

機関番号：17102

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20700210

研究課題名 (和文) 空間ゆらぎのある記憶パターンを埋め込んだ連想記憶

研究課題名 (英文) Associative Memory which memorizes patterns with fractional offset

研究代表者

實松 豊 (JITSUMATSU YUTAKA)

九州大学・大学院システム情報科学研究所・准教授

研究者番号：60336063

研究成果の概要 (和文)：

脳は興奮する・しないの 2 状態をもつ神経細胞の間の結合による回路網であり、その情報処理の数理モデルとして、ランダムな 0, 1 パターンを回路に覚えさせる連想記憶がある。擬似乱数符号を用いる CDMA 通信では、ユーザ間の送信タイミングを揃える同期通信よりも、これを揃えない非同期通信の方が、通信品質が良いことが知られている。本研究では、パターン間の同期をあえてずらす空間揺らぎを持つ連想記憶を提案した。揺らぎのない従来の連想記憶よりもパターン間の干渉が少ないことを明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：

Brain is a network of neurons, which have two states, excited or non-excited. Associative memory is a mathematical model of information processing of brain, in which random patterns are memorized and retrieved. In a CDMA communications using pseudo-random sequences, bit error rate is smaller if users' signals are asynchronous than they are synchronous. In this research, an associative memory where patterns have random offsets, i.e. they are spatially asynchronous, has been proposed. Interference between asynchronous patterns was shown to be smaller than the one between synchronous patterns.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

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：非線形理論・回路

## 1. 研究開始当初の背景

携帯電話の通信方式として CDMA が各国で採用された。CDMA はユーザ多重化のために擬似乱数符号を用いるのが最大の特徴である。一つの基地局がカバーする通話者を増大させる技術マルチユーザ検出(MUD)が注目されていた。また、ニューラルネットワークにおける連想記憶の性能解析に導入された統計力学の手法が MUD の性能解析に使える

ことが当時注目されていた。

## 2. 研究の目的

本研究では、ユーザ間の送信タイミングを揃える同期 CDMA 通信よりもタイミングの制御をしない非同期 CDMA の方が通信品質が向上することと、擬似乱数符号が独立の時よりも負の相関を持つ場合の方が品質が良いという 2 つの事実が、ニューラルネットワークでも成立するかを明らかにすることである。

った。複数の‘記憶’が、空間的に非同期に重畳されることで、記憶の容量が上昇するのではないかと予想された。

### 3. 研究の方法

理論解析と数値シミュレーションを並行して行った。解析対象を、相互想起型と自己想起型（ホップフィールドモデル）の2つとし、容易と思われる前者から解析を実施した。理論面では記憶パターンをマルコフ連鎖で記述し、パターン間の干渉の二乗の期待値を算出した。

研究期間中に、無線通信分野ではマルチキャリア化が一挙に進み、ドップラー効果によるキャリア周波数のずれが無視できなくなってきた。研究代表者らは、次世代の通信システムでは、時間の非同期にくわえて、周波数の非同期に対応できるような新システムを提案した。

### 4. 研究成果

本研究と関連する研究分野の関係を下の図に表す。ニューラルネットワークにおける連想記憶モデルの性能解析に統計物理の手法（レプリカ法）が取り入れられたのが1980年代である。レプリカ法をCDMAの性能解析に用いたのが田中利幸（現京大教授）である（2002年）。科研費特定領域研究がスタートしたこともあり、日本の通信・情報理論分野では統計物理的手法が再度注目を集めた。本研究では、これらと異なり、CDMAの分野で得られた知見がニューラルネットワークに適用できるか確認することを目的とする。

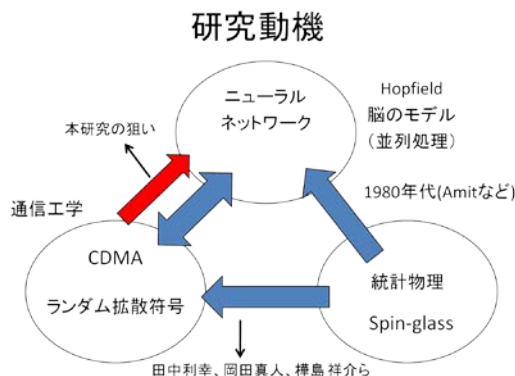


図1：研究の相対的位置づけ

CDMAの分野では、同期の揺らぎによって発生する干渉が、符号に負の相関を入れることによって減少することがイタリア・ボローニャ大のSettiらのグループにより示された(1999年)。研究代表者らは、ニューラルネットワークに同期の揺らぎを敢えて導入したモデルを提案した(図2)。パターン間に揺らぎを導入するため、1つの記憶素子だと見えていたものが、実際には4、5個の神経細胞

からなっているというモデルを考えた。従来のサンプリングレートよりも精度を上げて測定するという意味で、これをアップサンプリングと呼んでいる。

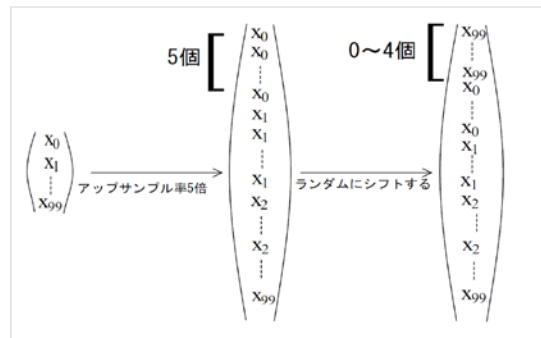


図2：アップサンプリング

研究成果は次の3点である。

(1) 相互想起モデルにおいて、記憶パターン間の干渉量の厳密評価を行った。同期の場合よりも非同期の方が干渉の二乗平均が低下し記憶容量の増大につながることで、独立なパターンよりも負の相関を持つパターンのときに、さらに干渉の二乗平均が低下することを示した。

(2) 自己想起モデルにおいて、数値シミュレーションを行った。記憶パターンを、パラメータ $\lambda$ を持つマルコフ連鎖で生成した。 $\lambda$ は、マルコフ連鎖の遷移確率行列の第2固有値に対応する。 $\lambda$ を $-1$ から $+1$ まで少しずつ変えながら、正しく記憶する割合を測定した(図3)。 $\lambda$ が負のときに正しい想起割合が最大値を取ることが分かった。最適な $\lambda$ の値は、非同期CDMAの場合、 $-2 + \sqrt{3}$ になることが証明されている。連想記憶の場合、最適な $\lambda$ は $-2 + \sqrt{3}$ から少しずれていることが数値的に確認された。

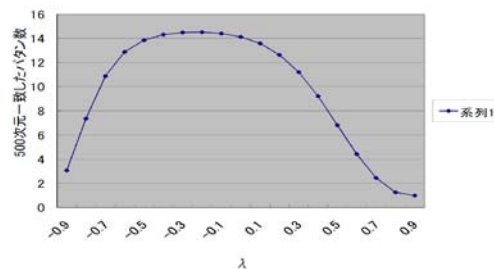


図3：正しく想起する割合

CDMAと相互想起型の連想記憶では、干渉成分の二乗平均が一致したが、自己想起型の場合はパターン間の干渉は評価が異なった。詳しい解析を行った結果、干渉の分散値は、図4のようになった。

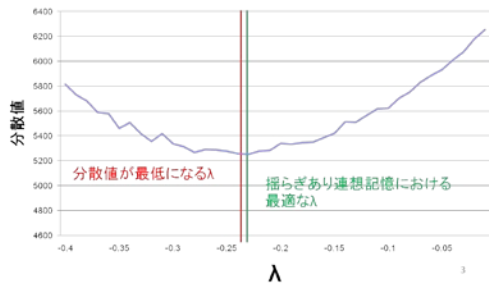


図4：自己想起型連想記憶のパターン間干渉の分散

干渉の分散値が最適になる  $\lambda$  の値の理論値が実験値に一致した。最適値が  $-2 + \sqrt{3}$  から若干ずれるものの、負の相関により干渉が減少するという事実が CDMA だけでなく連想記憶においても確認された。このことは、同期の揺らぎにより干渉が発生する場面では、負の相関により干渉が削減されることが普遍的に成立することを示唆している。

### (3) 同期誤差を許容する CDMA

① 近年 OFDM (直交周波数分割多元) 方式が携帯電話等の無線通信に採用されている。従来のようにキャリア間にマージンを設けず、オーバーラップした状態で送信するため、周波数帯域の利用効率が高い。また、周波数軸上ではキャリアがオーバーラップしているが、互いに直交するため無干渉となる。しかしながら、ドップラー効果等により発振周波数にずれが生じるとキャリア間干渉が急激に上昇する。この問題に対し、研究代表者らは、周波数の誤差を許容する Frequency division (FD)-based CDMA を提案した (図5)。このシステムは、従来の非同期 DS/CDMA システムの時間軸と周波数軸を入れ替えたシステムとなっているので、ユーザ間の周波数の誤差を許容する。同一ユーザの送信側と受信側の周波数は完全に一致させる必要はなく、拡散比を  $M$  とすると、全帯域の  $1/M$  の精度で一致させればよい。

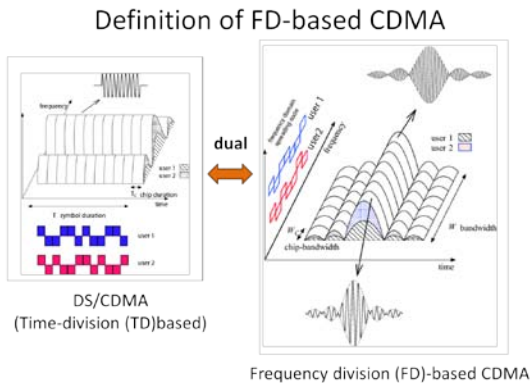


図5：FD-based CDMA の概念図

負の相関を用いる Setti らの DS/CDMA では矩形波が仮定されていたので、FD-based CDMA ではこれと双対である SINC 波形を採用する。純粋な SINC 波形は実現できないので、無線通信で一般的な Raised Cosine 波形を用いた。周波数領域のマルコフ符号を導入することにより、ビット誤り率が低下することを証明した。

② FD-based CDMA は周波数のオフセットを許容するが、時間の同期を仮定しなければならない。実際のドップラー環境下では、時間も周波数も両方ずれることが想定されるので、両方の非同期に対応できることが望ましい。DS-CDMA では矩形波が、FD-based CDMA は SINC 波形が採用されたが、時間と周波数の両領域で同一の表現になることが望ましいので Gauss 波形を採用すべきと思われた。このことから、時間・周波数の両方のオフセットを許容する、Gabor の時間周波数表現に基づく Gabor-Division (GD)-CDMA を提案した。2次元の拡散符号のアイデアは決して新しい物ではない。しかし、ユーザ間の同期を仮定しないという点は従来提案されていなかった。提案法では、同期をずらした方がむしろ干渉は減少する。

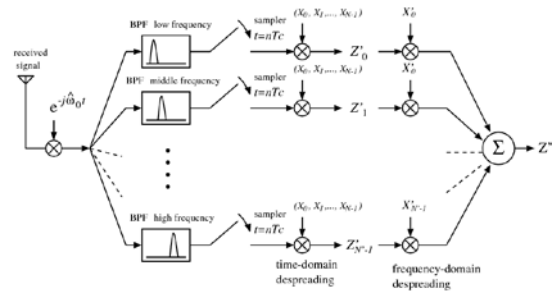


図6：GD-CDMA 受信器

図6に受信器のひとつの構成を示す。なお、時間領域と周波数領域の拡散符号の処理順序を逆にした受信器も考えられる。2種類の受信器により、同期捕捉が容易になる。

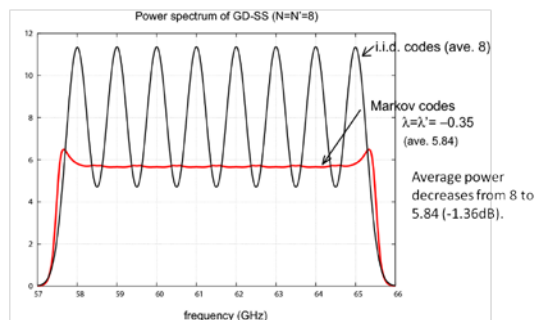


図7：GD-CDMA の周波数スペクトル

時間・周波数の2つの領域でマルコフ符号を用いると、干渉を下げる効果だけでなく、より重要なこととして、周波数スペクトルがほぼ平坦となる(図7、8)。平坦なスペクトルは、高い周波数利用効率だけでなく、通信路の推定が容易であることも示唆している。また、図6は幅広い帯域を持つ帯域通過のフィルタバンクとしても利用できる。

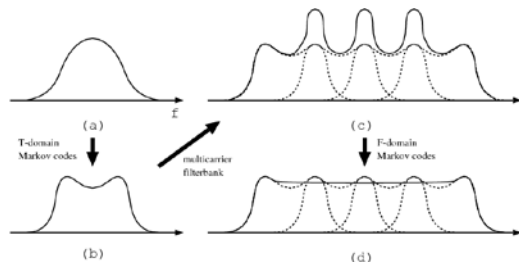


図8：時間・周波数領域マルコフ符号

マルコフ符号を、時間と周波数の2領域で掛けて、スペクトルを平滑にするこの手法について信号処理分野で幅広く利用されることが期待できることから、特許出願を行った。

#### 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1件)

[1] M. Saber, Y. Jitsumatsu and M. T. A. Khan, "Design and Implementation of Low Ripple Low Power Digital Phase-Locked Loop," Signal Processing: An international journal (SPIJ), Feb. 2011, vol. 4, no. 6, pp. 304-317.

[学会発表] (計19件)

[1] 前島直斗, 實松豊, 香田徹 "揺らぎのあるニューラルネットワークにおける連想記憶" 第33回情報理論とその応用シンポジウム(SITA2010), 2010年12月, pp.862--867.

[2] T. Kohda, Y. Jitsumatsu, K. Fujino and K. Aihara, "Frequency division (FD)-based CDMA system which permits frequency offset," in Proc. of 2010 Int. Sympo. on Spread Spectrum Techniques and Applications, Oct. 2010, 61-66.

[3] 香田徹, 實松豊, 前島直斗, "揺らぎのあるニューラルネットワークにおける連想記憶," 電子情報通信学会 情報理論研究会, 2010年5月, pp.1-6.

[4] Y. Jitsumatsu and T. Kohda, "Quasi-Orthogonal Multi-Carrier CDMA," in Proc. IEEE Globecom 2008, Aug. 2008, pp. 730-734.

[5] Y. Jitsumatsu and T. Kohda, "Markov

codes make Gaussian pulse superior to a raised cosine pulse," in Proc. IEEE ISSSTA 2008, Aug. 2008, pp. 730-734.

[6] Y. Jitsumatsu and T. Kohda, "Prolate spheroidal wave functions induce Gaussian chip waveforms," in Proc. of 2008 IEEE Int. Symp. Inform. Theory (ISIT), June 2008, pp. 1363-1367.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 拡散装置、通信装置、送信装置、通信方法及びプログラム

発明者: 香田 徹、實松豊、合原一幸

権利者: 香田 徹、實松豊、合原一幸

種類: 特許

番号: 特願 2011-105717

出願年月日: 2011/5/10

国内外の別: 国内

○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]

研究成果データベース

<http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K000206/research.html>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

實松豊 (JITSUMATSU YUTAKA)

九州大学・システム情報科学研究所・准教授  
研究者番号: 60336063

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし