 $P_{total}$

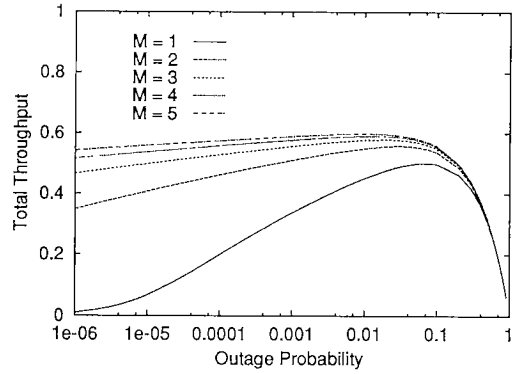
総合疎通率  $P_{total}$  は、

$$P_{total} = (1 - P_0)(1 - P') \quad (9)$$

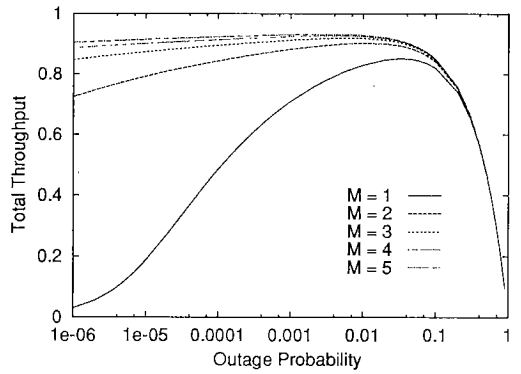
で表されるので、式(8)を上式(9)に代入することにより、次のように総合疎通率が求まる。

$$P_{total} = (1 - P_0) \left\{ 1 - \exp \left( -\lambda \cdot \frac{\log_2 \left( 1 + 3^M \sqrt{M!} P_0 / P_r \cdot \frac{\Gamma}{\rho_{4psk}} \right)}{\log_2 \left( 1 + 3 \cdot \frac{M! \Gamma}{\rho_{4psk}} \right)} \right) \right\} \quad (10)$$

$P_r = 100\%$  における伝送路瞬断率に対して、総合疎通率を計算した結果を図3に示す。ここでは、4相PSKの符号誤り率  $10^{-6}$  における所要 CN 比が  $\rho_{4psk} = 13.8$  dB であり、定常時 CN 比  $\Gamma$  は 60 dB と想定している。



(a)  $\lambda = 1$



(b)  $\lambda = 3$

図3 総合疎通率 ( $P_r = 100\%$ )  
Fig. 3 Total throughput ( $P_r = 100\%$ )

伝送路瞬断率  $P_0/P_r$  を大きい値に設定した場合、フェージングによる瞬断率  $P_0$  は増大するが、設計伝送容量が増大するため、トラヒックピークに対する呼損率  $P'$  は減少する。逆に、 $P_0/P_r$  を小さい値に設定した場合は、フェージングによる瞬断率  $P_0$  は減少するが、設計伝送容量が減少するため、トラヒックピークに対する呼損率  $P'$  は増大する。従って、総合疎通率は  $(1 - P_0)$  と  $(1 - P')$  の積で表現できるため、 $P_0$  が1に近い場合でも、 $P'$  が1に近い場合でも、総合疎通率は0に近くなり、図3に示されるような  $P_0/P_r$  に対する疎通率の最適点が存在する。また、図より明らかなように、 $\lambda$  が大きいほど総合疎通率が増大し、ダイバーシチ多重度が高くなると主として  $P_0/P_r$  の小さい領域での改善効果が高くなる。

## 4. 可変容量伝送におけるダイバーシチ効果

### 4.1 可変容量伝送の効果

ダイバーシチを併用した可変容量伝送方式の改善効果を明らかにするため、ダイバーシチは用いるが容量制御を行わない場合の瞬断率  $1 - P_{\text{fix}}$  と可変容量伝送を行なった場合の瞬断率  $1 - P_{\text{var}}$  の比を、次式のように改善効果と定義する。

$$I = \frac{1 - P_{\text{fix}}}{1 - P_{\text{var}}} \quad (11)$$

可変容量伝送時には、発生するトラヒック量に応じて信号の多値数を可変にすることによって、 $P_{\text{total}}$  の最大疎通率で伝送することが可能となる。従って、このときの疎通率  $P_{\text{var}}$  は、総合疎通率  $P_{\text{total}}$  を最大とするように選定した場合に相当するため、

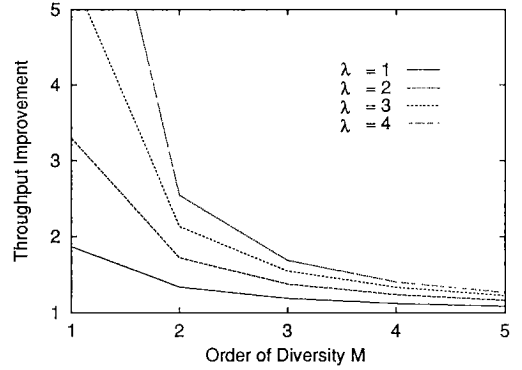
$$P_{\text{var}} = [P_{\text{total}}(P_0/P_r)]_{\text{max}} \quad (12)$$

で与えられる。一方、固定容量方式の総合疎通率  $P_{\text{fix}}$  は、従来用いられている伝送路瞬断率を CCIR 規定値に選んだ場合の疎通率に相当するため、次式で与えられる。

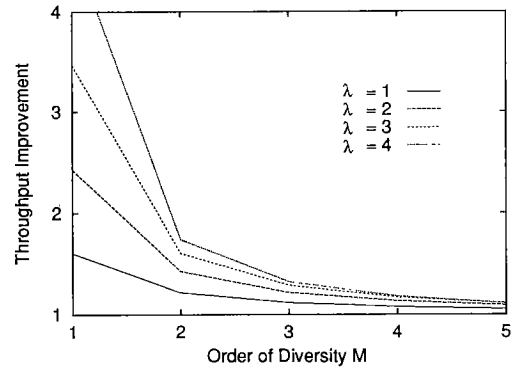
$$P_{\text{fix}} = P_{\text{total}}(P_0, \text{CCIR}/P_r) \quad (13)$$

ここで、伝送路瞬断率の CCIR 規定値  $P_0, \text{CCIR}$  は、約 0.05%/2,500 km である。このため、50 km 当りの CCIR 規定値  $P_0, \text{CCIR}$  は 0.001%/50 km となる。また、レイリーフェージング発生確率  $P_r$  は一般に 1% ~ 100% の範囲にあるため、1%、10%、100% の三つを選定する。この結果、50 km 中継区間当りの  $P_0, \text{CCIR}/P_r$  は、それぞれ 0.001, 0.0001, 0.00001 となる。

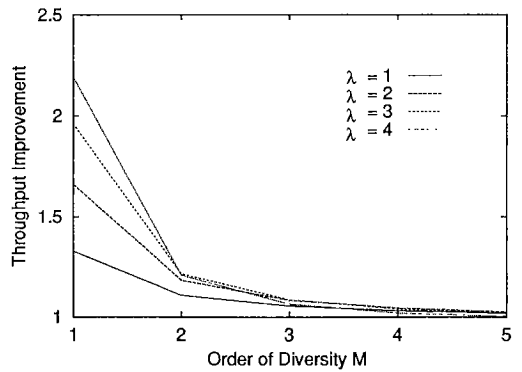
式(11)、(12)、(13)に基づいて、トラヒックピーク係数  $\lambda$  をパラメータとして計算した結果を図 4 に示す。また、ダイバーシチの枝数  $M$  をパラメータとしてダイバーシチによる改善効果の計算結果を図 5 に示す。これらの図より明らかに、ダイバーシチ併用時の改善効果は  $M$  が大きくなるほど少なくなり、 $P_r$  が 1%、10%、100% のように厳しいフェージング状況下になると共に、改善効果が向上することがわかる。これは前述の結果と同様の傾向を示し、可変容量伝送にダイバーシチを併用した場合の疎通率の改善効果が、固定容量伝送にダイバーシチを用いた場合より大きい改善効果を有するが、しかし、その差は比較的小さいことを示している。この理由としては、可変容量方式は深いフェージング時に伝送すべきトラヒックを浅いフェージング時にまとめて大量に伝送するという一種



(a)  $P_r = 100\%$



(b)  $P_r = 10\%$

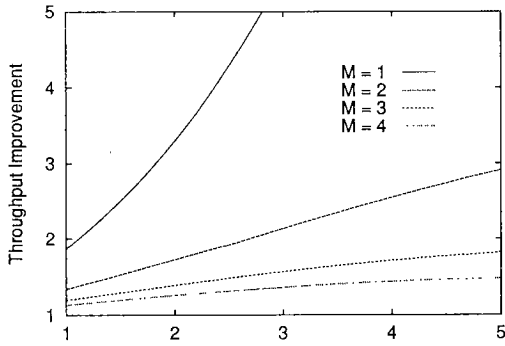


(c)  $P_r = 1\%$

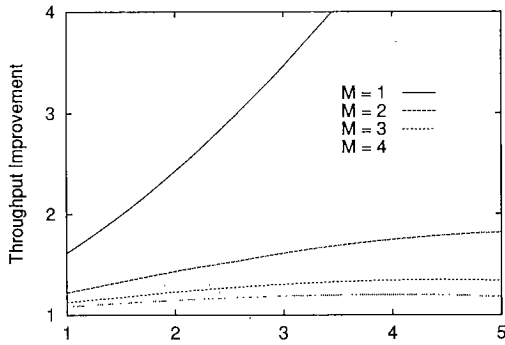
図 4 可変容量伝送とダイバーシチ併用時の疎通率改善効果

Fig.4 Throughput improvement by a capacity controlled system with diversity reception.

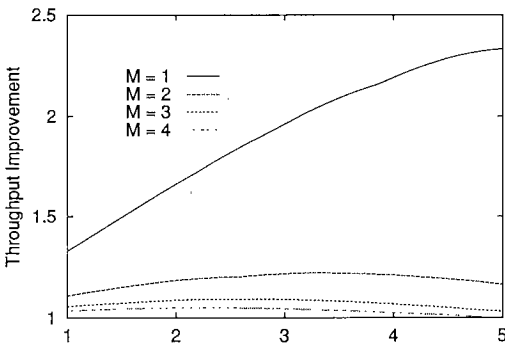
の時間ダイバーシチ効果でとらえることができるため、深いフェージングに対する効果が高く、深いフェージングを異なったアンテナで救済できるダイバーシ



(a)  $P_r = 100\%$



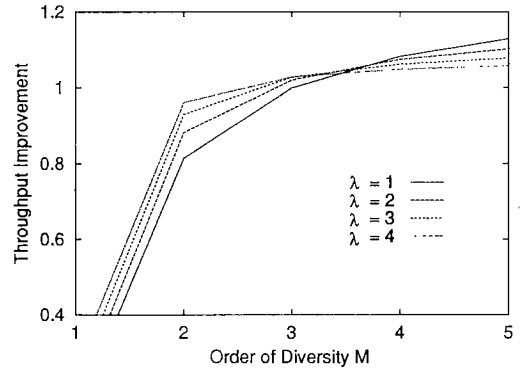
(b)  $P_r = 10\%$



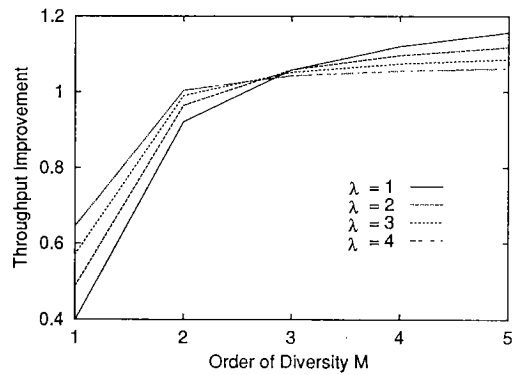
(c)  $P_r = 1\%$

図5 可変容量伝送とダイバーシチ併用時の疎通率改善効果

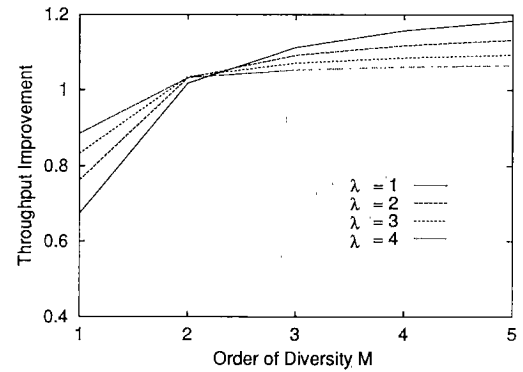
Fig.5 Throughput improvement by a capacity controlled system with diversity reception.



(a)  $P_r = 100\%$



(b)  $P_r = 10\%$



(c)  $P_r = 1\%$

図6 可変容量伝送と固定容量  $M$  重ダイバーシチの比較

Fig.6 Comparison of throughput between the controlled capacity system without diversity and the fixed capacity system with  $M$ -fold diversity.

ちと同様な役割を果たしていると見ることができる。

#### 4.2 可変容量方式と固定容量 $M$ 重ダイバーシチの比較

ダイバーシチを適用しない可変容量方式の補償技術としての位置付けを明らかにするため、それぞれ単独

に使用した場合の効果を以下に比較する。すなわち、ダイバーシチを用いた固定容量伝送の疎通率とダイバーシチを適用しない可変容量伝送の疎通率との比

$$R = \frac{P_{\text{total}}(M)}{[P_{\text{total}}(M=1)]_{\text{max}}} \quad (14)$$

を効果を比較する係数として定義し、計算を行った。結果を図示すると図6のようになる。図より可変容量方式を単独で使用した場合の結果は、固定容量方式に2~4重ダイバーシチを適用した場合の効果と等価な効果が得られることがわかる。このことは、可変容量方式が、ダイバーシチ方式に比べて同等またはそれ以上の優れた効果を有することを示している。

### 5. むすび

本論文では、発生するトラヒック量に応じて変調多値数を制御する可変容量無線伝送方式とダイバーシチを併用した場合の疎通率について理論的解析を行った。

その結果、可変容量伝送にダイバーシチを併用した場合、厳しいフェージングが発生する確率の低い範囲  $P_f=1\% \sim 10\%$  ではダイバーシチ改善効果が1~2程度、厳しいフェージングの発生する確率が高い場合  $P_f=100\%$  ではダイバーシチ改善度が1~3程度となることが明らかになった。この結果は、可変容量伝送にダイバーシチを併用した場合の疎通率の改善効果が、固定容量伝送にダイバーシチを用いた場合より大きい改善効果を有するが、しかし、その差は比較的小さいことを示している。この原因としては以下のことが考えられる。すなわち、可変容量方式は深いフェージング状況時に伝送すべきトラヒックを浅いフェージング状況時にまとめて大量に伝送するという一種の時間ダイバーシチ効果でとらえることができるため、深いフェージングに対する効果が高く、深いフェージングを異なったアンテナで救済できるダイバーシチと同様な役割を果たしている。このため、両者を併用した場合には、それに見合うだけの相乗効果が得られないものと予想される。

一方、可変容量方式とダイバーシチを単独で使用した場合の効果を比較した場合、可変容量伝送は2~4重ダイバーシチを用いた固定容量方式と同程度の大きな疎通率改善効果を有することも明らかとなった。

本解析では、瞬断の発生原因をレベル低下であるとして計算を行ったが、実際の無線通信路においては、干渉ならびに帯域内振幅偏差、位相偏差も瞬断の原因となっている。今後これらの影響を考慮に入れた検討を行う必要がある。また、モデルおよび計算の簡易化のため、トラヒック分布として指数分布を仮定したが、

情報源の性質によっては、異なるトラヒック分布を仮定する必要もある。これに対する解析も今後必要となる。

### 文 献

- (1) 小牧省三：“可変容量マイクロ波方式に関する検討”，信学論(B-II), **J73-B-II**, 10, pp. 498-503(1990).
- (2) Brennan D.G.: “Linear diversity combining techniques”, Proc., IRE, **47**, 6, pp. 1075-1102(June 1959).
- (3) Chamberlain J. K. Clayton F. M., Sari H. and Vandamme P.: “Receiver Techniques for Microwave Digital Radio”, IEEE Commun. Mag. (Nov. 1986).
- (4) 田島浩二郎, 小牧省三, 岡本栄晴：“スペースダイバーシチおよび自動等化器併用時の瞬断率改善効果”, 信学論(B), **J66-B**, 5, pp. 583-590(1983).
- (5) Schwartz M., Bennett W. R. and Stein S.: “Communication Systems and Techniques”, pp. 440-453, McGraw-Hill (1966).
- (6) 室谷正芳, 山本平一：“ディジタル無線通信”, 産業図書(1989).

### 付 録

#### 1. 総合疎通率の計算手順

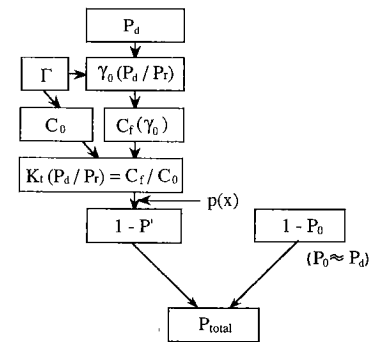
総合疎通率の計算手順の流れ図を図A・1に示す。

#### 2. 伝送容量減少係数 $K_t$ の導出

多値変調方式として  $2^{2n}$ QAM 変調を用いた場合、所要の CN 比  $\rho_{\text{QAM}}$  は次式で与えられる<sup>(6)</sup>。

$$\rho_{\text{QAM}} = \frac{1}{3}(2^{2n} - 1)\rho_{4\text{PSK}} \quad (\text{A} \cdot 1)$$

ここで、 $\rho_{4\text{PSK}}$  は4相PSK変調における所要CN比で



$P_0$ : Outage probability due to fading  
 $P_d$ : Designed outage probability  
 $C_0$ : Transmission capacity under the unfaded condition  
 $C_f$ : Transmission capacity when maximum modulation level is used  
 $p(x)$ : p.d.f. of the amount of traffic

図 A・1 計算手順

Fig. A・1 Calculation procedure.

ある。本解析では、 $\rho_{4psk}$ として $10^{-6}$ の符号誤り率の達成に必要な所要 CN 比を用いている。符号間隔を  $T$  とすると、 $\rho_{QAM}=\rho$ において単位時間に伝送可能な情報伝送速度  $c$  は、上式より、

$$C \equiv \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{T} \log_2 \left( 1 + 3 \cdot \frac{\rho}{\rho_{4psk}} \right) \quad (\text{A}\cdot 2)$$

となる。

フェージング回線において各ダイバーシチ枝での平均 CN 比が  $\Gamma$  であるとき、ダイバーシチを適用した可変容量方式で伝送を行う場合、伝送路瞬断時の CN 比  $\gamma_0$  は、式(4)より

$$\gamma_0 = \Gamma \cdot \sqrt[M]{M! P_0 / P_r} \quad (\text{A}\cdot 3)$$

で与えられる。そしてフェージング時の CN 比が  $\gamma_0$  の場合の伝送容量を  $C_f$  とすると、式(A・2)における  $\rho$  を式(A・3)の  $\gamma_0$  に置き換えて

$$C_f = \frac{1}{T} \log_2 \left( 1 + 3 \sqrt[M]{M! P_0 / P_r} \cdot \frac{\Gamma}{\rho_{4psk}} \right) \quad (\text{A}\cdot 4)$$

を得る。

一方、ダイバーシチ適用時の平均 CN 比は、 $\sqrt[M]{M!} \Gamma$  であるので、定常時における伝送可能なトラヒック容量  $C_0$  は、

$$C_0 = \frac{1}{T} \log_2 \left( 1 + 3 \cdot \frac{\sqrt[M]{M!} \Gamma}{\rho_{4psk}} \right) \quad (\text{A}\cdot 5)$$

で与えられる。

以上の結果より、容量制御時の最大容量  $C_f$  を  $C_0$  で正規化した伝送容量  $K_t$  は、

$$K_t \equiv \frac{C_f}{C_0} = \frac{\log_2 \left( 1 + 3 \sqrt[M]{M! P_0 / P_r} \cdot \frac{\Gamma}{\rho_{4psk}} \right)}{\log_2 \left( 1 + 3 \cdot \frac{\sqrt[M]{M!} \Gamma}{\rho_{4psk}} \right)} \quad (\text{A}\cdot 6)$$

となる。

(平成3年10月11日受付, 12月18日再受付)



小牧 省三

昭45阪大・工・通信卒, 昭47同大学院修士課程了, 昭47電電公社(現NTT)入社, 平2阪大・工・通信・助教授, 以来, デジタル無線通信方式主として無線中継方式の研究に従事, 工博, 昭50年度本会論文賞受賞, IEEE 会員,



森永 規彦

昭38静岡大・工・電気卒, 昭43阪大大学院博士課程了, 阪大・工・通信・助手, 講師, 助教授を経て現在教授, 工博, 無線通信方式, 光通信方式, 衛星通信方式, 移動通信方式, EMCの研究に従事, 訳書「光通信システム」, 共著「光通信理論とその応用」,



李 嬉珍

昭62近畿大・理工・電子卒, 平1阪大大学院修士課程了, 現在, 同大学院博士課程在学中, 変復調理論ならびにデジタル無線伝送方式の研究に従事, IEEE 会員,