

## ユーザ数推定型 CSK/SS 無線パケット通信の送信確率に関する検討

小室信喜<sup>†</sup> 羽渕裕真<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 東京工科大学コンピュータサイエンス学部

〒192-0982 東京都八王子市片倉町1404-1

<sup>††</sup> 茨城大学工学部

〒316-8511 茨城県日立市中成沢4-12-1

E-mail: [†nkmr@cis.ibaraki.ac.jp](mailto:†nkmr@cis.ibaraki.ac.jp), [††habuchi@mx.ibaraki.ac.jp](mailto:††habuchi@mx.ibaraki.ac.jp)

あらまし 本稿では、ユーザ数推定型符号シフトキーイングスペクトル拡散 (Code Shift Keying Spread Spectrum; CSK/SS) 無線パケット通信について検討されている。この方式は、各ユーザが送信ユーザ数を推定し、その情報をもとにパケット送信の可否を判断する方式であり、送信確率は本方式の性能に影響を及ぼすものと考えられる。そこで、本稿では、ユーザ数推定誤りによるゆらぎを考慮した送信確率について検討されている。

キーワード アロハ方式, アクセス制御, スループット性能

## On the Transmission Probability of the CSK/SS Access Control Scheme based on the Estimation of Offered Load

Nobuyoshi KOMURO<sup>†</sup> and Hiromasa HABUCHI<sup>††</sup>

<sup>†</sup> School of Computer Science, Tokyo University of Technology

Katakura 1404-1, Hachioji, Tokyo, 192-0982 Japan

<sup>††</sup> Faculty of Engineering, Ibaraki University

Nakanarusawa 4-12-1, Hitachi-shi, Ibaraki, 316-8511 Japan

E-mail: [†nkmr@cis.ibaraki.ac.jp](mailto:†nkmr@cis.ibaraki.ac.jp), [††habuchi@mx.ibaraki.ac.jp](mailto:††habuchi@mx.ibaraki.ac.jp)

**Abstract** The transmission probability of the CSK/SS access control scheme based on the estimation of offered load is investigated. In this access control scheme, each user estimates the number of users and figures out if he transmits or not. When a user becomes ready to send, he estimates the number of users. If it is equal or less than a certain threshold, he transmits with a probability 1.0. If it is more than the threshold, he transmits with a probability  $p$ . In this paper, the transmission probability which takes into account of the estimation error is investigated.

**Key words** ALOHA system, access control, throughput performance

### 1. はじめに

スペクトル拡散通信と ALOHA 方式を組み合わせた Spread ALOHA 方式は、送信手順の簡易性と耐干渉性に優れた方式で

あり、さまざまな検討が行われている [1]-[6]。Spread ALOHA 方式の改善方法の一つとして、アクセス制御方式である CLSP (Channel Load Sensing Protocol) を用いた検討がされている [2] [3] [5]。CLSP は、基地局側が伝送路中のパケット数を観

察し、制御信号をブロードキャストすることによって、伝送路中のパケット数を制御する方式である。CLSP は、基地局が受信信号から伝送路内のパケット数を推定し、それをもとに制御信号をブロードキャストする方式である。そのため、基地局主導の方式であるため、アドホックネットワーク、車間通信、センサーネットワークなどへの応用が困難であると考えられる。一方、各ユーザが送信ユーザ数を推定し、その情報をもとに各ユーザが送信の可否を判断するユーザ数推定型 CSK/SS 無線パケット通信は、ユーザ局主導の方式であるため、アドホックネットワークなどへの適用できる可能性を秘めている [9]。この方式は、送信希望ユーザは送信ユーザ数を推定し、その数が閾値以下であれば、確率 1 でパケットを送信し、閾値を越えている場合にはある確率  $p$  でパケットを送信する方式である。この方式は、ユーザ数推定の誤りなどによって送信確率が変化してしまうものと考えられるが、これまでの検討では、送信確率は変化しないものとして、検討されてきた。

そこで、本稿では、ユーザ数推定型 CSK/SS 無線パケット通信における送信確率に関する検討を行う。特に、ユーザ数推定誤りによって送信確率が変動することを考慮したスループット性能について検討する。表 1 に、次節以降で利用する記号について示す。

表 1 記号

$L_{p-info}$	1 パケットのビット数 [bit]
$L_p$	パケット長 [frame]
$M_{os}$	直交系列の数
$M_{con}$	隣直交系列の接続数
$M_{non}$	非直交系列の数
$N_{bit}$	非直交系列のメッセージビット数
$K$	ユーザ数
$K_e$	送信ユーザ数
$k$	干渉パケット数
$G$	1 パケット時間内の平均生成パケット数 (オフロード)
$E_b$	1 ビットあたりの送信信号エネルギー
$N_0$	雑音電力スペクトル密度

## 2. システム構成

図 1 に本方式のシステム構成を示す。各ユーザは、ユーザ識別のための PN 系列 (PN  $k$ ) が割り当てられている。また、全ユーザに共通の非直交系列セット ( $C_1, C_2, \dots, C_{M_{non}}$ ) が割り当てられている。本方式では、全ユーザに共通に割り当てられている非直交系列セットの中の一つを用いて送信ユーザ数を推定する。全ユーザに共通に割り当てられているため、各ユーザは、相関出力から送信ユーザ数を推定することができる。

### 2.1 送信機構成

図 2 に、本方式における送信機の構成を示す。まず、 $M_{non}$  個の非直交系列の中の系列からプリアンブルを構成する。次に、 $M_{non}$  個の非直交系列の中から 1 つの非直交系列を選択する。次に、選択された系列とユーザ識別用の PN 系列を乗算する。

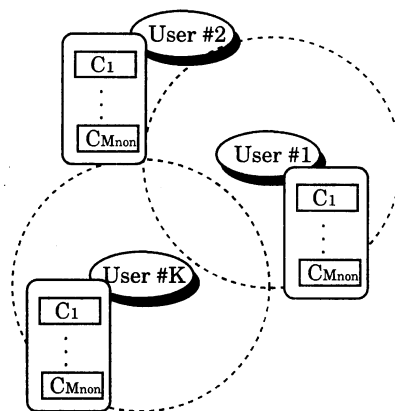


図 1 システム構成

ただし、プリアンブルを構成している系列には PN 系列を乗算しない。最後に搬送波を乗算し、基地局側に伝送する。本方式では、直交系列を  $M_{con}$  個接続することによって非直交系列を構成しており、直交系列を  $M_{con}$  個接続した系列をフレームと呼ぶこととする。1 直交系列から  $2^{M_{con}}$  個の非直交系列が構成される。したがって、直交系列数が  $M_{os}$  であるとき、各ユーザに与えられている非直交系列数は、 $M_{non} = 2^{M_{con}} M_{os}$  である。また、1 フレーム当たりの情報ビット数は  $N_{bit} = \log_2(2^{M_{con}} M_{os})$  [bit] であり、直交系列長が直交系列数  $M_{os}$  と等しい場合、フレーム長は  $M_{con} M_{os}$  である。

ユーザ数推定部では、まずプリアンブル部分の相関出力値から送信ユーザ数を推定する。次に、送信希望ユーザは、推定したユーザ数と閾値をもとに送信の可否を判断する。推定ユーザ数が閾値未満の場合、確率 1 でパケットを送信し、閾値以上の場合、確率  $p$  ( $0 \leq p < 1$ ) でパケットを送信する。

### 2.2 送信状況

送信ユーザは、全ユーザが共通に利用している非直交系列の中の一つの系列でプリアンブルを構成する。各ユーザは、他ユーザのプリアンブル信号の相関器出力から送信ユーザを推定する。次に、送信希望ユーザは、その推定ユーザ数をもとにユーザ自身で送信の可否を決定する。

図 3 に、本方式の送信状況を示す。各ユーザはパケットを送信する際、非直交系列で構成する系列をプリアンブルとして利用する。図 3 では、例として、全ユーザが  $C_1$  で構成するプリアンブルを用いている。送信希望ユーザ (ユーザ  $k$ ) は、この  $C_1$  の受信電力をもとに送信しているユーザ数を推定し、パケット送信の可否を判断する。推定ユーザ数が  $K_e$  が閾値  $\alpha$  ( $\alpha$  に相当する電力) 以下の場合、ユーザ  $k$  は確率 1 でパケットを送信する。  $K_e > \alpha$  の場合、ユーザ  $K$  は確率  $p$  でパケットを送信し、確率  $1 - p$  でパケットの送信を控える。

## 3. 性能解析

### 3.1 解析条件

以下の条件を仮定し、解析を行う。

- 1 パケット当たりのビット数は  $L_{p-info}$  に固定する。

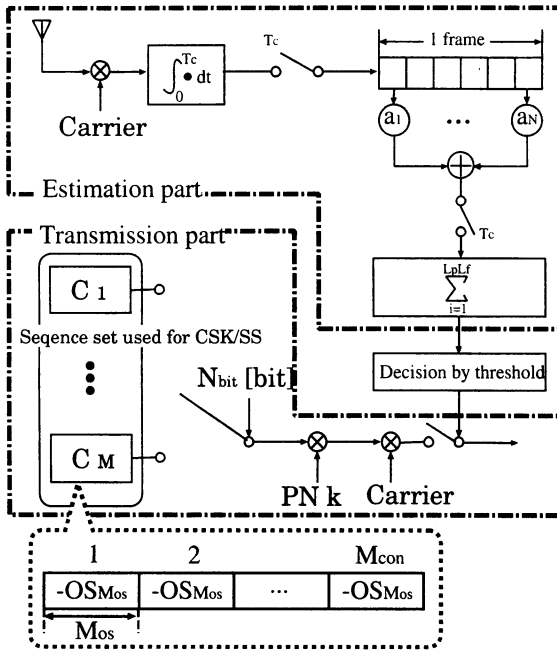


図2 送信機構成

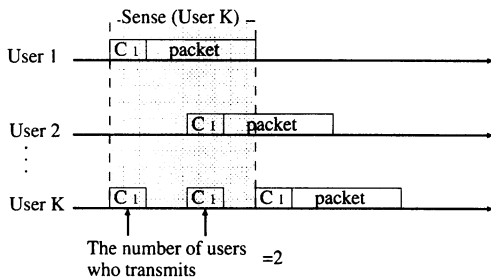


図3 Unslotted型におけるパケット送信の様子

• 1パケット時間当たりに発生する平均パケット数を  $G$  とする。このとき、1チップ時間当たりに発生する平均パケット数  $G_{chip}$  は、

$$G_{chip} = \frac{G}{L_p M_{con} M_{os}}$$

である。本方式における PN 系列長とフレーム長は同じであるものとする。

- パケットの発生は 2 項分布に従うものとする。
- 送信パケットはすべて等電力で受信されるものとする。

### 3.2 ユーザ数推定誤りによるゆらぎを考慮した送信確率

本方式における各ユーザの送信確率  $p'$  は、

$$p' = \begin{cases} 1 & Pw_s < \alpha Pw \\ p & Pw_s \geq \alpha Pw \end{cases}$$

ただし、 $p(0 \leq p < 1)$  であり、 $Pw_s$  は送信希望ユーザに到達した電力の総和、 $\alpha$  は閾値、 $Pw$  は 1 ユーザ当たりの電力である。推定ユーザ数を  $k$  とし、ユーザ数推定のゆらぎが正規分布に従

うものとする、送信確率は次式のように表すことができる。

$$p_1 = 1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{(\alpha - k) Pw}{\sqrt{2\sigma^2}} \right)$$

$$p_2 = \frac{p}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{(\alpha - k) Pw}{\sqrt{2\sigma^2}} \right) \quad (1)$$

ただし、 $p_1$  は推定ユーザ数が  $\alpha$  未満の場合における送信確率、 $p_2$  は  $\alpha$  以上の場合における送信確率、 $\operatorname{erfc}(x)$  は誤差補間数である。

### 3.3 スループット解析

[3] にもとづき、有限ユーザ環境下でのスループット解析を行う。提案方式を用い、アクセス制御を適用した場合における平均発生パケット数  $G_{sys}$  は、次式で表される。

$$G_{sys} = \frac{\sum_{j=0}^{\alpha} j p_1(j) {}_K C_j \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j + \sum_{j=\alpha+1}^K j p_2(j)^{j-\alpha} {}_K C_j \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j}{\sum_{k'=0}^{\alpha} p_1(k') {}_{K'} C_{k'} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^{k'} + \sum_{k'=\alpha+1}^K p_2(k') {}_{K'} C_{k'} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^{k'}} \quad (2)$$

ただし、 $K$  はユーザ数、 $p_1(k), p_2(k)$  はユーザ推定誤りによるゆらぎを考慮した送信確率である。ユーザ数が有限である場合

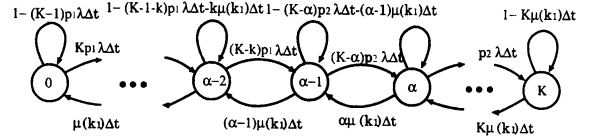


図4 干渉パケット数の状態遷移

において、1つのパケットが発生する確率  $\lambda$  および終了する確率  $\mu$  は以下のように表すことができる。

$$\lambda = \frac{G}{K L_{frame}} \quad (3)$$

$$\mu = \frac{1}{L_{frame}} \quad (4)$$

ただし、 $L_{frame}$  は 1 パケットあたりのフレーム数である。したがって、干渉パケット数が  $k$  である場合におけるシステム全体のパケット発生確率は  $(K - k)\lambda\Delta t$ 、システム全体の終了確率は  $k\mu\Delta t$  となる。そのとき、干渉パケット数の状態遷移は、図4のように表され、平均パケット成功確率  $\bar{Q}$  は次式となる。

$$\bar{Q} = \sum_{k=0}^K \sum_{k_h=0}^K P_S(k, L_p + 1, k_h, K), \quad (5)$$

ここで、 $P_S(k, i_f, k_h, K)$  は最初のフレームから  $(i_f - 1)$  番目の非直交系列までが受信に成功し、パケットの先頭における干渉パケット数が  $k_h$ 、 $i_f$  番目フレームの先頭の直交系列における干渉パケット数が  $k$  となる確率であり、

$$P_S(k, i_f, k_h, K) = \sum_{n_1=-1}^1 \sum_{n_2=-1}^1 \cdots \sum_{n_{M_{con}}=-1}^1$$

$$P_S \left( k + \sum_{m=1}^{M_{con}} n_m, i_f - 1, k_h \right)$$

$$\times P(n_1, K) P(n_2, K) \cdots P(n_{M_{con}}, K)$$

$$\times P_c(k_1 = k_2 + n_1, k_2 = k_3 + n_1, \dots, k_{M_{con}} = k + n_{M_{con}})$$

で表される。  $P_c(k_1 = k_2 + n_1, k_2 = k_3 + n_1, \dots, k_{M_{con}} = k + n_{M_{con}})$  は、非直交系列が受信に成功する確率である [7]。また、

$$P(n_j, K) =$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (K-k)p_1(k-1)\lambda\Delta t \quad (n_j = -1, k_j + n_j < \alpha) \\ (k+1)\mu\Delta t \quad (n_j = +1, k_j + n_j < \alpha) \\ 1 - (K-k-1)p_1(k)\lambda\Delta t - k\mu\Delta t \quad (n_j = 0, k_j + n_j < \alpha - \frac{5}{2}) \\ 1 - (K-k-1)p_2(k)\lambda\Delta t - k\mu\Delta t \\ \quad (n_j = 0, k_j + n_j = \alpha - 1) \\ (K-k)p_2(k-1)\lambda\Delta t \quad (n_j = -1, k_j + n_j \geq \alpha) \\ (k+1)\mu\Delta t \quad (n_j = +1, k_j + n_j \geq \alpha) \\ 1 - (K-k-1)p_2(k)\lambda\Delta t - k\mu\Delta t \\ \quad (n_j = 0, k_j + n_j > \alpha - 1) \end{array} \right.$$

$$(j = 1, 2, \dots, M_{con}).$$

である。したがって、正規化スループット  $S_{norm}$  は次式で表される。

$$S_{norm} = G_{sys} \cdot \bar{Q} \quad (6)$$

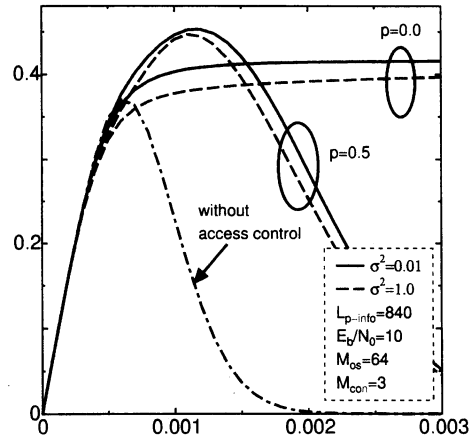
#### 4. スループット性能

図5に、パケット当たりの情報ビット数  $L_{p-info} = 840$  [bit]、ユーザ数  $K = 100$ 、直交系列数  $M_{os} = 64$ 、接続数  $M_{con} = 3$ 、 $E_b/N_0 = 10$  [dB]、送信判断確率  $p = 0.0, 0.5$  とした場合における本方式のスループットを示す。実線は分散  $\sigma^2 = 0.01$ 、破線は  $\sigma^2 = 1.0$  とした場合におけるスループットであり、一点鎖線はアクセス制御を用いていない場合におけるスループットである。送信確率にかかわらず、分散が大きくなるに従ってスループットが低下しており、 $p = 0.0$  のとき、4.6%、 $p = 0.5$  のとき、1.3% 低下する。このことから、送信確率が低い場合、ユーザ数推定誤りによるゆらぎの影響が大きいがわかる。また図より、スループットが低下した場合においても、本方式はアクセス制御を用いていない場合よりも良い性能を示す。

#### 5. おわりに

本稿では、ユーザ数推定型 CSK/SS 無線パケット通信における送信確率について検討した。特に、ユーザ数推定誤りによるゆらぎを考慮したスループットについて検討した。その結果、

- ユーザ数推定誤りによるゆらぎを考慮することによって1から5%スループットが低下する。
- ユーザ数推定誤りによるゆらぎを考慮した場合においてもアクセス制御を用いない方式より良好な性能を示すことがわかった。



5  $L_{p-info} = 840$  [bit],  $K = 100$ ,  $E_b/N_0 = 10$ ,  $M_{os} = 64$ ,  $M_{con} = 3$ ,  $p = 0.0, 0.5$  としたときのユーザ数推定型 CSK/SS 無線パケット通信のスループット (実線は  $\sigma^2 = 0.01$ 、破線は  $\sigma^2 = 1.0$ 、一点鎖線はアクセス制御を用いていないとき)

#### 謝 辞

本研究の一部は科学研究費 (基盤研究 C) の補助により行われた。

#### 文 献

- [1] Robert K. Morrow, Jr., James S. Lehnert: "Packet Throughput in Slotted ALOHA DS/SSMA Radio Systems with Random Signature Sequences", IEEE Transactions on Communications, Vol.40, No.7, pp.1223-1230, July 1992.
- [2] Takeshi Sato, Hiraku Okada, Takaya Yamazato, Masaaki Katayama, Akira Ogawa: "Throughput Analysis of DS/SSMA Unslotted ALOHA System with Fixed Packet Length", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.14, No.4, pp.750-755, May 1996.
- [3] 岡田啓, 山里敬也, 片山正昭, 小川明: "有限ユーザ CDMA Unslotted ALOHA 方式のスループット解析法に関する一検討", 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J81-A, No.7, pp.1089-1093, 1998年7月
- [4] S. M. Tseng: "A High-Throughput Multicarrier DS CDMA/ALOHA Network", IEICE Trans. Commun., Vol.E86-B, No.4, pp.1265-1273, April 2003.
- [5] A. H. Abdelmonem and T. N. Saadawi: "Performance analysis of spread spectrum packet radio network with channel load sensing", J. Sel. Areas in Commun., Vol.7, No.1, pp.161-166, Jan. 1989.
- [6] T. Arai, H. Habuchi: "Performance in the SSMA Unslotted ALOHA systems with the M-ary/SS Technique", ICICS'99, #302, Nov. 1999.
- [7] N. Komuro and H. Habuchi, "Throughput Analysis of the CSK/SSMA ALOHA with Nonorthogonal Sequences by Non-perfect Capture", Proc. ISSSTA, CD-ROM, Sept. 2004.
- [8] N. Komuro, H. Habuchi and M. Kamada: "CSK/SSMA ALOHA System with Nonorthogonal Sequences", IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E87-A, No.10, pp.2564-2570, Oct. 2004.
- [9] N. Komuro and H. Habuchi, "Novel Access Control Scheme based on the Estimation of Offered Load for the CSK/SS Random Access Systems", Proc. WPMC'05, CD-ROM, Sep. 2005.