

MC-SS Unslotted ALOHA のスループット特性について

大矢 貴文[†] 旭 健作 小川 明[‡]

名城大学 大学院 理工学研究科 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501

E-mail: {[†] m0432008@ccmail, [‡] aogawa@ccmfs}.meijo-u.ac.jp

あらまし 本稿では, MC-SS におけるランダムアクセスの packets 通信システムを, 広帯域無線 LAN(WWLAN) に適用する事を想定する. ランダムアクセスでは, 各ユーザは, 自由に packets を送信するため, packets の衝突が起こる. しかし, MC-SS により packets が衝突した場合でも, 必ずしも packets は消滅しない. 本稿では, その特性を解析および計算機シミュレーションにより明らかにする.

キーワード MC-SS, Pure ALOHA, スループット, packets 通信,

Throughput Performance of an MC-SS Unslotted ALOHA System

Takafumi Oya[†] Kensaku Asahi Akira Ogawa[‡]

Graduate School of Science and Technology, Meijo Univ. 1-501 Shiogamaguchi Tenpaku-ku Nagoya 468-8502, Japan

E-mail: {[†] m0432008@ccmail, [‡] aogawa@ccmfs}.meijo-u.ac.jp

Abstract This paper deals with a random-access type of packet communications based on the MC-SS scheme in an attempt to apply to wideband wireless local area networks (WWLAN), in which each user can freely send its own packet allowing some chance of collision. The packet losses, however, may not necessarily occur for every collision by virtue of the MC-SS. The performance characterization of this system as well as the system modeling is discussed through simulation and analysis in this paper.

Keyword MC-SS, Pure ALOHA, throughput, packet communications,

1. はじめに

近年, 移動体通信の利用形態は音声通信主体からデータ通信主体へと移り変わってきており, 静止画や動画などの広帯域マルチメディア需要が高まってきている. それと同時に無線 LAN のように簡便な通信も望まれている. すなわち, これまでのシステムよりも高速かつ広帯域な伝送が可能で, 周波数利用効率が高く, かつ移動伝搬環境に頑健で簡便な通信方式が望まれる. このような要求を満たす通信方式の1つとして, OFDM とスペクトル拡散技術を組み合わせたマルチキャリアスペクトル拡散(MC-SS)通信方式がある.

また, 無線データ通信では, ランダムアクセスタイプの packets 通信方式が有望であるが, 希望 packets が他ユーザの packets と衝突することにより, 双方とも消滅するので, packets の損失を引き起こしてしまう. その結果, システム全体のパフォーマンスを低下させることになってしまう. しかし, MC-SS 方式を適用した packets 通信では, packets が衝突した場合に, 必ずしも packets が消滅しないことが示されており, その特徴を生かした MC-SS Unslotted ALOHA (MC-SS U-ALOHA)方式が提案されている[1]. しかし, 特性評価が十分に行われていない. また, スループット特性は解析的に導出されていない.

そこで, 本稿では, MC-SS U-ALOHA 方式のスループット特性を解析的に求める. また, CDMA Unslotted ALOHA 方式との比較を行う.

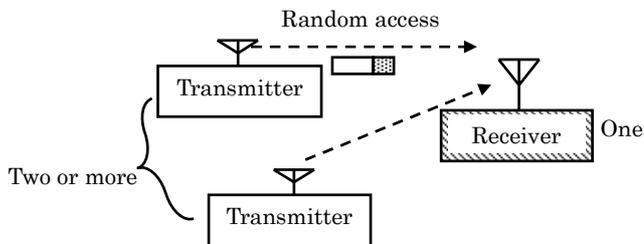


図 1. システムモデル

2. システムモデル

ここでは, 本稿で想定するシステムモデルについて述べる. システムモデルを図 1 に示す. 各送信機はランダムに packets を受信機へと送信する. その際, 各送信機においては, 同一の拡散符号 $c(n) (\in \{1, -1\})$ を使用する. 各送信機が同一の符号を用いることにより, 各ユーザに拡散符号を割り当てる必要がなくなり, 簡易なアクセス方式であると考えられる.

2.1. 送信機モデル

k 番目のユーザの送信機モデルを図 2 に示す. 変調方式は BPSK を想定する. まず, データ系列 $b_k(t) (\in \{1, -1\})$ をそれぞれのサブキャリアに分割する. そして, 拡散符号を乗積し離散フーリエ変換を行う. そして, P/S 変換を行い packets 生成回路により packets として伝送路へと伝送される. 送信信号 $s_k(t)$ の等化低域表現は

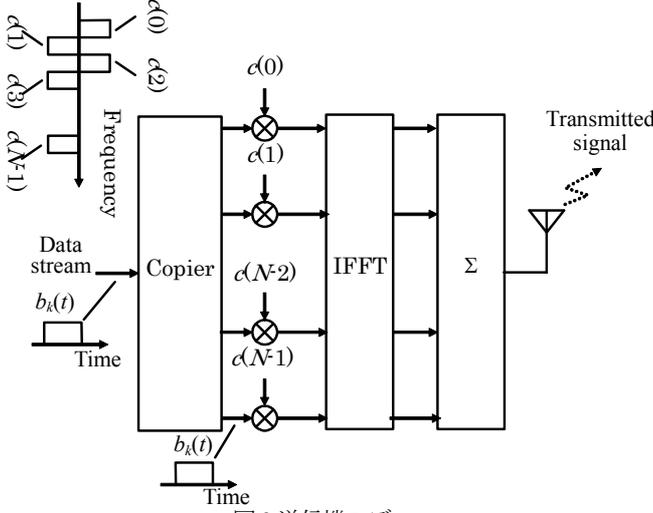


図2.送信機モデル

次式で表される.

$$s_k(t) = \sum_{n=1}^N \sqrt{2P} b_k(t) c(n) \exp\left(j2\pi \frac{n}{T_s} t\right) \quad (1)$$

ただし, N はサブキャリア数, n はサブキャリア番号, P はサブキャリア毎の電力, T_s はシンボル時間である. である. この送信信号をフーリエ変換すると,

$$S_k(f) = \sum_{n=1}^N \sqrt{2P} \text{Sin}(f - n/T_s) c(n) \quad (2)$$

のように表すことが出来る[2,3]. ただし, $\text{Sin}(x)=\sin(x)/x$ である.

2.2. 受信機モデル

通信路では, 加法的白色ガウス雑音(AWGN)が加わり, K 人のユーザが同一の拡散符号を用い, 非同期で通信を行うものとする. また, 受信機において各ユーザは等電力に制御されているものとする.

図3に受信機のモデルを示す. ここで, i 番目のユーザに着目し, 同期は完全に取れているものとする. このとき, 受信信号 $r(t)$ は次式のように表される.

$$\begin{aligned} r(t) &= \sum_{k=1}^K s_k(t - \tau_k) + n(t) \\ &= \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^{N_c} \sqrt{2P} b_k(t - \tau_k) c(n) \exp\left(j2\pi \frac{n}{T_s} (t - \tau_k)\right) \\ &\quad + n_n(t) \end{aligned} \quad (3)$$

ただし, τ_k は各ユーザ信号の受信時刻の差であり, $n_n(t)$ は両側電力スペクトル密度 $N_n/2$ の AWGN とする. また, このときの受信信号をフーリエ変換すると,

$$\begin{aligned} R(f) &= \sum_{k=1}^K S_k(f) + N_n(f) \\ &= \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^{N_c} \sqrt{2P} \text{sinc}(f - n/T_s) c(n) \exp(-j2\pi f \tau_k) \\ &\quad + N_n(f) \end{aligned} \quad (4)$$

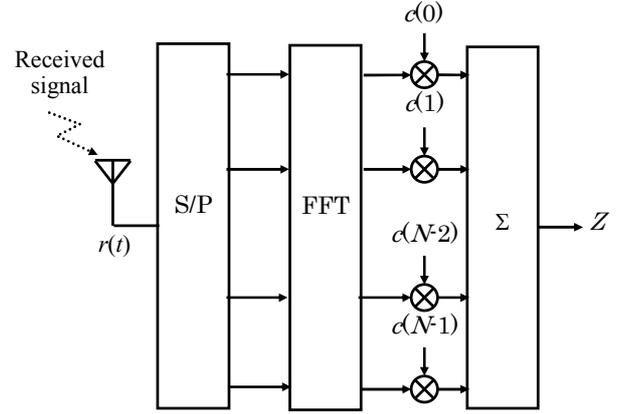


図3.受信機モデル

のように表される. ただし, $N_n(f)$ は平均0, 分散 σ^2 のガウス分布をもつ確率密度関数であり, 次式で表される.

$$\sigma^2 = \frac{NN_0T_s}{2} \quad (5)$$

ここで, i 番目のユーザの信号を復調する場合を考える. したがって, $\tau_i=0$ として考える. 復調成分 Z は,

$$Z = \sqrt{\frac{P}{2}} T_s \sum_{k=1, k \neq i}^K \sum_{n=1}^N \exp(\phi_i^n - \phi_k^n) + N(f) \quad (6)$$

ここで,

$$\phi_k^n = 2\pi \frac{n}{T_s} \tau_k \quad (7)$$

である. $\tau_i=0$ であるため, $\phi_i^n=0$ となる. また, τ_k がチップ時間 T_c より大きい場合, ϕ_k^n は $[0, 2\pi)$ で一様分布するので, 拡散率 N が十分大きく, $\tau_k > T_c$ と仮定すると,

$$Z \approx \sqrt{\frac{P}{2}} T_s N + N_n(f) \quad (8)$$

と近似できる. これは, 干渉ユーザのシンボルが着目ユーザのシンボルからチップ時間以上離れていれば, 着目パケットに与える干渉は非常に小さいことを示している. 文献[2]では, MC-CDMA において遅延波が有る場合でも, 希望成分は遅延波の影響を受けないことが示されている. MC-SS の場合は, 各ユーザが同じ符号を持つため, 干渉ユーザを MC-CDMA における遅延波として扱うことができるため, 結果として, 復調成分 Z は文献[2]の希望波成分と雑音成分のみで表すことができる.

すなわち, 干渉ユーザのシンボルのタイミングがチップ時間より大きい場合は干渉を無視することができる. したがって, MC-SS と ALOHA 方式を組み合わせた, MC-SS U-ALOHA では, パケットが衝突した場合でも, 実際に干渉を与えるパケットは少ないと考えられる.

3. スループット解析

ここでは, MC-SS U-ALOHA 方式のスループット特性の解析を試みる. MC-SS と同様にパケットが衝突しても, 復調することが可能な CDMA-ALOHA 方式[4]では, ランダム符号を想定し, ビット時間毎に干渉パケット数の遷移を求め, スループット特性を

求めている。しかし、MC-SS U-ALOHA では干渉成分は同じ拡散符号を持った、チップタイミング以下で重なったユーザの packets である。したがって、着目 packets において、各ビットにおいて干渉を独立に扱うことができないため、CDMA と同様の手法でスループット特性を導出することは困難である。

そこで、干渉を与える packets 数を着目 packets において一定であることを仮定し、解析を行う。すなわち、着目 packets において干渉ユーザ数の遷移はないものとして特性解析を行う。

3.1. 解析モデル

受信機において、着目 packets における干渉 packets の到着の様子を図4に示す。図4では、簡単のため1 packets 3bit の固定長とした。 packets 長を T_p とし、着目 packets の開始時刻を T_i とする。干渉を与える可能性のある packets は、 $[T_i - T_p, T_i + T_p]$ の間に生起する packets である。前章で示したように、希望 packets に実際に干渉を与える packets は、チップ時間が重なった packets である。したがって、図4において干渉 packets 1の1, 2シンボル目、干渉 packets 5の2, 3シンボル目が実際に干渉を与える部分となる。

MC-SS では、干渉成分を各ビット独立に扱うことができないため、このままでは解析を行うことは困難である。そこで、図5に示すモデルを用いて解析を行う。実際に干渉を与える packets (図中では干渉 packets 1,5) が希望 packets にちょうど重なる状態を考える。したがって、着目 packets には実際の干渉量より多く干渉が加わる状態となる。MC-SS Unslotted ALOHA において、着目 packets の成功確率は、着目 packets 期間において、干渉が起こっている期間よりも、干渉を与えたユーザ数に依存すると考えられるため、このような解析モデルとした。

また、解析を行うにあたり、以下の想定をした。

- 1) packets 長は固定
- 2) 干渉 packets の位相は一様分布
- 3) 変調方式は BPSK
- 4) タイミング同期や周波数同期は理想的
- 5) 各ユーザは同じ拡散符号を使用
- 6) 受信機において、各ユーザの受信電力は等しい
- 7) 着目 packets の各ビットにおいて、1チップ以上離れたユーザの干渉は無視できる

3.2. 干渉成分の導出

図5に示したモデルに基づき、干渉成分を求める。干渉は、着目 packets に同じタイミングで到着した、 packets により引き起こされる。各干渉 packets の位相は $[0, 2\pi)$ で一様分布をしており、等電力に制御されているものとする。 k 番目のユーザの干渉 packets の位相 θ_k の確率密度関数 $p(\theta_k)$ は次式のように表される。

$$p(\theta_k) = \frac{1}{2\pi}, \quad (0 \leq \theta_k < 2\pi) \quad (9)$$

一方、着目 packets に干渉を与える k 番目のユーザの干渉成分 Z_u^k は、式(8)の第一項を希望成分 Z_d とすると、各 packets は等電力であるため、

$$Z_u^k = Z_d \cos(\theta_k) \quad (10)$$

のように表される。

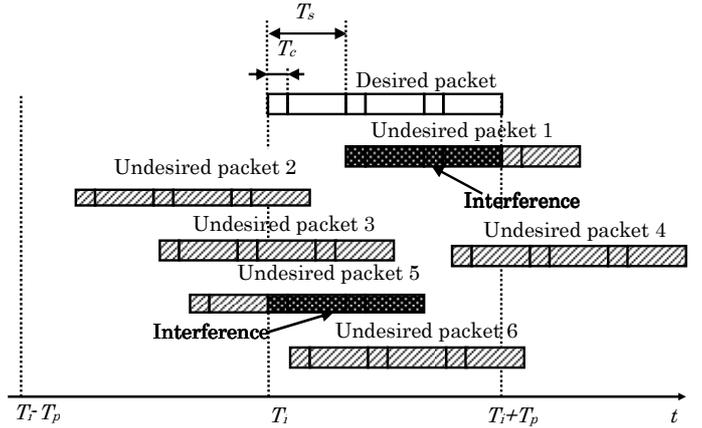


図4. packets 到着の様子

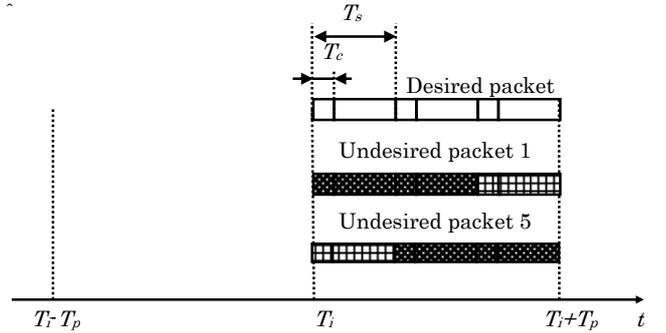


図5.解析モデル

したがって、 Z_u^k の確率密度関数は、変数変換をすることにより、

$$p(Z_u^k) = \frac{1}{\pi} \frac{1}{\sqrt{(Z_d)^2 - (Z_u^k)^2}} \quad (-Z_d \leq Z_u^k \leq Z_d) \quad (11)$$

のように表される。これは、 $p=q=0.5$ の場合のベータ分布を $[-Z_d, Z_d]$ に変数変換したものである。一般に、ベータ分布の確率密度関数は、

$$Beta(x) = \frac{x^{p-1}(1-x)^{q-1}}{B(p,q)} \quad (12)$$

のように表される。ただし、 $B(p,q)$ はベータ関数であり、次式で表される。

$$B(p,q) = \int_0^1 u^{p-1}(1-u)^{q-1} du. \quad (13)$$

式(11)は式(12)において、 $p=q=0.5$ とし、

$$x = \frac{Z_u^k - (-Z_d)}{Z_d - (-Z_d)} = \frac{Z_u^k + Z_d}{2Z_d} \quad (14)$$

として、変数変換した場合に相当する。また、式(12)のベータ分布の分散 σ_B^2 は、次式で表される。

$$\sigma_B^2 = \frac{pq}{(p+q)^2(p+q+1)} \quad (15)$$

したがって、干渉成分の分散 $\sigma_{Z_u}^2$ は、分散の性質より次式となる。

$$\sigma_{Z_u}^2 = (2Z_d)^2 \frac{0.25}{2} = \frac{(Z_d)^2}{2} \quad (16)$$

3.3. PERの導出

ここでは、着目パケットの情報ビットを全て1として考える。干渉パケットの情報ビットは、+1,-1の値を等確率で取るものとする。

まず、干渉パケットが存在しない場合の着目パケットのPER $P_{ER}(0)$ は、次式のように表される。

$$P_{ER}(0) = 1 - \left(1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{Z_d}{\sqrt{2}\sigma} \right) \right)^L \quad (17)$$

ただし、Lはパケット長であり、 $\operatorname{erfc}(\cdot)$ は誤差補関数で、

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{x}} \int_x^\infty e^{-y^2} dy \quad (18)$$

である。

次に干渉パケット数が1の場合を考える。干渉成分は、希望成分を強める場合と弱める場合に分けることができる。したがって、着目パケットのPER $P_{ER}(1)$ は、次式のように表される。

$$P_{ER}(1) = 1 - \int_{-Z_d}^{Z_d} P(Z_u^1) \left[1 - \frac{1}{2} \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{Z_d + |Z_u^1|}{\sqrt{2}\sigma} \right) \right]^{\frac{L}{2}} \left[1 - \frac{1}{2} \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{Z_d - |Z_u^1|}{\sqrt{2}\sigma} \right) \right]^{\frac{L}{2}} dZ_u^1 \quad (19)$$

同様に、干渉パケット数が2の場合には、

$$P_{ER}(2) = 1 - \int_{-Z_d}^{Z_d} \int_{-Z_d}^{Z_d} P(Z_u^1) P(Z_u^2) \left[1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{Z_d + |Z_u^1| + |Z_u^2|}{\sqrt{2}\sigma} \right) \right]^{\frac{L}{4}} \left[1 - \frac{1}{2} \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{Z_d + |Z_u^1| - |Z_u^2|}{\sqrt{2}\sigma} \right) \right]^{\frac{L}{4}} \left[1 - \frac{1}{2} \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{Z_d - |Z_u^1| + |Z_u^2|}{\sqrt{2}\sigma} \right) \right]^{\frac{L}{4}} \left[1 - \frac{1}{2} \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{Z_d - |Z_u^1| - |Z_u^2|}{\sqrt{2}\sigma} \right) \right]^{\frac{L}{4}} dZ_u^1 dZ_u^2 \quad (20)$$

のようになる。同様にして、干渉パケットが増えた場合も求めることが出来る。しかし、干渉パケットが増えるごとに、積分が増えるため、次第に数値計算により求めることが困難となる。そこで、干渉パケット数が多い場合は、中心極限定理により、干渉成分がガウス分布で近似できる。また、着目パケットにおいて、干渉成分が各ビットに与える影響も独立に扱うことができるため、

$$P_{ER}(k) = 1 - \left(1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{Z_d}{\sqrt{2}\sigma + (k-1)\sigma_{Z_u}} \right) \right)^L \approx 1 \quad (21)$$

として求めることができる。しかし、実際には分散が非常に大きな値を取るため、 kL が大きい場合はPERを1と近似する。

3.4. スループットの導出

ここでは、図5の解析モデルに基づき、スループット特性を導出する。ただし、解析モデルでは、干渉パケットが着目パケットに干渉を与える期間が多くなっているため、スループット特性はLower boundとして考える。

着目パケットに干渉を与えるパケットは、パケット長の2倍の期間に生じたパケットである。また、式(8)より、実際に干渉を与えるパケットは $1/N$ である。

固定長パケットで、パケットの生起がポアソン過程に従うと仮定すると、そのシステムは待ち行列モデルM/D/∞に一致する[5]。

また、着目パケットに干渉を与えるパケット数 k の定常状態確率 P_k は、待ち行列モデルM/M/∞と一致し、指数長パケットの定常状態確率と等しくなる[5]。したがって、干渉パケット数 k の定常状態確率 P_k は、

$$P_k = \frac{(2\lambda T_p / N)^k}{k!} e^{-\frac{2\lambda T_p}{N}} = \frac{(2G/N)^k}{k!} e^{-\frac{2G}{N}} \quad (22)$$

となる。ただし、オフアードロード G はパケット長時間に発生するパケットの生起数である。

スループットをパケット長時間に成功する平均パケット数と定義すると、

$$S = G \cdot \sum_{k=0}^{\infty} P_k \cdot (1 - P_{ER}(k)) \quad (23)$$

となる。ただし、ここで求めたスループットは、lower boundである。

4. 数値例

ここでは、式(23)で示したスループット特性の数値例を示す。また、計算機シミュレーションを行い、解析の妥当性を示す。数値例および、計算機シミュレーションに用いたパラメータを表1に示す。

4.1. AWGN 環境下

AWGN 環境下における、オフアードロードに対するスループット特性を図6に示す。計算機シミュレーションの結果と比べ、解析により求めたスループットは、下限値として正当なものであることがわかる。また、雑音小さくなるにつれ、解析により求めたスループット特性の下限と計算機シミュレーションの差が広がっていることがわかる。これは、雑音が大きき場合は、パケットの誤りに対し雑音の占める割合が多くなるが、雑音が小さい場合は、干渉成分が支配的となるためである。しかし、実用範囲の E_b/N_0 においては、本解析手法で有効なスループット特性を求めることが可能となる。

表1. シミュレーションパラメータ

Modulation	BPSK
Packet length	Fixed
FEC scheme	Without coding
Channel	AWGN

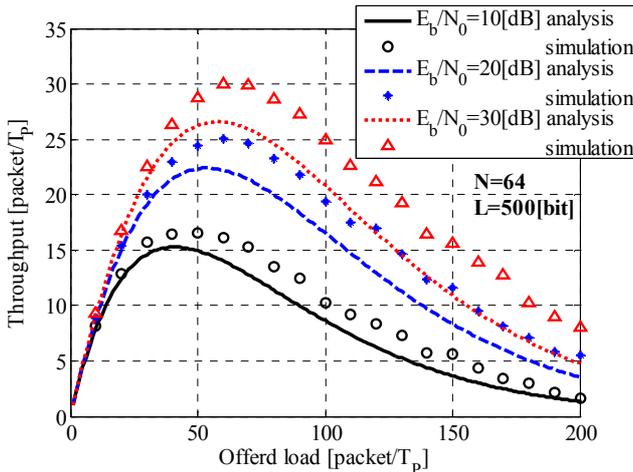


図 6. E_b/N_0 を変化させた時のオフロード対スループット特性

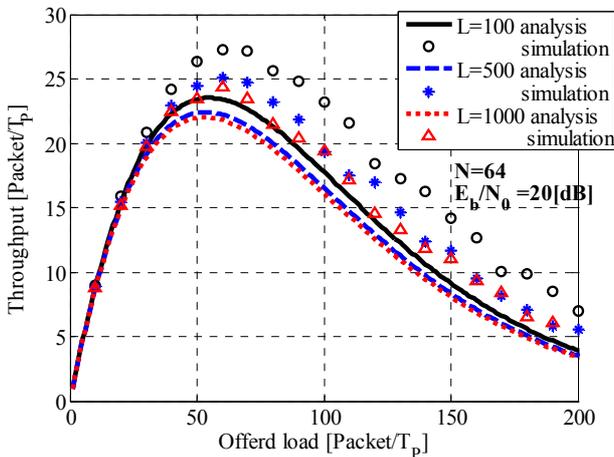


図 7. パケット長を変化させたときのオフロード対スループット特性($E_b/N_0=20$ [dB])

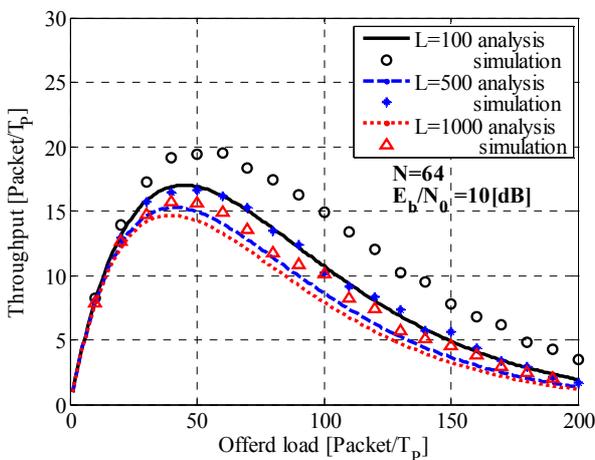


図 8. パケット長を変化させたときのオフロード対スループット特性($E_b/N_0=10$ [dB])

4.2. パケット長を変化させた場合

次に, E_b/N_0 を固定し, パケット長を変化させた場合のスループット特性を示す. 図 7 に E_b/N_0 を 20[dB] に固定した場合, 図 8 に E_b/N_0 を 10[dB] に固定した場合のスループット特性を示す.

図 7, 図 8 共に, L が小さくなるに従い, 計算機シミュレーションとの差が大きくなっていることがわかる. これは, パケット長が短くなるにつれ, 熱雑音の占める割合が小さくなり, 干渉成分が支配的になるためである. しかし, $L=1000$ [bit] 程度では, 解析解と計算機シミュレーション結果はよく一致しており, 本解析手法の有効性を確認できる.

図 7, 図 8 共に, L が大きくなるとスループット特性が劣化していることがわかる. CDMA U-ALOHA では, パケット長が長くなるにつれ, スループット特性の劣化が大きい[5]のに対し, MC-SS U-ALOHA では, パケット長が長くなっても, CDMA U-ALOHA と比べ特性の劣化が非常に小さいことがわかる. これは, MC-SS の場合は, スループット特性が干渉を与えるパケット数に大きく依存しているのに対し, CDMA の場合は, 干渉パケットが干渉を与えている期間に大きく依存しているためであると考えられる.

4.3. サブキャリア数を変化させた場合

ここでは, サブキャリア数を変化させた場合のスループット特性の変化を示す. 図 9 に $E_b/N_0=10$ [dB], $L=500$ [bit] に固定し, 差サブキャリア数を変化させたときのスループット特性を示す. サブキャリア数が増加するにつれ, スループット特性も増加していることがわかる. しかし, サブキャリア数が増加すると, 占有する帯域幅も増加する. そこで, サブキャリア数で正規化した場合のスループット特性を図 10 に示す. あわせて, Pure ALOHA のスループット特性も示す. 図より, サブキャリア数を増加させても, 正規化スループット特性は変化していないことがわかる.

Pure ALOHA と MC-SS U-ALOHA を比較すると, 正規化スループットの最大値において, MC-SS U-ALOHA のほうが, 約 0.1 大きいことがわかる.

4.4. CDMA U-ALOHA との比較

ここでは, CDMA U-ALOHA[4,5] との比較を行う. CDMA U-ALOHA のスループット算出方法は, 文献[5]の固定長パケットのスループット算出手法を用いる. CDMA の拡散率と, MC-SS のサブキャリア数を同じ値とし, $E_b/N_0=10$ [dB] とした場合のスループット特性を図 11 に示す. CDMA U-ALOHA は, 各ユーザにランダム符号を適用した場合のスループット特性である. また, MC-SS U-ALOHA は解析解のみ示している.

CDMA U-ALOHA に比べ, MC-SS U-ALOHA のスループット特性が良いことがわかる. 最大スループットにおいて, MC-SS U-ALOHA は約 2 倍の値となる.

5. まとめ

MC-SS 通信方式を Unslotted ALOHA 方式に適用した MC-SS U-ALOHA 方式のスループット特性を解析および計算機シミュレーションにより求めた.

MC-SS では, 着目シンボルにおいて 1 チップ以上離れたパケットは与える干渉が非常に小さいことに着目し, ランダムアクセスである Unslotted ALOHA との組み合わせにより, 高スループット特性を得られることを示した.

また、CDMA U-ALOHA と比較した場合、MC-SS U-ALOHA の方が良好なスループット特性を示すことがわかった。

文献

- [1] Kunihiko Adachi, Akira Ogawa, "Performance characterization for MC-SS packet communications", ISSSTA2004(2004 IEEE International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications), pp.310-315, August.2004
- [2] 竹内, 山里, 岡田, 片山: "周波数選択性フェージング環境下における非同期 MC-CDMA 方式の SNIR 解析", IEICE Trans.Fund., vol.J86-A, no.12, pp.1426-1430, Dec. 2003
- [3] 村松, 原田, 山里, 岡田, 片山: "マルチキャリア CDMA 方式における送信増幅器の非直線性の影響", IEICE Trans.Fund., vol.J85-A, no.3, pp.340-348, Mar. 2002.
- [4] T.Sato, H.Okada, T.Yamazato, M.Katayama, A.Ogawa: "Throughput Analysis of DS/SSMA Unslotted ALOHA System with Fixed Packet Length", IEEE Journal on Selected Areas in Commun., vol.14, No.4, pp.750-756, May. 1996.
- [5] 小川 明: "CDMA-ALOHA 方式による無線パケット通信", 電子情報通信のテクニカル・レビュー, pp.137-198, 風媒社, 2003

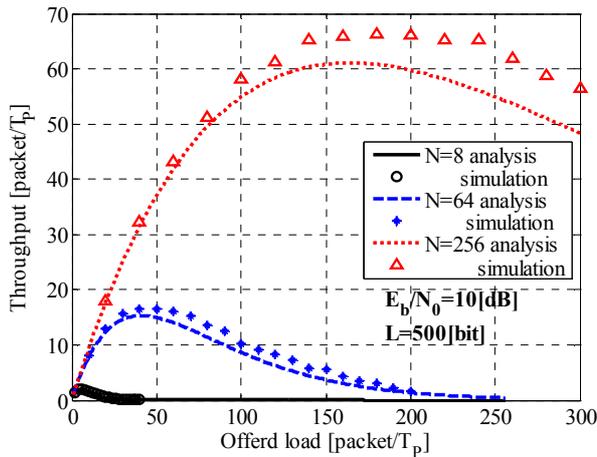


図 9. サブキャリア数を変化させたときのオフロード対スループット特性

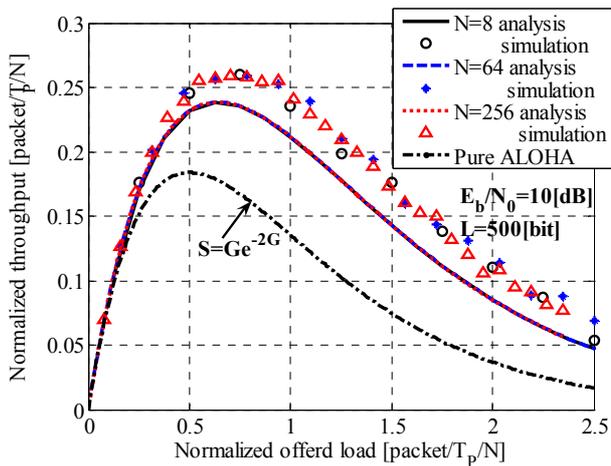


図 10. サブキャリア数を変化させたときの正規化オフロード対正規化スループット特性

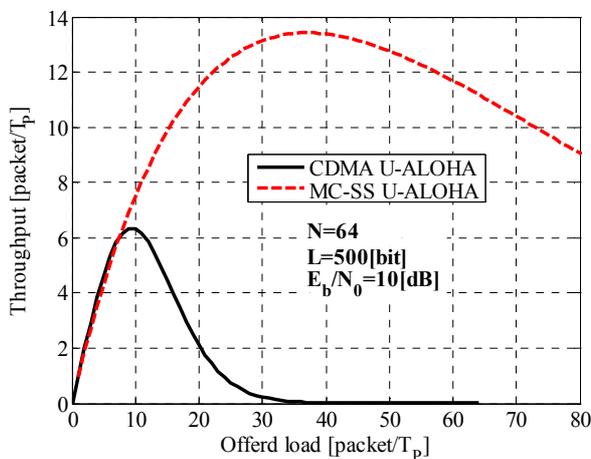
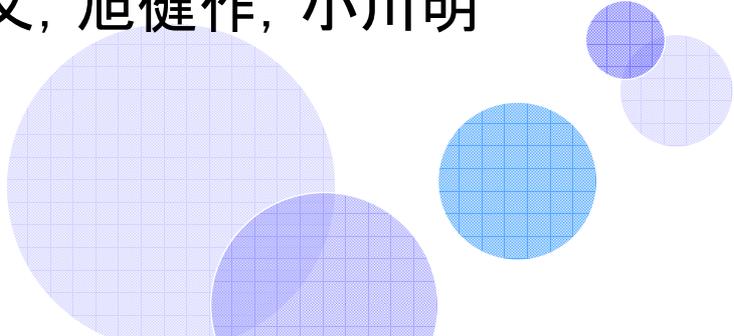


図 11. CDMA U-ALOHA と MC-SS U-ALOHA のスループット特性

MC-SS Unslotted ALOHAの スループット特性について

○大矢貴文, 旭健作, 小川明



名城大学

発表の構成

- 研究背景
- MC-SS Unslotted ALOHAとは
- 目的
- スループット特性の導出
- 数値例
- まとめ
- 今後の課題

無線通信への要求

- 広帯域マルチメディア通信(高速性)
- マルチパスフェージングに対する頑健性



- マルチキャリアスペクトル拡散通信システム
 - MC-SS (Multi-Carrier Spread-Spectrum)

パケット無線通信方式

■ Unslotted (Pure) ALOHA System

- ◆ 各ユーザは、自由にパケットを送信可能(ランダムアクセス)

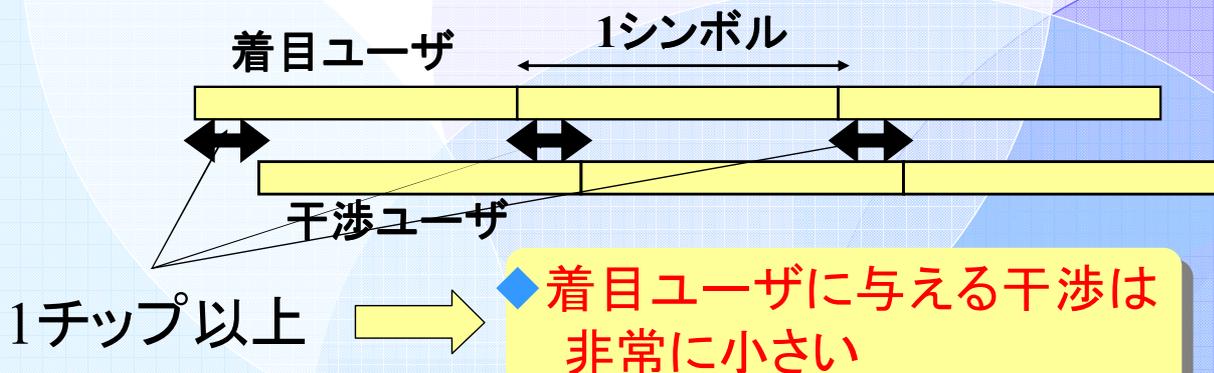
⇒送受信制御が簡易

- ◆ 送信パケットが、他のユーザーのパケットと衝突した場合、パケットが復調できない

⇒スループット特性の劣化

■ MC-SSの特徴

- ◆ 周波数ダイバシティにより、周波数選択性フェージングに強い
- ◆ 各ユーザーに同じ符号を割り当てる
- ◆ あるシンボルにおいて、1チップ以上離れたユーザーの干渉は非常に小さい



Pure ALOHA

- ◆ 送受信制御が簡易
- ◆ パケットの衝突が多発

MC-SS

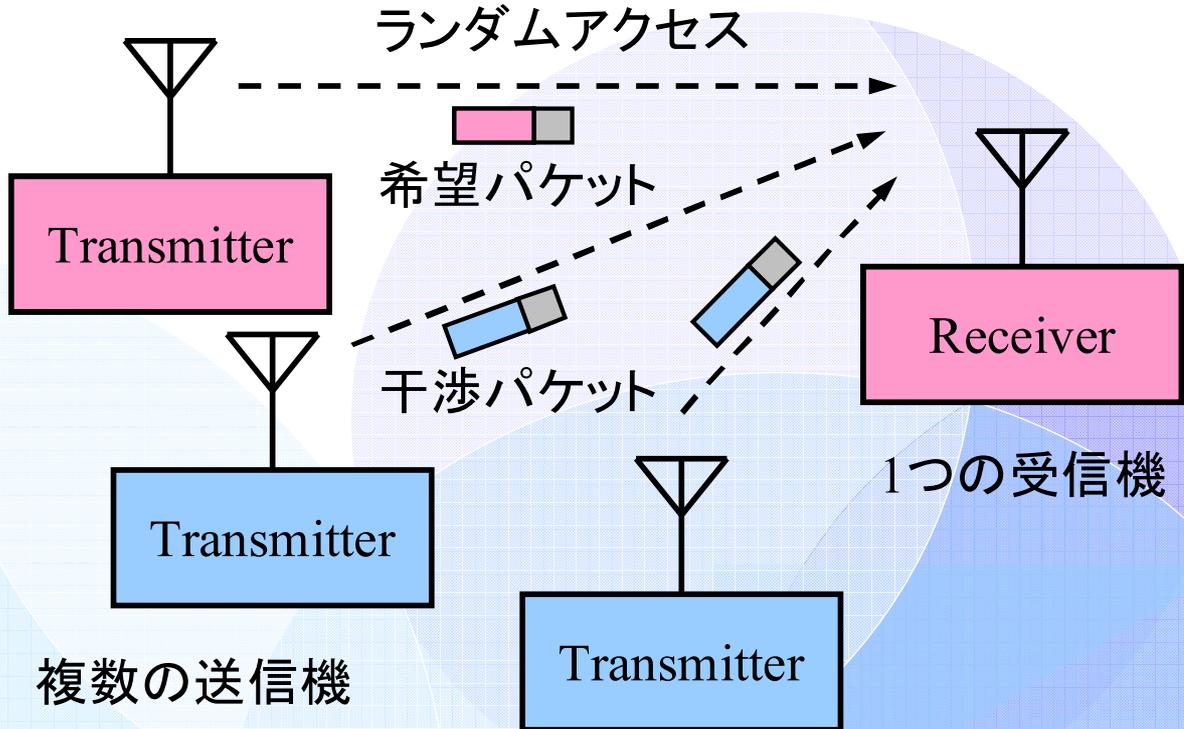
- ◆ 他ユーザの干渉が小さい

MC-SS Unslotted ALOHA

- ◆ 送受信制御が簡易
- ◆ パケットが衝突しても、干渉が非常に小

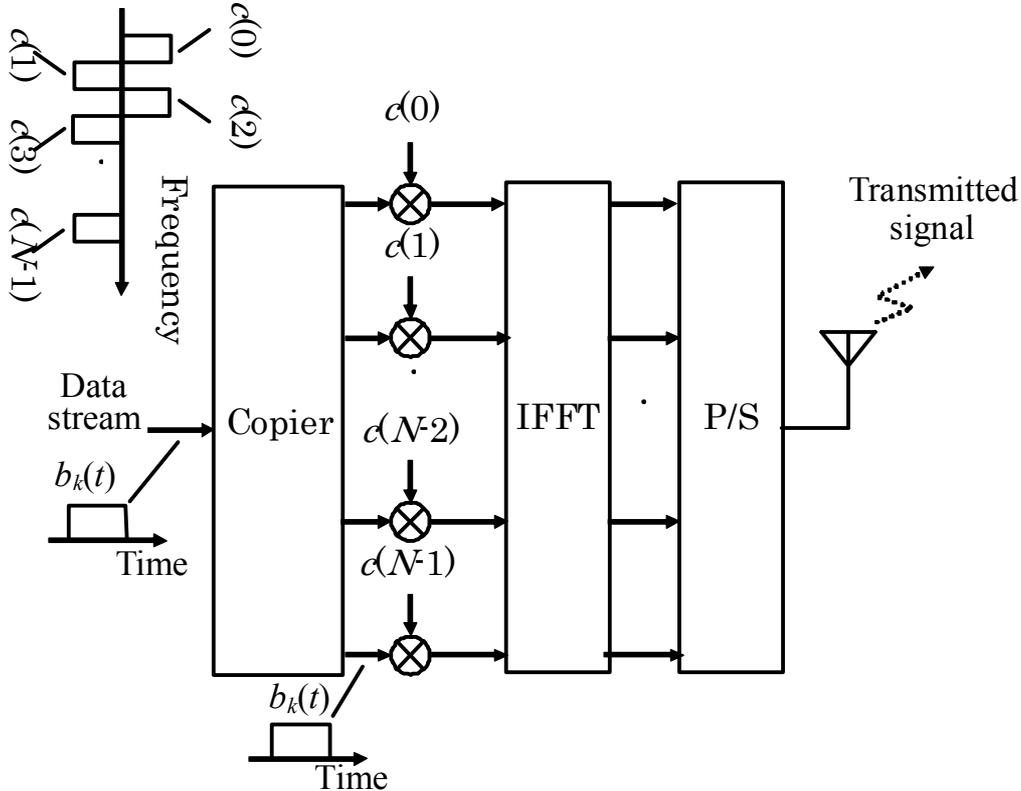
高スループット特性が見込まれる

MC-SS U-ALOHAのモデル

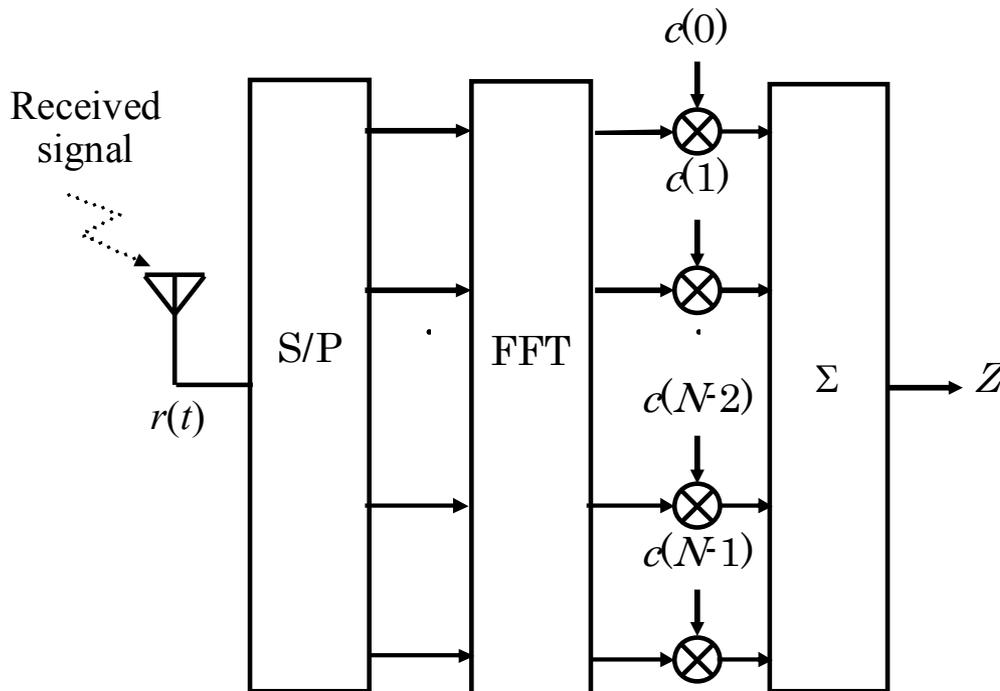


- MC-SS Unslotted ALOHAのスループット特性を解析的に求める
- 熱雑音, パケット長, サブキャリア数を変化させた場合のMC-SS U-ALOHAのスループット特性を求める

送信機のモデル



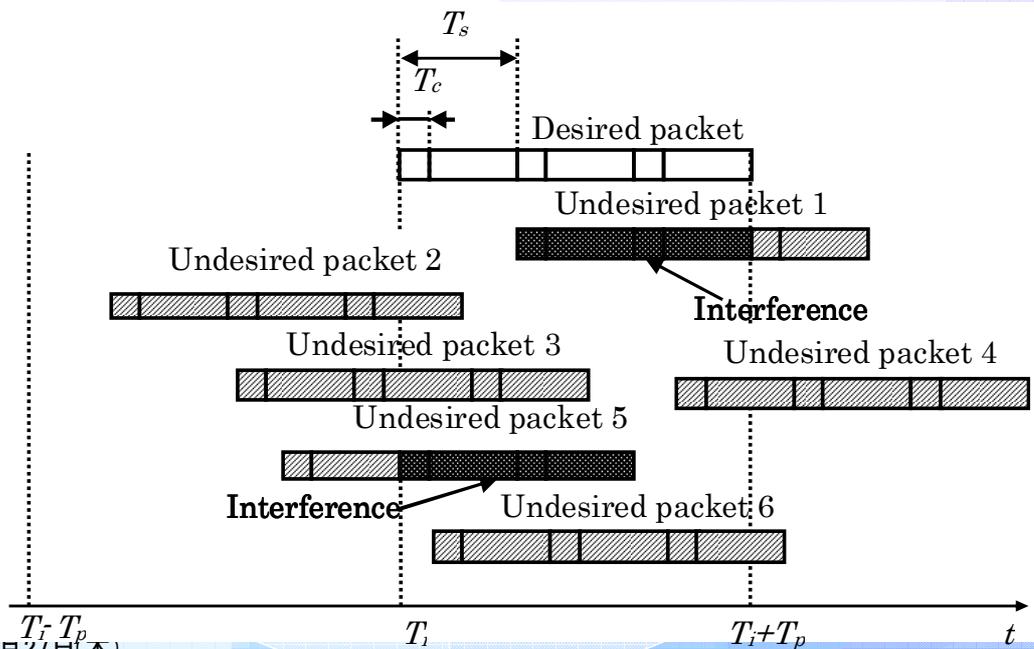
受信機のモデル



- 解析を行うに当たり, 以下を想定した
 1. 変調方式はBPSK
 2. パケット長は固定
 3. タイミング同期, 周波数同期は理想的
 4. 各ユーザは同じ拡散符号を使用
 5. 受信機において, 各ユーザの受信電力は等しい
 6. 干渉パケットの位相は一様分布
 7. 着目パケットの各シンボルにおいて,
1チップ以上離れたユーザの干渉は無視できる

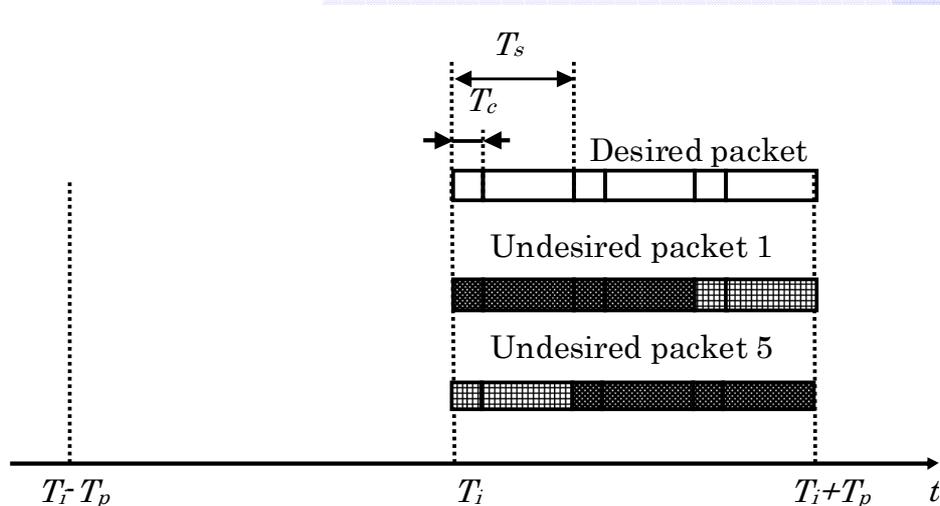
パケット到着の様子

- 時刻 T_i に希望パケットが到着したとすると $[T_i - T_p, T_i + T_p]$ の $2T_p$ 間に到着したパケットが干渉成分となる
- パケットの生起はポアソン分布に従う



解析モデル

- 干渉成分を各ビット独立に扱うことができない
- 干渉を与える期間より, 干渉ユーザ数がビット誤りに対し支配的



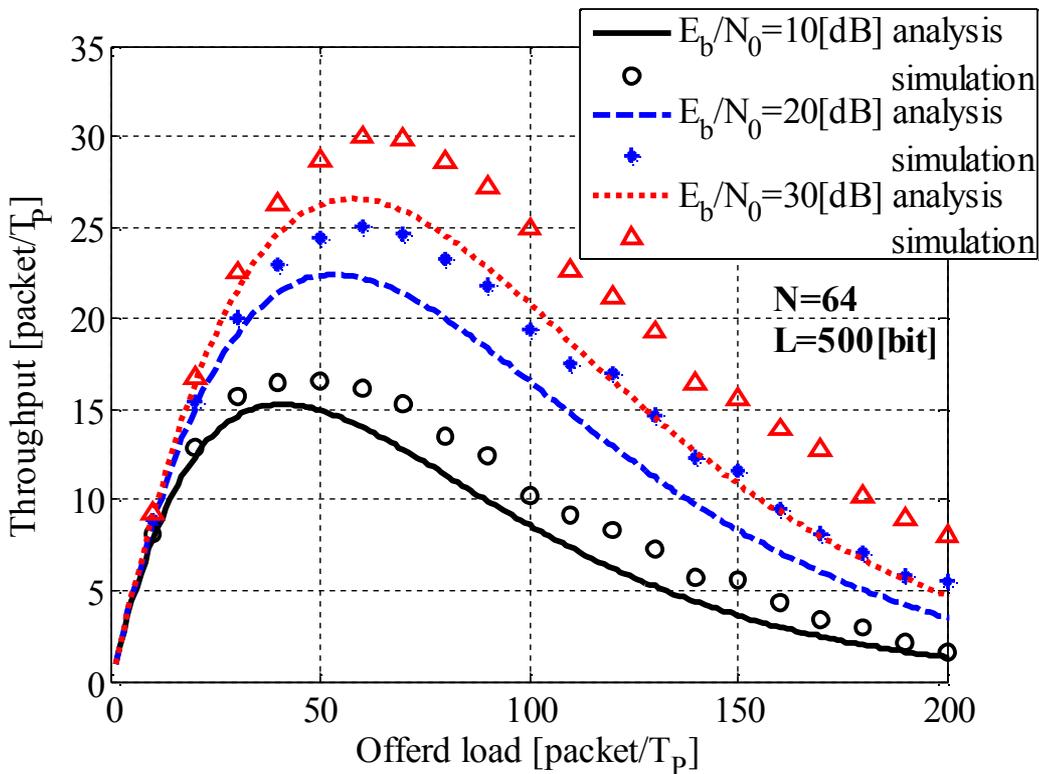
- 解析モデルより, ここでの解析は, Lower Boundとして考える
- 着目パケットに干渉を与えるパケット
 - ◆ パケット長の2倍の期間に生じたパケット
 - ◆ かつ, チップタイミング以内で重なったパケット以上より, 干渉パケット数の定常状態確率 P_k を求める
- スループット S を, パケット長時間に成功する平均パケット数と定義すると, 以下の式で求まる

$$S = G \cdot \sum_{k=0}^{\infty} P_k \cdot (1 - P_{ER}(k))$$

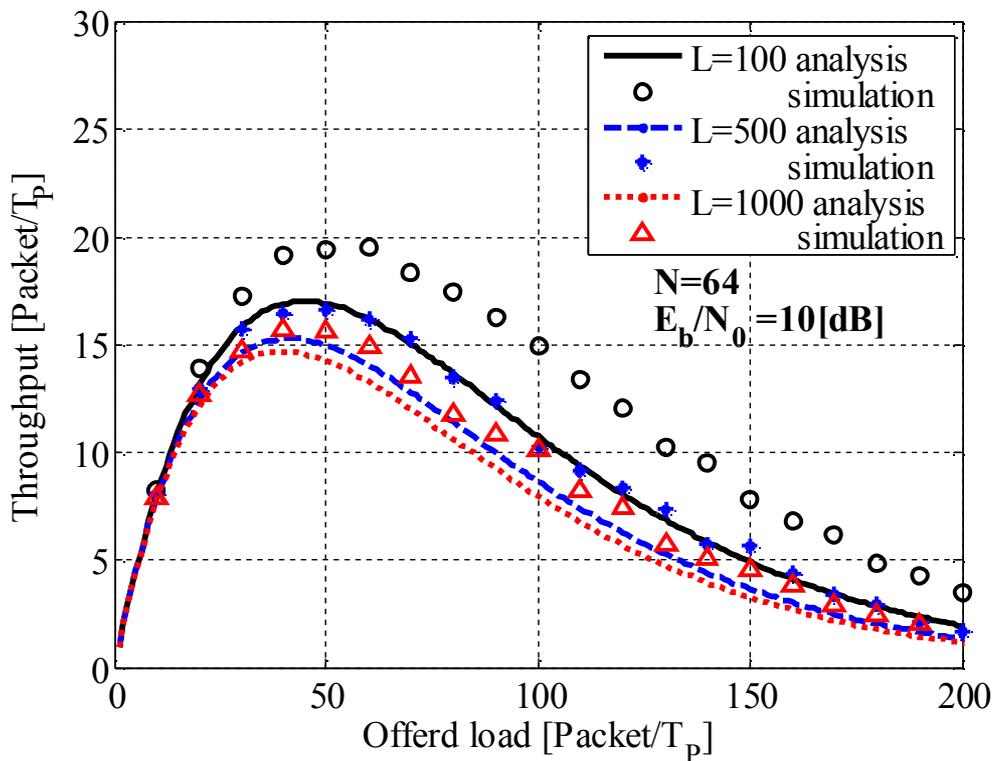
ただし, G ; オファードロード (パケット長時間に生起するパケット数)
 $P_{ER}(k)$; 干渉パケット数 k の時のPER

- 数値計算および, 計算機シミュレーションによりスループット特性を評価する
 1. 熱雑音環境下でのスループット特性
 2. パケット長を変化させた場合のスループット特性
 3. サブキャリア数を変化させた場合のスループット特性
 4. ランダム符号を用いたCDMA U-ALOHAとの比較

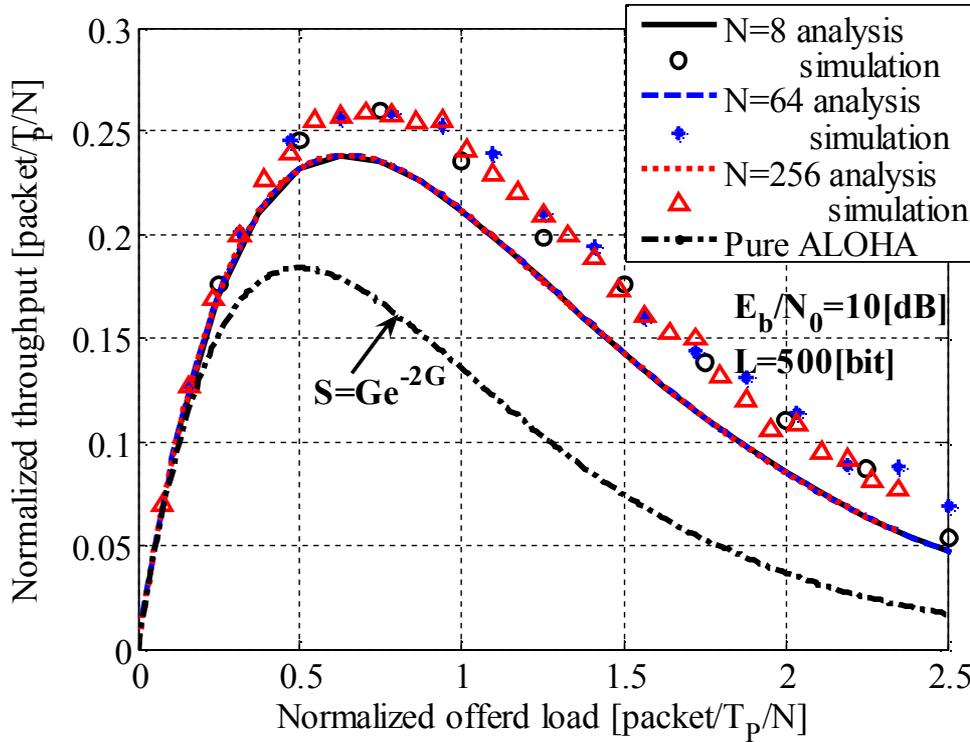
数値例; E_b/N_0 を変化させた場合



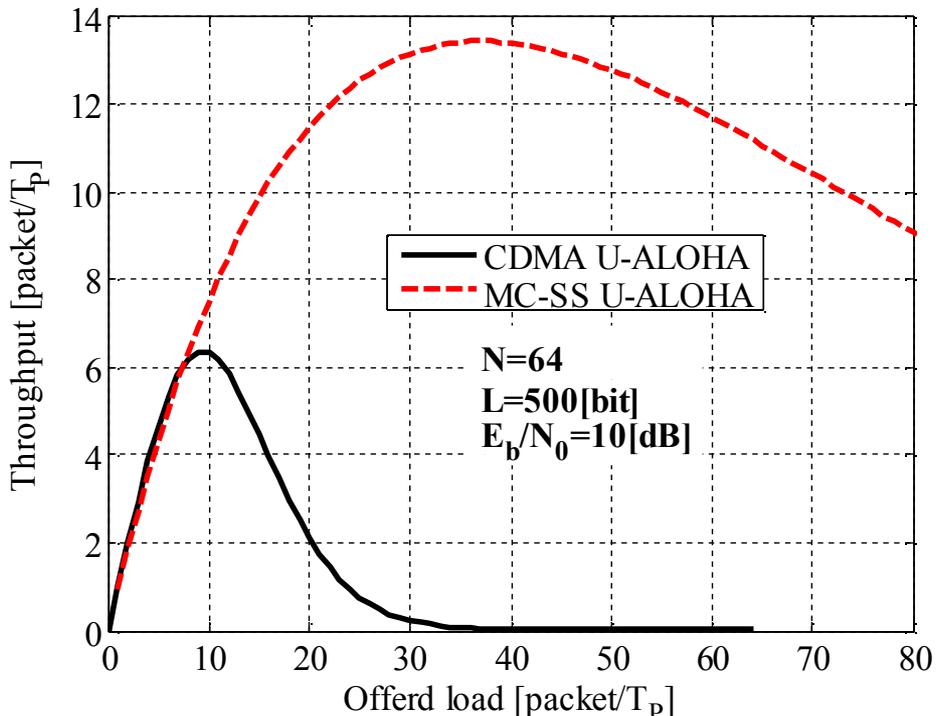
数値例; パケット長を変化させた場合



数値例; サブキャリア数を変化させた場合



数値例; CDMA U-ALOHAとの比較



CDMA U-ALOHAでは、各ユーザにランダム符号を用いる

- シミュレーションと比較すると、解析により求めたスループット特性は、Lower Boundとして正当な値を示した
 - ◆ 雑音が比較的大きい場合および、パケット長が長い場合は、シミュレーションの結果とほぼ同じスループット特性を示した
- ランダム符号を用いた場合のCDMA U-ALOHAと比べ、MC-SS U-ALOHAは良好なスループット特性を示した
- サブキャリア数で正規化したスループット特性より、MC-SS U-ALOHAの方がPure ALOHA方式よりも効率がよいことがわかった

まとめ

- MC-SS U-ALOHAのスループット特性を解析により求めた
- 計算機シミュレーションと比較し、解析が妥当であることを示した
- パケット通信において、MC-SS U-ALOHAは有望な方式であると考えられる

今後の課題

- 干渉パケットが1チップ以上離れた場合，干渉成分を“ゼロ”として解析を行ったが，実際には干渉成分があるので，干渉成分を考慮に入れた解析を行う必要がある
- MC-SS U-ALOHAに適したアクセス制御方式の検討
- 誤り訂正の効果について検討

