

令和 5 年 6 月 18 日現在

機関番号：23201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04210

研究課題名(和文)多チャンネル同期サンプリングによる超解像度技術に関する研究

研究課題名(英文)A study on super-resolution techniques using multi-channel synchronous 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) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：異なるフィルタ条件の多チャンネル同期サンプリングデータを組み合わせることでナイキスト周波数を越えた信号まで復元できる技術の誤差要因を調査し、3つの要因を明らかにした。1つ目は、復元の過程で使用しているフーリエ変換の周波数分解能が入力信号の非整数倍となる場合に大きな誤差が生じることが分かった。2つ目は、フィルタの影響で、A/D変換器に直接ノイズが混入した場合、ナイキスト周波数以下とナイキスト周波数を越える成分のどちらも解析結果に現れる誤差は同じ傾向を示すことがわかった。3つ目は、アパーチャタイムで、ナイキスト周波数以下とナイキスト周波数を越える信号で大きな差があることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アナログ信号をデジタル信号に変換するA/D変換技術において、ハードウェアの技術開発には限界がある。本研究で得た知見は、ハードウェアの限界をソフトウェアによって補うための技術であって、それを実現するための礎を築くことができた。

研究成果の概要(英文)：We investigated the error factors of a technique that enables the reconstruction of signals beyond the Nyquist frequency by combining multi-channel synchronous sampling data with different filter conditions, and identified three factors. Firstly, we found that significant errors occur when the frequency resolution of the Fourier transform used in the reconstruction process becomes non-integer multiples of the input signal. Secondly, we observed that the errors introduced by the filter exhibit similar tendencies for both components below the Nyquist frequency and those exceeding it when direct noise is introduced into the analog-to-digital converter. Lastly, we discovered a substantial difference between signals below the Nyquist frequency and signals exceeding it in terms of aperture time.

研究分野：計測工学

キーワード：エイリアシング 折返し雑音 サンプリング定理 超解像度技術 同時サンプリング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

デジタルカメラで得られた画像をコンピュータで処理をして工業製品の寸法測定を高精度に行うことを考えた場合、デジタルカメラの分解能(解像度)を高めるハードウェア技術、あるいは、撮影した画像の高解像度処理技術が必要であり、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、ピントのボケた画像からシャープな画像を得るために、撮像系が持つ特性を数学的に差し引くデコンボリューションと呼ばれる技法の研究が行われており、その成果は顕微鏡像などを先鋭化するために利用されている。しかしながら、この種の研究成果では、画像の改善に貢献することはできても、イメージセンサの解像度を超えるデータを得ることはできないことに注意が必要である。他にも、映像系の分野では、効率の問題から解像度の低い映像を伝送し、受診後に高解像度化を行う処理について提案されている。しかしながら、これらの研究も高解像度データが得られているわけではなく、輪郭部分のディテールの強調や推定をしているのであって、本研究が主眼としている点を解決するものではない。

一方、実直にデジタルカメラの分解能を高めるための研究開発も行われており、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デバイスが開発され、工業的に利用可能なコストに落ち着くまでの間は、なんらかの対応が必要となり、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重要となる。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

本研究は、アナログ(連続)信号をデジタル(離散)信号に変換する標本化定理(サンプリング定理)に関する研究であり、すでに我々は、「エイリアシングで折り返した信号はノイズである。」という常識を否定し、異なるフィルタ条件の多チャンネル同期サンプリングデータを組み合わせることで、ナイキスト周波数の3倍の信号まで復元できる技術を開発している。ただし、条件によっては正しく復元が行えない場合がある。そこで本研究では、原信号の復元を妨げている原因を明らかにすることが目的である。

3. 研究の方法

本研究では、これまでに考案した「異なるフィルタ条件の多チャンネル同期サンプリングデータを組み合わせることでナイキスト周波数を超えた信号まで復元できる技術」を用い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改良するため、次の3つの課題を設定して、原信号の復元を妨げている原因を明らかにした

(1) サンプリング周波数とサンプリング時間が復元に与える影響の調査

シミュレーションでは問題なく復元できる条件であっても、同条件で実験を行うと復元に失敗することがある。そこで、まず、サンプリング周波数とサンプリング時間の組み合わせでフーリエ変換の周波数分解能が変わるため、その影響について調査を行った。

(2) ノイズが復元に与える影響の調査

シミュレーションと実験との違いの一つとして、ノイズの問題がある。復元が失敗する原因がノイズであると仮説を立て、サンプリング時に原信号に各種ノイズを重畳して実験と

シミュレーションの両面から解析を行い、その影響について調査を行った。解析を簡単にするため、ナイキスト周波数の2倍の信号までを復元できるシステムに対して検討を行った。調査方法は、折り返しの生じない周波数範囲で振幅一定で初期位相一定の周波数コム信号を生成し、これをノイズと考えてシステムに入力して、復元した結果のスペクトルを観察した。また、折り返しの生じる周波数範囲で、周波数コム信号を生成し、同様に調査を行った。

(3) アパーチャタイムが復元に与える影響の調査

A/D 変換器の前段にはサンプル&ホールド回路を挿入し、一旦アナログ信号をコンデンサに充電している。この充電時間はアパーチャタイムと定義されている。イメージセンサの場合は、受光素子の1画素が占める面積がこれに対応する条件となる。これまでの研究では、この条件については未検討であった。そこで、アパーチャタイムが原因であると仮説を立てて調査を行った。ただし、この条件については、実験で条件を振ることが容易ではないため、シミュレーションによってのみ検討を行った。

4. 研究成果

前述の研究方法に従って、シミュレーションでは問題なく復元できる条件であっても、同条件で実験を行うと復元が正しく行えない理由について検討を行い、以下の結果を得た。

(1) サンプリング周波数とサンプリング時間が復元に与える影響

サンプリング周波数とサンプリング時間(=サンプル数/サンプリング周波数)の組み合わせを変えながらデータの取得を行い、復元処理を行って、復元誤差の調査を行った。その結果を整理したところ、復元の過程で使用しているフーリエ変換の周波数分解能(=サンプリング周波数/サンプリング数)が入力信号の非整数倍となる場合に、大きな誤差が生じることが分かった。また、この誤差は、復元波形の全域ではなく、局所的に生じることがわかった。

(2) ノイズが復元に与える影響

A/D 変換器に直接ノイズが混入した場合は、折り返しのない範囲に成分を持つ場合と折り返しが生じる範囲に成分を持つ場合のどちらも解析結果に現れる誤差は同じ傾向を示すことがわかった。また、フィルタの前にノイズが混入した場合には、解析結果に大きな違いが生じることがわかった。さらに、ホワイトノイズとピンクノイズをシステムに入力して解析し、誤差を実効値で評価したところ、ホワイトノイズはノイズを入力するシステムのブロックによっては、入力した誤差信号と同等、あるいは、増幅されるのに対して、ピンクノイズの場合は、ノイズが減少することもあることがわかった。

(3) アパーチャタイムが復元に与える影響

ナイキスト周波数以下の信号に対しては、アパーチャタイムの影響が少なく、一方、ナイキスト周波数を超える信号については、アパーチャタイムが大きくなるにつれて、サンプリング時にフィルタリングされてしまうことがわかった。実験による確認については、研究期間中に確認を行うことはできなかったが、過去にカメラを利用して、ナイキスト周波数の2倍までの周波数成分の復元を行った実験結果と比較をしたところ、復元の限界がアパーチャタイムの影響に良く似ていることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 仁科友輔, 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 2021年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2021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	伊東 聡 (Ito So) (00624818)	富山県立大学・工学部・准教授 (23201)	
研究分担者	松本 公久 (Matsumoto Kimihisa) (40457122)	富山県立大学・工学部・准教授 (23201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------