

氏 名	劉 麗清
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	博理工甲第983号
学位授与年月日	平成27年3月24日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Improved Methods for Pitch Synchronous Linear Prediction Analysis of Speech (音声のピッチ同期線形予測分析のための改善法)
論文審査委員	委員長 教授 島村 徹也 委員 教授 長谷川孝明 委員 准教授 内田 淳史 委員 教授 重原 孝臣

論文の内容の要旨

Linear prediction (LP) analysis is widely used for various applications such as speech enhancement, low-bit speech coding in cellular telephony, speech recognition, characteristic parameter extraction and so on due to its close connection to the speech production transfer function. However, the high-pitched structure and additive background noise degrade the performance of LP. The degradation of LP performance affects its various applications. Hence to decrease the influence of the high pitch and additive background noise is a very requisite and important task for LP analysis.

The goal of this dissertation is to develop some methods to reduce the influence of these two factors; the high pitch and additive noise, and to improve the performance of LP analysis so that the improved LP analysis can be conveniently and efficiently applied to its various speech applications. The proposed methods based on pitch synchronous LP analysis in this dissertation have been shown to be capable to improve the performance of LP analysis under the high-pitch and additive noise conditions. The work of the dissertation is summarized as follows:

- A pitch synchronous LP analysis using short-time energy function based on residual signal has been proposed. This technique has been verified to downgrade the effect of the harmonic structure of the glottal excitation source for high-pitched speech and to lead to a more accurate frequency estimation of formants for high-pitched speech signals.
- A new noise estimator based on pitch synchronous analysis for noise compensation LP analysis has been proposed under white noise environment. The new noise estimator is found to be more effective when compared with some conventional noise compensation methods.

- A pink-noise whitening method has been proposed based on pitch synchronous analysis. This whitening method is found to be capable of changing the pink noise to white noise and almost keeping the vocal tract natures of voiced speech signal. By this technique, noise compensation method can be also efficiently applied in pink noise environment.
- An LP analysis based on cross-correlation sequence has been proposed without a prior estimation of noise power. Instead of utilizing the original speech signal for LP analysis, the cross-correlation sequence is employed to mitigate the affect of the additive noise for improving the performance of LP.

論文の審査結果の要旨

当学位論文審査委員会は、平成 27 年 2 月 9 日に論文発表会を公開で開催し、活発な質疑とともに論文内容の審査を行った。以下に、審査結果の要約を示す。

本論文は、音声分析問題を取り上げている。従来、音声信号を少ないパラメータで効率よく、かつ高精度に表現できることから、線形予測法が広く音声分析に用いられてきた。線形予測法は、音声認識、話者認識、音声合成などにも応用が可能であり、音声分野では古くから研究が重ねられてきている技術である。しかしながら、線形予測法を適用したとき、分析精度が劣化する場合が知られている。その一つが女性の声や子供の声などの、基本周波数が比較的高い音声の場合である。もう一つは、音声雑音環境にあり、雑音付加音声のみを処理対象とせざるを得ない場合である。本論文では、これらの分析精度が劣化する二つの場合において、特性改善を与える四つの改良線形予測法を導出し、それらの有効性をそれぞれ検証している。四つの改良線形予測法を導出するに当たっては、ピッチ同期計算に共通して着目し、従来法に対し大幅な特性改善を得ることに成功している。

まず第 1 章では、線形予測法に関する従来研究を整理し、計算アルゴリズムの違いから定常形手法と非定常形手法に分類している。また、音声に有するピッチ周期を利用するか否かにより、ピッチ同期分析手法と非ピッチ同期分析手法に分類している。そして、それぞれのクラスの長所短所から、本研究での方向性に言及し、以降に続く 2, 3, 4, 5 章での提案手法導出の目的を述べている。

第 2 章では、基本周波数が高い、高ピッチ音声信号に対して、良好な分析結果を与えるピッチ同期線形予測法を検討している。従来、短時間エネルギー関数を利用することにより、直接的に線形予測法を適用することにより、特性改善が得られることが知られていた。しかしながら、短時間エネルギー関数の推定自体がピッチ周期性に影響され、基本周波数が高くなればなるほど、分析結果は大きく劣化していった。そこで、短時間エネルギー関数の推定をピッチ周期性の影響を受けないように閾値処理を施し、またピッチ同期処理と組み合わせることで、新たな重み付きピッチ同期線形予測手法を導出している。計算機シミュレーション実験では、従来手法に比べ提案手法が大幅な特性改善を与え、基本的に基本周波数に依存しない分析結果をもたらす事実が示されている。

第 3 章では、雑音付加音声に対して、良好な分析結果を与えるピッチ同期線形予測法を検討している。雑音補正アルゴリズムは、線形予測法の解法において、付加雑音に強い耐性を与えることが従来知られていた。しかしながら、付加雑音のパワーを何らかの形で推定する必要があるが、その明確な解が得られていなかった。本章では、従来の過去のフレームから、現在の処理フレーム内の雑音パワーを推定するという枠組みを超え、現在の処理フレームのみを用い、ピッチ同期の加算処理および減算処理を施すことで、高精度に雑音のパワーを推定するアルゴリズムを導出することに成功している。得られた雑音パワーは、従来法により得られた雑音パワーに比べ高精度である。実験では、提案するピッチ同期雑音補正線形予測法が、時変雑音の環境下においても、高精度な分析結果を与えることを確認している。

第 4 章では、第 3 章で導出した手法の、他の雑音環境の場合への拡張を検討している。本質的に、第 3 章で取り上げた手法は、白色雑音環境下で効果を発揮する。雑音に白色性がなくなり、有色性が強くなると、従来法に対する特性改善が抑えられてしまう傾向が結果として得られた。そこで本章では、ピンク雑音環境に対象を限定し、ピッチ同期処理から、含まれる雑音特性を白色化するフィルタを得、それを第 3 章での手法の前処理に用いる方法を検討している。実験では、提案手法により、ピンク雑音の環境下においても、白色雑音環境下と同程度の特性改善が得られる事実を確認している。

第5章では、処理対象が白色雑音付加音声に限定されるが、雑音補正を用いることなく、良好な分析結果を与える相互相関関数を利用する線形予測法を導出している。音声信号はその大きさが1の符号信号に置き換えたとしても、元々の音声信号が有する性質が大幅には損なわれない性質を有する。この性質を利用し、観測される雑音付加音声信号とその符号信号の相互相関関数を算出し、それを変換された音声信号と見なす。ここでの変換された音声信号は、元々の雑音付加音声の信号対雑音比を向上させた音声信号とみなせる。本章では、変換された音声信号をピッチ同期線形予測法に適用する新しい改良手法を導出している。実験では、従来の信号変換を用いる分析手法よりも、良好な結果が得られており、提案手法の有効性が確認されている。

第6章は、本論文のまとめである。上記の提案する四つの手法の特性を整理し、実際の音声処理システムにおいてそれぞれの手法をどのように利用可能であるかの示唆を与えている。

本論文は、以上に述べたように、音声分析問題に対し、従来方式に特性改善を与える手法を提案し、その実験的評価を行っている。本論文の結果は、2編のレフリー付学術雑誌に採録され、また国際学会での発表で公表されている。

以上のように、本論文は新しい音声分析手法の提案と、その有効性を検証した論文であり、博士（工学）の学位にふさわしい内容を持つものと判断し、審査委員会として「合格」の判定を行った。