

令和 2 年 6 月 25 日現在

機関番号：23201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06083

研究課題名（和文）同時複数サンプリングによるナイキスト周波数を超えた超解像度技術の開発

研究課題名（英文）Development of super resolution technology beyond Nyquist frequency by simultaneous multiple sampling

研究代表者

神谷 和秀 (Kamiya, Kazuhide)

富山県立大学・工学部・教授

研究者番号：00244509

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、イメージセンサの解像度を飛躍的に高めるアルゴリズムの開発を行った。そのため、設定の異なるフィルタを前段に挿入した複数のA/D変換器を用いて、同時サンプリングすることで得た複数のサンプリングデータを用いた。これらのデータをフーリエ変換し、フーリエ領域で関係式を求め、これらを連立させることで、復元理論を構築することができた。また、シミュレーションにおいて、ナイキスト周波数の3倍の成分を含む信号をサンプリングし、本理論によって再現が行えることを確認した。実験でも理論の確からしさを確認することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

イメージセンサの解像度を飛躍的に高めるアルゴリズムの開発を行った。イメージセンサは、熟練者の目を超える「デジタルの目」として、モノづくりを支えている。しかし、このデジタルの目で更なる高精度な測定を目指す場合、標本化定理の制限を受け、折り返し雑音が生じる。本研究では、通常、ノイズとして扱われる折り返し雑音を積極的に利用することで、ナイキスト周波数を超える信号の取得に成功した。

研究成果の概要（英文）：In this research, an algorithm is proposed to increase the resolution of image sensors. For the construction of the algorithm, multiple sampling data obtained by simultaneous sampling using multiple A/D converters with filters with different settings are used. The sampling data are Fourier transformed and simultaneous expressions of the data are defined in the Fourier domain. An improved resolution is possible by solving the simultaneous equation. In the simulation, it is confirmed that a signal containing a frequency component three times the Nyquist frequency could be sampled by the proposed method. The experimental results also agree with the simulations.

研究分野：計測工学

キーワード：エイリアシング ナイキスト周波数 サンプリング 超解像度

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

工業製品の寸法測定などを画像計測する場合、その高精度化のためには、分解能(解像度)を高める技術が重要であり、一般にこのような技術は「超解像技術」と呼ばれている。

例えば、光学の分野では、ピンボケした画像からシャープな画像を得るため、撮像系の伝達関数をデコンボリューションするデジタル処理について研究が行われており、その成果は、顕微鏡像などを処理するアプリケーションソフトウェアとして利用されている。しかし、この種の研究成果では、イメージセンサの解像度を超えるデータを得ることは理論上できないことに注意が必要である。他にも、通信分野では、解像度の低い映像を伝送し、アップコンバート(高解像度化)を行って表示する手法が各種提案されているが、これらは輪郭部分のディテールの強調をしているだけであって、イメージセンサの解像度を飛躍的に高めているわけではない。

一方、イメージセンサ自体の研究開発も行われている。素子の高解像度化が実現されれば、当然ながら、画像計測の高精度化は問題なく実現できる。しかし、デバイスの開発には長い時間と多額のコストがかかることから、十分な分解能を持った低コストデバイスが誕生するまでの間は、申請者が目指すソフトウェアによる高解像度化の研究が必要不可欠となる。さらに、将来、デバイス開発が限界に達した後は、本研究の重要性が一段と増すことになる。

2. 研究の目的

イメージセンサは、熟練者の目を超える「デジタルの目」として、モノづくりを支えている。しかし、このデジタルの目で更なる高精度な測定を目指す場合、標本化定理(サンプリング定理)の制限から、エイリアシングが発生する。このエイリアシングによって周波数領域で折り重なった信号は、従来の信号処理技術ではノイズとして認識されており、A/D変換の前に除去することが一般的であった。

本研究では、エイリアシングをノイズと考えるのではなく、折りたたまれた高周波成分と捉え、エイリアシングが生じた信号から、高周波成分を復元する手法を確立し、ソフトウェア技術によってイメージセンサの解像度を飛躍的に高める超解像アルゴリズムの開発を目的とする。

3. 研究の方法

エイリアシングの問題を克服し、ソフトウェア技術によってイメージセンサの解像度を飛躍的に高めるアルゴリズムを開発するため、以下の方法で研究を行った。

(1) エイリアシングの影響の調査

通常、アナログ信号をサンプリングする場合は、エイリアシングの影響を避けるため、取り込む信号に含まれる最大周波数がサンプリング周波数の1/2を超えないように、ローパスフィルタを用いている。本調査では、意図的にエイリアシングが生じる条件でA/D変換を行い、入力信号とA/D変換した信号を比較して、振幅位相特性を調査した。

調査は、初めにコンピュータシミュレーションによって行った。サンプリング周波数を一定として、正弦波を入力信号としてサンプリングを行い、入力信号とサンプリングによって取得した信号を比較して、振幅特性と位相特性を調査した。また、実験によってコンピュータシミュレーションの確からしさの確認も行った。

(2) 超解像アルゴリズムの検討

まず、エイリアシングの影響を調査した結果を考慮して、条件の異なるフィルタを前段に挿入した複数のA/D変換結果をモデル化した。次に、このモデルを用いて、コンピュータシミュレーションによって、復元が可能であることを確認した。また、実験によってもその確からしさを確認した。

4. 研究成果

前述の研究方法に沿って、エイリアシングの影響の調査と復元アルゴリズムの検討を行い、以下の結果を得た。

(1) エイリアシングの影響

エイリアシングの影響をコンピュータシミュレーションと実験によって調査した結果、次に示す結果が得られた。

振幅の変化

入力信号の振幅は、エイリアシングの有無によらず、サンプリング後も変化しない。

位相の変化

入力信号の位相 ϕ は、エイリアシングの影響を受け、周波数の折り返しが k 回の場合、 $(-1)^k\phi$ となる。

(2) 超解像アルゴリズムの構築

本研究では、入力信号に、サンプリング周波数の1/2に等しいナイキスト周波数の $N(=k+1)$

倍までの信号を含むものとして、以下に検討した結果を述べる。

モデルの構築

はじめに、エイリアシングによって入力信号が受ける影響を加味して、A/D 変換器の前段にフィルタを挿入してサンプリングを行った信号をモデル化し、定式化することができた。このモデルでは、フィルタの振幅特性、位相特性、そして、サンプリング時のエイリアシングで折り重なって得られた信号の情報を既知のものとして取り扱った。一方、サンプリング時のエイリアシングで折り重なる前の信号の情報については未知数として取り扱った。

つぎに、前提とする入力信号では、 $N + 1$ 回の折り返しが生じる。したがって、このモデルでは変数が $N + 1$ 個含まれることから、 $N + 1$ 種類の異なるフィルタを準備し、同時にサンプリングを行ったとして $N + 1$ 個の式を準備した。これを連立させて解くことで、折り返さなる前の信号の情報を算出することができた。

モデルの確からしさの確認

構築したモデルを使い、 $N = 3(k = 2)$ の場合において、コンピュータシミュレーションを行った。

シミュレーションでは、はじめに単純な信号で、折り返した信号を正しくもとに戻すことができることを確認した。その方法は、入力信号として単一の正弦波を用い、(a) 折り返しの無い信号、(b) 1回折り返した信号、(c) 2回折り返した信号を用いたが、どれも正しく復元することができた。つづいて、複数の信号が折り返しによって、重なってしまった場合においても、正しくもとに戻すことができることを確認した。その方法は、入力信号として、(d) 折り返しの無い正弦波に1回折り返して重なる正弦波と2回折り返して重なる正弦波を加算したものをを用いた場合について検討した。その結果、本手法によって、折り返し回数の違いを正しく分離し、正しく復元が出来ることを確認した。

また、実験によっても同様に確認を行った。信号源にはアナログ発信機を利用した。フィルタは、抵抗とコンデンサによるパッシブ型のローパスフィルタを構成して利用した。A/D 変換には1つのパッケージに複数のディスクリット ADC を組み込んだものを利用した。実験では、概ねコンピュータシミュレーションによる結果と一致した。ただし、完全にはコンピュータシミュレーションとは一致せず、その原因については、未解明のまま、課題として残った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大谷勇乃, 神谷和秀, 伊東聡, 松本公久
2. 発表標題 エイリアシングを活用したサンプリング定理の拡張
3. 学会等名 2019年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大谷勇乃, 神谷和秀, 伊東聡, 松本公久
2. 発表標題 エイリアシングを活用したサンプリング定理の拡張（第2報）: 複数回生じるエイリアシングに対応した復元手法の検証
3. 学会等名 2019年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大谷勇乃, 神谷和秀, 伊東聡, 松本公久
2. 発表標題 エイリアシングを活用したサンプリング定理の拡張（第3報）: 復元理論の一般化
3. 学会等名 2020年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	松本 公久 (Kimihisa Matsumoto) (40457122)	富山県立大学・工学部・准教授 (23201)	