

平成22年4月21日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007年度～2009年度

課題番号：19560396

研究課題名（和文）時変符号と長符号を用いた光 CDMA

研究課題名（英文） Optical CDMA using time varying code and long code

研究代表者

八嶋 弘幸 (HIROYUKI YASHIMA)

東京理科大学・工学部第一部・教授

研究者番号：30230197

研究成果の概要（和文）：

本研究では、拡張カオス2値符号を用いた光 CDMA を提案した。拡張カオス2値符号の相互相関特性を解析し、提案システムの同時接続ユーザ数に対するビット誤り率を導出し、その理論式より提案システムのビット誤り率特性を求めた。提案システムにもちいる符号は、符号長が長く時間により符号が変化するため、符号数が多く取れる特徴がある。提案システムは、光直交符号を用いた従来のシステムと同等のビット誤り率特性を有すると同時に、高セキュリティ性、高多重度という特質を有することを明らかにし、提案システムの有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：

In this research, we propose new optical codedivision-multiple-access (OCDMA) systems using the extended chaotic binary codes (ECBCs) obtained easily from the extended Bernoulli map. Unlike conventional sequence codes, the ECBCs are composed by the map for every information bit, which means that the sequence code varies bit by bit. Therefore, high security against eavesdropping is expected. Then, we derive the expression for theoretical BER versus the number of simultaneous users of the proposed system and verify that the proposed system is effective in OCDMA system through numerical results.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：光 CDMA

## 1. 研究開始当初の背景

ユビキタスネットワークの実現に向け、多様な高速ネットワークの構築が急務となっ

ており、光通信ネットワークにおいても、多様なアプリケーションに対応できる方式が要求されている。

光 CDMA (Code Division Multiple Access) は光多重通信の一方式であり、次のような特徴がある。

- ・交換機が不要であるため簡単でフレキシブルなオール光ネットワークが構築できる。
- ・様々な所要誤り率やビットレートを要する多様なアプリケーションに対応できる。
- ・WDM との共存が可能な多重通信であり、現状のネットワークへの導入がスムーズに行える。

以上のような特徴から、光 CDMA は次世代のユビキタスネットワークの一方式として期待されている。

## 2. 研究の目的

光 CDMA はマルチメディアにフレキシブルに対応でき、次世代ユビキタスネットワークのアクセス系光多重通信の一方式として注目されている。しかしながら、光 CDMA は同時ユーザー数（多重度）が小さいという問題点がある。

本研究では、光 CDMA において、多重度を大きくするため、各ユーザに割り当てる符号系列として「時変符号」と「長符号」を提案し、これらの符号を用いた光 CDMA の諸特性を求める。これにより、同時ユーザー数を大きくし、同時にセキュリティ機能が強化され、ユビキタスネットワークにおける提案する光 CDMA の有効性を示すことを目的とする。

## 3. 研究の方法

高多重度で高いセキュリティ機能を有する光 CDMA システム構築のため、まず、各ユーザに与える固有のユーザ符号系列として、時間的に変化する「時変符号」、符号長がきわめて長い「長符号」を提案する。時変符号については複数の OOC (Optical Orthogonal Code)、または Prime 符号を用いて PN 系列に基づいて使用する符号を時間的に変化させることにより生成する。また、長符号は OOC、Prime 符号、M 系列、Gold 系列の光 CDMA に適合する形への改良と組み合わせにより生成する。また、カオス符号の使用も考えられる。

次にこれらの提案するユーザ符号の自己相関特性と相互相関特性を明らかにする。理論解析によりこれらの符号の自己相関、および相互相関特性を求める。また、4 値以上の値をとる多値符号も検討する。多値符号の生成方式は原始多項式を用いる方法と重み加算を用いる方法を検討する。

さらに、求めた時変符号、長符号、および多値符号を用いた光 CDMA システムの多重度と誤り率の関係をシミュレーション、および理論解析により求める。

## 4. 研究成果

本研究では、可変符号と長符号の両方の特

徴を有する符号として拡張カオス 2 値符号を用いた光 CDMA 通信システムを新たに提案した。拡張カオス 2 値符号はベルヌーイ写像の不連続点を動的に変化させる動的閾値法によってドライブされた拡張ベルヌーイ写像から生成される 2 値ランダム符号系列である。カオス軌道を生成する一次元写像の一つとして知られるベルヌーイ写像 (Bernoulli Map) の不連続点を動的に変化させる動的閾値法 (Dynamic Thresholding) によってドライブされた拡張ベルヌーイ写像を用いることによって、Extended Chaotic Binary Code (ECBC) を生成し、それを光 CDMA 通信システムで用いる符号とする。

動的閾値法によってドライブされた拡張ベルヌーイ写像は次式によって定義される。写像ドメインはベルヌーイ写像と同様で  $I=(0,1]$  である。

$$B^*(x_i, \alpha_i): x_{i+1} = \begin{cases} \frac{x_i}{\alpha_i} & (0 < x_i < \alpha_i) \\ \frac{x_i - \alpha_i}{1 - \alpha_i} & (\alpha_i < x_i < 1) \end{cases}, \quad \alpha_{i+1} = D(\alpha_i)$$

ここで、 $\alpha_{i+1}$  は  $i+1$  回目の写像で用いる  $I=(0,1]$  上の不連続点の位置を示す。ベルヌーイ写像  $B$  と異なり、不連続点  $\alpha_i$  の与え方次第で写像をドライブして軌道のダイナミクスを変更する自由度は著しく増加する。

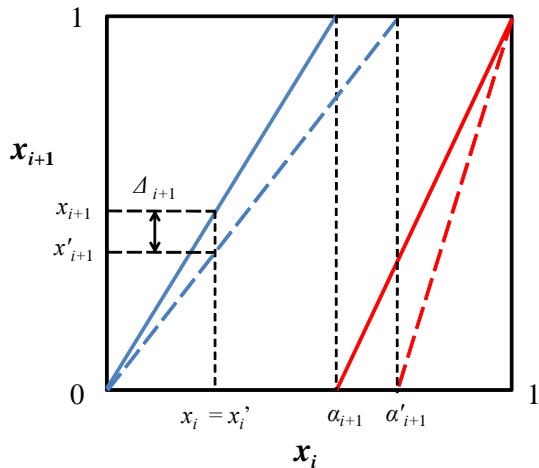


図1 拡張ベルヌーイ写像

図1に拡張ベルヌーイ写像を示す。図1に示すように写像の不連続点  $\alpha_{i+1}$  の値を  $\alpha'_{i+1}$  に微小に変更すると、写像点  $x_i$  は  $B^*$  によって  $x'_{i+1}$  に写像され、 $\alpha_{i+1}$  で写像した場合の  $x_{i+1}$  から微小に異なる座標に写像される。 $\alpha_{i+1}$  と  $\alpha'_{i+1}$  の差が小さければ  $x_{i+1}$  と  $x'_{i+1}$  の差  $\Delta_{i+1}$  も小さくなる。しかし、カオスの初期値鋭敏性により、写像の反復とともに誤差が増幅され、 $x_i$  から分岐した 2 つの実数値系列

は次第に相関のない、各々独立した異なる振る舞いを示すようになる。拡張ベルヌーイ写像は、写像パラメータと写像点の初期値 $x_0$ を固定しても不連続点のドライブ方法によって別々の振る舞いをするため、あらゆるパターンの実数値系列を生成できる可能性を持つ。

このようにして得られた ECBC は従来符号とは異なり、データビットごとに符号が変化する。すなわち、各ユーザは膨大な数の符号パターンを持つことを意味する。したがって、従来符号における符号再設定のような高セキュリティ性が期待できる。更に符号の構成上、符号の切り替えが必要ないため、オーバーヘッドによるシステムのスループット低下は生じない。また ECBC はランダム 2 値符号であるため、相互相関値の最大値は重み  $W$  に等しい。したがって、相互相関値の最大値が一定値になるように設計された従来符号とは異なり、理論上、多重度に制限がない。つまり、拡張カオス 2 値符号を用いた提案システムは多重度の向上も期待できる。

次に、ECBC の相互相関特性を解析し、最終的に、提案システムにおける同時接続ユーザ数に対するビット誤り率の理論式の導出を行った。そして、その理論式をもとに提案システムのビット誤り率特性を示した。

ここでは、ECBC を用いた光 CDMA 通信システムにおける同時接続ユーザ数  $N$  に対するビット誤り率  $P_e$ 、ECBC の理論式を導出した。まず、提案システムのビット誤り率  $P_e$ 、ECBC の理論式の妥当性を検証するためにコンピュータシミュレーションによって得られた値との比較を行った。次に、OOC やプライム符号を用いた従来システムとの比較を行い、提案システムの有効性を示す。このとき、符号長  $F$ 、重み  $W$  の OOC を  $(F, W)$ OOC と表し、素数  $P$  からなるプライム符号を  $(P)$ prime code と表すことにする。そして最後に、 $(F, W)$ ECBC の重み  $W$  の値を変化させたときの性能評価も行う。ここで、ビット誤りを引き起こす要因は MAI のみとし、光ファイバの特性や受光素子などによる影響は無視する。

コンピュータシミュレーションにより得られたビット誤り率と導出した理論値との比較を行う。シミュレーションでは、データビットを 1 ビット送信するごとに、使用する符号と時間のずれをランダムに変化させる。図 2 に、 $F=50$ 、 $W=2, 4, 6$  の  $(F, W)$ ECBC を用いた提案システムの同時接続ユーザ数  $N$  に対するビット誤り率特性を、図 3 に、 $F=100$ 、 $W=3, 4, 7$  の  $(F, W)$ ECBC を用いた提案システムの同時接続ユーザ数  $N$  に対するビット誤り率特性を示す。

図 2、図 3 より、あらゆる重み  $W$  に対して、理論値とシミュレーション値は極めて近い値をとっていることがわかる。理論値はシミュレーション値に対して、やや小さな値を示している。

これは全ての他ユーザによる干渉量の確率密度関数を用いるのではなく、2 符号間の平均化した相互相関特性を用いたこと、干渉期間を平均化したために相互相関値の分散が小さくなることに起因すると考えられる。しかしながら、これらの差は極めて小さく、無視できる程度である。以上より、本論文で解析した ECBC の相互相関値特性によって、正確なビット誤り率の理論式を得たといえる。

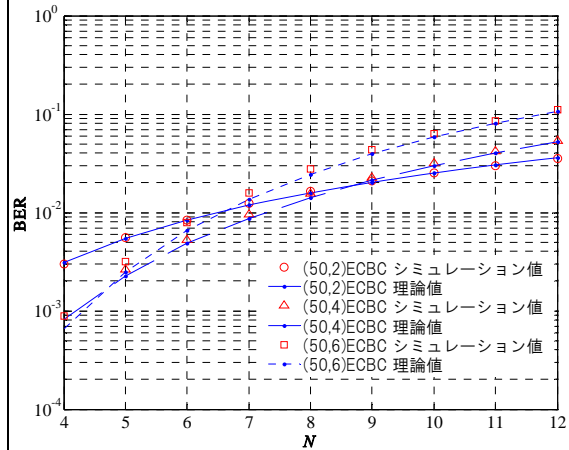


図 2 ECBC を用いた光 CDMA の同時接続ユーザ数  $N$  に対するビット誤り率 ( $F=50$ )。

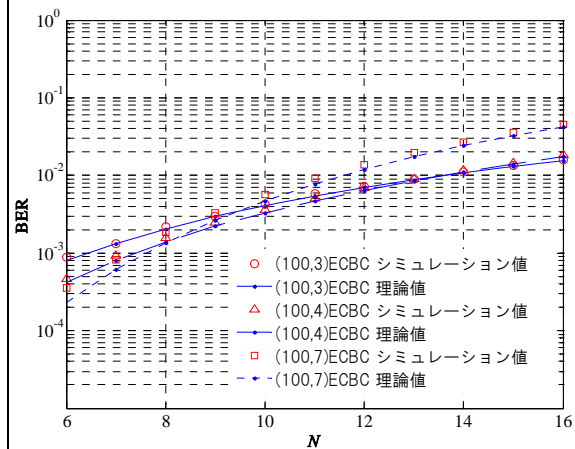


図 3 ECBC を用いた光 CDMA の同時接続ユーザ数  $N$  に対するビット誤り率

( $F=100$ )。

次に、OOC やプライム符号などの従来符号を用いたシステムとの比較を行った。重み  $W$  の与え方次第で OOC に匹敵するビット誤り率特性を持つことが確認できた。また、多重度の観点からも提案システムは有効であることがわかった。更に、重み  $W$  を変化させることで接続ユーザ数に応じた柔軟な設計が

実現できることも確認できた。

以上より、拡張カオス2値符号を用いた提案システムは、符号生成の容易性、高セキュリティ性、多重度の観点から極めて柔軟性の高いシステムであるといえる。

今後の課題として、光ファイバの特性や受信器における雑音を考慮した実システムに近い場合の特性解析が必要であると考え。また、ビット誤り率を改善するためにハードリミッタや通信路符号化を用いた場合の性能解析も行う必要があると考え。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計6件)

- ① Optical CDMA Systems Using Extended Chaotic Binary Codes, Yutaka Mizuno, Hiroyuki Yashima, 2010 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, Hawaii, USA March 3-5, 2010.
- ② Selection Method of Modulation and Coding Scheme in OFDMA, Takeshi Kawamura, Tomoo Morohashi, Masahito Asa, and Hiroyuki Yashima, 2010 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, Hawaii, USA March 3-5, 2010.
- ③ OFDMAにおける変調方式・符号化率の選択方法に関する一考察、川村健、諸橋知雄、阿佐正人、八嶋弘幸、電子情報通信学会、無線通信研究会、信号処理研究会、福岡、2010年1月22日
- ④ Combined One-hop and Multi-hop Transmission on Wireless Sensor Networks, Toshiaki Ishikawa, Hiroyuki Yashima, 2009 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, Hawaii, USA March 1-3, 2009.
- ⑤ Low-Density Parity-Check Codes for Free Space Optical Communications During Rainfall, Ryotaro Mitsuya, Hiroyuki Yashima, 2008 RISP International Workshop on Nonlinear

Circuits, Communications and Signal Processing, Gold Coast, Australia March 6-8, 2008.

- ⑥ Joint Decoding with LDPC Codes for Wireless Sensor Network. Sayaka Kosuga and Hiroyuki Yashima, 2008 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, Gold Coast, Australia March 6-8, 2008.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

八嶋 弘幸 (HIROYUKI YASHIMA)  
東京理科大学・工学部第一部・教授  
研究者番号：30230197

(2) 研究分担者

なし ( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ( )

研究者番号：