

新クリッパを設けた干渉除去器を適用した 光符号分割多元接続方式

小清水 誠* 山田 昌尚** 森山 純臣**

Optical Code Division Multiple Access System to apply
interference canceller which installs New Clipper

Makoto KOSHIMIZU Masanao YAMADA Yoshitomi MORIYAMA

Abstract - Recently, the research of the Optical Code Division Multiple Access System is paid to attention. The research to remove serious Multiple Access Interference in especially Code Division Multiple Access is active. In a past interference canceller, the rate characteristic was deteriorated excessively estimating interference, and by mistake. In this thesis, a rate by mistake and proposes the interference canceller which installs a new clipper as an improvement of the rate characteristic. In the proposed interference canceller, a rate by mistake and deterioration at the rate is decreased by limiting form a simultaneous number of use users and outputting the excessive estimation caused when interference is estimated. Moreover, the group characteristic of enhancing Prime sign system which uses as a diffusion sign is used. As a result, a rate by mistake from a past interference removal machine even when a simultaneous number of use users increases, the rate characteristic is shown, and ameliorable is shown.

Key words : Optical Code Division Multiple Access System, New Clipper, interference canceller

1. まえがき

符号分割多元接続(CDMA:Code Division Multiple Access)方式は、秘話性や耐障害性など他の多元接続方式には見られない特徴をもち、無線通信の分野では古くから研究されている。これらの特徴は光ファイバ上で多元接続を行う際にも有効であるため、近年光通信においても CDMA 方式が盛んに研究されている。

以前、光 CDMA 方式の一つとして、拡張 Prime 符

号系列を用い、受信側に干渉除去器を適用した方式^{[1]-[3]}が提案された。この方式では干渉見積もり量のなかに、所望ユーザ同一グループに属する他ユーザの所望信号の一部を含むことがありうる。そのため干渉を過剰に見積もってしまうことがある。これを改善するため 2001 年に新宮らが光クリッパを設けた干渉除去器^[4]を発表した。この方式により、干渉の過剰見積もりをかなり改善することができたが、同時使用ユーザ数が増えると過剰見積もりをする。

本研究では、干渉除去器として光クリッパをさらに改良し同時使用ユーザ数が増えても過剰見積もりをし

*釧路高専技術室

**釧路高専電子工学科

ない新クリッパを提案し、シミュレーションにより得られた結果をもとに従来方式との比較検討をする。

2. 拡張 Prime 符号系列

本研究では、ユーザの符号として拡張 Prime 符号系列を使用する。拡張 Prime 符号系列は光同期 CDMA 方式で用いた場合、短い符号長で多くの拡散符号を確保できるものとして知られている。拡張 Prime 符号系列は素数 P を与えると重み P 、符号長 P^2 、拡散符号総数 P^2 で与えられる。表 1 に $P=5$ の拡張 Prime 符号系列を示す。2 つの拡張 Prime 符号系列を x, y とすると、相関特性は次式のように表される。

$$\theta_{x,y} = \begin{cases} P, & x = y \\ 0, & x \text{ and } y \text{ are in the same group, } x \neq y \\ 1, & x \text{ and } y \text{ are in the different groups.} \end{cases} \quad (1)$$

表 1 . 拡張 Prime 符号系列 : $P=5$

グループ	拡張 Prime 符号	拡張 Prime 符号系列	拡張 Prime 符号系列	拡張 Prime 符号系列	拡張 Prime 符号系列	拡張 Prime 符号系列
0	00000	10000	10000	10000	10000	10000
	44444	00001	00001	00001	00001	00001
	33333	00010	00010	00010	00010	00010
	22222	00100	00100	00100	00100	00100
	11111	01000	01000	01000	01000	01000
	1	01234	10000	01000	00100	00010
12340		01000	00100	00010	00001	10000
23401		00100	00010	00001	10000	01000
34012		00010	00001	10000	01000	00100
40123		00001	10000	01000	00100	00010
2	02413	10000	00100	00001	01000	00010
	24130	00100	00001	01000	00010	10000
	41302	00001	01000	00010	10000	00100
	13024	01000	00010	10000	00100	00001
	30241	00010	10000	00100	00001	01000
3	03142	10000	00010	01000	00001	00100
	31420	00010	01000	00001	00100	10000
	14203	01000	00001	00100	10000	00010
	42031	00001	00100	10000	00010	01000
	20314	00100	10000	00010	01000	00001
4	04321	10000	00001	00010	00100	01000
	43210	00001	00010	00100	01000	10000
	32104	00010	00100	01000	10000	00001
	21043	00100	01000	10000	00001	00010
	10432	01000	10000	00001	00010	00100

3. システムモデル

本章では、光同期 CDMA 方式の送信機、及び従来方式とする光クリッパを適用した受信機と、本研究で提案する新クリッパを適用した受信機の構成を述べる。

3.1 送信機モデル

図 1 に $M=4, P=3$ の場合の光同期 PPM-CDMA 方式の送信機モデルを示す。1 フレームは M 個のスロットから構成され、更に 1 スロットは P^2 個のチップから構成される。ここで、 k 番目のユーザの拡散符号系列を $(C_{k,0}, C_{k,1}, \dots, C_{k,P^2-1})$ とすると、拡散符号系列の時間波形はスロット幅 T_s の周期関数であり次式で与えられる。

$$C_k(t) = \sum_{i=0}^{P^2-1} C_{k,i} P_{T_c}(t - iT_c) \quad (0 \leq t \leq T_s) \quad (2)$$

$$C_k(t) = C_k(t - gT_s) \quad (g \text{ is an integer}) \quad (3)$$

ここで、 T_c はチップ幅で $T_s = P^2 T_c, P(\cdot)$ はパルス幅の方形パルスを表し次式で与えられる。

$$P(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } 0 < t < \tau, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (4)$$

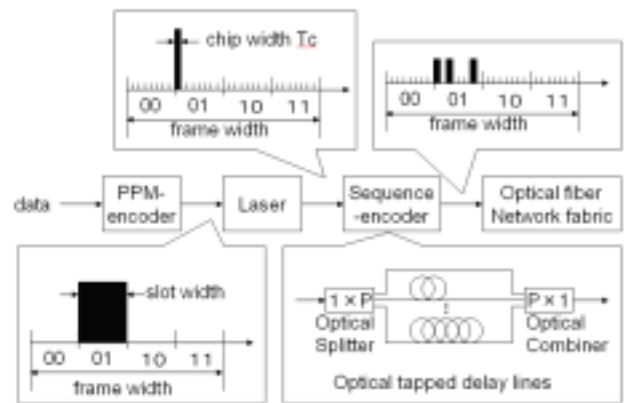


図 1 . 光同期 4-ary PPM-CDMA の送信機の構成

ユーザは送信する $\log_2 M$ ビットに応じて PPM スロットを選択し、そのスロット内の先頭チップに光パルスを開始する。ここで、 k 番目のユーザの送信する PPM 符号器の出力を $b_{k,j} \{0, 1, \dots, M-1\}$ とすると、PPM 符号器の出力波形 $b_k(t)$ は次式で与えられる。

$$b_k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \lambda_s P_{T_s}(t - b_{k,j} T_s - jT_f) \quad (6)$$

ここで、 s はスロット時間当りの平均光子数、 T_f は PPM のフレーム幅を表す。この光パルスは Prime 系列符号器によって、符号中の“1”に相当するチップ位置に配置される。拡散された送信信号は次式で与えられる。

$$d_k(t) = b_k(t)c_k(t) \quad (7)$$

その後、他ユーザの送信機によって同様に符号化された信号と多重化され、光ファイバ上に伝送される。したがって、光 PPM-CDMA 方式における受信信号 $r(t)$ は 1 フレーム内の同時ユーザ数を N とすると次式で与えられる。

$$r(t) = \sum_{k=1}^N d_k(t) \quad (8)$$

3.2 光クリップを適用した受信機モデル

次に干渉除去器として光クリップを適用した光同期 PPM-CDMA 方式における受信機について説明する。干渉の除去は式(1)で示される拡張 Prime 符号系列のグループ特性を利用して行う。ここで、グループ 1 の最初の拡散符号をユーザ 1 に与えて、所望ユーザをユーザ 1 とし、ユーザ 1 と同一グループの拡散符号を与えられたユーザをユーザ n とする。 ($n \in \{2,3,\dots,p\}$)
図 2 に光クリップを使用した受信機の構成を示す。

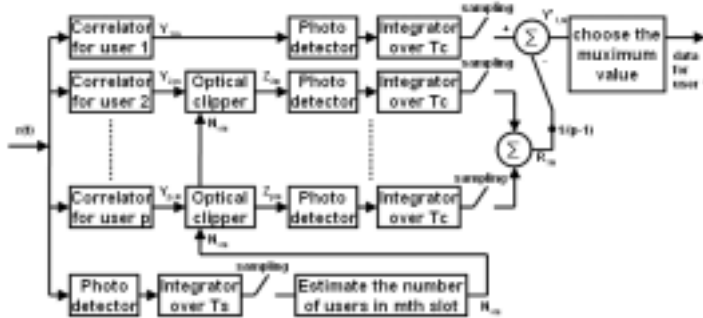


図 2 . 光クリップを使用した受信機

まず、相関器により送られてきた信号と同一グループ内の各ユーザの自己相関値 $Y_{n,m}$ を求める。次に図 2

の一番下のユーザ数推定部分でスロット m 内の同時使用ユーザ数 N_{sm} を次式により推定する。

$$N_{sm} = \sum_{t=1+m^2 P^2}^{P^2+m^2 P^2} r(t) \div P \quad (9)$$

次に光クリップで処理をする。光クリップではまず、しきい値 T_{hm} を次式により決定する。

$$T_{hm} = \min\{N_{sm}, p^2 - p\} \quad (10)$$

ここで、 $\min\{ , \}$ は $,$ の小さいほうをとることにする。さらに光クリップ内で出力 $Z_{n,m}$ を次式により計算する。

$$Z_{n,m} = \min\{Y_{n,m}, T_{hm}\} \quad (11)$$

これにより光クリップへの入力がしきい値よりも大きい場合、光クリップによって過剰な出力を制限する。次に、出力 $Y'_{1,m}$ を次式に示す。

$$Y'_{1,m} = Y_{1,m} - \frac{1}{P-1} R_{1,m} \quad (12)$$

ここで、 $R_{1,m}$ は次式で定義する。

$$R_{1,m} = \sum_{n=2}^P Z_{n,m} \quad (13)$$

この干渉除去器では、光クリップによって同一グループ他ユーザの相関値をしきい値(T_{hm})によって制限する際、完全に制限しきれない値が生じる。このことにより所望ユーザの信号から過剰に除去してしまい、完全な信号を復元できない場合がある。

3.3 新クリップを適用した受信機モデル

次に本研究で提案する、新クリップを適用した光同期 PPM-CDMA 方式における受信機について説明する。

新クリップの場合も、光クリップの場合と同様に拡張プライム符号系列のグループ特性を利用して行う。

図 3 に新クリップを使用した受信機の構成を示す。

まず、相関器により送られてきた信号と同一グルー

プ内の各ユーザの自己相関値 $Y_{n,m}$ を求める。次に図2の一番下のユーザ数推定部分でスロット m 内の同時使用ユーザ数 N_{sm} を(9)式により推定する。

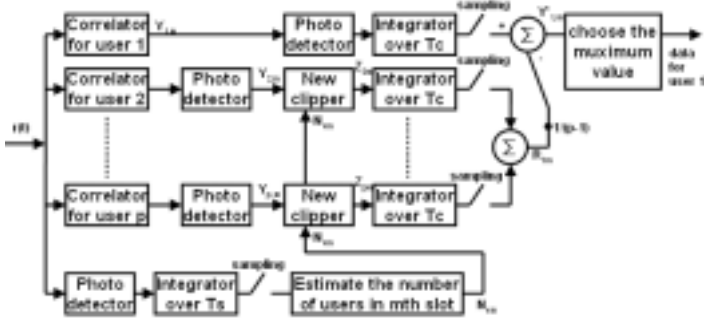


図3 . 新クリッパを使用した受信機

次に新クリッパで処理をする。新クリッパの場合も同様に、しきい値 T_{hm} を(10)式により決定する。さらに新クリッパ内で出力 $Z_{n,m}$ を次式により計算する。

$$Z_{n,m} = \begin{cases} Y_{n,m} - p, & \text{if } Y_{n,m} > p \\ \min\{Y_{n,m}, T_{hm}\}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

この操作により、所望ユーザと同一グループ内の他ユーザが他のグループのユーザから受ける干渉を削除することができる。その後は光クリッパの場合と同様に(12)式を使い、所望ユーザの信号を復元することができる。

4 . シミュレーション結果

送信機及び光クリッパと新クリッパを適用した光同期 PPM-CDMA 方式における受信機について、 $P=3$ 、送信データ数 10、所望ユーザをグループ 1 のユーザ 1 として解析する。送信データは M 系列により作成された乱数とした。まず、 $P=3$ の場合の拡張 Prime 符号系列は表 2 のようになる。

表 2 . 拡張 Prime 符号系列 : $P=3$

グループ	ユーザ	拡張 Prime 符号系列
グループ 0	ユーザ 1	100100100
	ユーザ 2	001001001
	ユーザ 3	010010010
グループ 1	ユーザ 1	100010001
	ユーザ 2	010001100
	ユーザ 3	001100010
グループ 2	ユーザ 1	100001010
	ユーザ 2	001010100
	ユーザ 3	010100001

所望ユーザはグループ 1 のユーザ 1 である。次に M 系列から発生させた各ユーザの送信データと PPM-encoder($M=4$)後の送信データを表 3 に示す。

表 3 . 送信データ

グル ープ	ユーザ	送信データ	PPM-encoder 後の 送信データ $M=4$
0	1	000000001	10001000100010000100
	2	1000000011	00101000100010000001
	3	1100000110	00011000100001000010
1	1	0110001111	01000010100000010001
	2	1111011000	00010001010000101000
	3	0001011100	10000100010000011000
2	1	0010010110	10000010010001000010
	2	0101100111	01000100001001000001
	3	1001111100	00100100000100011000

この PPM-encoder 後の送信データにそれぞれのユーザの拡張 Prime 符号系列により符号化する。このデータを多重化し光ファイバ内に送信する。

続いて受信機での処理である。光クリッパ・新クリッパともまず、 $r(t)$ からスロット内での同時使用ユーザ数を(9)式により求める。求めた同時使用ユーザ数を表 4 に示す。

表4. 各スロット内での同時使用ユーザ数

スロット	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
同時使用ユーザ数	3	2	2	2	3	3	2	1	4	3
スロット	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
同時使用ユーザ数	1	1	2	3	1	3	3	1	2	3

次に、まず送信されてきたデータとグループ1のすべてのユーザ($Y_{1,m}, Y_{2,m}, Y_{3,m}$)の相関値を求める。求めた結果を表5に示す。

表5. 送信データと各ユーザとの相関値(グループ1)

スロット	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Y_{1,m}$	2	4	2	1	3	2	4	0	6	1
$Y_{2,m}$	2	1	2	4	3	2	1	3	3	4
$Y_{3,m}$	5	1	2	1	3	5	1	0	3	4
スロット	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$Y_{1,m}$	1	1	2	3	0	4	1	1	2	5
$Y_{2,m}$	1	1	2	3	3	1	4	1	2	2
$Y_{3,m}$	1	1	2	3	0	4	4	1	2	2

次に、光クリップのみの処理を示す。光クリップでは(10)式よりしきい値を計算する。その後、グループ1のユーザ2($Z_{2,m}$)とユーザ3($Z_{3,m}$)を(11)式により求める。求めた結果を表6に示す。

表6. 光クリップ適応後の $Z_{2,m}$ と $Z_{3,m}$

スロット	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Z_{2,m}$	2	1	2	2	3	2	1	1	3	3
$Z_{3,m}$	3	1	2	1	3	3	1	0	3	3
スロット	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$Z_{2,m}$	1	1	2	3	1	1	3	1	2	2
$Z_{3,m}$	1	1	2	3	0	3	3	1	2	2

その後、(12)式によりユーザ1の信号($Y'_{1,m}$)を復号化する。復号化した結果を表7に示す。

表7. 光クリップを使用した場合のユーザ1の信号($Y'_{1,m}$)

スロット	1	2	3	4	5	6	7
$Y_{1,m}$	-0.5	3	0	-0.5	0	-0.5	3
$Y_{1,m}/p$	-0.17	1	0	-0.17	0	-0.17	1
スロット	8	9	10	11	12	13	14
$Y_{1,m}$	-0.5	3	-2	0	0	0	0
$Y_{1,m}/p$	-0.17	1	-0.67	0	0	0	0
スロット	15	16	17	18	19	20	
$Y_{1,m}$	-0.5	2	-2	0	0	3	
$Y_{1,m}/p$	-0.17	0.67	-0.67	0	0	1	

続いて、新クリップの場合を解析する。新クリップの場合は $Y_{2,m}, Y_{3,m}$ と各スロット内の同時使用ユーザ数を比較し、もし $Y_{2,m}, Y_{3,m}$ の値が同時使用ユーザ数より多ければその値からPを引く処理をする。((14)式)求めた結果を表8に示す。

表8. 新クリップ適応後の $Z_{2,m}$ と $Z_{3,m}$

スロット	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Z_{2,m}$	2	1	2	1	3	2	1	0	3	1
$Z_{3,m}$	2	1	2	1	3	2	1	0	3	1
スロット	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$Z_{2,m}$	1	1	2	3	0	1	1	1	2	2
$Z_{3,m}$	1	1	2	3	0	1	1	1	2	2

その後、先ほどと同様に(12)式によりユーザ1の信号($Y'_{1,m}$)を復号化する。求めた結果を表9に示す。

表9. 新クリップを使用した場合のユーザ1の信号($Y'_{1,m}$)

スロット	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Y_{1,m}$	0	3	0	0	0	0	3	0	3	0
$Y_{1,m}/p$	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
スロット	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$Y_{1,m}$	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3
$Y_{1,m}/p$	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1

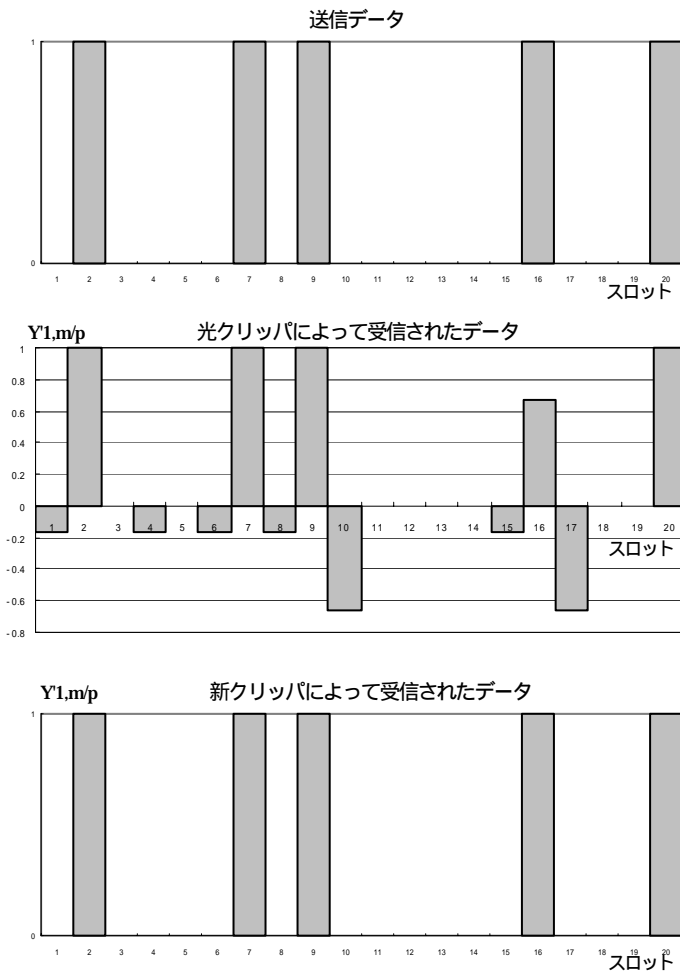


図4 . 送信データと2種類の受信データ

この結果をグラフに表すと図4のようになる。このように光クリップでは干渉の過剰見積もりにより受信データからの引き過ぎが生じ、この例の-slot 16 の場合、しきい値 $T=0.7$ でさらに変換した場合は誤りとなる。しかし、新クリップの場合は完全な形で受信データを復号化することができるため、しきい値を高い値に設定しても誤りは生じない。

続いて、 $P=19$ 、送信データ数を 1000 とし、 T を 0.7、0.8、0.9 と変化させたときの受信データの誤り数を図5に示す。光クリップの場合は同時使用ユーザ数が 361 人 ($P=19$ の場合の最大ユーザ数) で $T=0.9$ の場合 136 個の受信データの誤りが発生する。しかし、新クリップの場合、誤りは発生しない。

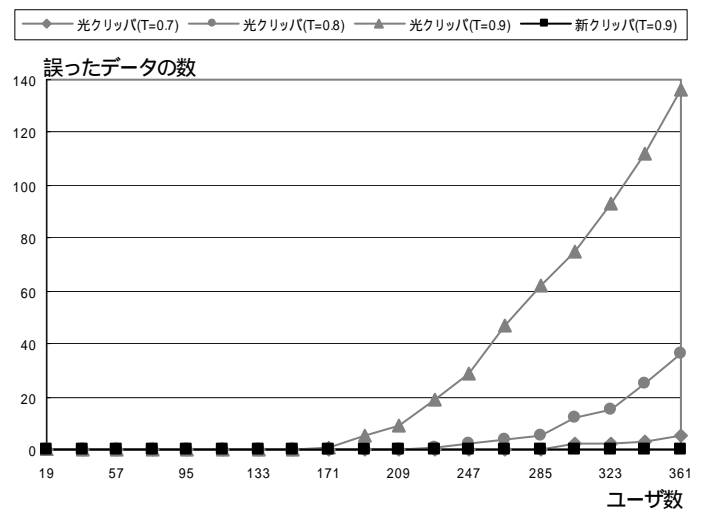


図5 . $P=19$ 、送信データ数=1000 とし、 $T=(0.7,0.8,0.9)$ の場合の誤ったデータ数

5 . まとめ

本研究では、今回同期を条件とした光同期 PPM-CDMA 方式で新クリップを使用することによって、送信データを完全に復号化することに成功した。今後は OOC などの他の符号系列を使用し非同期の場合での光 CDMA 方式の開発を検討している。

6 . 参考文献

- [1] J.A.Salehi, "Code division multiple-access techniques in optical fiber network-Part1: fundamental principles," IEEE Trans. Commun., vol37, no.8, pp.824-833, Aug.1989
- [2] J.A.Salehi nad C.ABracett, "Code division multiple-access techniques in optical fiber networks-Part2: system performance analysis," IEEE Trans. Commun., vol37, no.8, pp.834-842, Aug. 1989
- [3] H.M.H.Shalaby, "Performance analysis of optical synchronous CDMA communication system with PPM signaling," IEEE Trans. Commun., vol43, no.2/3/4, pp.624-634, Feb./MARCH/April 1995
- [4] 新宮秀樹, 鎌倉功弘, 大槻知明, 笹瀬巖, "光クリップを設けた干渉除去器を適用した光符号分割多元接続方式", 電子情報通信学会論文誌 B, vol1.J84-B, no.1, pp.50-60, 2001年1月