研究速報

品質劣化音声のための LPC 分析の一改良法

國枝　伸行[†] [*]（学生員）　　島村　徹也[†]（正員）
鈴木　誠史[†]（正員）

A Modification of LPC Analysis for Degraded Speech

Nobuyuki KUNIEDA[†] [*], *Student Member*, Tetsuya SHIMAMURA[†], and Jouji SUZUKI[†], *Members*

[†] 埼玉大学工学部情報システム工学科，浦和市
Faculty of Engineering, Saitama University, Urawa-shi, 338 Japan
[*] 現在，松下通信工業株式会社

あらまし　LPC分析は，音声処理において有効な手法として広く利用されているが，雑音によって劣化された信号に対しては分析精度が低下する．本論文では，雑音に対する自己相関関数の性質を利用した LPC 分析のための一改良法を提案し，音声に対する有効性について検討する．

キーワード　LPC分析，全極型フィルタ，品質劣化音声，雑音，自己相関関数

1. まえがき

LPC分析は，音声の特徴分析や分析合成系，音声認識などの広い分野で利用されている．しかしながら，雑音が加わった信号に対して適用すると，その分析精度が大幅に低下する．従って，雑音に強い LPC 分析を行う研究が進められてきた [1], [2].

一般に，LPC 分析（次数 p）においては，信号の自己相関関数 $R(j)$ を計算し，その $j=0 \sim p$ の部分を利用する．ところが，ランダム雑音成分は $R(0)$ 付近に集中する性質をもつために，雑音の影響を受けやすい．そこで，自己相関関数 $R(j)$ の $j=0$ から離れた部分の自己相関関数を利用して LPC 分析を行う手法として，高次 Yule-Walker 方程式や雑音の分散を引き算する手法が検討されてきた [2]．しかし，これらの手法では，相関行列の特異性により解が数値的に安定に求められない場合があったり，あらかじめ雑音の分散を正確に推定する必要があるなどの欠点をもつ．また，音声に対する効果も明確に示されていないのが現実である．

本論文では，自己相関関数において雑音の影響が少ない $j=0$ から離れた部分を利用して LPC 分析を行う一改良法を提案し，その効果について検討する．

2. 提案法の原理

時系列信号 $x(i)$ の短時間自己相関関数は，

$$R(j) = \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1} x(i)x(i+j) \tag{1}$$

$$j = 0, 1, \ldots, M.$$

で定義される．この自己相関関数は，無限長信号における一部区間における相関関数として計算される（N は積和時間を決定する定数）．

今，音声を定常な周期信号であるとみなし，

$$x(i) = \sum_{n=1}^{k} A_n \cos(n\omega i + \theta_n) \tag{2}$$

と表すとき，式 (1) で計算される自己相関関数は，

$$R(j) = \sum_{n=1}^{k} \frac{A_n^2}{2} \cos(n\omega j) \tag{3}$$

となる [3]．ここで，信号 $x(i)$ の周期を T とすれば，

$$R(j) = R(j+T) \tag{4}$$

が成立する．また，位相項がすべてそろうことから

$$R(T+j) = R(T-j) \tag{5}$$

が満たされる．

そこで，雑音成分が $R(0)$ 付近に集中する性質を考慮し，$R(0) \sim R(p)$ の代わりに $R(T) \sim R(T+p)$ を利用して LPC 分析を行えば，雑音の影響を少ない状態で分析できると考えられる．これが提案法の基本原理である．

ところで，信号の周期は $R(j)$ のピーク検出によって求めることができる．しかし，$x(i)$ を離散信号として扱う場合には，厳密には図 1 に示すような誤差が生じる．このような場合，式 (4), (5) の関係は満たされなくなり，正確な分析は困難となる．そこで，この誤差の問題を解決するために次のような処理を行うことにする．

まず，離散信号で求めた周期を T' として，実際の周期 T との誤差を次式によって定義する．

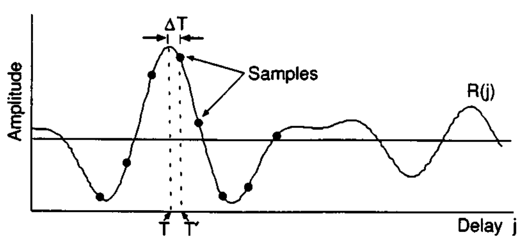

図 1　実際の周期 T と検出した周期 T' との誤差 ΔT
Fig. 1　The error ΔT between true T and extracted T'.

$$\Delta T = T' - T \tag{6}$$

また，この誤差を位相のずれとして表すと

$$\Delta\theta = n\omega(T' - T) \tag{7}$$

となる．

次に，時間 T' を基準として，$R(j)$ を正の時間方向に見た信号 $R_1(m)$ と負の時間方向に見た信号 $R_2(m)$ を考える．ここで m は，j と同じ時間を表す変数である．$R_1(m)$ は，式 (4) より

$$R_1(m) = R(T'+m) \tag{8}$$

$$= \sum_{n=1}^{k} \frac{A_n^2}{2}\cos(n\omega m + \Delta\theta) \tag{9}$$

となる．また，$R_2(m)$ は式 (5) の関係を利用すれば，

$$R_2(m) = R(T'-m) \tag{10}$$

$$= \sum_{n=1}^{k} \frac{A_n^2}{2}\cos(n\omega m - \Delta\theta) \tag{11}$$

で表される．式 (9)，(11) から以下の等式が導かれる．

$$R_1(m) + R_2(m) = 2\cos(\Delta\theta) \cdot \sum_{n=1}^{k} \frac{A_n^2}{2}\cos(n\omega m) \tag{12}$$

更に，$\cos(\Delta\theta) = 1$ と近似すれば，式 (3)，(12) より

$$R(m) = \frac{1}{2}\{R_1(m) + R_2(m)\} \tag{13}$$

$$= \frac{1}{2}\left\{R(T'+m) + R(T'-m)\right\} \tag{14}$$

となる．この式を利用すれば，雑音成分が多く加わっている自己相関関数を雑音の少ない部分の自己相関関数に置き換えて LPC 分析することが可能となる．

ここで注目すべき点は，式 (14) を利用して得られる相関行列が Toeplitz 型になることである．従って，Levinson-Durbin のアルゴリズムを利用して正規方程式を解くことが可能である．しかし，得られる全極型フィルタの極が単位円内に位置される（安定になる）保証がない．

一般の自己相関法においては，相関関数を計算する際に時間外の信号を 0 にする窓を掛けることによって全極型フィルタの安定性が保証される．これを自己相関関数で観測すると，時間と共に波形が減衰する形となって現れる．そこで，本方式においても上記の安定性を向上させるために，自己相関関数 $R_w(m)$ に対して次式で定義する窓を掛けたものを使用することにする．

$$R_w(m) = (W-m)/W \cdot R(m) \tag{15}$$

ここで，W は窓の特性を決定する定数を表す．この

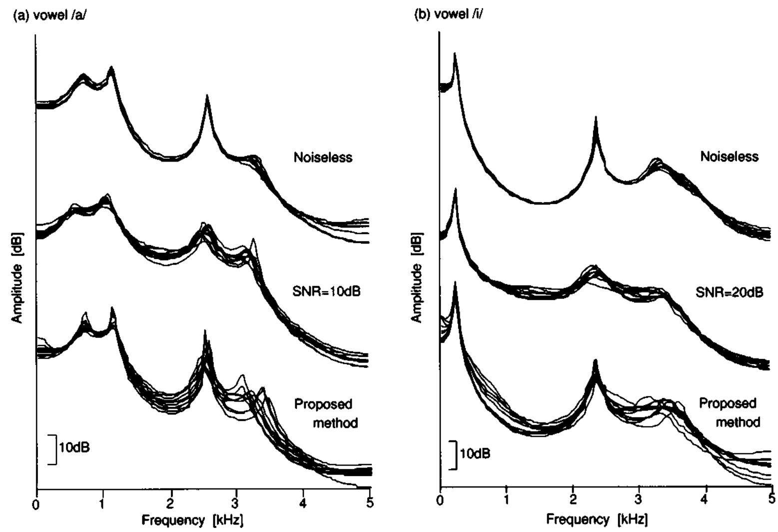

図 2 提案法によるスペクトル包絡の改善効果．男性によって発声された (a) 母音/a/（SN 比 10 dB）と (b) 母音/i/（SN 比 20 dB）
Fig. 2 Improvement in spectral envelope. (a) Vowel /a/(SNR=10 dB) and (b) /i/ (SNR=20 dB) uttered by male speaker.

表1 実験の諸定数
Table 1 Constants for analysis.

標本化周波数	10 kHz
帯域制限	3.4 kHz
分析次数	$p = 10$
自己相関関数の定数	$N = 300$
式 (15) の窓の定数	$W = 1.0 \times 10^4$
付加雑音	白色雑音

窓を掛けた自己相関関数を利用した提案法によって処理したところ，W の値が小さくなるほど安定性が増すが，スペクトルのピークの鋭さが鈍くなる傾向があることがわかった．

3. シミュレーション実験

提案法による雑音補正効果を調べるために計算機シミュレーションを行った．男性の発声した長母音/a/，/i/に対して白色雑音を付加し，提案法による効果を調べた．このときの分析における諸定数を表1に示す．

提案法で処理する前後のスペクトル包絡の例を図2に示す．この図では，分析した10フレームのスペクトル包絡を重ねて表示している．図を見てもわかるように，/a/，/i/のいずれの音声に対しても，提案法で処理することによって雑音のない状態のスペクトル包絡に近くなっている．また，このときのLPCケプストラム距離を求めたところ，/a/については1.8 dB，/i/については3.0 dBの改善効果があった．

4. む す び

本論文では，雑音の加わった音声に対するLPC分析のための一改良法を提案した．その原理は，計算された自己相関関数を単純な処理により，雑音の少ない自己相関関数に置き換えることにある．実験結果は，提案法が雑音に埋もれたスペクトルのピークを強調し，結果としてスペクトル距離を改善できることを示した．

また，提案法では得られる全極型フィルタの安定性が保証されない．しかし，窓掛けを行うことにより安定性を向上させることは可能である．

なお，処理に必要な基本周期 T' は，自己相関関数のピークを利用して求められるが，周期の整数倍を検出したとしても誤りにはならないことをここに付記しておく．

今後の課題としては，より多くの音声についての実験および他の手法との比較評価が挙げられる．

文 献

[1] J. Tierney, "A study of LPC analysis of speech in additive noise," IEEE Trans. on Acoust., Speech, and Signal Process., vol.ASSP-28, no.4, pp.389–397, Aug. 1980.

[2] S.M. Kay, "Noise compensation for autoregressive spectral estimation," IEEE Trans. on Acoust., Speech, and Signal Process., vol.ASSP-28, no.3, pp.292–303, March 1980.

[3] 吉谷清澄，鈴木誠史，田中良二，"自己相関関数を利用した音声処理方式（SPAC）のSN比改善特性，" 信学論（A），vol.J61-A, no.3, pp.217–223, March 1978.

（平成9年3月12日受付）