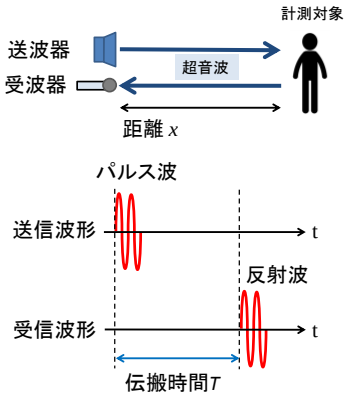
研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

研究題目	M 系列変調信号のスペクトルパターン解析による複数の移動物体の距離速度計測	報告書作成者	平田　慎之介
研究従事者	平田　慎之介，碇　洋平，蜂屋　弘之		
研究目的	音波を利用した距離計測は，自律ロボットの周辺環境認識，自動車のバックセンサなどに利用されている．また距離計測に基づく画像化を行うことで，超音波診断装置，魚群探知機などにも利用されている．代表的な距離計測手法の一種であるパルスエコー法では，時間幅の短い音波(パルス)を送信してから対象物に反射した音波(エコー)を受信するまでの時間(time of flight: TOF)を計測し，音波の伝搬速度との積から対象物との距離を算出する．パルス幅を短くすることで距離分解能を向上させることができるが，雑音の影響を受けやすく，計測精度の低下につながってしまう． 十分な精度で距離計測を行うには，信号のエネルギーと雑音のエネルギーとの比(signal to noise ratio: SNR)を向上させることが重要となる．送信するパルスのエネルギーを大きくすることが困難な場合，パルス圧縮などの信号処理によってエコーの SNR を向上させる手法が用いられる．本研究では，2 値の擬似ランダム符号である M 系列符号で変調した音波を送信し，受信信号と参照信号との相互相関処理を行うパルス圧縮を適用する．また，参照信号には，送信信号を変調した M 系列符号に対応するデルタ関数列を用いる．このパルス圧縮では，M 系列符号の系列長(“1”，“-1”の符号数)を N として，“1”の符号に割り当てられたパルスを用いた計測を N 回行い，その結果を加算平均したものと等価な結果が相互相関処理によって得られる．このとき，エコーのエネルギーが N 倍，受信信号に含まれる白色性雑音のエネルギーが $N^{1/2}$ 倍されるため，結果として SNR を $N^{1/2}$ 倍向上させることができる． しかしながら，対象物が移動している場合，反射したエコーにはドプラ効果による時間領域の伸縮が生じる．するとエコーと参照信号における“1”，“-1”の位置が対応せず，相互相関波形にパルスが消失してしまう．この問題の解決するため，参照信号をドプラ速度に応じて伸縮させ，受信信号との相互相関処理を行う手法を検討している．本手法では，まずドプラシフトした信号からドプラ速度を計測する必要がある．そこで，周期的な M 系列変調信号のスペクトルパターンを解析することでドプラ速度を計測する手法を提案している．		

研究内容	本研究の最終的なゴールは，提案している距離速度計測手法を用いたバイタルサインのリモートモニタリングの実現である．人間の有無やそのバイタルサインを非接触でモニタリングできるシステムの実現には，多重反射や残響などが想定される環境での計測，体表の微小な振動の計測，移動する人間にも適用できる計測といった課題が想定させる．そこで本申請研究では，移動する対象が複数存在する場合の距離速度計測実験を行い，パラメータや提案手法の有用性について検討を行う． 静止物体および移動物体が存在する環境において，静止物体との距離，移動物体の速度，移動物体との距離を計測する実験を行う．まず，PC で作成した M 系列変調信号 2 周期をファンクションジェネレータ，増幅器を介してスピーカから静止物体，移動物体へ送信する．次に，マイクロフォンで受信した信号をプリアンプ，オシロスコープを介して PC に取り込み，MATLAB を用いて信号処理を行う．PC 上では，はじめに通常の参照信号を用いた相互相関処理を行い，静止物体の位置を計測する．そして，提案するドプラ速度計測を行い，移動物体の速度を計測する．その後，変調した参照信号を用いて相互相関処理を行い，移動物体の位置を計測する．以上のような実験を行い，送信する M 系列変調信号や静止物体，移動物体の位置および速度に関する検討を行う．

研究のポイント	本申請研究のポイントは，使用する M 系列変調信号と計測対象の速度との関係を明確化することである．M 系列変調信号は，その信号長が長いほどドプラ効果の影響を受け易くなる．さらに，提案するドプラ速度計測における速度分解能も向上する．しかしながら，信号長を長くすることで 1 回の計測に要する時間も長くなり，計測のフレームレートが低下してしまう．また，計測できるドプラ速度も 1 回の計測中の平均速度であるため，ある程度速度変化の激しい対象物では正確な位置速度計測が困難となってしまう．そこで，計測対象の動きに応じて最適な M 系列変調信号の信号長を選定する必要がある．
研究結果	M 系列変調信号を用いて静止物体，移動物体の位置速度計測実験を行い，移動物体の速度と計測精度について検討を行った．M 系列変調信号の変調方式を変化させることで送信信号の周期長を短くすると，高フレームレートでの位置速度計測が可能となった．しかしながら，ドプラシ効果の影響が小さく，静止物体と移動物体が同時に画像化されるため，それらに起因したアーチファクトが観測されることがわかった．一方，送信信号の周期長を長くすると，位置速度計測のフレームレートは低下するが，十分な速度分解能が得られ，アーチファクトも生じないことがわかった．よって，移動物体の速度だけではなく，物体の位置や速度といった計測対象によっても M 系列変調信号の信号長を選定する必要がある．
今後の課題	これまでの検討では，複数あるマイクロフォンに同程度のドプラ効果が生じる配置で位置速度計測実験を行っていた．しかしながら，実際のシステムにおいてそれぞれのマイクロフォンで生じるドプラ効果は，移動物体との位置関係によって変化してしまう．そこで，今後は複数のスピーカやマイクロフォンを用いて移動物体の 2 次元位置・速度ベクトルを計測する手法について検討する必要がある．まず，複数のマイクロフォンで求めた距離情報に基づき，移動物体の 2 次元位置を計測する．次に，それぞれのマイクロフォンで求めたドプラ速度，位置情報に基づき，物体の速度ベクトルを合成する．そして，物体の移動速度・方向による計測精度への影響について検討を行う．

パルスエコー法



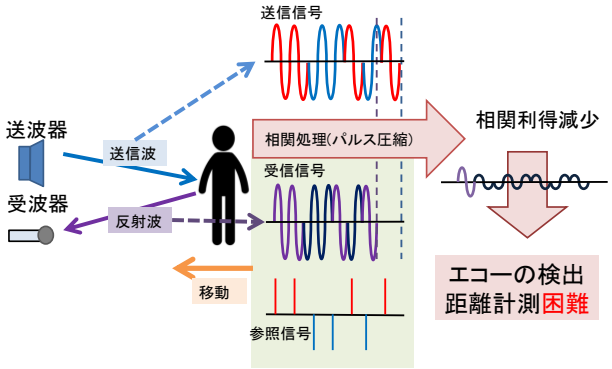
(c:音速)

$$x = c \cdot T$$

エコーの伝搬時間と
音速との積から距離を計測

雑音の大きい環境
→ エコーが検知不能

対象が移動し超音波がドプラシフトした場合

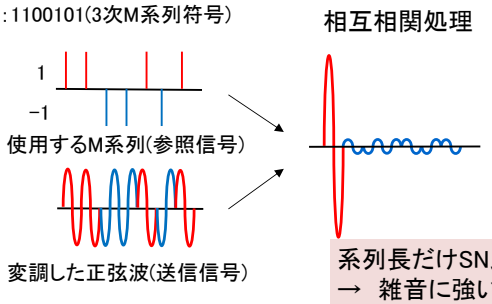


エコーの検出
距離計測困難

擬似ランダム符号列を用いたパルス圧縮

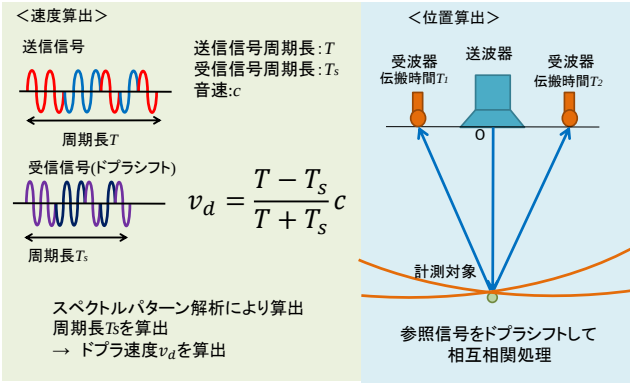
M系列・・・2値の疑似ランダム符号列の一種

例:1100101(3次M系列符号)

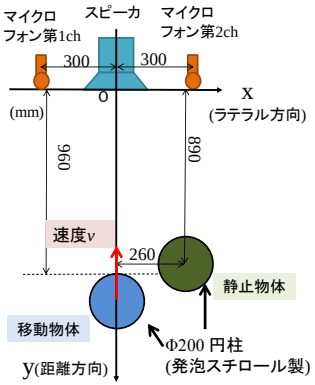


系列長だけSN比向上
→ 雑音に強い

提案する位置・速度計測手法



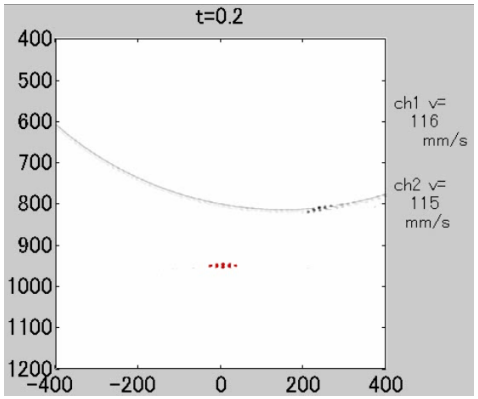
実験装置の構成



移動物体の速度計測と
静止物体，移動物体の
位置を画像化

送信信号:
10次M系列信号 3波/1 digit
キャリア周波数 40 kHz
周期長 76.725 ms
送信周期 2周期
送信間隔 200 ms

サンプリング周波数:4 MHz

実験結果:合成映像

ステージの速度
120 mm/s