

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 3 日現在

機関番号：53101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560480

研究課題名(和文) 符号を使ったダイバーシチ通信方式の特性とハードウェア試作

研究課題名(英文) Characteristics of code-diversity communication systems using code sequences and their hardware

研究代表者

太刀川 信一 (TACHIKAWA, Shinichi)

長岡工業高等専門学校・電子制御工学科・教授

研究者番号：70155084

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：研究成果の概要(和文)：本研究では、直接拡散/符号分割多元接続(DS/CDMA)の特徴を生かした新たなダイバーシチ方式を提案し、その評価を行った。提案したデジタルデジタル(DD)系列の特徴、生成法とその効果を示した。実際に送受信機のハードウェア試作を行い、その有用性を示した。電波伝搬強度の測定により室内遠近問題に対する、本方式の適用例を示した。また、逆フーリエ変換を用いた他局間干渉抑圧法を提案し、その効果を示した。

研究成果の概要(英文)：In this report, a novel code-diversity method in DS/CDMA communication system is proposed and presented its evaluations. The characteristics of proposed digital-digital (DD) code sequence, methods of producing, and the effects are described. Practically, hardware of the transmitter and receiver are made and the realization is confirmed. The application against near-far problem of indoor environment is shown by measurement of strength of radio wave propagation. Additionally, a novel interference suppression method using reverse discrete Fourier Transform is proposed and shown the effect.

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：スペクトル拡散通信方式 直接拡散方式 符号分割多元接続 ダイバーシチ方式 符号ダイバーシチ
拡散系列 2値系列 他局間干渉抑圧

科学研究費助成事業 研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

(1)将来の通信方式として、符号分割多元接続(CDMA)は、符号系列という冗長性を生かすことで、多くのユーザに、干渉に強く、安定した通信状態を確保することができる新しい通信方式の実現可能性を秘めている。

(2)一般にデータ速度を高速化しようとする、一定の品質(ビット誤り率)を保証するためには、それに比した信号電力が必要となり、その大きさのために電波障害、妨害、他局への干渉、また、生態系への悪影響も懸念される。

(3)その解決策の一つとして、超広帯域信号UWBやスペクトル拡散通信方式が再度注目されてきている。これは、信号電力を非常に広帯域のスペクトルに広げるもので、いくつかの工夫により微弱信号化が可能となる。また、システム全体を制御する大きな電力の信号を不要とし、各局が自由に通信を行う非同期的符号分割多元接続が可能である。

2. 研究の目的

(1)符号分割多元接続(CDMA)の特徴を生かした新たなダイバーシチ方式を提案、実現する。符号ダイバーシチ方式は、一局にいくつかの系列を割り当て、その合成系列に情報を負荷して送信し、受信機ではそれらとの相関を取り、ダイバーシチ枝として重み係数を乗じて加算し復調する。考え方はシンプルであるが、受信の重み係数の設定は解析上、学術的にも興味深い。それらの特性を明らかにする。

(2)本研究ではその系列構成法、特性、ハードウェア試作により改善効果を実証する。また、その適用例やさらに新たな有用な通信方式を検討する。

3. 研究の方法

(1)本研究では、符号ダイバーシチ方式の基本的な解析を行い、その特徴をつかむ。

(2)ハードウェア上、有用となる新たな系列として、デジタルデジタル(DD)系列、すなわち、符号ダイバーシチの要素となる各系列を2値のデジタル系列で構成し、それらの合成である拡散系列もまた2値デジタル系列となる系列を提案し、その特徴、生成法と効果を示す。

(3)実際に送受信機のハードウェア試作を行い、ビット誤り率の測定によりその改善効果を実証する。

(4)電波伝搬強度の測定により室内遠近問題に対する、本方式の適用例を示す。

(5)新たな方式として、逆フーリエ変換を用いた他局間干渉抑圧法を提案し、その効果を示す。

4. 研究成果

(1)符号ダイバーシチ方式

図1に直接拡散/スペクトル拡散(DS/SS)方式における符号ダイバーシチシステムのモデルを示す。送信機において、 M 個の擬似雑音(PN)系列の和に、送信データはよって変調される。伝送路で、加法性白色雑音(AWGN)と他局間干渉(MAI)が加わる。受信機において、各々のPN系列とそれらの相関出力に適切な重み係数が乗じられ、加算され、データ判定される。この時、干渉量が小さいダイバーシチ枝には大きな重み係数が、干渉量が大きなダイバーシチ枝には小さな重み係数乗じられる。干渉量の大きさは、その相関出力値の分散を計測することによって得ることができる[雑誌論文①③]。

(2)DD系列の提案とその効果

符号ダイバーシチに用いられる各系列は、従来は、図2のように、2値のデジタル系列を用い、そのため合成した送信系列は多値あるいは電力を1に正規化すればアナログ値となっていた。これをデジタルアナログ系列(DA系列, DAS)と呼ぶ。

次に、図3のように、各要素系列をアナログ値とし、合成した系列を2値のデジタル系列とする系列を考案した。これをアナログデジタル系列(AD系列, ADS)と呼ぶ。

今回の研究では新たに、図4のように各要素系列をデジタル値とし、合成した系列も2値のデジタル系列とする系列を提案した。これをデジタルデジタル系列(DD系列, DDS)と呼ぶ。この系列では、要素系列生成も簡便となり、送信信号レベルも2値となるので、送信機出力増幅器も電力効率のよい設計となる。受信機では、振幅リミッタも利用が可能となり、妨害や干渉にも強くなる。また、ダイバーシチ受信用の各系列との相関器も2値系列の積となり、アナログ乗算器ではなく、高速アナログスイッチICが利用でき、高速信号処理に向いている。ハードウェア上のメリットが大きい。

このDD系列の構成は、巡回シフトの M 系列を作り、それらの和が一定値になる性質を利用して生成することができる。また、別な方法として、系列和の方程式を2値に設計して、それを算術的に解いても得られる[雑誌論文①③]。

次に、この系列を使用した符号ダイバーシチ方式の性能をシミュレーションで求めた。符号長 $L=30$ 、ダイバーシチ枝数 $M=3$ 、多元接続数 $K=2$ とした。図5に、DD系列を用いた場合のビット誤り率(BER)特性を示す。自局信号/他局信号電力比 $SIR=-10[\text{dB}]$ として、

ビットエネルギー/AWGN の片側電力スペクトル密度比(E_b/N_0)を 0[dB]から 10[dB]に変えた。Non-CD は符号ダイバーシチを用いない場合であり、CD-DDS は本ダイバーシチを用いた場合である。Best phase は、干渉が少ない状態であり、その場合、本方式では劣化している。しかし、干渉の大きな worst phase と他局系列の位相を変えて平均した average phase では、本方式が優れていることがわかる。

図 6 は、ダイバーシチ系列を変えた場合の比較である。SIR=-10[dB]で共通であるが、DAS 方式(CD-DAS)では符号長 $L=32$ 、ダイバーシチ枝は $M=5$ 、ADS 方式(CD-ADS)では、符号長 $L=31$ で、ダイバーシチ枝 $M=5$ である。パラメータに多少の違いがあるものの、本 DDS 方式(CD-DDS)は、CD-DAS よりは劣化しているが、CD-ADS とほぼ同程度の性能を得ている。

図 7 は、本 CD-DDS の符号系列の性質を考察して、さらに系列を増やし、また、重み係数を、関連の大きいものは 0、小さいものは 1 と簡便化したものである。これを Modified CD-DDS として比較している。 $E_b/N_0=-6.8$ [dB] である。BER= 10^{-2} において、SIR を 4[dB]程、改善できていることがわかる。

以上のように、本提案方式が性能面でも、十分な特性を得ていることを明らかにした。

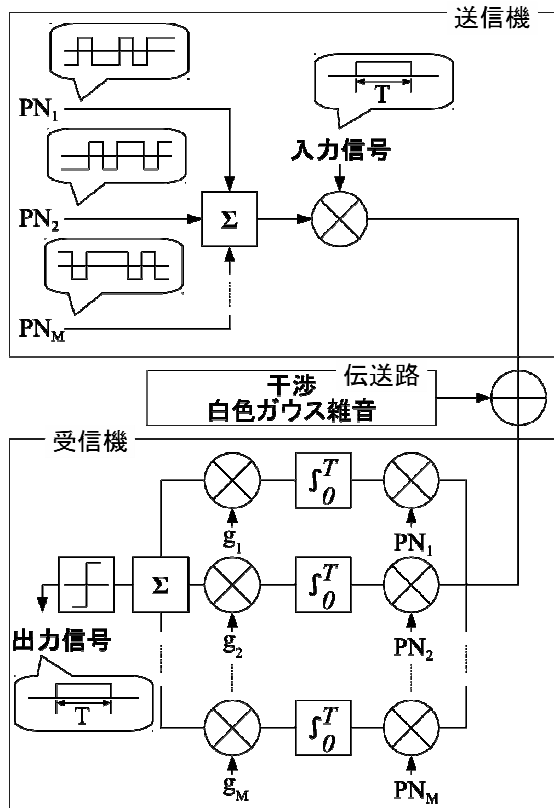


Fig. 1 System model of original code-diversity.

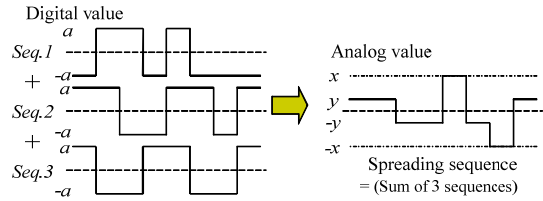


Fig. 2 Digital-analog sequence (DAS).

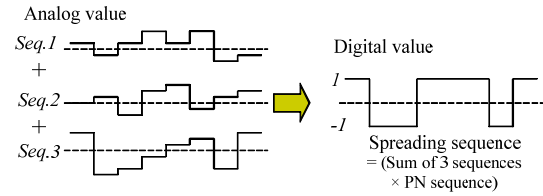


Fig. 3 Analog-digital sequence (ADS).

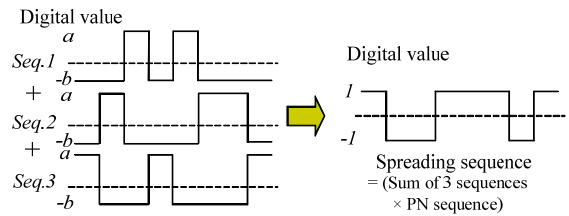


Fig. 4 Digital-digital sequence (DDS).

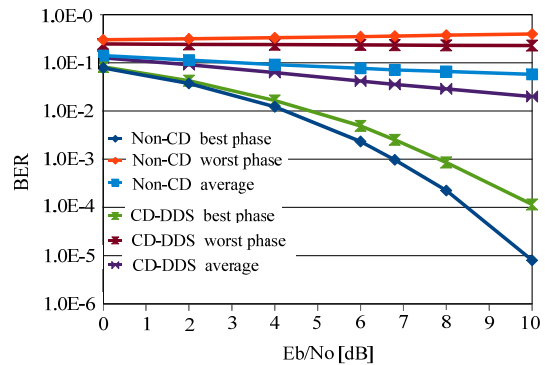


Fig. 5 BER performances of code-diversity system with DDS.

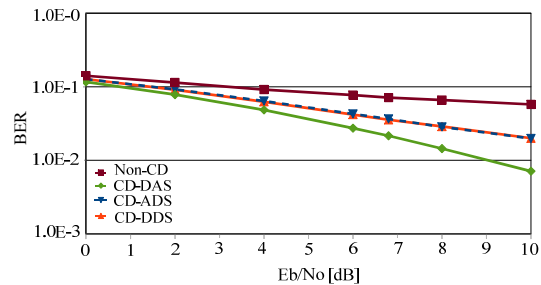


Fig. 6. Comparisons of BER performances for several systems.

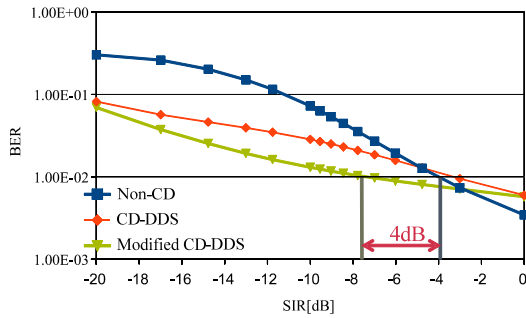


Fig.7 BER of modified code-diversity system with DDS.

(3) 符号ダイバーシチ方式ハードウェア試作

図8に試作した符号ダイバーシチ方式の構成を示す。送信部はDD系列を使用するので定振幅であり、送信機固有のPN系列のみを乗算すればよい。伝送路では、他局からの干渉と加法性白色ガウス雑音加わる。受信機では、各ダイバーシチ枝ごとに相関検出を行い、重みを乗じて加算、データ判定する。

図9に送信機の出力波形を示す。水晶発振器を分周してクロック周波数は496[kbps]とした。符号長 $L=30$ として、31の長さのM-系列から工夫して作成した[学会発表②]。1段目がデータ系列(周期255)、2段目がPN系列、3段目がデータを乗算した送信系列である。

受信部では、DD系列の構成に工夫を行い簡易化を図った。また、相関乗算部はアナログスイッチを用いて簡易に構成した。重み係数は乗算ICを使用して2乗演算、割算演算を行い概数値を生成した。これらの工夫を行うことで試作を完成させた。図10に、送受信器全体のハードウェアを示す。

図11に、このハードウェアによるビット誤り率の測定結果を示す。 $E_b/N_0=6.8$ [dB]で、多元接続数 $K=2$ 、 $SIR=-20\sim 0$ [dB]と変化させた。従来のDS/CDMAと本方式DD系列による符号ダイバーシチとの比較を示す。 SIR が -10 [dB]以下になると従来方式では、BERはほとんど0.5となるが、本方式では、 10^{-2} 以下を確保できている。本方式による効果を実験的にも確認できた。

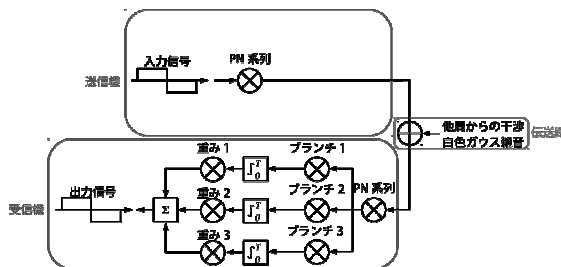


Fig.8 Model of code-diversity system.

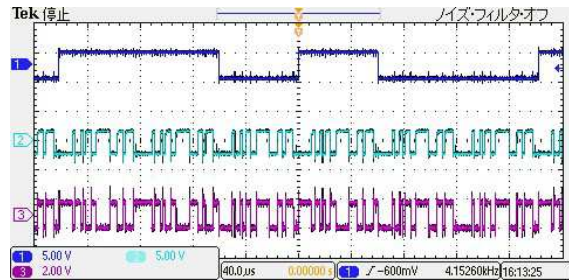


Fig.9 Waveform of transmitter.

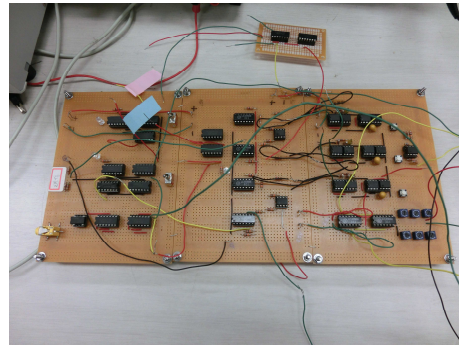


Fig.10 Hardware of code-diversity system.

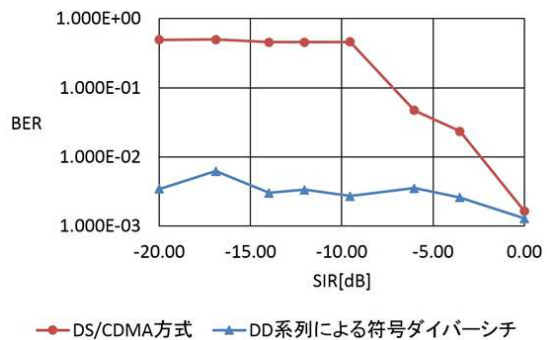


Fig.11 BER measurements of experiments.

(4) 電波伝搬強度の測定と符号ダイバーシチの干渉抑圧効果

符号ダイバーシチが、実際の伝送路環境でどれくらい効果があるかを知るため、室内での電波伝搬強度の測定を行い、それに基づいて符号ダイバーシチ方式のシミュレーションを行った。図12は、測定に用いたポータブルスペクトルアナライザMAS358の観測画面である。横軸が周波数であり、縦軸が電波強度[dBm]である。電波の強さが容易にわかる。図13はこの観測に基づき実験室(5号館3階307室、)内で、無線ルータ(AP)からのパイロット信号の電波(2.412GHz)を測定し、受信電波の強度分布を示したものである。室内12[m]x6[m]を1.5[m]x1.5[m]の区画に分け、その交点で測定した。ルータの高さ、測定点の高さは共に1[m]である。

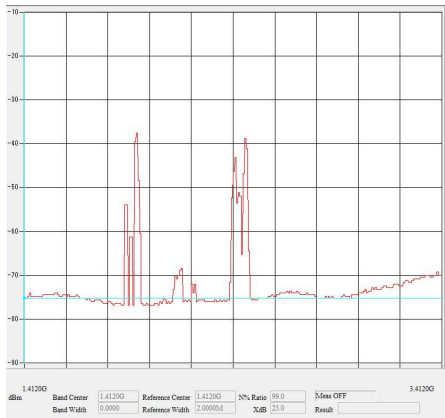


Fig.12 Measurement of spectrum.

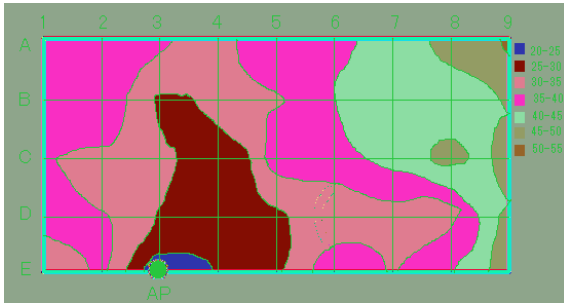


Fig.13 Distribution of received power.

この分布をもとに、多元接続数が2局の場合の符号長32のDS/CDMA方式を仮定し、符号ダイバーシチによるBERの値を図14に示した。DSは従来方式、CDは符号ダイバーシチ方式である。(rnd)は他局位相をランダム、すなわち平均的に変えた場合であり、(best)は干渉が少ない位相、(worst)は干渉が大きい位相である。(rnd)と(worst)において、本方式が有効に働いており、 $E_b/N_0=6.8$ [dB]において $BER=7 \times 10^{-3}$ 程度に抑えることができている。他、この電波伝搬強度についていろいろと観測を加え、干渉分布の性質や本方式の効果を示した[学会発表①,⑦]。

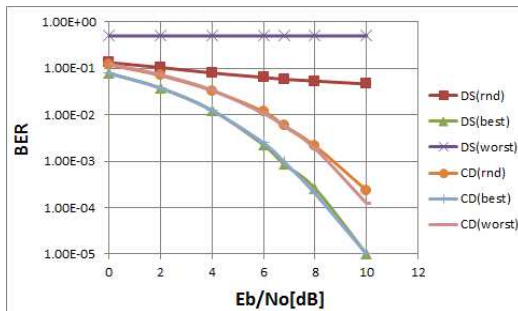


Fig.14 BER improvements by code-diversity system.

(5) DFTを用いた他局間干渉抑圧法

DS/CDMAにおいて、近年OFDM等で用いられるようになってきたDFT, FFTのフーリエ変換回路を用いて、他局間干渉(MAI)を行う方法を提案し、その効果を示す。図15は、受信機の逆拡散後の信号のスペクトル要素である。自局の希望信号は、周波数0の直流成分のみであり、一方、他局間干渉は、多周波にわたって分布している。この直流以外の成分から干渉の直流成分を推定しそれを抑圧すればよい。この干渉成分は、他周波数成分から重みを乗算して加える線形加算で推定する。その重みは残差を少なくするよう最小二乗法によって推定する。なお、AWGNの雑音成分は除去できず、推定の誤差の要因となる。

図16は、コンピュータシミュレーションによるBERの改善効果を示す。符号長は31、多元接続数は2局である。他局干渉の値を推定するための周波数要素Mを3ならび5とした場合である。SIRによって改善量は異なるものの大幅な改善が得られている。例えば、 $SIR=-10$ [dB]では、 $BER=10^{-1}$ であったものが、本方式では 2×10^{-3} 程度に改善されている。M=5にするとM=3の場合より幾分改善される。さらにMを増やした場合の効果、あるいは多元接続数を増やした場合での検討も行った[雑誌論文②]。

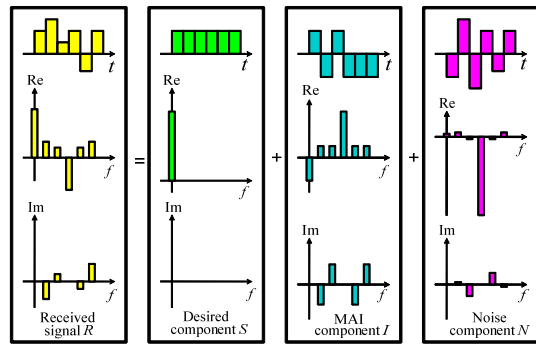


Fig.15 Received signal components after despreading.

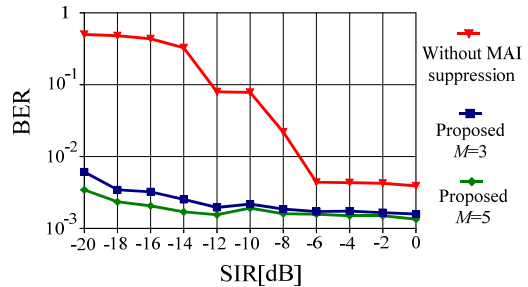


Fig.16 BER improvements of proposed system for SIR.

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 3件)

- ① Shin'ichi TACHIKAWA, Hayato NOGUCHI: "Performances of Code-Diversity with a Novel Spreading Sequence in DS/CDMA Communication Systems," Journal of Telecommunications (JOT), 査読有, Vol.22, Issue 1, pp.1-6, October 2013, 2013.10.31, <https://sites.google.com/site/journaloftelecommunications/volume-22-issue-1-september-2013>
- ② Shinichi Tachikawa and Kenta Tsuna: "A Novel Interference Suppression Method Using DFT in DS/CDMA Communication Systems", The 19th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC2013), 査読有, Bali, Indonesia, Session 1 Multi Topics 1, 8, pp.477-478, August 31, 2013
- ③ Hayato NOGUCHI and Shin'ichi TACHIKAWA: "A Novel Spreading Sequence and its Performances for Code-Diversity in DS/CDMA Communication Systems", The 2012 International Symposium on Information Theory and its Applications (ISITA2012), 査読有, Honolulu, Hawaii, USA, pp.347-351, Oct. 30 2012.

[学会発表] (計 9件)

- ① 五十嵐裕也、関口湊、太刀川信一：“電波伝搬強度と符号ダイバーシチの干渉波抑圧効果”，平成25年度（第23回）電気学会東京支部新潟支所研究発表会，IV-15, p.65, 新潟，2013.11.9.
- ② 金子舜、太刀川信一：“DD系列によるDS/CDMA符号ダイバーシチ送受信器の試作と検討”，平成25年度（第23回）電気学会東京支部新潟支所研究発表会，IV-14, p.64, 新潟，2013.11.9.
- ③ 戸田将平、太刀川信一：“OFDMを用いたMC/CDMA通信方式の性能の検討”，平成25年度（第23回）電気学会東京支部新潟支所研究発表会，IV-13, p.63, 新潟，2013.11.9.
- ④ 栗原俊介、小泉悠介、野口隼人、太刀川信一：“DD系列によるDS/CDMA符号ダイバーシチ方式の試作”，平成24年度（第22回）電気学会東京支部新潟支所研究発表会，III-02, p.32, 長岡，2012.11.10.

表会，III-02, p.32, 長岡，2012.11.10.

- ⑤ 小泉悠介、栗原俊介、野口隼人、太刀川信一：“DS/CDMA符号ダイバーシチ方式のハードウェア試作とその検討”，電子情報通信学会信越支部大会，3B-2, p.46, 新潟，2012.10.13.
- ⑥ 野口隼人、太刀川信一：“DD系列を用いたDS/CDMA符号ダイバーシチ方式の検討”，電子情報通信学会信越支部大会，3B-1, p.45, 新潟，2012.10.13.
- ⑦ 関口湊、野口隼人、太刀川信一：“室内における無線LAN電力分布測定と他局間干渉量の検討”，電子情報通信学会信越支部大会，3A-4, p.43, 新潟，2012.10.13.
- ⑧ 野口隼人、太刀川信一：“DS/SS方式定振幅符号ダイバーシチについての提案”，平成23年度（第21回）電気学会東京支部新潟支所研究発表会，III-02, p.41, 長岡，2011.11.23.
- ⑨ 荒澤聖人、太刀川信一：“直接拡散/スペクトル拡散システムの試作”，平成23年度（第21回）電気学会東京支部新潟支所研究発表会，III-01, p.40, 長岡，2011.11.23.

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0件)
- 取得状況 (計 0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.nagaoka-ct.ac.jp/ec/lab0/info/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

太刀川 信一 (TACHIKAWA, Shin'ichi)
長岡工業高等専門学校・電子制御工学科・教授
研究者番号：70155084

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし