



음성의 준주기적 현상 분석 및 구현에 관한 연구

Analysis and synthesis of pseudo-periodicity on voice using source model approach

조철우*

Jo, Cheolwoo

Abstract

The purpose of this work is to analyze and synthesize the pseudo-periodicity of voice using a source model. A speech signal has periodic characteristics; however, it is not completely periodic. While periodicity contributes significantly to the production of prosody, emotional status, etc., pseudo-periodicity contributes to the distinctions between normal and abnormal status, the naturalness of normal speech, etc. Measurement of pseudo-periodicity is typically performed through parameters such as jitter and shimmer. For studying the pseudo-periodic nature of voice in a controlled environment, through collected natural voice, we can only observe the distributions of the parameters, which are limited by the size of collected data. If we can generate voice samples in a controlled manner, experiments that are more diverse can be conducted. In this study, the probability distributions of vowel pitch variation are obtained from the speech signal. Based on the probability distribution of vocal folds, pulses with a designated jitter value are synthesized. Then, the target and re-analyzed jitter values are compared to check the validity of the method. It was found that the jitter synthesis method is useful for normal voice synthesis.

Keywords: pseudo-periodicity, analysis and synthesis, probability, jitter, source model

1. 서론

성대의 진동을 통해 발생하는 유성음의 음원은 주기성을 가진다. 그러나 정확한 주기성을 갖기 보다는 유사한 주기성을 갖는다. 많은 경우 유성음성은 일정한 구간에 대하여는 완전히 주기적이라고 가정하고 그 구간에서의 주기성을 구하는 분석방법을 사용한다. 이러한 주기성은 음성의 인식, 합성, 운율정보의 분석, 정서정보의 분석 등 여러 가지 현상을 분석하고 응용하는데 사용되고 있다. 그러나 한편으로는 음성의 주기성 못지 않게 준주기성이 갖는 의미도 크다. 준주기성은 주기성분이 보여주지 못하는 여러 가지 현상들을 나타내 주기 때문에 주기성에 대

한 연구와는 별도로 여러 가지 측면에서 진행되어 왔다. 주기성이 음성의 평균적이고 정상적인 특성을 나타낸다면 준주기성은 음성 생성 과정에서의 동적인 특성에 연관되며 변이성 및 비정상적인 특성과 연관이 있다. 1968년의 연구에서는 준주기적 현상을 스펙트럼 대역에 나타난 주기성을 통해 관찰하고 분석하였고 이를 통해 준주기성이 구현될 수 있을 것으로 예측하였다[1]. 합성된 음성에서 주기의 변이와 잡음성분에 관한 연구가 발표된 바 있고[2], 주기성의 변동폭이 정상음성보다 상대적으로 큰 장애음성의 합성에 적용한 사례가 보고되었다[3]. 또한 음성에서 준주기성이 갖는 특성을 분석하여 발표한 사례가 있다[4]. 이후 음성신호에서의 주기성, 준주기성 및 피치 정보의 검

* 창원대학교, cwjo@changwon.ac.kr

Received 2 November 2016; Revised 2 December 2016; Accepted 9 December 2016

출을 시간정보에 의해 검출하는 연구의 수행이 보고되었다[5]. 이후 장애음성을 분석하는 연구에서 준주기성을 합성하는 연구가 진행된 바 있다[6][7]. 초창기의 주기성 및 준주기성 관련 연구는 주로 신호의 주기성을 검출하는 방법에 대한 연구였다면 최근에는 주기성의 불규칙성을 기반으로 정상 혹은 장애음성의 자연성 혹은 비정상 상태를 측정하고 생성하는 방향의 연구로 발전하고 있다. 이를 통하여 음성합성에서의 다양한 파라미터의 변동을 구현하고 이를 통하여 자연스러운 음성 합성을 하는 데 기여할 수 있고, 장애음성 진단의 경우 분석 파라미터의 객관성을 통해 진단을 객관화 및 정교화 하는 데 도움을 줄 수 있다.

본 논문에서는 유성음성의 피치주기 열로부터 변동 폭에 대한 확률을 추정하고 이에 따라 주어진 Jitter값을 갖도록 준주기적 음원신호를 생성하는 실험을 행하고 결과를 검토하였다.

2. 준주기성

2.1. 준주기성의 측정

준주기적 현상은 음성의 유성음의 특징인 성대의 진동이 거의 주기적으로 발생하는 현상을 말한다. 음성의 음원은 통상적으로 주기적인 펄스 형태로 모델링이 된다. 준주기성은 영어로 Pseudo-periodicity라고 불리며 주기성분을 제외한 성분을 나타내는 비주기 성분(Pseudo-periodic component)과는 다른 의미로 사용된다. 음성의 준주기성은 자연성과도 어느 정도 연관이 되어 있다고 여겨지고 있다. 그러므로 음성합성에서 자연성을 구현하기 위한 목적으로 준주기성이 연구되고 있고 장애음성의 경우는 준주기성이 정상음성보다 크게 변하게 되므로 이를 통하여 장애음성의 특징 파라미터 중 하나로 삼을 수 있다.

음성신호에서 준주기적 현상은 <그림 1>과 같이 일정하게 지속되는 주기성에 변이가 가해지는 형태로 관찰된다.

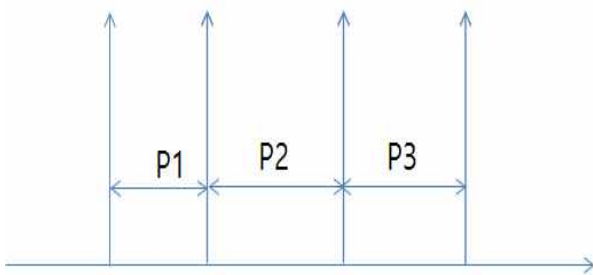


그림 1. 음성신호의 준주기적 현상
Figure 1. Pseudo-periodic Nature of Voiced Speech Sound

주기신호 s 에 대해 준주기적 신호는 다음 식과 같이 모델링할 수 있다.

$$R(t) = \sum_i m_i s(\alpha_i t + \beta_i), \quad (1)$$

여기서 α_i 와 β_i 는 준주기성을 발생시키는 파라미터이며 m_i

는 진폭 특성을 나타내는 상수이다. 이 모델에 의해 준주기성을 생성하기 위해서는 α_i 와 β_i 를 매 주기마다 적절히 생성해 주어야 한다[2]. 이 값을 추정하려면 먼저 실제 음성으로부터 이 파라미터들에 해당하는 값을 추정하고 이를 주기 변동에 적용하여야 한다.

준주기성을 측정하려면 먼저 주기성의 측정으로부터 시작하여야 한다. 음성신호의 경우 주기성 측정은 대개 일정 구간 단위의 프레임을 설정하고 그 안에서 평균적인 주기 값을 자기상관법 등을 적용하여 구한다. 그러나 이렇게 하게 되면 준주기성을 측정할 수 없게 되기 때문에 기존의 음성신호의 피치주기 측정법 중 여기펄스(excitation pulse)위치 측정법을 사용하여 각 여기점(excitation point)을 구하고 그 간격들을 측정한 뒤 그 통계치로부터 준주기성을 대표하는 값을 구할 수 있다. 준주기성은 바꾸어 말하면 피치주기의 변동 폭이라고 할 수 있는데 이를 나타내는 값들 중 대표적인 것으로 지터(Jitter)가 있다.

Jitter는 분석 구간 내에서 각 피치구간의 차이의 절대 합을 평균 피치 값으로 나눈 것이다. 즉 구간별 주기성분에 대해 상대적으로 얼마만한 변동이 있는지를 측정하는 것이다. Jitter는 정의에 따라 Jitter%, Jita 등이 있다.

본 논문에서의 준주기성 측정은 일반적으로 가장 많이 사용되는 Jitter%를 사용한다. 식 (2)는 Jitter%의 정의식이다.

$$Jitter\% = 100 \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} |P_{j+1} - P_j|}{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N P_j}, \quad (2)$$

여기서 P_j 는 j 번째 펄스의 주기이고 N 은 펄스의 수를 뜻한다.

본 논문에서는 준주기성 생성 모델을 구현하는 데 필요한 실제 현상을 측정하기 위하여 정상음성데이터를 대상으로 Jitter의 발생 현상을 측정하였다.

분석 대상 DB로는 MEEI(Massachusetts Eye and Ear Infirmary)의 데이터베이스를 사용하였다. MEEI는 정상음성 및 양성종양의 경우를 포함한 총 1400개의 음성 데이터와 MDVP 분석결과를 포함하고 있다[8]. 이중 정상음성의 경우인 남성 22인, 여성 31인의 데이터 중에서 각 2인씩을 선정하여 /아/ 음성에서 안정된 구간만을 선택하여 Jitter분포 분석에 사용하였다.

분석은 먼저 성별로 피치주기에 따른 Jitter값의 분포를 조사하고 개별 화자별 피치주기의 분포를 측정하였다. 성별 피치주기의 분포에 관한 분석은 전체 데이터 중 정상음성의 남녀 균을 대상으로 하였고 피치주기의 확률분포를 구하기 위하여 정상음성 데이터 중 임의로 선정한 남녀 각 2인씩의 표본 분석을 통해 정상음성의 준주기성을 나타내는 피치의 분포 모델을 얻었다.

<그림 2>는 데이터 중 남성의 피치 주파수에 따른 Jitter의 분포를 나타낸 것이고 <그림 3>은 여성의 피치 주파수에 따른 Jitter의 분포를 나타낸 것이다. 분석 결과에 따르면 준주기성은 남녀 공히 낮은 주파수 쪽에서 더 커진다는 것을 보여준다.

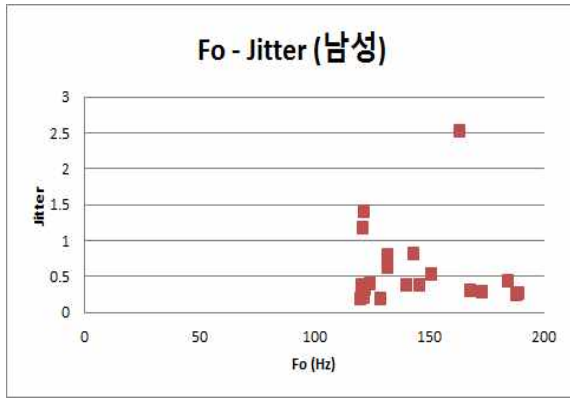


그림 2. 피치주파수에 따른 Jitter의 분포(남성)
Figure 2. Jitter distribution vs pitch frequency(male)

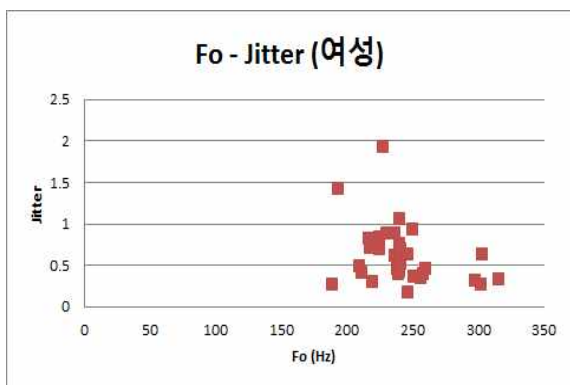


그림 3. 피치주파수에 따른 Jitter의 분포(여성)
Figure 3. Jitter distribution vs pitch frequency(female)

표 1. 남녀 개별 화자 4인의 Jitter 통계값
Table 1. Jitter statistics from individual speaker

화자	평균(Hz)	분산(Hz)	jitter
AAK02AN	223.67	1.5	0.062
DJGINAL	121.78	0.87	0.126
DMA1NAL	239.30	1.06	0.037
OVK1NAL	121.10	0.79	0.163

<표 1>은 사용한 종류별 4가지 표본들에 대한 유성음성의 주기성분의 분포를 나타낸 것이다. 이 표는 피치 주파수와 Jitter간의 상관관계를 일반화하기 보다는 정상음성의 Jitter값의 분포를 추정하기 위한 것으로 개인별 분포를 확인하는 데 목적이 있다. 개별 화자별로 보면 피치 주파수가 높아지면 분산이 커지나 Jitter값은 작아지는 경향을 보였다. 피치 주파수가 낮은 남성음성의 경우 주파수가 높은 여성음성의 경우보다 분산 값이 적으나 Jitter값은 더 커진다. <그림 4>는 피치구간의 통계적 발생 빈도를 측정된 그래프이다. 이 측정 결과에서 얻어진 평균과 표준편차 값을 바탕으로 분포를 대표하는 확률 밀도함수를 구하였다. 가로 축은 해당 화자의 피치 간격의 값을 나타내고 세로축은 각 피치 간격이 발생한 빈도를 나타낸다. <그림 5>는 이러한

정을 거쳐 화자 AAK02AN에 대한 동일 음성의 주기성분의 분포를 정규분포의 확률밀도함수로 나타낸 것이다. 측정된 결과에 의해 Jitter성분은 정규분포를 가짐을 확인할 수 있다.

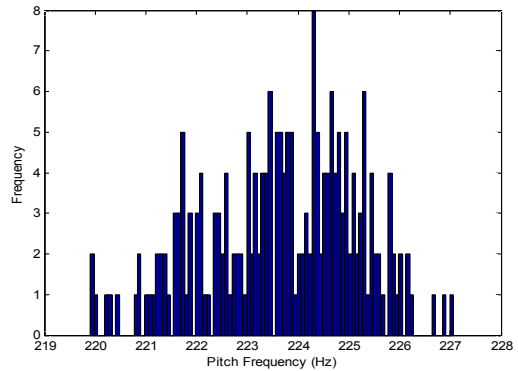


그림 4. 피치 구간 분석결과에 나타난 음성신호의 준주기성
Figure 4. Pseudo-periodicity of voice from pitch interval analysis

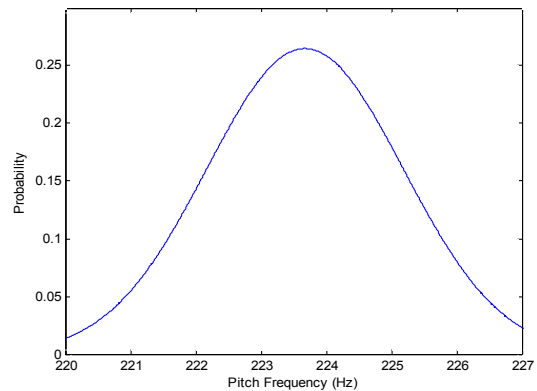


그림 5. 유성음성의 피치구간 확률밀도함수
Figure 5. Probability density function of a vowel pitch interval

2.2. 준주기성의 구현모델

참고문헌들에서 준주기성의 구현 방법은 여러 가지 형태로 제안되고 있다. 먼저 특정 F_0 의 주기에 대해 일정한 변이된 주기를 1개 혹은 여러 개의 간격으로 삽입하는 방법[9], 두 번째는 하모닉 상태의 음원을 생성한 뒤 특정 전달함수를 통과시켜 F_0 의 변이를 생성하는 방법[3] 그리고 세 번째로 특정 F_0 을 기준으로 난수발생기에 따른 F_0 의 변이를 생성하여 구현하는 방법이 있다 [10][11]. 앞의 두 가지 방법은 정확한 Jitter값을 구현하는 데는 적합하지 않기 때문에 세 번째 방법을 사용하였다. 먼저 정해진 Jitter값을 갖는 준주기적 펄스열을 생성하는 데 필요한 확률분포를 측정하고 이를 바탕으로 통계모델을 구한 다음 그 결과로부터 난수발생기를 통해 펄스열을 발생시킨다.

유성음의 피치 구간분석 결과로부터 우리는 피치주기의 변동이 정규분포의 형태와 유사하다는 것을 확인할 수 있었다. 이에 따라 피치 주기의 변이를 정규분포에 따라 발생시킨다는 가정 하에 원하는 Jitter값을 F_0 의 변이로부터 구하는 식은 다음과

같이 도출된다.

준주기적 펄스의 변동이 가우시안 분포를 따른다고 가정하였을 때 확률 밀도함수를 다음과 같이 정의할 수 있다. $N(P_0, \sigma)$. 여기서 P_0 는 주기의 평균값이고 σ 는 표준편차이다[4][6]. 밀도함수에 기반하여 각 피치 위치의 변동의 폭이 결정된다. 음성신호의 주기의 변이 분포는 F_0 의 역수에 해당하는 주기의 빈도가 크고 주기가 짧아질수록 빈도가 줄어드는 현상을 보이는데 이는 가우시안 분포의 절반에 해당하는 반가우시안 분포의 특성을 갖는다고 가정할 수 있다.

$$\Delta P_j = P_{j+1} - P_j \text{ 여기서 } j = 1, \dots, N-1 \text{ 이다.}$$

$|\Delta P_j|$ 는 반가우시안(hemi-gaussian)특성을 가지며 다음과 같은 확률밀도함수를 갖는다.

$$\begin{cases} N(0, \sqrt{2}\sigma_A), & \text{if } |\Delta P_j| = 0; \\ 2N(0, \sqrt{2}\sigma_A), & \text{if } |\Delta P_j| > 0; \\ 0, & \text{그 외에.} \end{cases} \quad (3)$$

$$E\{|\Delta P_j|\} = \int_0^\infty \frac{2|\Delta P_j| \exp\left(-\frac{|\Delta P_j|^2}{4\sigma_P^2}\right)}{(4\pi\sigma_P^2)^{1/2}} = \frac{2\sigma_P}{\sqrt{\pi}}, \quad (4)$$

$N \rightarrow \infty$ 이면 $\left\{ \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} |P_{j+1} - P_j| \right\}$ 는 $E\{|\Delta P_j|\}$ 에 수렴하며 $\left\{ \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N P_j \right\}$ 는 P_0 에 수렴한다는 것이 알려져 있다. (4) 식을 (2) 식에 대입하여 풀면

$$\sigma_P = \frac{\sqrt{\pi} P_0 \text{jitter}\%}{200}, \quad (5)$$

와 같이 구해진다[5]. 식(5)에 의해 원하는 Jitter값을 갖는 펄스 위치의 변이를 만들기 위한 위치의 편차를 동일한 분포를 갖는 난수발생기를 이용하여 구할 수 있다.

주기성분은 주기적인 펄스 형태로 모델링할 수 있다. 준주기적 현상은 정확히 주기적인 펄스의 주기를 어떤 방식으로 임의적인 변화를 주도록 함으로써 구현할 수 있다. 준주기성을 구현하는 방법은 두 가지가 있다. 첫 번째는 주기적인 펄스를 통해 주기성분을 구현한 뒤 펄스의 위치를 랜덤하게 변경시켜줌으로써 구현하는 방법이 있고[3], 두 번째는 주기적인 펄스를 생성한 뒤 주파수 필터링을 통해 대역별로 만들어진 주기성분을 합하여 난수 성분이 가미된 준주기성 펄스를 만들 수 있다[2]. 본 연구에서는 첫 번째 방법을 사용한다.

Jitter성분 생성을 위해서 matlab에서 가우시안 잡음을 발생시키는 함수인 *randn*을 사용한다. <그림 6>은 Jitter성분을 발생시키는 수식에 의해 생성된 잡음 신호를 보여준다. 그러나 실제 디지털 신호에 적용하기 위하여 발생한 난수 분포가 정수로 양자화 되어야 한다. <그림 7>은 양자화 된 난수파형을 보여준다.

이들 각 각에 대한 히스토그램은 <그림 8>과 <그림 9>에 보였다. <그림 8>에서의 정규분포에 해당하는 분포가 양자화 된 이후에는 <그림 9>와 같은 분포를 가짐을 확인할 수 있다.

위와 같은 현상에 의해 디지털적으로 구현된 Jitter성분은 정수화된 분포를 갖는 난수에 의해 구현된다는 것을 알 수 있다. 이러한 양자화 과정에서의 오차는 디지털 적으로 구현된 Jitter성분에 대한 오차로 작용할 수 있다.

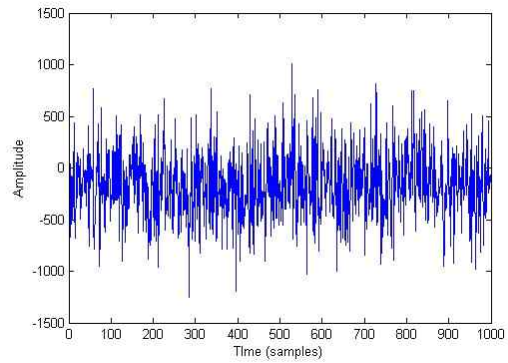


그림 6. 생성한 Jitter성분의 파형
Figure 6. Synthesized waveform of jitter signal

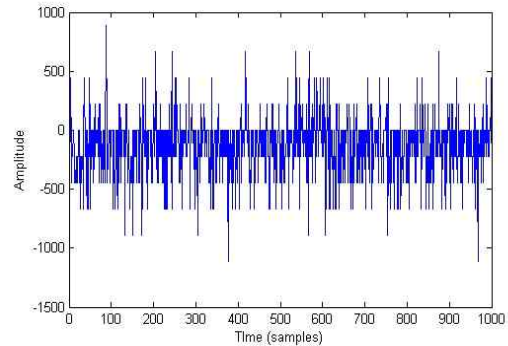


그림 7. 정수로 양자화된 Jitter성분의 파형
Figure 7. Quantized wave for jitter component

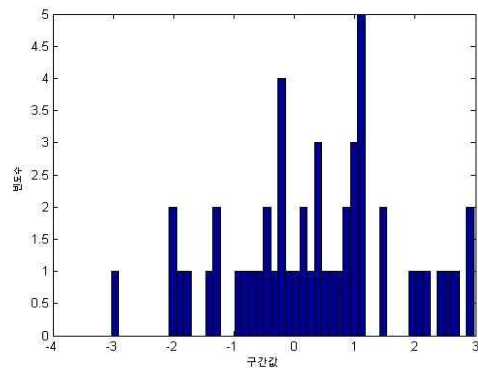


그림 8. 합성한 Jitter성분의 분포도
Figure 8. Histogram of synthesized jitter component

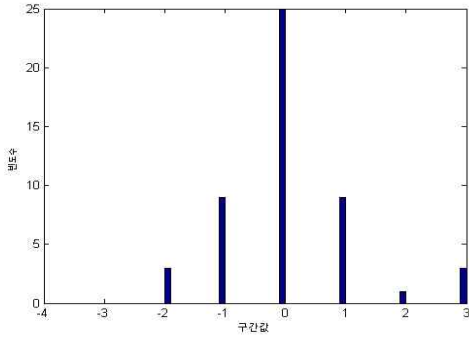


그림 9. 양자화된 합성한 Jitter성분의 분포도
Figure 9. Histogram of quantized jitter component

4. 준주기적 현상의 구현결과

준주기성의 구현은 반가우시안 모델에 의한 Jitter 생성 방법과 랜덤함수의 분산 값을 선형적으로 변화시켜 측정된 Jitter 값을 이용하여 구하는 방식의 두 가지 방식으로 Jitter를 발생시키고 원하는 값과 측정값과의 오차를 측정하는 방식으로 진행하였다[4][10].

첫 번째 방식에서는 식(5)에 의해 분산 값을 계산하고 나서 이에 따라 난수를 발생시켜 피치의 변화를 구현하였고, 두 번째 방식은 임의로 선형적으로 분산 값을 증가시킨 뒤 그 때의 Jitter 값을 계산한 뒤 결과 값으로부터 선형 회귀 직선을 구하였다. 이 회귀직선이 임의의 목표 값에 따른 Jitter 값을 추정하는 식이 된다. 그 다음 구해진 선형 직선으로부터 대응되는 Jitter 값을 다시 계산하여 입출력 Jitter 값 간의 오차를 측정하였다.

본 논문에서는 피치성분 생성과 통계처리 부분은 Matlab을 이용하고 음원신호를 생성하는 부분만을 Praat를 이용하였다. 주기적인 펄스로부터 음원 신호를 생성하는 과정은 Praat에 내장된 KlattGrid의 기능을 이용하였다. Praat 내에서 분석한 음성으로부터 생성된 피치 티어에서 음원 펄스는 위치와 각 위치에 해당하는 펄스의 주기의 형태로 저장된다. 분석된 음성으로부터 피치 티어를 새로 생성한 랜덤한 주기를 갖는 값으로 대체하면 변형된 피치 값을 갖는 음원을 생성할 수 있다. Praat 활용 사례에 대한 이해를 돕기 위해 Praat의 분석 및 합성 기능을 이용하여 분석한 음성신호 자료로부터 피치 티어를 랜덤한 성분으로 대체하는 스크립트의 주요 부분을 아래에 보인다.

```
# Set variance of random distribution
var=2
manipulation = To Manipulation: 0.01, 100, 200
pitchtier = Extract pitch tier
original = Copy: "old"
points = Get number of points
for p to points
  selectObject(original)
  f= Get value at index: p
```

```
t = Get time from index: p
selectObject(pitchtier)
Remove point: p
Add point: t* randomGauss(0,1)*var, f
endfor
selectObject(pitchtier, manipulation)
Replace pitch tier
# Resynthesize
selectObject(manipulation)
new_sound = Get resynthesis (overlap-add)
```

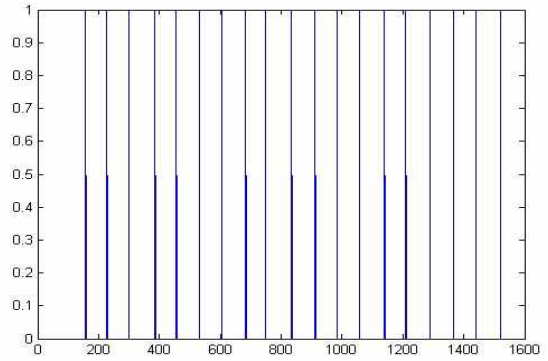


그림 10. 생성된 준주기적 펄스 파형
Figure 10. Synthesized pseudo-periodic pulse train

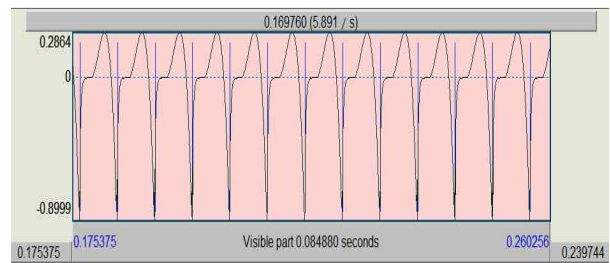


그림 11. 생성된 준주기적 음원신호
Figure 11. Pseudo-periodic voice source signal

<그림10>은 논문에서 채택한 방법에 의해 구현한 준주기적 펄스의 주기 값의 변화를 보인 것이다. <그림11>은 이에 따라 Praat를 이용하여 생성한 음원 신호이다.

<그림12>는 첫 번째 방법인 반가우시안 추정 공식에 의해 생성된 목표값 대비 측정값, 그리고 측정오차(점선)를 보인 것이다. 난수발생기로부터 발생시키는 난수 값이 수행 시기에 따라 달라지게 되므로 값이 변화하기는 하나 대체적으로 0~1사이의 큰 오차의 범위를 보였으나. 선행연구에서와 같은 선형적으로 변화하는 결과는 얻을 수 없었다[10]. 선행연구에서는 구현과정에서의 상세한 내용이 기술되어 있지 않아서 명확하지는 않으나 그와 같은 결과를 얻기 위해서는 이상적인 확률모델에 가까워지도록 분석 대상 프레임의 표본수를 아주 크게 하여야 근접하지 않을까 생각하는데 실제 분석 상황이라면 이러한 분석이 가능하지 않다.

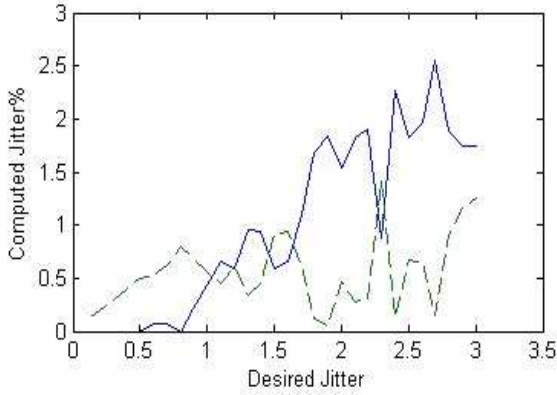


그림 12. 목표 Jitter값 대비 생성된 펄스의 Jitter값(실선) 및 오차(점선)
Figure 12. Synthesized jitter value vs. target jitter value and error(dashed)

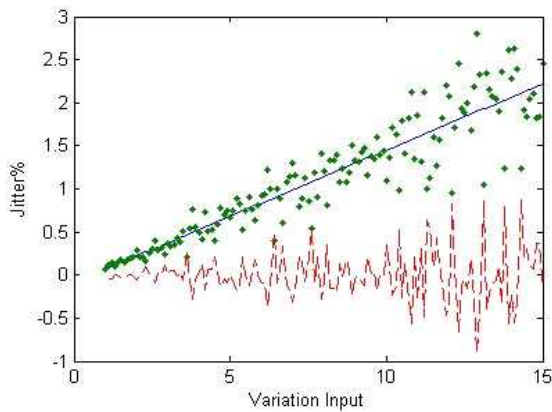


그림 13. 난수의 분산값 대비 생성된 펄스의 Jitter값(점), 회귀직선(직선) 및 오차(점선)
Figure 13. Synthesized Jitter values(dot) vs. variance values and regression line(solid) and error(dashed)

<그림13>은 난수의 분산 값을 임의로 선형적으로 증가시킨 뒤 발생시킨 준주기신호를 분석한 결과이다. 가로축은 입력한 분산 값이고 점선은 분산 값에 따라 생성한 준주기신호로부터 측정된 Jitter값들이다. 실선은 점선의 값들로부터 구한 일차 회귀직선이다. 이 회귀직선을 바탕으로 다시 선형적으로 목표 값을 변화시켜 얻은 값과의 오차를 긴 점선으로 나타내었다.

Jitter값의 범위가 0~1까지는 오차 값이 적으나 값이 커질수록 오차가 커지는 현상을 보인다. 실제 음성의 경우 정상음성이라면 1 이내의 작은 값을 가지므로 오차의 범위도 줄어들고 구해진 회귀 직선에 의해 근사적인 Jitter성분을 유도할 수 있을 것으로 예상된다.

5. 결론

본 연구에서는 음성신호의 Jitter성분의 특성을 분석하고 생성하기 위한 방법을 구현하고 고찰하였다. 정상음성을 대상으로 Jitter성분의 분포특성에서는 가우시안 분포를 갖는 것이 관찰되

었다. 구현 방식은 반가우시안 방법과 난수의 분산 값을 회귀직 선화한 방법의 두 가지로 적용하였다. 반가우시안 방법은 제한된 길이의 프레임에서는 적용이 어려움을 확인할 수 있었으며 분산 값에 의한 회귀직선을 적용한 방법이 정상음성의 경우 Jitter값을 정상음성의 범위인 1 이하로 한정할 경우 제한된 오차 범위 내에서 Jitter성분의 생성에 유용함을 확인할 수 있었다.

이러한 Jitter성분의 합성 결과는 정상음성에서의 음성변환, 합성 및 음질 변환에 관한 연구 및 장애음성에서의 다양한 변이 현상을 측정하고 파라미터를 모델링하는 데 기여할 수 있다. 향후 연구에서 해결할 문제들로는 값이 큰 Jitter성분을 생성할 경우 오차의 범위가 실제 발생음성의 수준과 비슷해 질 수 있도록 제어하는 방법을 개발하고 장애음성의 경우에서 필요한 변이의 유형과 수준에 대한 고려를 통해 보다 정교한 모델을 개발하는 것이 과제로 남아있다.

감사의 글

이 논문은 2015~2016년도 창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과입니다.

참고문헌

- [1] Fujimura, O. (1968). An approximation to voice aperiodicity. *IEEE Transactions on audio and electroacoustics*, 16(1), 68-72.
- [2] Hillenbrand, J. (1987). A methodological study of perturbation and additive noise in synthetically generated voice signals. *Journal of Speech and Hearing Research*, 30, 448-461.
- [3] Endo, Y., & Kasuya, H. (1996). A stochastic model of fundamental period perturbation and its application to perception of pathological voice quality. *Proceedings of ICSLP 1996* (pp. 772-775). Philadelphia.
- [4] Titze, I. R. (1995). Summary Statement. In D. Wong (Ed.) *Workshop on Acoustic Voice Analysis* (pp. 1-36). Iowa City, IA: National Center for Voice and Speech.
- [5] Deshmukh, O., Espy-Wilson, C. Y., Salomon, A., & Singh, J. (2005). Use of temporal information: detection of periodicity, aperiodicity, and pitch in speech. *IEEE Transactions on speech and audio processing*, 13(5), 776-786.
- [6] Kreiman, J., Gerratt, B. R., & Antoñanzas-Barroso, N. (2006). *Analysis and synthesis of pathological voice quality*. UCLA.
- [7] Kreiman, J., & Gerratt, B. R. (2003). Jitter, shimmer, and noise in pathological voice quality perception. *Proceedings of VOQUAL 2003* (pp. 57-61). Geneva.
- [8] Kay Elemetrics (2009). *Disordered Voice Database of the Massachusetts Eye and Ear Infirmary Voice and Speech Lab (Model 4337)*, [CD Rom]. Lincoln Park, NJ: Kay Elemetrics.
- [9] Teixeira, J. P., & Gonçalves, A. (2014). Accuracy of Jitter and Shimmer Measurement. *Procedia Technology*, 16, 1190-1199.

- [10] Alzamendi, G. A., Schlotthauer, G., Rufiner, H. L., & Torres, M. E. (2012). Evaluation of a new model for vowels synthesis with perturbations in acoustic parameters. *Latin American Applied Research*, 43(3), 1-6.
- [11] Ruinskiy, D., & Lavner, Y. (2008). Stochastic models of pitch jitter and amplitude shimmer for voice modification. *IEEE 25th convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel (IEEEI 2008)*, (pp. 489-493). 3-5 December. Eliat, Israel.

• **조철우 (Jo, Cheolwoo)**

창원대학교 전기전자제어공학부

경남 창원시 의창구 창원대학로 1

Tel: 055-213-3662 Fax: 055-262-5064

Email: cwjo@changwon.ac.kr

관심분야: 음성신호처리, 장애음성분석