

修士論文

周波数偏移変調信号による
パルス圧縮の信号処理に関する研究



三重大学大学院 工学研究科 情報工学専攻
博士前期課程 2009 年度修了

詫摩 祐司

目次

1 章 序論.....	3
1.1 研究の背景.....	3
1.2 研究の目的.....	3
2 章 周波数偏移変調信号.....	5
2.1 デジタル符号の伝送方式.....	5
2.2 無線通信における周波数偏移変調.....	5
2.3 超音波距離計測における周波数偏移変調.....	7
2.4 受信パルスの生成.....	7
3 章 アナログ信号からデジタル信号への変換.....	8
3.1 量子化.....	8
3.2 サンプリング.....	8
4 章 送信信号と受信信号との相関関数.....	10
4.1 相関関数の求め方.....	10
4.2 実行結果.....	12
5 章 サブパルスと受信信号との相関関数.....	18
5.1 相関関数の求め方.....	18
5.2 提案手法における異なる相関関数の求め方.....	23
5.2.1 終端に合わせた場合の相関関数.....	23
5.2.2 先端に合わせた場合の相関関数.....	29
5.2.3 まとめ.....	29
6 章 提案手法の有用性についての検証.....	34
6.1 相関関数の比較結果.....	34
6.2 まとめ.....	35
7 章 結論.....	37
7.1 本研究のまとめ.....	37

7.2 今後の課題.....	37
参考文献.....	38
謝辞.....	38

1 章 序論

1.1 研究の背景

本研究では自律移動型ロボットに搭載する超音波距離計の構成についての研究を行う。超音波距離計において広域的情報を把握する場合、8 個あるいは 16 個といった多数の送受波器を水平面内でリング状に取り付けた図 1.1 のようなソーナリングを構成する。その際、ソーナリングを構成する各送受波器はパルスエコー法を用いて同時に距離計測を行う。パルスエコー法では、超音波パルスを空中に放射し、目標からの反射波を受信する。その伝播時間 τ と超音波の速度 c から $l=c\tau/2$ として距離を求める。一般に超音波の速度 c (m/s) は、 $c = 331.5 + 0.6T$ で与えられる。ここで、 T は温度 (°C) を表している。

パルスエコー法を用いて各送受波器が同時に距離計測を行う場合、自身の放射した送信パルスの反射波が受波器で受け取られる前に、別の送波器から放射された送信パルスの反射波を受け取ってしまうことにより、その反射波を自身が放射した送信パルスの反射波と誤って認識してしまい、実際よりも近くに測定物体が存在するようになってしまうことがある。これを送受波器間のクロストークという。そのため、目標との距離を正確に計測するためにはクロストークの検知・除去が不可欠となる。そこで、本研究ではパルス圧縮の技術を応用することで、送信パルスと受信パルスの相関関数を求め、クロストークの検知・除去を行うものとする。

1.2 研究の目的

本研究の目的は、これまで行ってきた送信信号と受信信号との相関関数を計算するといった方法よりもさらにクロストークの検知・除去性能に優れた信号処理の方法を提案・検証することである。

そこで、本研究では無線通信で用いられているそれぞれの符号に対応するサブパルスと受信信号との相関関数を計算するといった方法を超音波距離計測において用いる方法を提案し、これまでの方法により求めた相関関数との比較を行うことで提案手法の有用性についての検証を行うものとする。

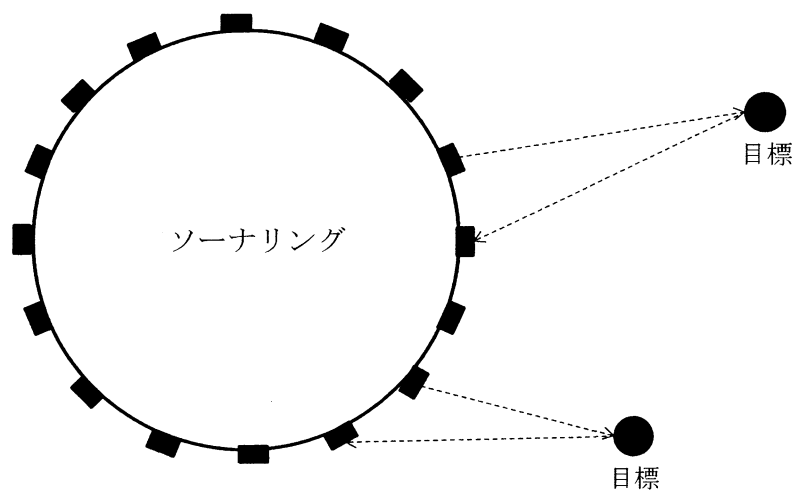


図 1.1 ソーナリング

2 章 周波数偏移変調信号

2.1 デジタル符号の伝送方式

デジタル符号を遠方へ伝送するための基本的な変調方式は振幅偏移変調、周波数偏移変調、位相偏移変調などである[1]。本研究ではシステムが小型軽量で実現できる一方、周波数帯域が狭いといった特徴をもつ共振型送波器を用いる。そのため狭帯域でも複数の異なる信号を生成できる変調方式を用いる必要がある。そこで、本研究ではこれらの変調方式の中から周波数偏移変調方式を採用し、その中でも符号 0、1 にそれぞれ周波数の異なる搬送波を割り当てることで信号を生成できる 2 値周波数偏移変調信号[2]を用いる。この 2 値周波数偏移変調信号では符号の 0、1 を並び替えることで狭帯域でも複数の異なる信号の生成が実現可能である。本研究では 80 個の符号から生成したコードを用いて符号 0 に周波数 38.461kHz の搬送波を対応させ、符号 1 に周波数 41.666kHz の搬送波を対応させた 2 値周波数偏移変調信号を用いる。

2.2 無線通信における周波数偏移変調

2 値符号の伝送において周波数偏移変調 (Frequency Shift Keying) は振幅が一定の搬送波を用い、符号 0、符号 1 にそれぞれ周波数 $f_0=38.461\text{kHz}$, $f_1=41.666\text{kHz}$ の搬送波を対応させ伝送する。その場合、無線通信では、図 2.2 の (a) のような符号ごとに搬送波の周期 $1/f_c$ に比べて十分長い周期 $1/f_s$ のサブパルスを対応させる。そして空間を伝播してきた変調信号から符号を取り出す操作をするとき、図 2.2 の (b) のようなそれぞれの符号に対応するサブパルスとの相関関数などを計算し、それらの相関関数のどちらかに、周期 $1/f_s$ ごとに出るピークを検知することを行う。符号が 0 か 1 かによらず周期 $1/f_s$ が一定なので、同じ時刻のピークの振幅を単純に比較すればよいことになる。

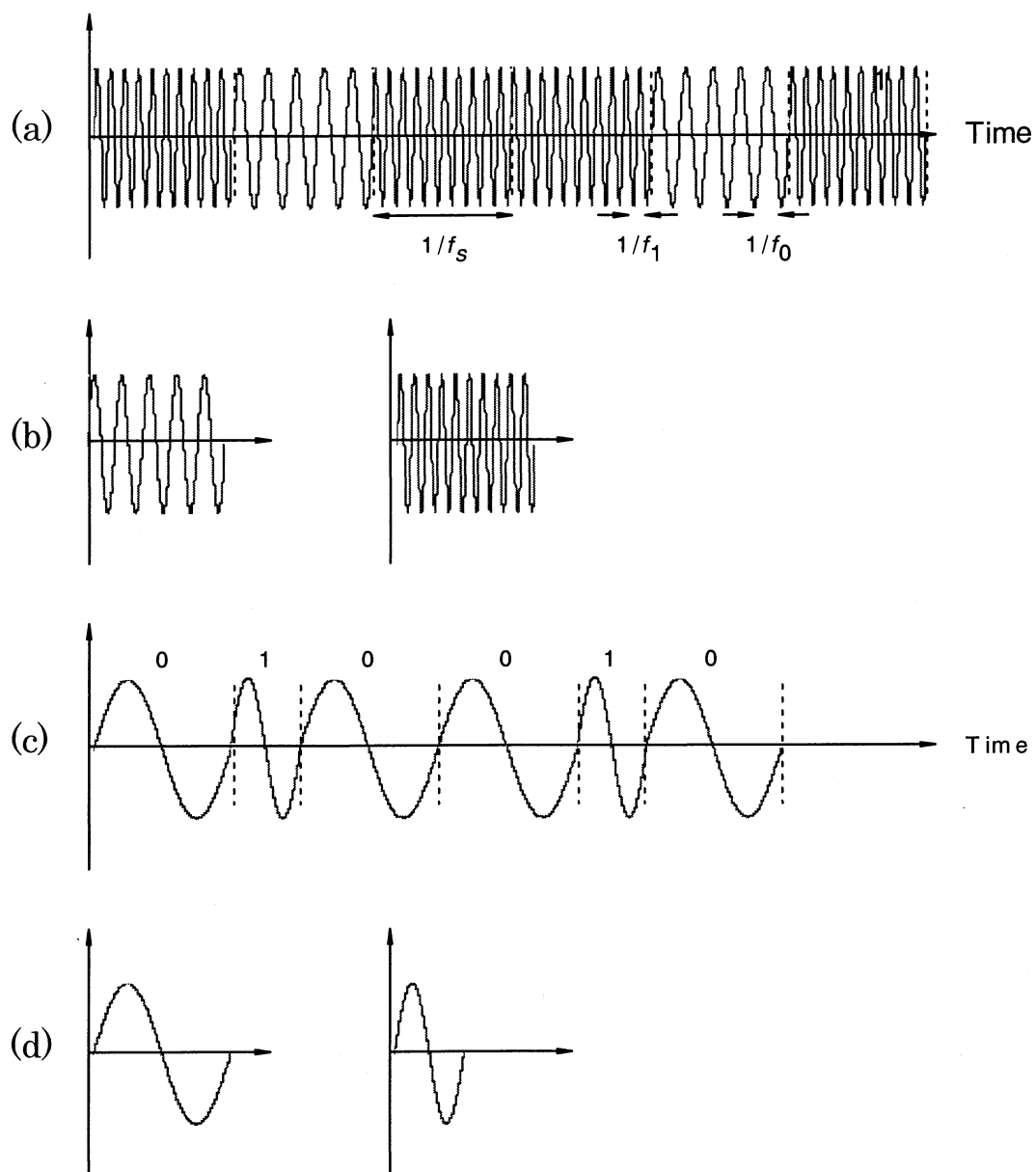


図 2.2 無線通信と超音波距離計における周波数偏移変調方式

2.3 超音波距離計測における周波数偏移変調

超音波距離計では、距離計測を行う周期を短くする必要があるため、送信パルスの幅をあまり長くはできない。そこで、周波数偏移変調信号は、符号ごとに搬送波の周期 $1/f_c$ と同じか、あるいはその 2-4 倍の周期 $1/f_s$ のサブパルスに対応させる。本研究で用いる 2 値周波数偏移変調信号は、図 2.2 の (c) のような信号であり、

$$u(t_i) = \sum_{j=1}^M \Pi_j(t_i) \sin[2\pi f_{b_j} (t_i - d_{j-1})] \quad (1)$$

で表される。ここで、 $\Pi_j(t_i)$ は次式で定義される。

$$\Pi_j(t_i) = \begin{cases} 1, & (d_{j-1} \leq t_i < d_j) \\ 0, & (t_i < d_{j-1}, d_j \leq t_i) \end{cases} \quad (2)$$

$j > 0$ の場合、 $d_j = \sum_{k=1}^j 1/f_{b_k}$ である。また $d_0 = 0$ である。

パルス幅は d_M で与えられる。 b_j は M ビットの 0, 1 の符号系列の第 j ビット目の値で、 $b_j = 0$ のときは $f_{b_j} = f_0$ 、 $b_j = 1$ のときは $f_{b_j} = f_1$ である。この場合、パルス幅 d_M は、符号系列のビット数が同じでも、その中の符号 0、1 の数により異なる。そして空間を伝播してきた変調信号から符号を取り出す操作をするとき、図 2.2 の (d) のようなそれぞれの符号に対応するサブパルスとの相関関数を計算すると、それらの相関関数に出るピークの周期は一定にはならない。このような理由で、これまではサブパルスではなく送信信号との相関関数を計算してきた。そこで今回は、変調信号から取り出した符号 0、符号 1 に対応するサブパルスと同じ長さの信号と、各符号のサブパルスとの相関関数のピークがより大きくなるような符号のパターンと、送信信号の符号のパターンとの相関関数を計算する方法を提案した。

2.4 受信パルスの生成

距離計測を行った場合に受波器で受け取られる波形は空気中や目標からの反射によりひずみが生じたものとなる。そこで、本研究ではこのひずみの生じた波形を作り出すためにホワイトノイズを用いることとし、これを送信パルスに加えたものを受信パルスとして用いる。

3 章 アナログ信号からデジタル信号への変換

距離計測を行う際に受波器で受け取られる信号はアナログ信号である。そのため相関関数を計算するためにはデジタル信号に変換する必要がある。そこで、本研究ではまず、受波器で受け取られた信号に対して量子化を行う。次に、量子化によって得られた信号に対してサンプリングを行うことでデジタル信号を得る。

3.1 量子化

本研究で行う量子化は、信号の振幅がしきい値以上であれば+1 とし、しきい値未満であれば 0 として信号の 2 値化を行うといったものである。そしてしきい値には 0 を設定する。

つまり、振幅 A_i に対して

$$\text{振幅}A_i \begin{cases} 1 & (A_i \geq 0) \\ 0 & (A_i < 0) \end{cases}$$

として量子化を行う。

量子化を行うことで図 3.1 のようなアナログ信号から図 3.2 のように 2 値化された信号を得ることができる。

3.2 サンプリング

次に、量子化によって得られた信号に対してサンプリングを行うことで 0、1 のデジタル信号を得る。その際のサンプリング周波数は 1MHz とする。80 符号からなる 2 値周波数偏移変調信号をこの周波数でサンプリングすると約 2000 個の 0、1 の信号を得ることができる。

本研究ではこのようにして得られたデジタル信号を相関関数の計算に用いている。

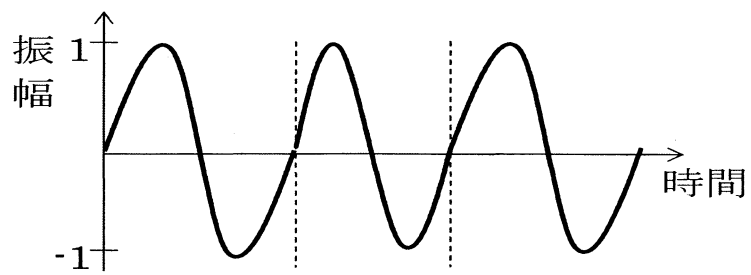


図 3.1 量子化を行う前の信号

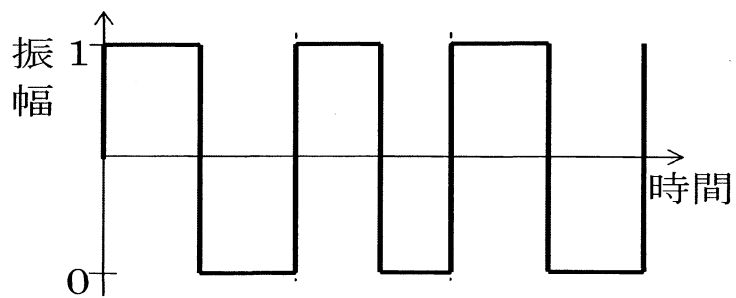


図 3.2 量子化を行った後の信号

4 章 送信信号と受信信号との相関関数

送信信号と受信信号との相関関数を計算する方法として、無線通信で用いられている各符号のサブパルスと受信信号との相関関数を計算するといった方法がある。しかし、2 章で述べたように超音波距離計においては、各符号に対応するサブパルスのパルス幅の違いから、この方法では相関関数に出るピークの周期が一定ではないため、これまでの研究ではこのような方法を用いることができなかった。そのため、サブパルスと受信信号との相関関数を求めるのではなく、送信信号全体と受信信号との相関関数を計算するといった方法を用いてきた。

本章ではまず、これまで行ってきた送信信号全体と受信信号との相関関数を計算する方法についての説明を行う。次に、その際の相関関数についての考察を行う。そして、次章以降に本研究で提案する各符号に対応するサブパルスとの相関関数を求める方法について述べる。

4.1 相関関数の求め方

送信信号全体と受信信号との相関関数を計算する方法では、まず、受波器で受け取られた受信パルスに対して量子化、サンプリングを行い 0、1 の 2 値の信号へと変換を行う。次に、送信信号と同じ長さの受信信号を取り出し、送信信号と受信信号の対応するビットの一致判定を行う。そして、その一致率をその時点における相関関数の値とする。その後、受信信号を 1 ビットシフトさせ、次の時点における相関関数の値を求めるといった処理を繰り返す。この時、受信信号に対して $1\mu\text{s}$ の間隔でサンプリングを行っているため、相関関数の値は $1\mu\text{s}$ ごとに求まることとなる。

相関関数を求める様子を図 4.1 に示した。(図中では信号の 0、1 と符号の 0、1 を区別するために信号の 0、1 をそれぞれ+、-と表記している。また、送信信号には研究で用いている信号よりも幅の短い信号を用いて説明を行っている。)

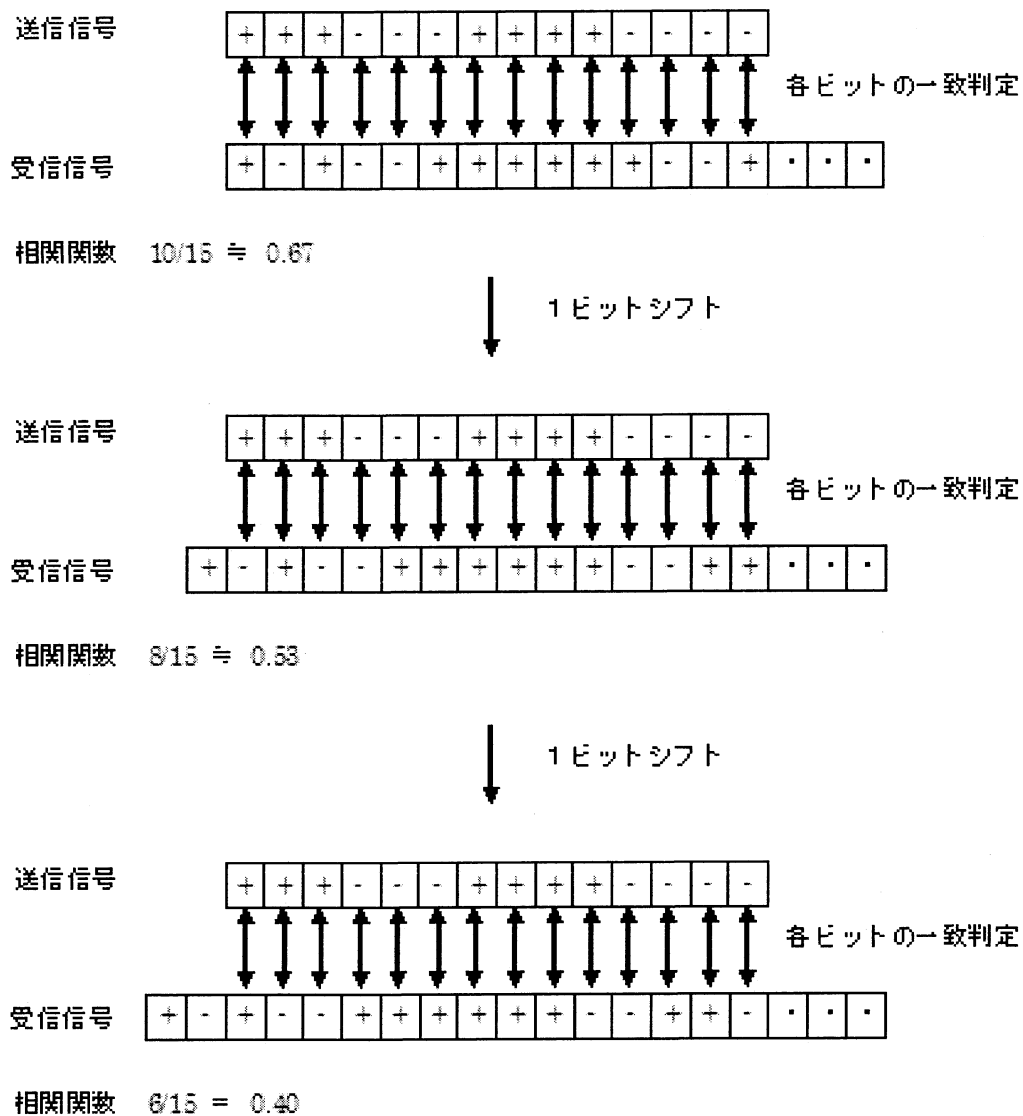


図 4.1 送信信号と受信信号の相関計算

4.2 実行結果

送信信号と受信信号との相関関数を求める方法で実際に相関関数の計算を行った。送信信号には 80 個の符号によるコードから生成した 2 値周波数偏移変調信号を用いた。また、本研究では異なる 8 つのコードを用いて相関関数の計算を行った。その結果を表 4.2、図 4.2.1~4.2.8 に示す。

この方法で相関関数を求めると、コードによってピークレベル、サイドローブレベルに大きな差は生じないことがわかる。また、この方法で求めた相関関数ではピーク幅が広くなるといった特徴をもつことがわかる。これは、相関関数を求める際に使用する送信信号のデータ数が約 2000 個に及ぶことから相関関数のピークも緩やかに現れるためだと考えられる。

表 4.2 各コードにおける送信信号と受信信号との相関関数

	ピークレベル	サイドローブレベル
コード 1	0.725	0.154
コード 2	0.725	0.152
コード 3	0.705	0.135
コード 4	0.735	0.150
コード 5	0.718	0.148
コード 6	0.728	0.159
コード 7	0.732	0.155
コード 8	0.729	0.190
平均	0.725	0.155

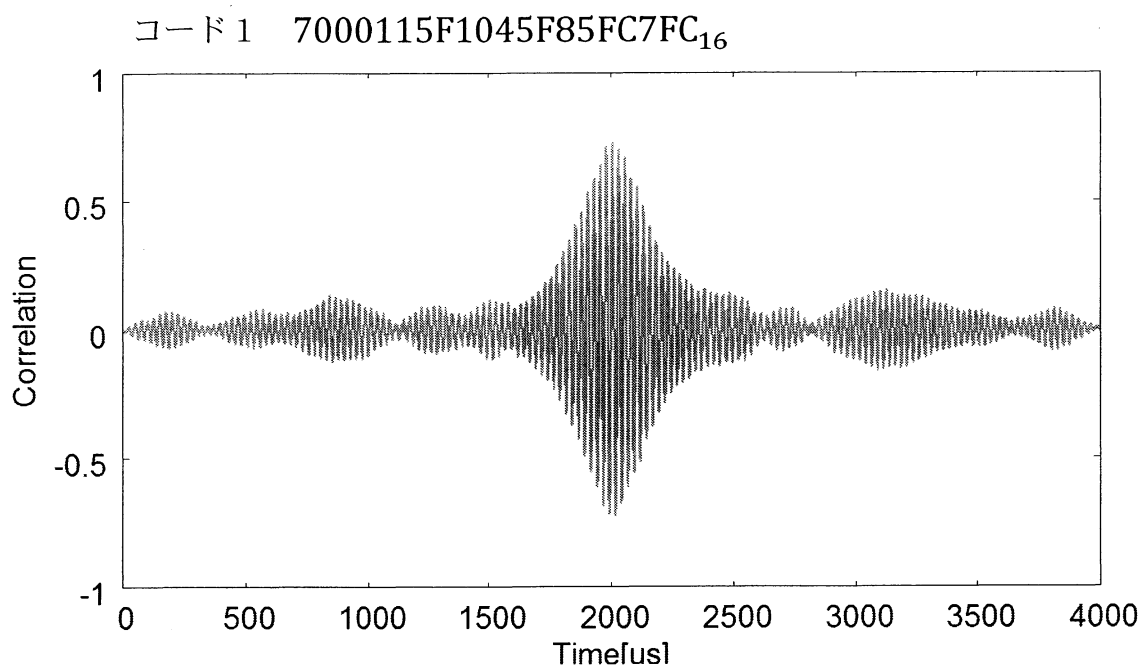


図 4.2.1 送信信号と受信信号との相関関数 (コード 1)

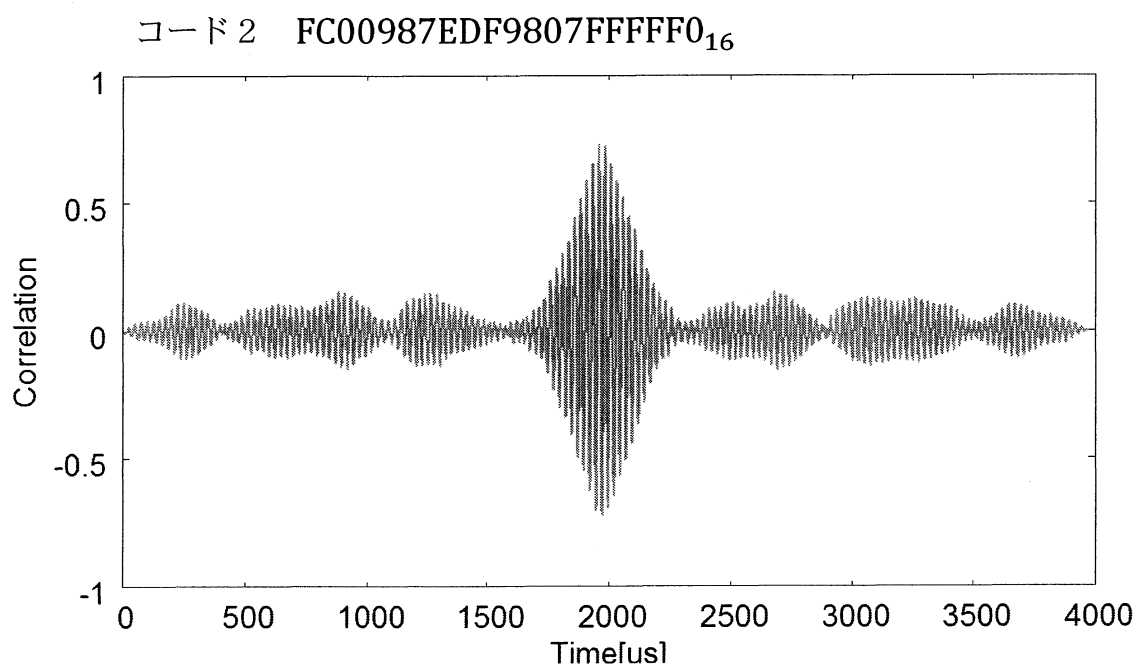


図 4.2.2 送信信号と受信信号との相関関数 (コード 2)

コード3 312000EBBFFF7555384F₁₆

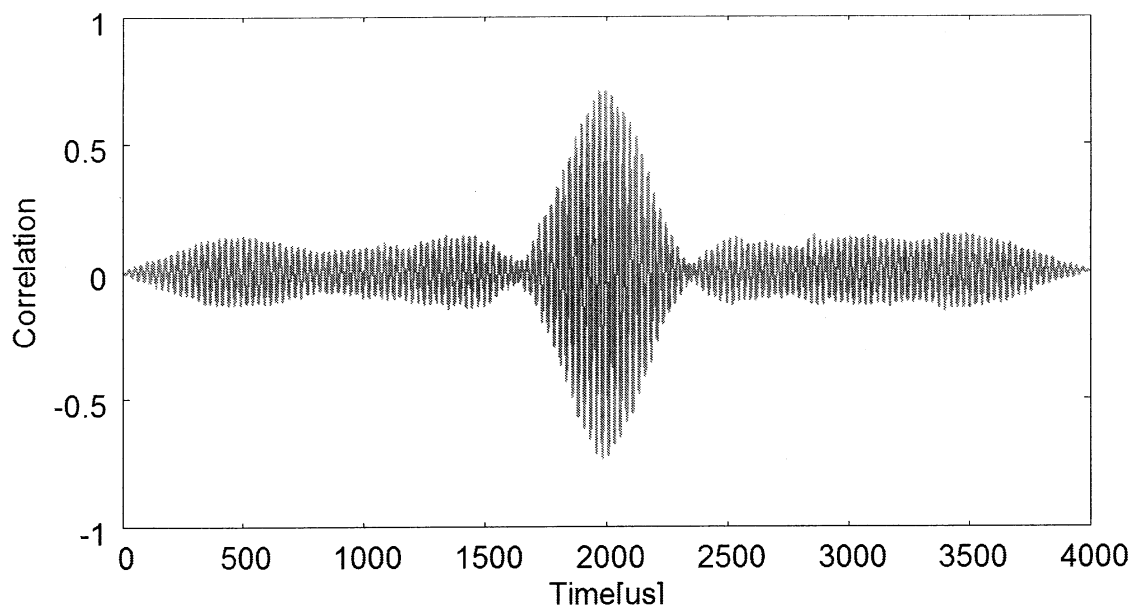


図 4.2.3 送信信号と受信信号との相関関数 (コード3)

コード4 0FFF443AFBE408427900₁₆

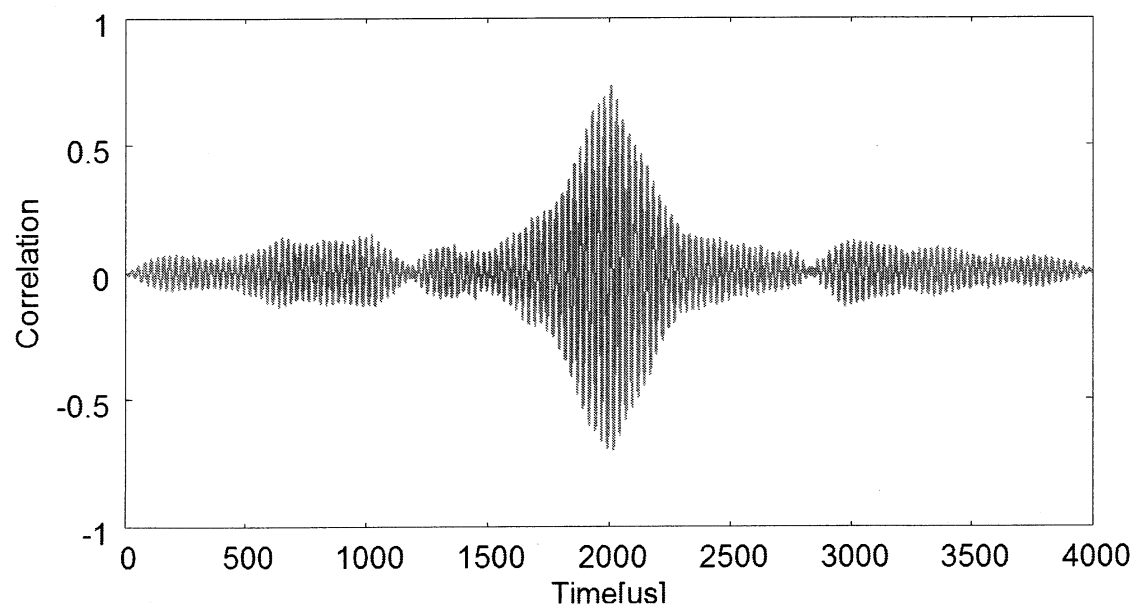


図 4.2.4 送信信号と受信信号との相関関数 (コード4)

コード5 2EF041B400000000FFFF₁₆

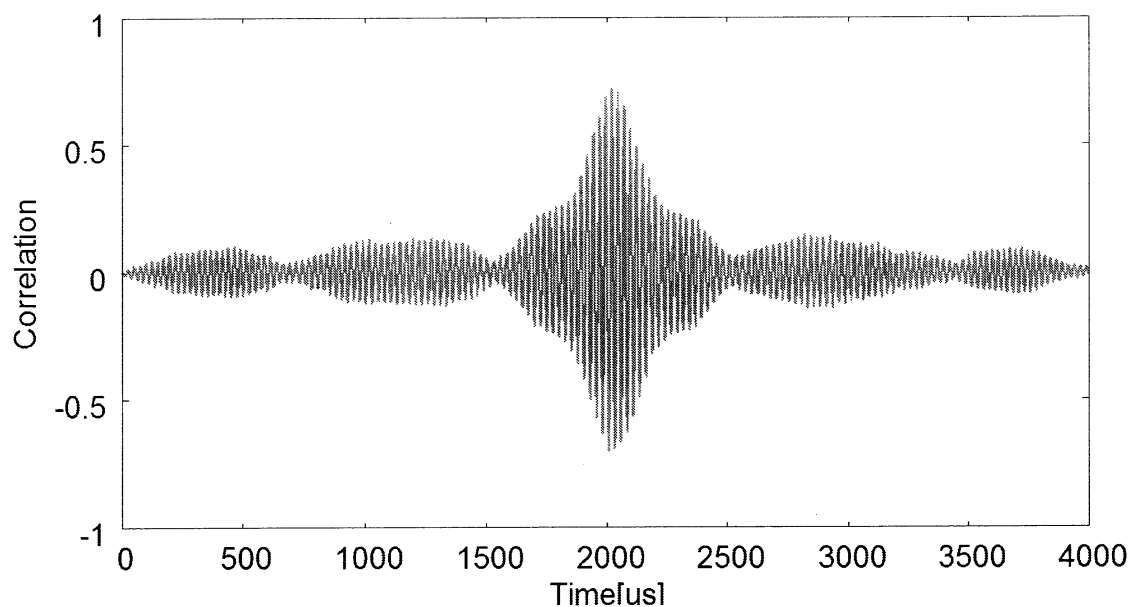


図 4.2.5 送信信号と受信信号との相関関数 (コード5)

コード6 114C01FFEFFDCFFF00FD₁₆

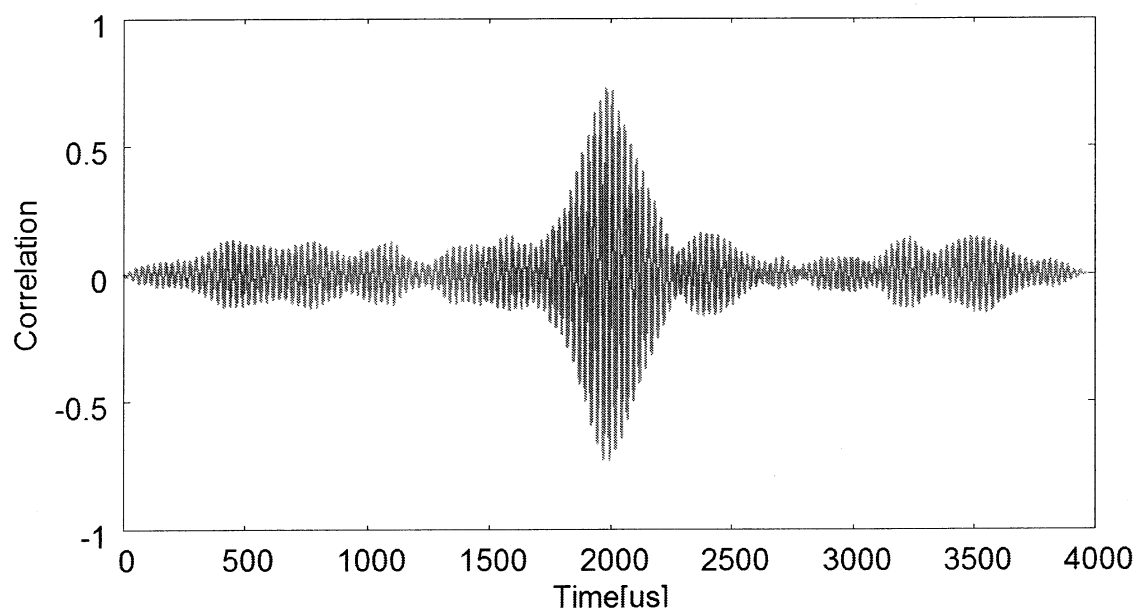


図 4.2.6 送信信号と受信信号との相関関数 (コード6)

コード7 000FEFFF0140E2FF0000₁₆

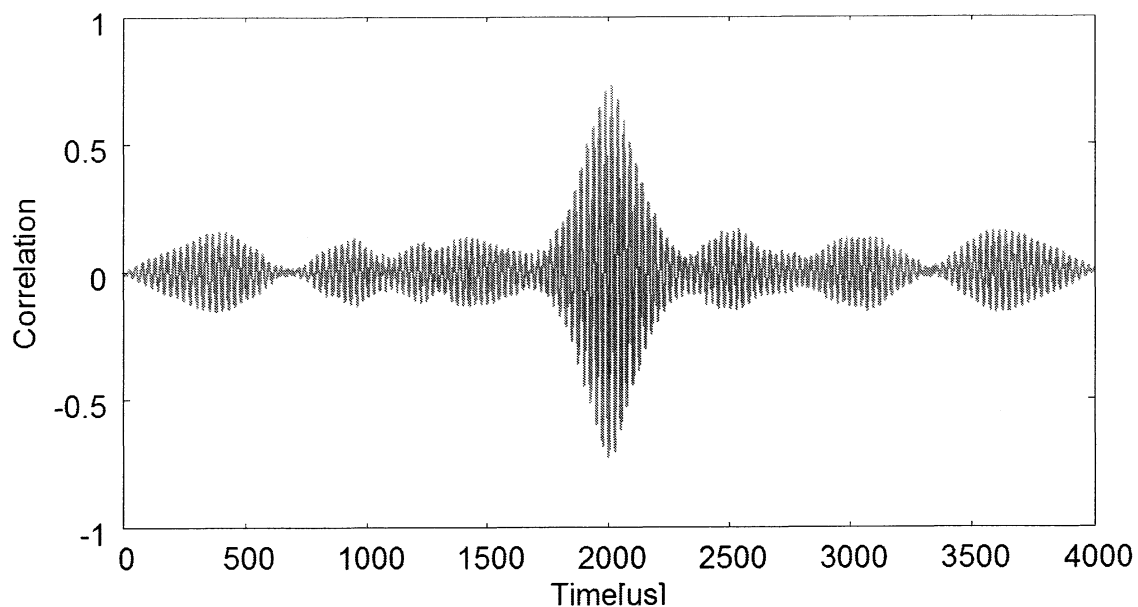


図 4.2.7 送信信号と受信信号との相関関数 (コード7)

コード8 7F5BAFE40010084939B4₁₆

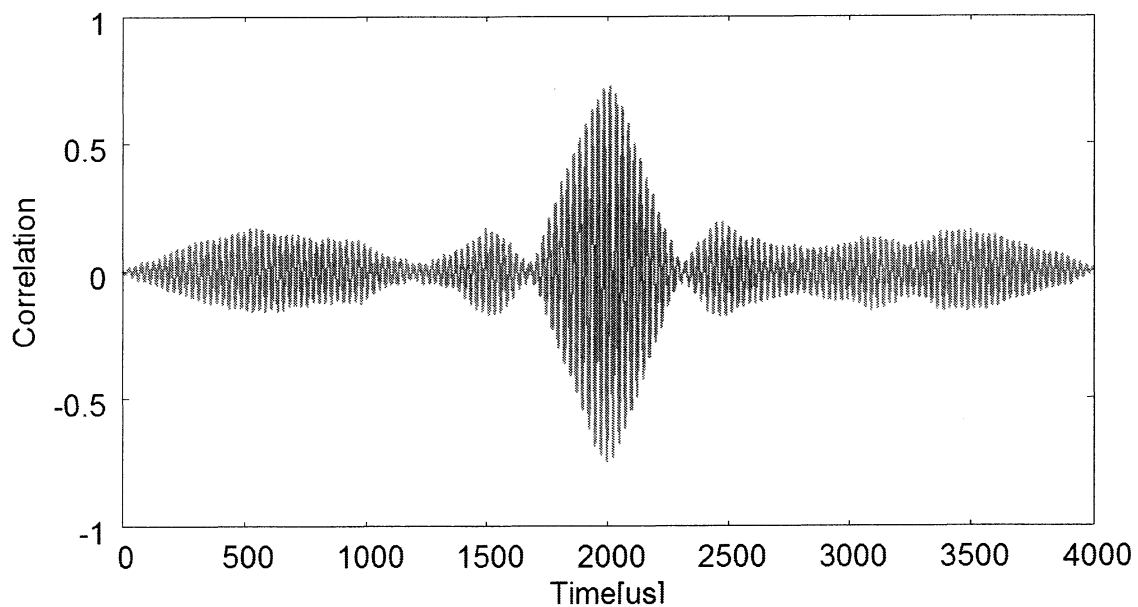


図 4.2.8 送信信号と受信信号との相関関数 (コード8)

5 章 サブパルスと受信信号との相関関数

この章では、これまでの研究で用いられてきた送信信号と受信信号との相関関数を計算する方法とは別に、本研究で提案を行う無線通信で用いられる各符号のサブパルスと受信信号との相関関数を計算する方法について述べる。しかし、これまで述べてきたように超音波距離計においては各符号に対応するサブパルスのパルス幅の違いからピークの現れる間隔が一定にならず、このような方法は用いることができなかった。

そこで、本研究で行うサブパルスとの相関関数を求める方法では、各サブパルスとの相関関数を求める際に、あらかじめしきい値を設定しておき、相関関数の値がしきい値を超えるような符号のパターンを求め、その符号のパターンと送信信号の符号のパターンとの相関関数を求めるといった方法をとる。

5.1 相関関数の求め方

サブパルスと受信信号との相関関数を求める方法においても、まず、受波器で受け取られた受信パルスに対して量子化、サンプリングを行い 0、1 の 2 値の信号へと変換を行う。次に、送信信号を生成する際に用いた符号 0、1 にそれぞれ対応するサブパルスと受信信号との相関関数の計算を行い、受信信号を符号に置き換える操作を行う。この時、相関関数のピークが現れる周期が符号によって違うため、どこからどこまでの信号をどちらの符号へと置き換えればよいのかが問題となる。そこで、この判定にしきい値を用いることでどちらかのサブパルスとの相関関数の値がしきい値を超えたとき、対応する信号をその符号へと置き換えるといった方法を用いる。その際、各符号のサブパルスとの相関関数の値がある時点において同時にしきい値を超えた場合には、より相関関数の値が大きな符号へと置き換えるものとする。その後、受信信号から得られた符号のパターンと送信信号の符号のパターンとの相関関数の計算を行う。

相関関数の値は各サブパルスと受信信号のそれぞれ対応するビットの一致判定を行うことにより求まる。図 5.1.1 はある時点における相関関数の計算を表したものである。(図中では信号の 0、1 と符号の 0、1 を区別するために信号の 0、1 をそれぞれ+、-と表記している。また、送信信号には研究で用いている信号よりも幅の短い信号を用いて説明を行っている。) この場合では求めた相関関数がしきい値を超えていないため符号に置き換える操作はせず、信号を 1 ビットシフトさせて再び信号の一致判定を行っている。そして、図 5.1.2 のようにどちら

かのサブパルスとの相関関数の値がしきい値を超えたときに受信信号の対応する信号をその符号へと置き換える操作を行う。図 5.1.3 のように各サブパルスとの相関関数の値が共にしきい値を超えた場合には、相関関数の値がより大きくなるような符号のパターンへと置き換える。その後、図 5.1.4 に示すように受信信号から得られた符号のパターンと送信信号の符号のパターンとの相関関数を求める。

$t = 0.7$: しきい値

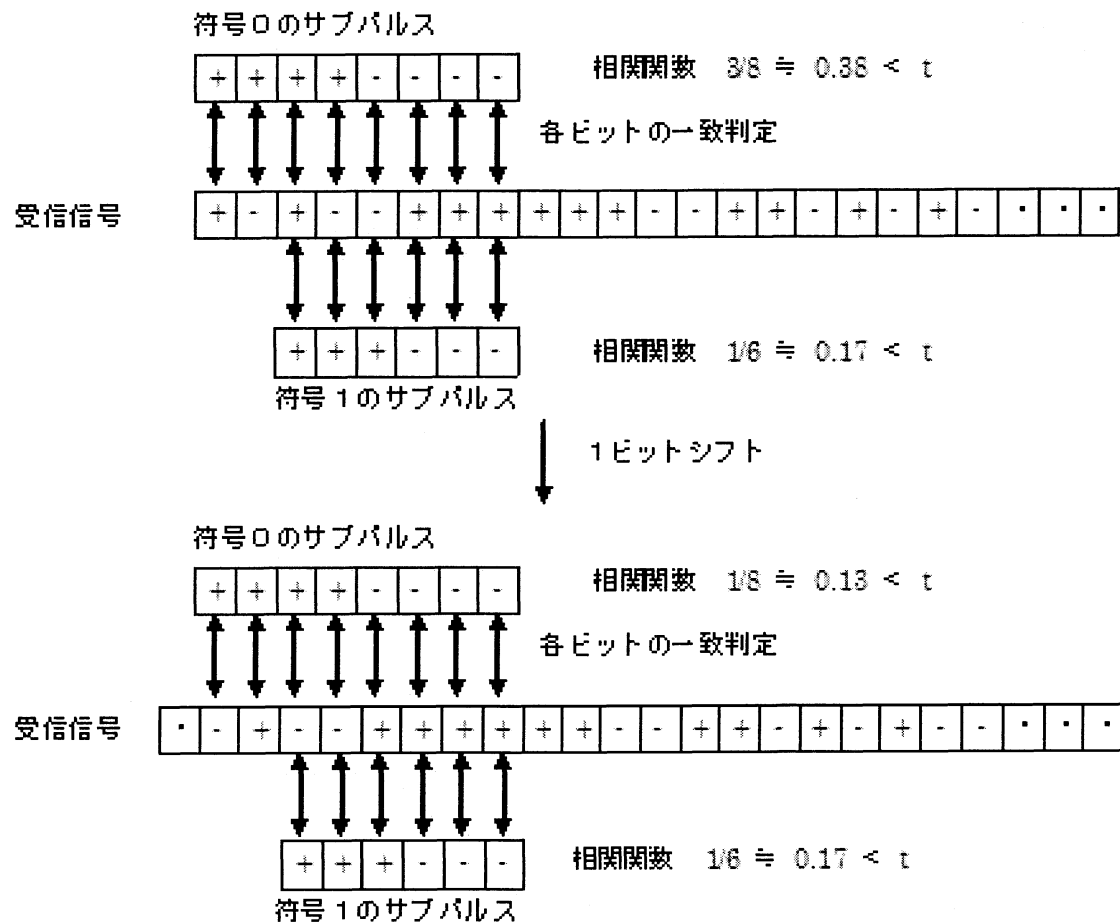
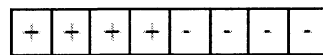


図 5.1.1 サブパルスと受信信号との相関関数の求め方

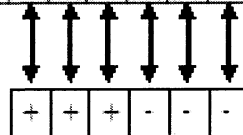
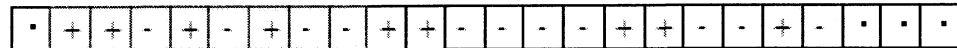
$t = 0.7$: しきい値

符号 0 のサブパルス



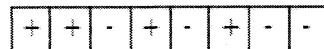
相関関数 $6/8 = 0.75 > t$

各ビットの一致判定



相関関数 $3/6 = 0.50 < t$

符号 1 のサブパルス

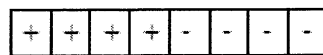


の部分に符号 0 に置き換える

図 5.1.2 一方の相関関数がしきい値を超えた場合の処理

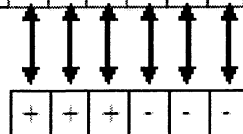
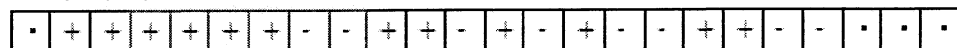
$t = 0.7$: しきい値

符号 0 のサブパルス



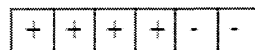
相関関数 $6/8 = 0.75 > t$

各ビットの一致判定



相関関数 $5/6 \approx 0.83 > t$

符号 1 のサブパルス



の部分に符号 1 に置き換える

図 5.1.3 両方の相関関数がしきい値を超えた場合の処理

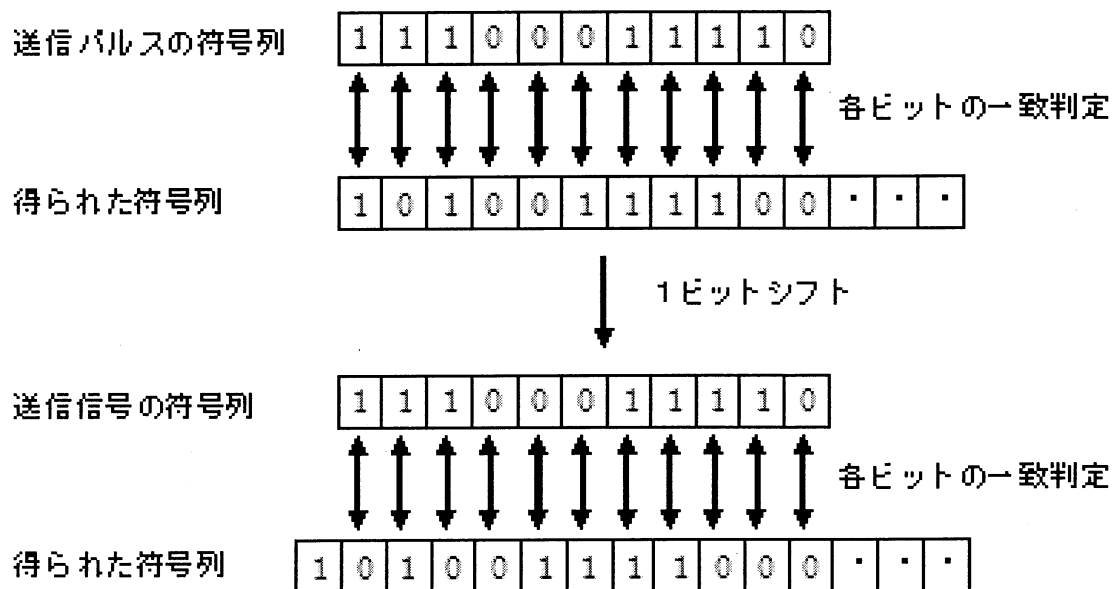


図 5.1.4 符号列同士での相関関数の計算

5.2 提案手法における異なる相関関数の求め方

本研究で提案するサブパルスとの相関関数の計算を行う方法では、各サブパルスのパルス幅の違いから異なる相関関数の求め方が存在する。例えば、図 5.2.1 のようにパルス幅の短い符号 1 のサブパルスをパルス幅の長い符号 0 のサブパルスの終端に合わせて相関関数を求めるといった方法や、図 5.2.2 のように符号 0 のサブパルスの先端に合わせて相関関数を求めるといった方法などがある。そこで、本研究では図 5.2.1、図 5.2.2 で示される方法で相関関数の計算を行い、より良い相関関数が得られた方法を提案手法として用いることとした。

5.2.1 終端に合わせた場合の相関関数

ここではまず、図 5.2.1 に示したようにパルス幅の短い符号 1 のサブパルスを符号 0 のサブパルスの終端に合わせて相関関数を求めた場合の結果を図 5.2.1.1~5.2.1.8 に示す。

この方法ではコードによってピークの位置のずれやサイドローブレベルが非常に高くなってしまふといったことが生じているのがわかる。このことから、こちらの方法では受信信号を符号に置き換える際に誤った符号との相関関数の値が先にしきい値を超えてしまったことで正確な符号へと置き換えることができていないことがわかる。

$t = 0.7$: しきい値

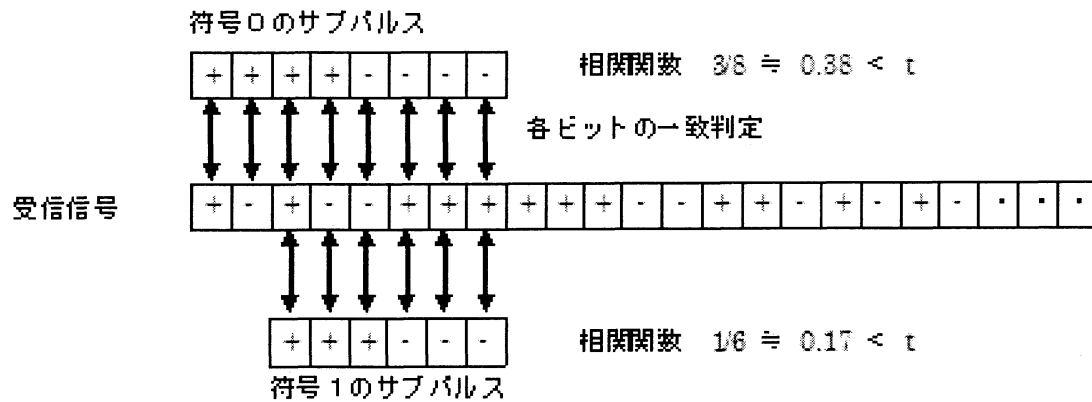


図 5.2.1 終端に合わせた場合

$t = 0.7$: しきい値

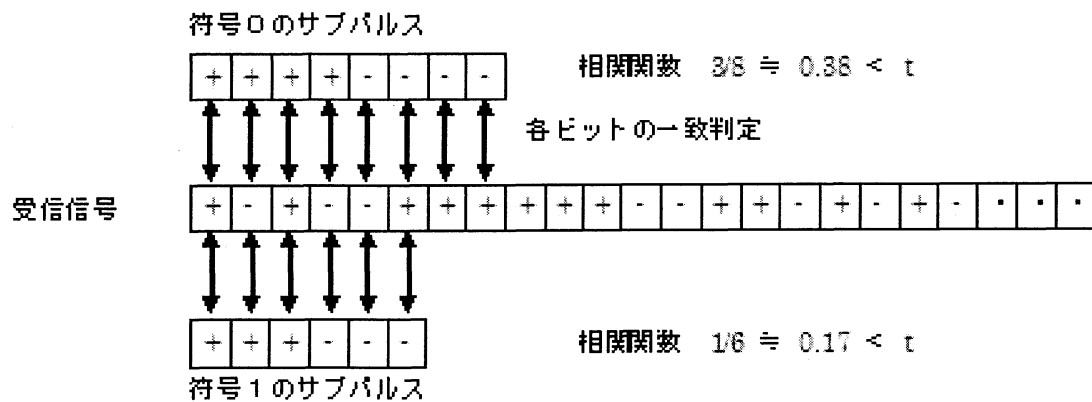


図 5.2.2 先端に合わせた場合

コード1 7000115F1045F85FC7FC₁₆

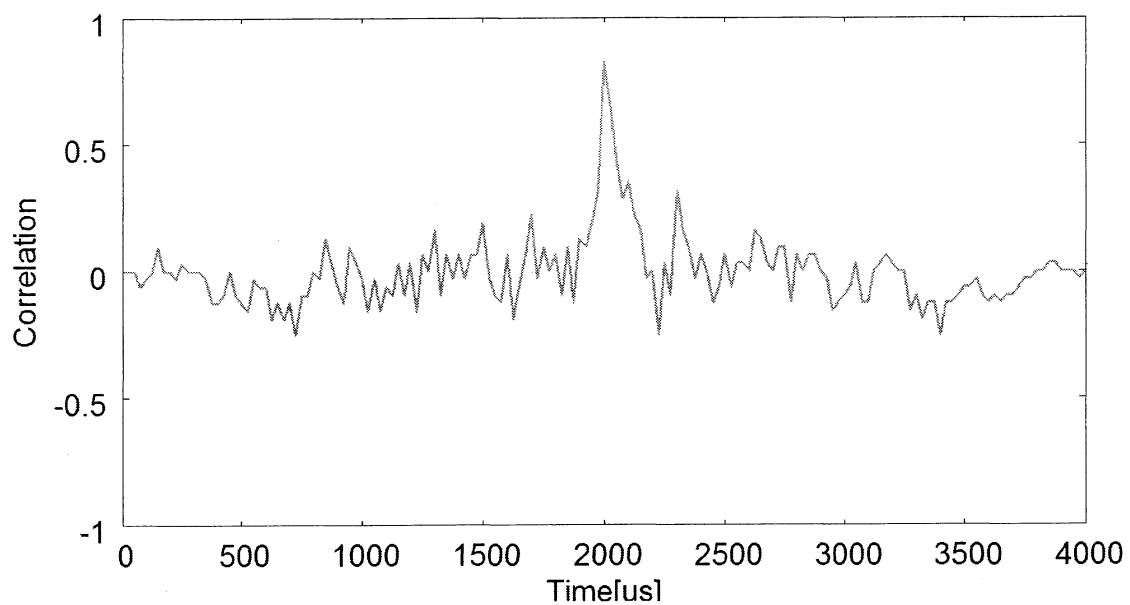


図 5.2.1.1 終端に合わせた場合の相関関数 (コード1)

コード2 FC00987EDF9807FFFFF0₁₆

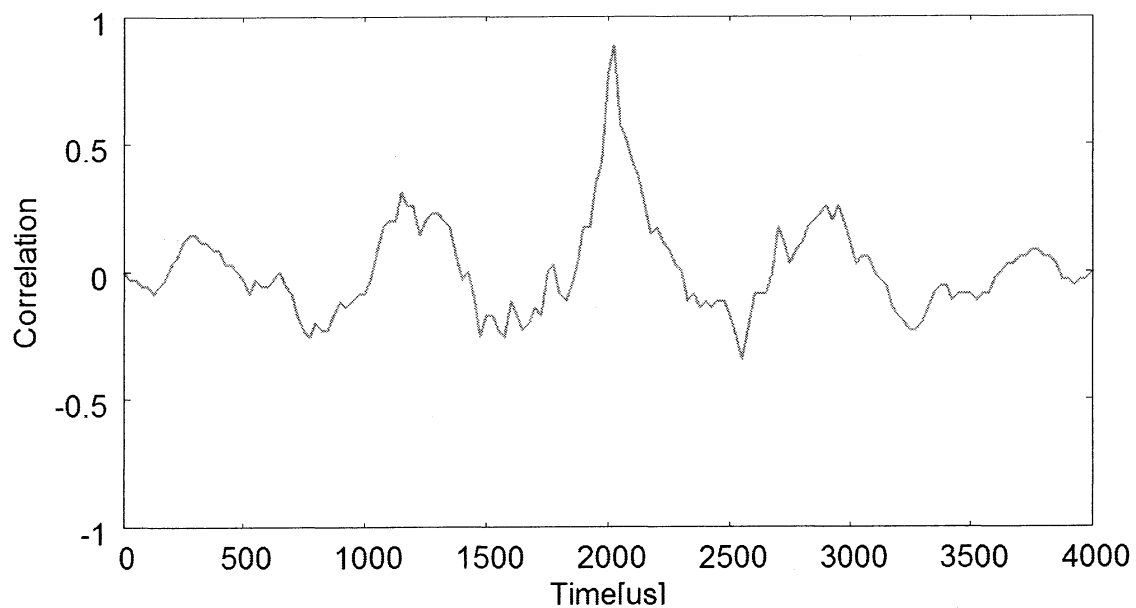


図 5.2.1.2 終端に合わせた場合の相関関数 (コード2)

コード 3 312000EBBFFF7555384F₁₆

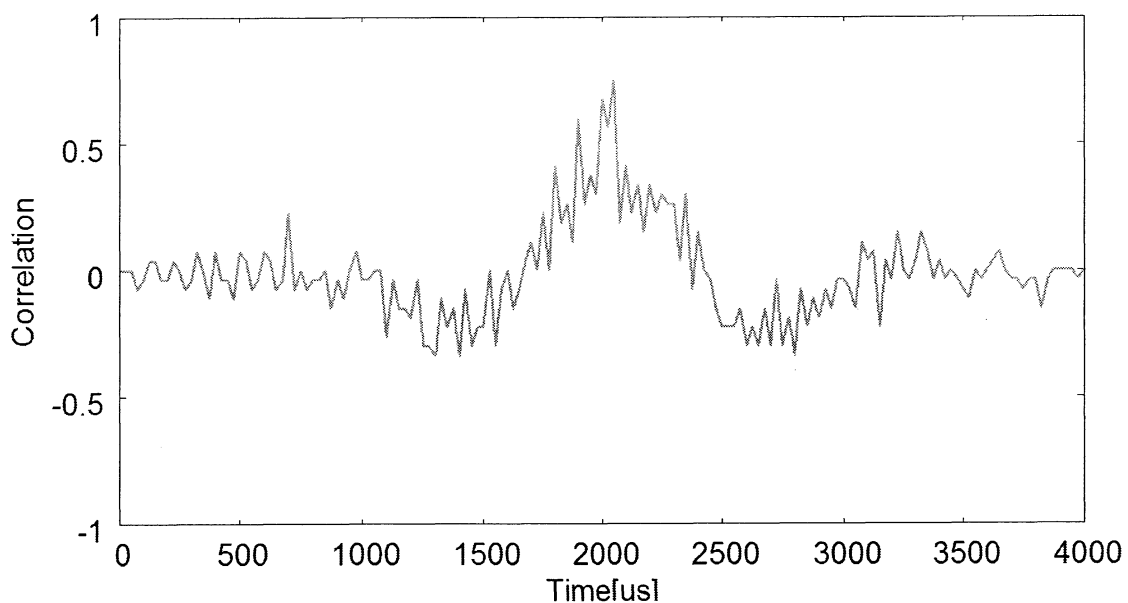


図 5.2.1.3 終端に合わせた場合の相関関数 (コード 3)

コード 4 0FFF443AFBE408427900₁₆

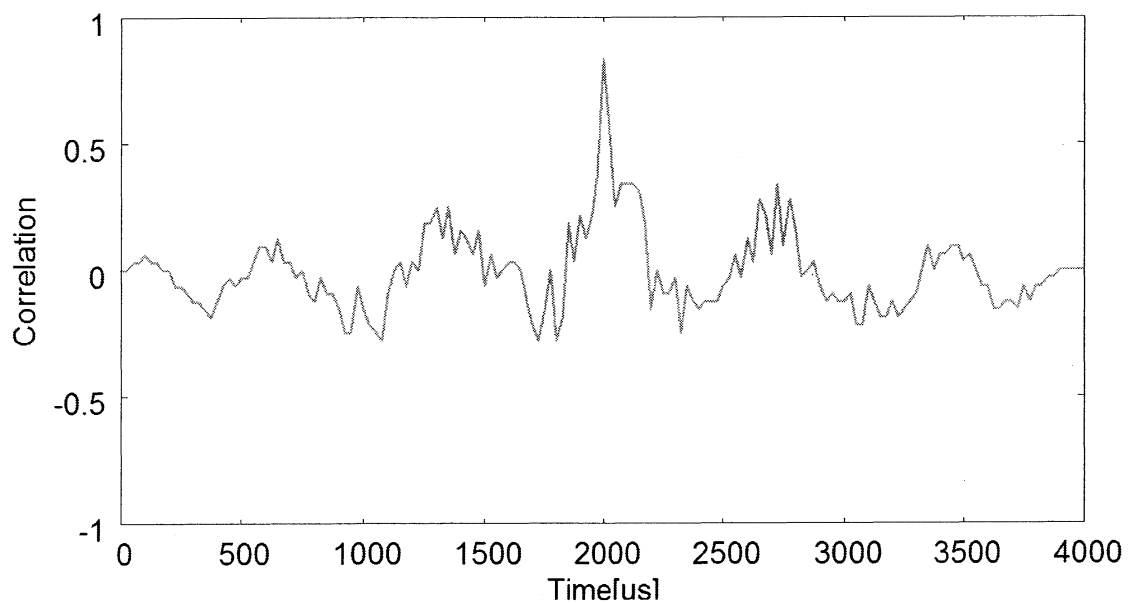


図 5.2.1.4 終端に合わせた場合の相関関数 (コード 4)

コード5 2EF041B400000000FFFF₁₆

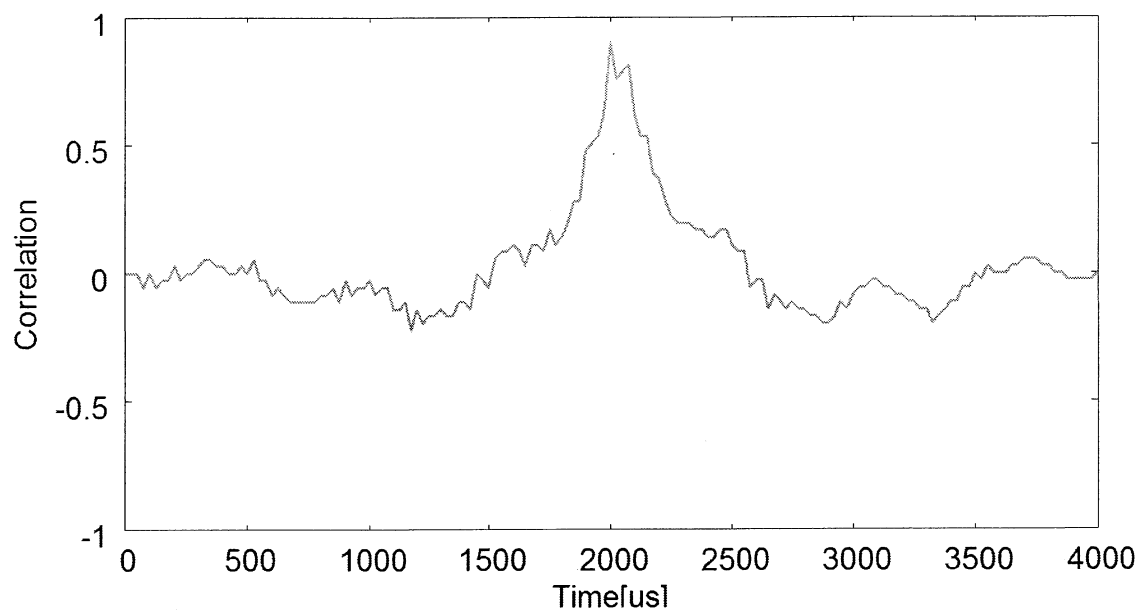


図 5.2.1.5 終端に合わせた場合の相関関数 (コード5)

コード6 114C01FFEFFDCFFF00FD₁₆

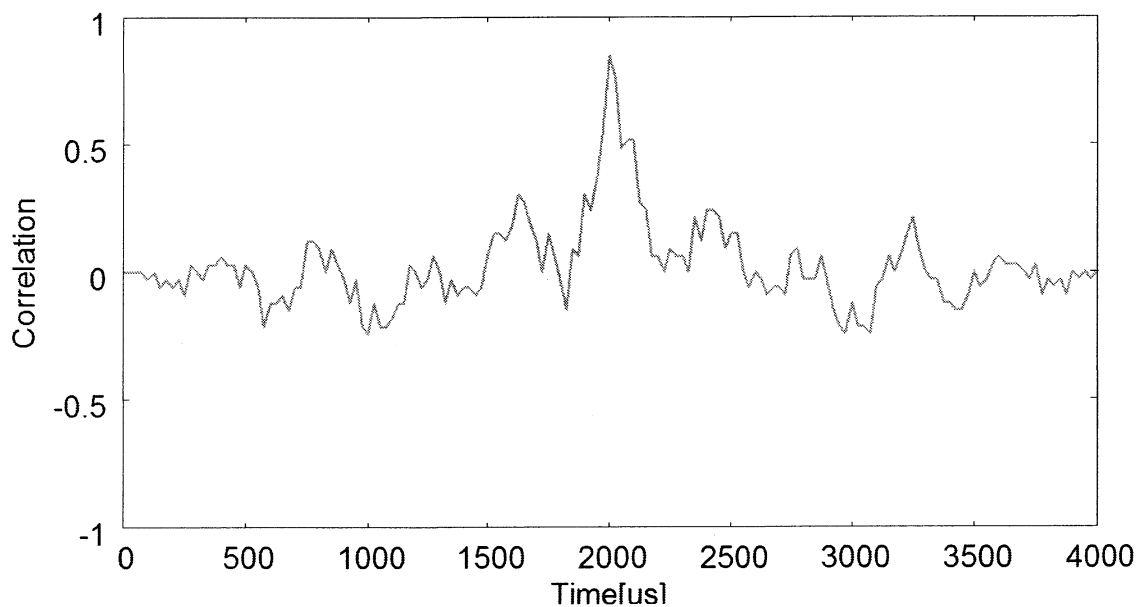


図 5.2.1.6 終端に合わせた場合の相関関数 (コード6)

コード7 000FEFFF0140E2FF0000₁₆

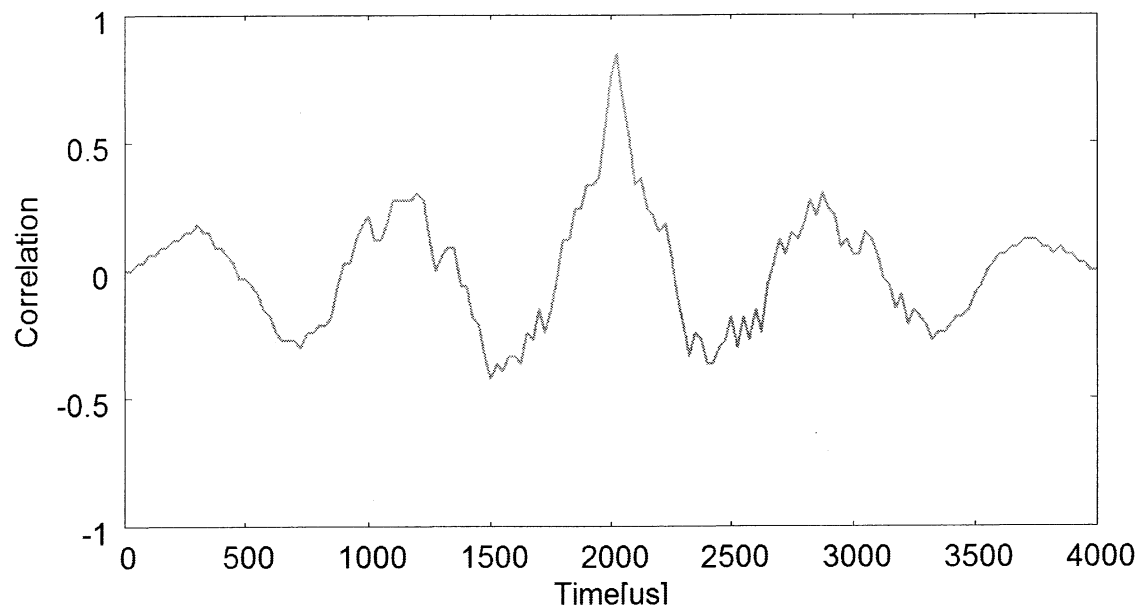


図 5.2.1.7 終端に合わせた場合の相関関数 (コード7)

コード8 7F5BAFE40010084939B4₁₆

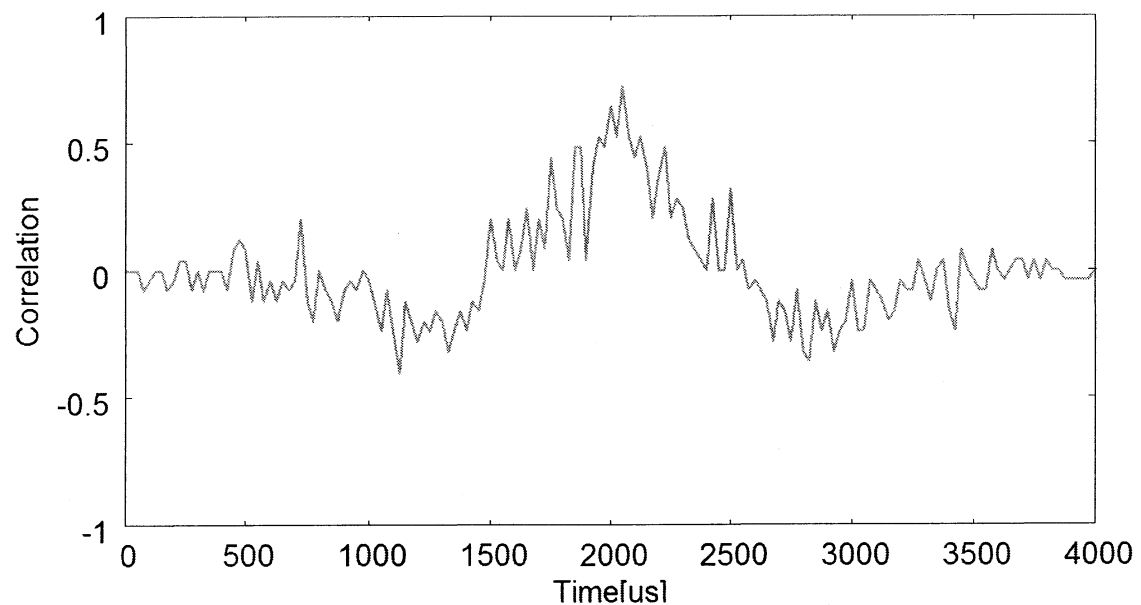


図 5.2.1.8 終端に合わせた場合の相関関数 (コード8)

5.2.2 先端に合わせた場合の相関関数

次に、図 5.2.2 に示したように符号 1 のサブパルスが符号 0 のサブパルスの先端に合せて相関関数を求めた場合の結果を図 5.2.2.1~5.2.2.8 に示す。

この方法で相関関数を計算した場合では、8 つのコード全ての場合においてピークの位置にずれがなく、サイドローブレベルも終端に合わせて相関関数を計算した場合に比べて全体的に低くなっていることがわかる。また、全てのコードにおいて相関関数のピークレベルが非常に高くなっていることから、受信信号を符号に置き換える際に、正確に置き換えることができていることがわかる。

5.2.3 まとめ

提案手法によって相関関数を求める方法として、パルス幅の短い符号 1 のサブパルスをパルス幅の長い符号 0 のサブパルスの終端に合わせて相関関数を求める方法と、先端に合わせて相関関数を求める方法の 2 通りの方法で相関関数を求め、その比較を行った。その結果、後者の方法を用いた場合の方がピークレベル、サイドローブレベルにおいて優れた結果を得ることができることがわかった。

そこで、本研究で提案するサブパルスを用いて相関関数を計算する方法においては後者の方法を用いるものとする。

コード1 7000115F1045F85FC7FC₁₆

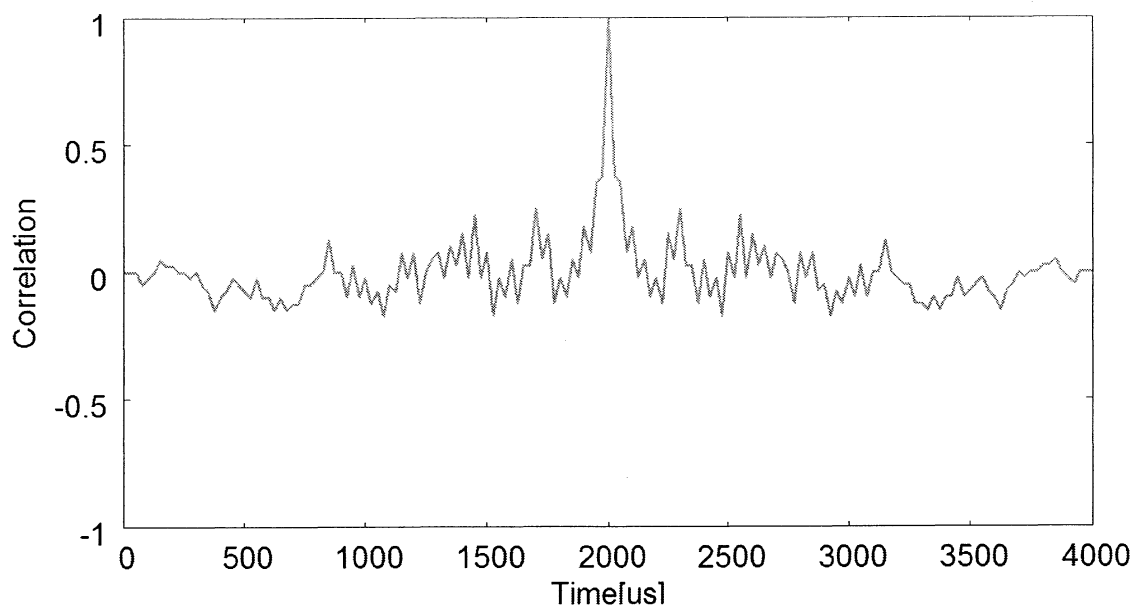


図 5.2.2.1 先端に合わせた場合の相関関数 (コード1)

コード2 FC00987EDF9807FFFFFF0₁₆

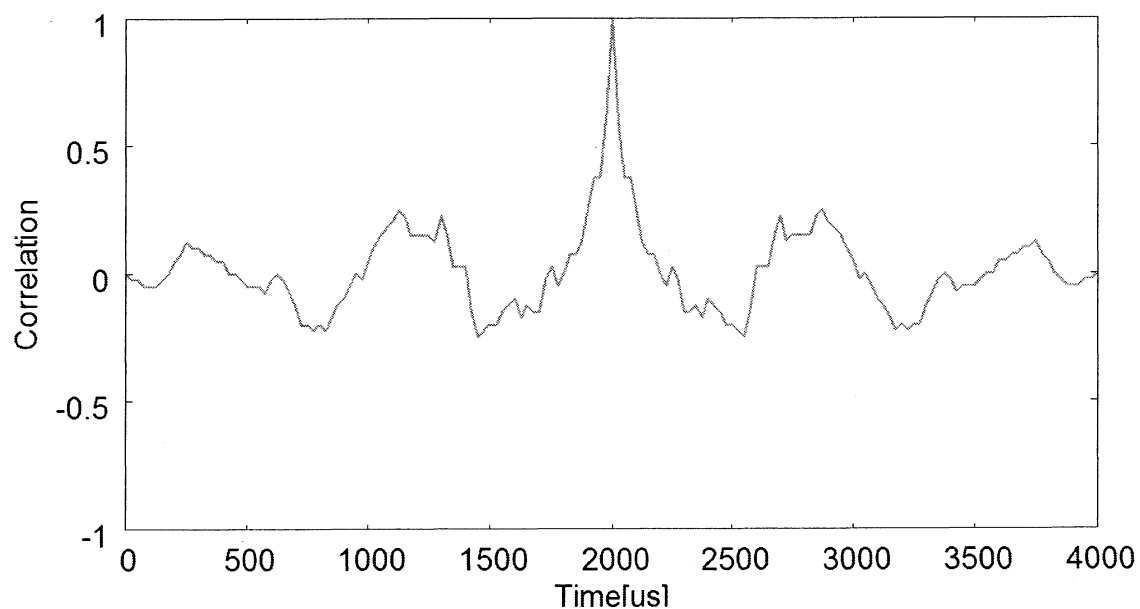


図 5.2.2.2 先端に合わせた場合の相関関数 (コード2)

コード3 312000EBBFFF7555384F₁₆

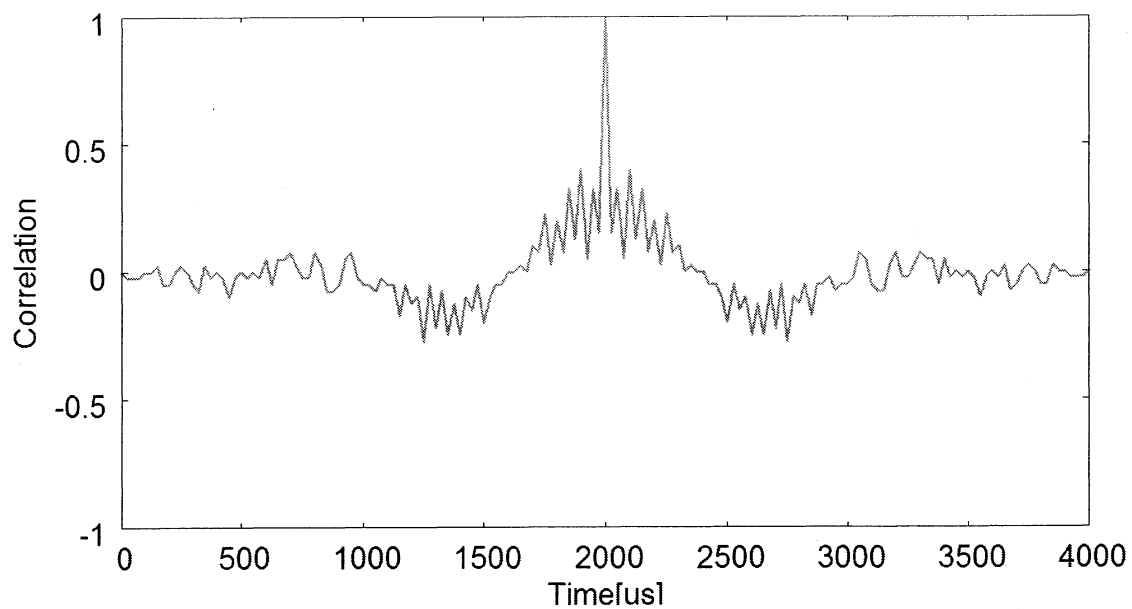


図 5.2.2.3 先端に合わせた場合の相関関数 (コード3)

コード4 0FFF443AFBE408427900₁₆

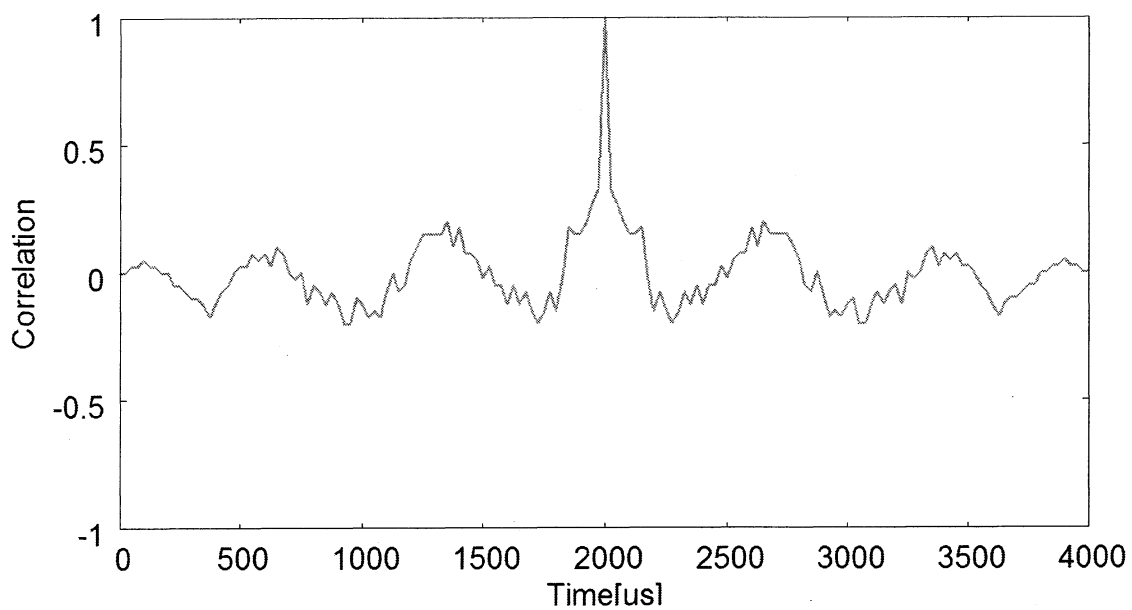


図 5.2.2.4 先端に合わせた場合の相関関数 (コード4)

コード5 2EF041B400000000FFFF₁₆

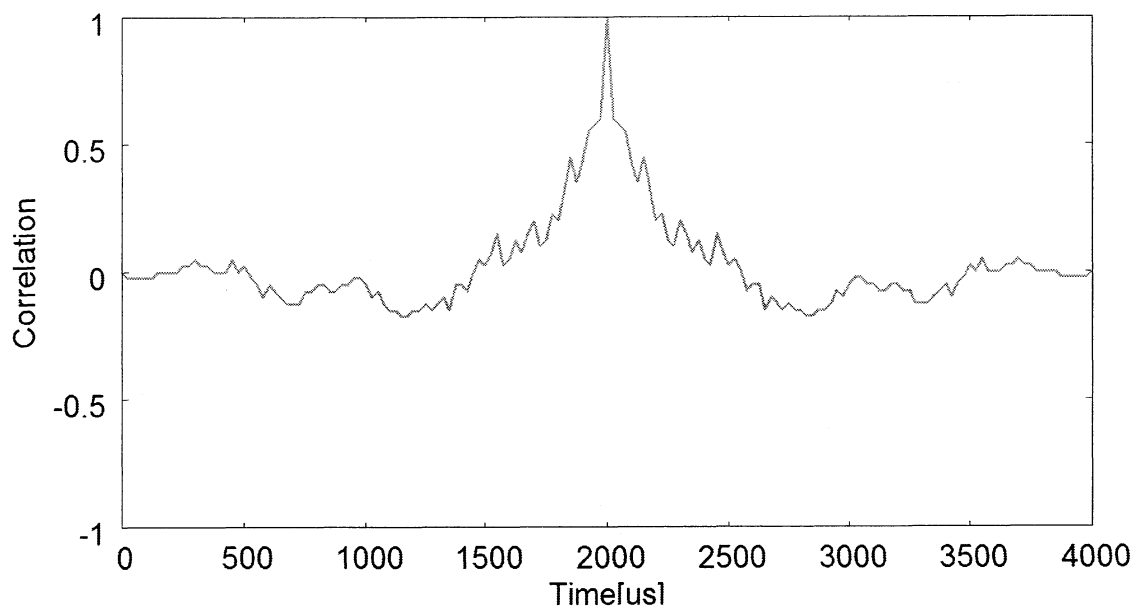


図 5.2.2.5 先端に合わせた場合の相関関数 (コード5)

コード6 114C01FFEFFDCFFF00FD₁₆

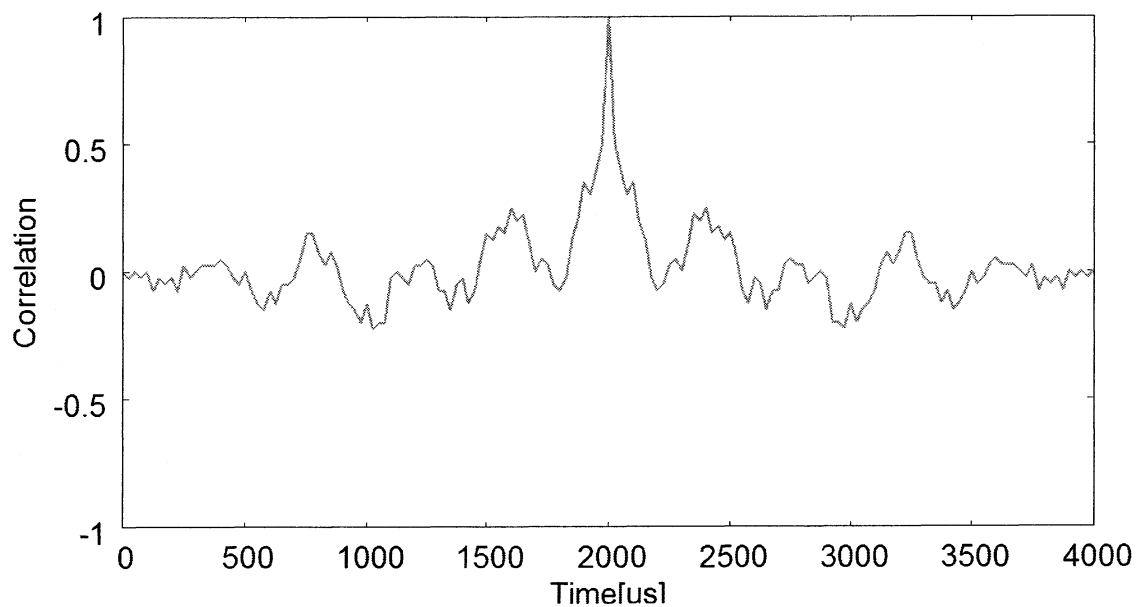


図 5.2.2.6 先端に合わせた場合の相関関数 (コード6)

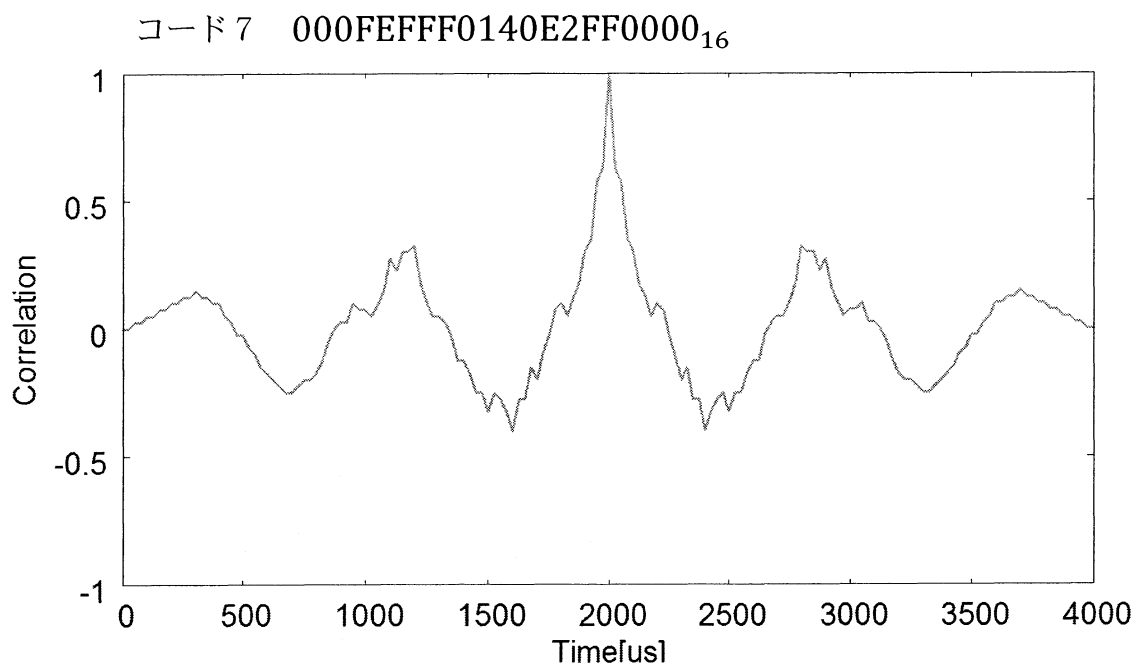


図 5.2.2.7 先端に合わせた場合の相関関数 (コード 7)

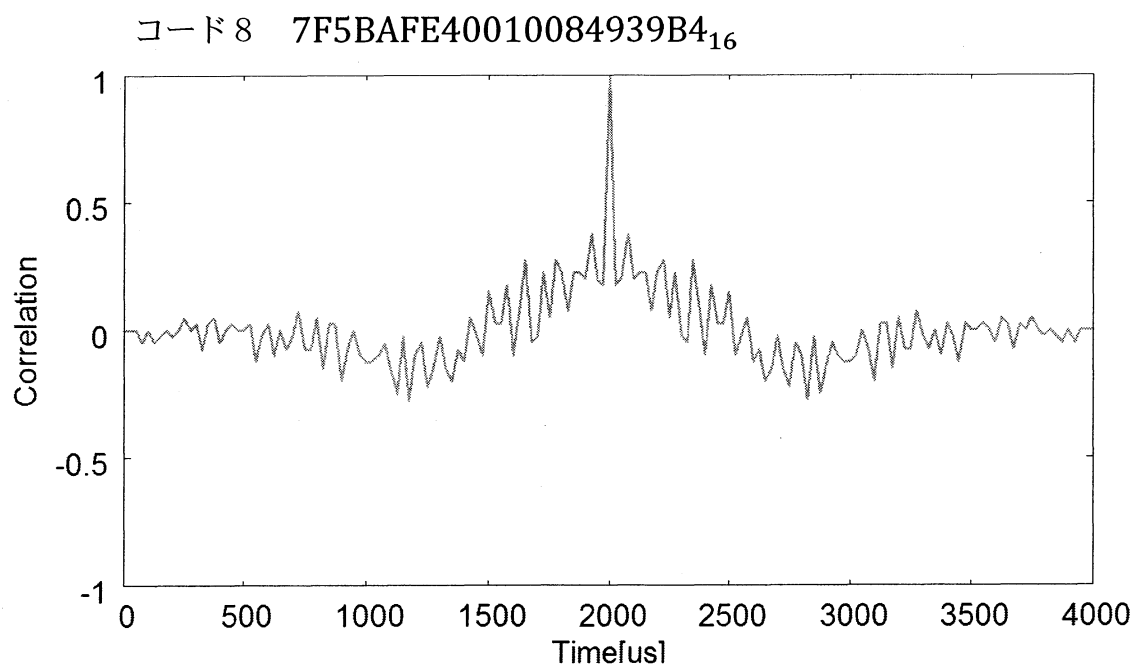


図 5.2.2.8 先端に合わせた場合の相関関数 (コード 8)

6 章 提案手法の有用性についての検証

これまで、従来の研究で用いられてきた送信信号と受信信号との相関関数を求める方法、及び、本研究で提案するサブパルスと受信信号との相関関数を求める方法の解説を行い、それぞれの方法により求めた相関関数についての考察を行ってきた。

本章では、本研究が提案するサブパルスを用いて求めた相関関数がこれまでの送信信号を用いて求めた相関関数と比べてクロストークの検知・除去といった点において、改善されているのかといったことを検証することで提案手法の有用性を示す。その際、各相関関数の比較に用いるパラメータとしては相関関数の最大値であるピークレベル、ノイズの最大値であるサイドローブレベル、またこの 2 つのパラメータの差分をとったレベル差といった 3 つのパラメータによる比較を行う。一般に、ピークレベルは高いほどよく、サイドローブレベルは低いほどよいとされる。また、レベル差というパラメータは距離計測を行う際の相関関数のしきい値として用いることのできるパラメータであるため、その値が高いほどクロストークの検知・除去において優れていると言える。また、この相関関数の比較にはこれまでと同様に 8 つの異なるコードを用いるものとする。

6.1 相関関数の比較結果

それぞれの方法によって求めた相関関数の各パラメータの値をまとめたものを表 6.1 に示す。

まず、ピークレベルについて比較を行うと、従来のものと比べて提案手法ではどのコードにおいてもその値は高くなり、良い結果が得られた。これは提案手法を用いることにより受信信号を正確に元の符号へと置き換えられていることを表している。次に、サイドローブレベルについての比較を行うと、提案手法を用いることで、どのコードにおいてもその値は高くなっており、従来のものよりも悪い結果となった。これは、提案手法では信号を符号へと置き換えるため、相関関数を計算する際に用いるデータ数が従来のものよりも少なくなるためにノイズの影響を受けやすくなったためと考えられる。

ピークレベルとサイドローブレベルによる比較では提案手法を用いることで改善された点もあれば、改悪された点もあり、提案手法を用いることの有用性についての判断は難しい。そこで、ピークレベルとサイドローブレベルの差分

をとったレベル差による比較を行い、この比較結果を最終的な判断に用いることとした。

提案手法と従来の方法とのレベル差による比較を行うと、提案手法を用いることで一部のコードを除き、ほぼ全てのコードにおいてその値は高くなり、改善されるという結果が得られた。全てのコードの平均値で見ても明確に改善されていることがわかる。

6.2 まとめ

本章では、提案手法の有用性を研修するためにそれぞれの方法によって求めた相関関数の比較を行った。その結果、提案手法を用いることで、ピークレベルとサイドローブレベルのレベル差において、従来のものより改善されるという結果が得られた。このことから、提案手法を用いることで、距離計測を行う際のしきい値を従来のものよりも高く設定して計測が行えることがわかり、クロストークの検知・除去性能の向上を実現できるということがわかった。

表 6.1 相関関数の比較結果

	送信信号と受信信号 との相関関数			サブパルスと受信信号 との相関関数		
	ピーク レベル	サイド ローブ レベル	レベル差	ピーク レベル	サイド ローブ レベル	レベル差
コード 1	0.725	0.154	0.571	1.000	0.250	0.750
コード 2	0.725	0.152	0.573	0.988	0.253	0.735
コード 3	0.705	0.135	0.570	1.000	0.400	0.600
コード 4	0.735	0.150	0.585	1.000	0.200	0.800
コード 5	0.718	0.148	0.570	1.000	0.450	0.550
コード 6	0.728	0.159	0.569	1.000	0.350	0.650
コード 7	0.732	0.155	0.577	1.000	0.325	0.675
コード 8	0.729	0.190	0.539	1.000	0.375	0.625
平均	0.725	0.155	0.570	0.998	0.325	0.673

7 章 結論

7.1 本研究のまとめ

本研究ではこれまで用いてきた送信信号と受信信号との相関関数を計算する方法とは別に、無線通信で用いられている、各符号に対応するサブパルスと受信信号との相関関数を計算する方法を提案した。しかし、超音波距離計においては各符号に対応するサブパルスのパルス幅の違いから、相関関数に出るピークの周期が一定ではないといったことからこのような方法を用いることができなかった。

そこで、本研究で提案する手法ではサブパルスとの相関関数の計算を行う際にしきい値を設けて、相関関数の値がしきい値を超えるような符号のパターンに受信信号を置き換えることでこのピークの周期のずれに対応させた。

そして、提案手法と従来の方法によって求めた相関関数の比較をピークレベル、サイドローブレベル、レベル差といった 3 つのパラメータを用いて比較した。その結果、提案手法を用いることで距離計測の際のしきい値をこれまでよりも高く設定して距離計測が行えることがわかり、提案手法を用いることによるクロストークの検知・除去性能の向上が実現できることがわかった。

7.2 今後の課題

本研究で提案したサブパルスとの相関関数の計算を行うといった方法と従来の方法との比較はシミュレーションにより行ったものであるため、実用に向けては回路上に実装しての実験を行う必要がある。そこで、今後の課題としては、提案手法を実際に回路上に実装しての距離計測実験を行い、実験結果においてもその有用性が示せるのかといったことの検証が挙げられる。

参考文献

- [1] 滑川敏彦, 奥井重彦, 通信方式, 森北出版, 1990.
- [2] D. Webster, "A pulsed ultrasonic distance measurement system based upon phase digitizing," IEEE Trans. Instrum Meas., vol. 43, pp. 578-582, 1994.

謝辞

本研究を進めるにあたり、終始適切なご指導を賜りました、名城大学教授 児玉哲司 先生に深く感謝いたします。

本研究に対し、貴重な助言を賜りました、三重大大学教授 成瀬央 先生、名古屋工業大学准教授 竹内一郎 先生に厚くお礼申し上げます。

最後に、大学における日頃の研究活動を暖かく見守ってくれた両親、友人達に感謝します。