

잡음 저감 및 음성인식 기능을 포함하는 항공기용 ICS 개발 방안

이성종[°], 김용권^{*}, 신아정^{*}

Proposal of ICS Development for the Aircraft Including Noise Reduction and Voice Speech Recognition Functions

Seong-Jong Lee[°], Yong-Kwon Kim^{*}, A-Jeong Shin^{*}

요 약

전투기의 기능이 복잡해지고 대화면 MFD (Multi-Function Display) 가 항공기에 적용 되면서 전투기의 기능 선택 및 운용 환경 설정을 위해 음성인식 기능을 적용 한 기체가 개발 되거나 실전에 배치되고 있다. 현재 우리나라에도 F-35를 도입 한 이후 음성인식에 대한 관심이 증가하고 있는 추세이다. 본 논문에서는 전투기에 음성인식을 적용하는 방법과 관련하여 ICS (Inter-Communication System) 내부에 음성인식 처리 부를 두는 경우 확보할 수 있는 항공기 측면의 장점과 하드웨어적인 구성 방안 및 ANR방식을 이용한 음성인식 전 처리에 대해 알아보려고 한다.

Key Words : Speech Recognition, Inter-Communication System, Audio Noise Reduction, Recursive Least Squares Filter, Normalized Least Mean Squares Filter

ABSTRACT

As the functions of the fighter become more complex and the MFD(Multi-Function Display) is applied to the aircraft, aircraft with speech recognition functions are being developed or deployed in practice to select the function of the fighter and set the operating environment. Currently, interest in speech recognition has been increasing since the introduction of F-35 in Korea. In this paper, the advantages of having a speech recognition processor inside the ICS (Inter-Communication System) and the hardware configuration and pre-processing of speech recognition using the ANR(Audio Noise Reduction) method will be discussed.

I. 서 론

음성인식이란 인간의 음성을 컴퓨터를 통해 인식하고 이를 문자 또는 정보로 변환하는 것을 말한다¹⁾. 군수 분야의 음성인식은 지난 10여 년간 AFTI (Advanced Fighter Technology Integration)/F-16

VISTA 에 대한 음성인식 프로그램, Mirage 항공기에 대한 프랑스의 음성인식 적용 프로그램 및 영국의 음성인식 연구 프로그램을 통해 발전해 왔다. 이 프로그램들에서 음성인식 기능은 주로 라디오 교신을 위한 주파수 설정, 자동 조정 시스템 제어 명령, 운항 지점의 좌표 및 무기 방출 매개변수 설정, 비행 시현 제어

[°] First Author and Corresponding Author : Hanwha Systems Avionics System Team, seongjong.lee@hanwha.com, Chief Engineer, 정회원

^{*} Hanwha Systems Avionics System Team, ykwon2.kim@hanwha.com, ajshin@hanwha.com

논문번호 : 202109-246-A-RU, Received September 16, 2021; Revised October 21, 2021; Accepted October 29, 2021

등에서 성공적인 성과를 거두었다.

현재 유럽에서 운항 중인 Eurofighter Typhoon은 스피커 종속 시스템을 사용하는 음성인식 시스템을 적용 중이며, F-35 Lightning II(JSF)는 스피커 독립형 시스템을 적용하여 98% 이상의 음성인식률을 보인다고 알려져 있다²⁾.

본 논문에서는 언급한 바와 같이 최근 미국, 유럽 등에서 성공적인 연구 성과를 내고 있는 군 항공기용 음성인식 기술을 국내 항공기에 도입하기 위한 효율적인 음성인식 방법 및 항공기 하드웨어 구성 방안에 대해 제안 하고자 한다.

항공기는 제한된 전력, 무게, SW 자원 내에서 원하는 기능을 제공 하여야 하므로 음성인식 컴퓨터와 같은 별도의 장비를 적용하여 음성인식을 제공하는 방안이 비해 기존에 항공기에서 사용 중인 인터콤 시스템(Inter-Communication System)에 적용하는 방안이 효율적임을 보이고 항공기 내부의 잡음 환경에서 효율적인 음성인식 기능을 제공하기 위해 음성인식 신호처리 전 단계에서 잡음을 저감(Noise Reduction) 하는 기법에 대해 기술한다.

II. 본 론

2.1 항공기용 음성인식 기능 적용 방안

우리가 흔히 사용하는 스마트폰 음성인식 기능은 음성인식 데이터 베이스 및 서버를 특정 지역에 두고 5G 또는 LTE 기술을 이용한 초고속 무선 통신 기술을 이용하여 인식이 필요한 음성 정보가 입력되면 대용량 서버와 데이터 베이스에서 고속으로 음성인식 처리 후 다시 사용자에게 제공되는 구조이다³⁾. 반면 항공기용 음성인식 기술은 이와 같은 방법을 사용하는 것이 매우 제한적이다. 이는 음속을 초과하는 항공기의 속도, 데이터 링크를 이용하여 음성정보를 데이터 베이스로 보낼 시 감수하여야 하는 감청 위험 등 군 항공기의 특수성에서 기인한다. 따라서 항공기용 음성인식 기능은 항공기 내의 제한적인 하드웨어 환경에서 내장(Embedded) 형태로 구현되어야 할 것으로 보이며, 이는 제한적인 메모리 용량 및 프로세서 용량의 사용을 강제하게 되므로 제한된 리소스를 효율적으로 활용할 수 있는 방안이 필요하다.

2.1.1 음성인식 방안

서론에서 언급한 바와 같이 해외 항공기 음성인식 적용 사례들을 보면 자연어 인식보다는 항공기의 설정, 제어를 위한 명령어를 인식하는 방식으로 연구되

고 있음을 알 수 있다⁴⁾. 이는 제한된 메모리 용량과 신호처리 능력으로 효율적으로 항공기 제어에 필요한 명령을 음성인식 기능을 통해 직접 제어 없이 제공할 수 있다는 것을 의미한다.

항공기 제어를 위한 명령어 예시는 표 1과 같다. 실제 항공기에서 사용 중인 제어에 대응하는 음성 명령을 표 1과 같이 식별해 보면 전체 문장보다는 개별 단어 인식에 가깝다는 것을 알 수 있다. 따라서 군 항공기의 음성인식에 자연어 인식보다는 단어 인식 형태의 기법을 적용하는 것이 더 효율적이라고 판단된다.

실제 사용 가능한 메모리 용량을 비교하면 단어 단위로 약 300개의 음성 명령을 48kHz, 24bit로 샘플링하여 데이터를 메모리에 저장할 때 필요한 메모리 용량은 약 43MB이면 충분하며 음성 추정을 위한 연산도 앞뒤 한 단어만 추정하게 되어 자연어 인식에 비해 간단해 짐을 알 수 있다. 반면, 자연어 인식의 경우 복잡한 NLP(Nature Language Processing) 파라미터 연산을 위해 최소 수백 MB 이상의 대용량 메모리 용량이 할당되어야 한다⁵⁾.

표 1. 고정익 항공기 음성 명령어 예시
Table 1. Example of a Fixed-Wing Aircraft Speech Command

Classification	Command	Action
Switch MFD Screen	Flight Instrument	Enter the Flight Instrument Screen
	Engine	Enter the Engine Instrument Screen
	Fuel	Enter the Fuel Instrument Screen
	Flight Control	Enter the Flight Control Screen
	Store Management	Enter the Weapon Management Screen
Flight Control	Digital Map	Enter the Electronic Map Screen
	Brake On	Brake ON
Sensor Control	Break Off	Brake OFF
	Infra-Red	IR Camera ON
Radar/Survival	Zoom-In	Zoom in on Camera
	Range Up	Expand Radar Navigation Range

2.1.2 음성인식 HW 구현 방안

음성인식을 위해 항공기 내부에 별도 LRU (Line Replaceable Unit) 형태의 음성인식 장치를 두는 것이 F-35 등 항공기의 일반적인 방식이나 2.1.1절에서 언급한 바와 같이 단어 단위 인식 방식을 선택하면 별도 LRU 추가 없이 구현할 수 있다. 기존의 모든 항공기에는 내/외부와 음성통신이 가능하도록 음성 신호에 대한 디지털 변환 및 신호처리 기능을 갖는 장비인 ICS가 장착되어 있다. 따라서 ICS 내부에 SRU(Shop Replaceable Unit) 형태로 음성인식 기능을 추가할 수 있으므로 그 방안을 제안한다.

음성인식을 위해서는 입력되는 아날로그 음성 신호의 잡음을 최소화하고 디지털 신호로 변환하는 기능이 필수이다. 항공기 내에는 이와 같은 기능을 하는 구성품인 ICS가 이미 존재하므로 음성인식 기능을 ICS의 기능 중 하나로 정의하고 이를 구현할 수 있는지 살펴볼 필요가 있다. 이를 위해 음성인식 컴퓨터에서 요구되는 기능과 ICS에 음성인식 기능을 추가하였을 때 ICS가 갖는 기능을 비교하고 ICS에 음성인식 기능을 포함하였을 때 어떤 이점이 있는지 알아본다.

그림 1은 일반적인 ICS 내부 기능 구조를 나타내며, 각 블록의 역할은 표 2와 같다. 일반적인 음성인식 처리 절차는 아래 그림과 같다.

그림 2 에서 보듯 일반적인 음성인식 처리 구조는 크게 전처리부와 인식부로 나눌 수 있는데 이 중 전처리부는 ICS의 음성처리 기능 블록의 일부인 잡음 제거 및 음성 디지털 변환기능과 유사함을 알 수 있다. 또한, 독립적인 인식 장비의 기능과 ICS의 기능을 비교하면 아래 표와 같다.

상기 표에서 알 수 있듯이 ICS와 음성인식 장치 기능 간 유사성이 있음을 알 수 있고 이 유사성을 바탕

표 2. 일반적인 ICS 각 블록의 주요 기능
Table 2. ICS Internal Block Function

Block	Function
Control /Interface	<ul style="list-style-type: none"> • Aircraft Interface via 1553 MUX BUS or Ethernet BUS • Discrete Signal Reception and Processing • Play Voice Alerts according to the Trigger Signal • Internal Control using Digital BUS • BIT Control
Audio Processing	<ul style="list-style-type: none"> • Aircraft Audio Signal Transmission and Reception • Audio Signal Mix/Amplify/Routing • Audio Signal Digital Conversion and Signal Processing • Perform Noise Reduction on input Audio Signal • Input/Output Signal Volume Control
Power Supply	<ul style="list-style-type: none"> • Internal Power Supply

으로 음성인식 보드를 ICS 내에 포함하는 방식으로 음성인식 기능을 항공기에 탑재하는 방안을 그림 3과 같이 고려할 수 있다.

ICS에 입력된 아날로그 음성 신호는 음성처리 블록의 ADC에 의해 디지털 신호로 변환되고 아날로그 잡음 제거 및 디지털 잡음 제거 기법을 통해 잡음을 감쇄시킨 후 디지털 신호처리 (Digital Signal Processing: DSP)를 거쳐 음성인식을 하고자 하는 구간의 디지털 음성 데이터를 음성인식 블록으로 보내 음성인식 알고리즘을 통해 음성 명령을 추출한다. 추출된 음성 명령은 제어/연동 블록으로 보내 항공기 내 1553B MUX BUS 또는 Ethernet과 같은 기체 내 통

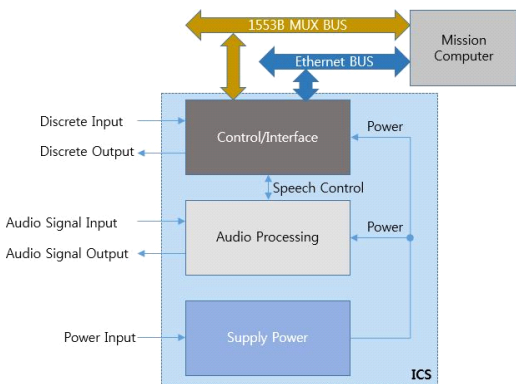


그림 1. 일반적인 ICS 내부 기능 구조
Fig. 1. ICS Internal Function Structure

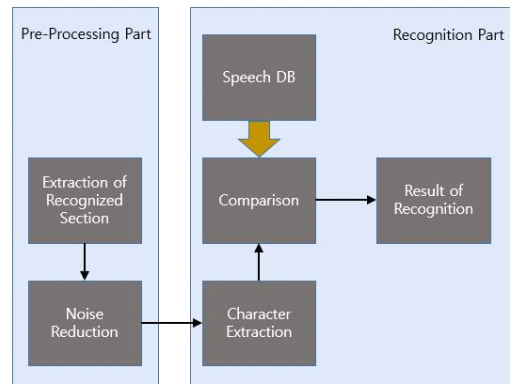


그림 2. 일반적인 음성 인식 처리 구조
Fig. 2. Speech Recognition Processing Structure

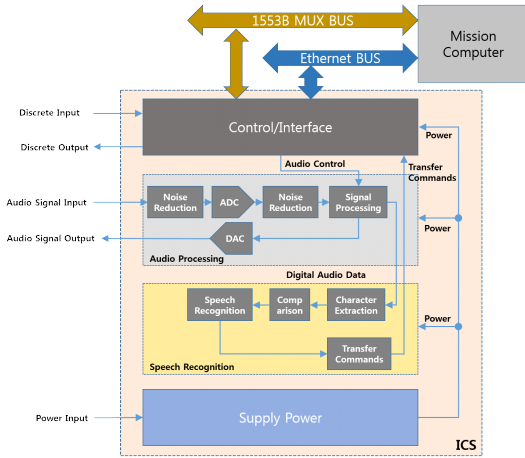


그림 3. 음성인식 기능을 포함한 ICS 구성
Fig. 3. ICS Configuration with Speech Recognition

표 3. ICS와 음성인식 장치 간 유사도
Table 3. Similarity between ICS and Speech Recognition Device

ICS	Speech Recognition	Similarity
Audio Signal Reception	Audio Signal Reception	O
Audio Signal ADC	Audio Signal ADC	O
Noise Reduction	Noise Reduction	O
Signal Processing	Character Extraction	X
Routing/Mix	Speech Comparision	X
Audio Signal DAC	Speech Recognition	X
Self-Diagnosis	Self-Diagnosis	O
Aircraft Interface	Aircraft Interface	O
Power	Power	O

신 버스를 통해 MC로 전송되도록 설계할 수 있다. 음성인식 기능을 ICS에 포함하게 되는 경우 별도 음성인식 장치 LRU 사용에 비해 항공기 측면에서 무게, 소모 전력 등이 줄어드는 효과를 기대할 수도 있다. 고정익 항공기와는 달리 회전익 항공기의 경우 로터 회전에 의한 주기적인 잡음을 제거하여야 할 필요가 있으며 이를 위해 디지털 변환 전 단계에서 잡음을 감소시킬 필요가 있다. 이를 위해 ADC 이전 단계에 잡음 제거 기능을 부가적으로 운영할 수 있다. 이 잡음 제거 기능은 로터의 회전과 같은 주기성 신호를 랜덤 신호인 음성과 분리하여 제거하는 기법을 사용해야 한다.

2.2 Noise Reduction 기능 적용 방안

항공기의 잡음은 크게 로터와 같은 주기적인 잡음과 다양한 원인으로부터 발생하는 랜덤 잡음이 있다. 효과적인 음성인식을 위해서는 입력되는 음성 신호에 유입된 잡음들을 효율적으로 제거하는 것이 중요하다.

특히 초음속으로 이동하는 항공기 특성상 음성인식을 위한 오디오 지연시간을 최소화하여 조종사의 명령이 실시간으로 인식되어 임무 컴퓨터로 전달되는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 논문에서는 주기적인 잡음 및 랜덤 잡음의 제거 기법에 대해 알아보고 항공기용 음성인식 기능의 구현을 위해 적응 필터 (Adaptive Filter)를 이용한 잡음 저감 구조의 사용 가능 여부를 잡음 제거 성능 및 오디오 지연시간 측면에서 알아본다.

2.2.1 Adaptive Noise Filter

본 논문에서는 잡음 감쇄를 위하여 그림 4와 같이 디지털 필터와 적응 알고리즘으로 구성된 적응 필터를 적용하였다⁶⁾.

적용 필터는 필터의 출력 $y(n)$ 와 원하는(Desired) 신호 $d(n)$ 과의 차이 $e(n)$ 을 최소화하는 방향으로 필터의 계수를 적응시키는데, 이때 적응 방식에 따라서 Stochastic Gradient Algorithms과 RLS(Recursive Least Square Algorithms)으로 구분이 된다.

LMS(Least Mean Squares)는 대표적인 Stochastic Gradient Algorithms으로 예측 대상의 신호와 예측된 신호 사이의 평균 제곱 오차를 최소화하는 방식으로

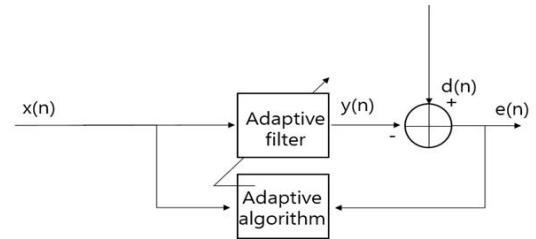


그림 4. 적응 필터 블록 다이어그램
Fig. 4. Adaptive Filter Block Diagram

표 4. 그림 4 기호 및 정의
Table 4. Symbols and Definitions for Figure 4

Symbols	Definition
$x(n)$	Input Signal
$y(n)$	Filter Output
$d(n)$	Desired Signal
$e(n)$	Estimation Error

필터의 계수를 조절한다. 하지만 LMS는 입력 신호의 크기에 민감하고 안정화를 위한 학습률(learning rate) 변수를 선정하는 데 어려운 단점을 가지고 있어서 입력 신호의 전력으로 정규화하여 개선한 NLMS (Normalized Least Mean Square) 방식이 주로 사용된다.

RLS는 오차의 제곱이 최소화 되도록 계수를 조절하여 LMS 방식의 단점인 느린 수렴 속도 (Convergence rate)를 개선한 것으로 복잡성과 계산 비용이 커지는 특성이 있다⁷⁾.

항공기의 잡음을 효과적으로 제거하기 위한 적응 알고리즘 선정의 주요 지표로는 수렴 속도, 연산량 등이 있으며 항공기의 운용 환경을 고려하여 다음과 같이 선정하였다.

2.2.2 Periodic Noise Reduction

회전익 항공기의 경우 로터 등에 의해 발생하는 주기적인 잡음이 주된 잡음원이며 해당 잡음의 인입 영향을 최소화할 필요가 있다. 특히 로터에 의한 잡음은 잡음 전력이 높아 주요 오디오 성능 지표인 SNR 특성을 저감 시키므로 빠르게 제거해야 한다. 따라서 빠른 수렴 속도를 특성으로 갖는 RLS 방식을 선정하였다.

ICS에 적용된 주기적인 잡음 제거 방식은 그림 5와 같이 유입된 신호를 신호 합 처리단과 신호 합 역 처리단으로 분리하고 RLS 필터를 적용하여 주기적인 잡음을 제거한다.

그리고 음성 신호의 레벨 및 감쇄를 비교하여 주기적인 잡음에 의한 손실을 보상하고 출력신호로 내보내도록 구현되었다.

구현된 RLS 필터의 특성 확인을 위한 시험 구성은

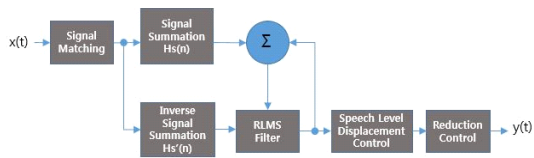


그림 5. 주기적 잡음 감쇄 알고리즘
Fig. 5. Periodic Noise Reduction Diagram

표 5. 필터 알고리즘 선택

Table 5. Selection of Filter Algorithms

Factors	Periodic Noise	Random Noise
Convergence rate	↑↑	↑
Computation	↑	↑↑
Selected Filters	RLS	NLMS

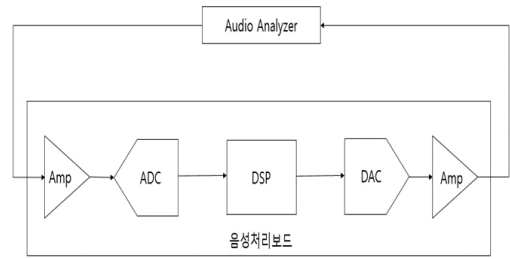


그림 6. 오디오 시험 다이어그램
Fig. 6. Audio Test Diagram

아래와 같다.

Audio Analyzer로 주기적인 잡음을 모사하여 ICS 내 음성처리 보드로 잡음을 유입시키고 필터 동작 전/후의 출력 파형을 비교하면 그림 7, 8과 같이 주기적인 잡음이 약 10dB 정도 감소함을 확인할 수 있다.

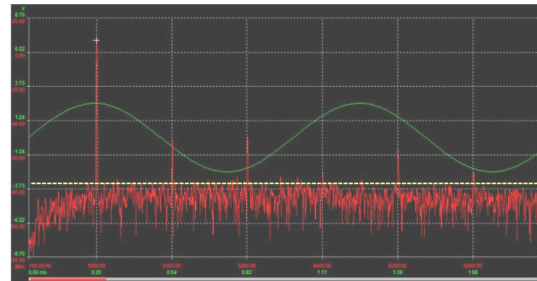


그림 7. RLS 적용 전 잡음 레벨 (-80dB)
Fig. 7. Noise level (-80dB) beforeLS

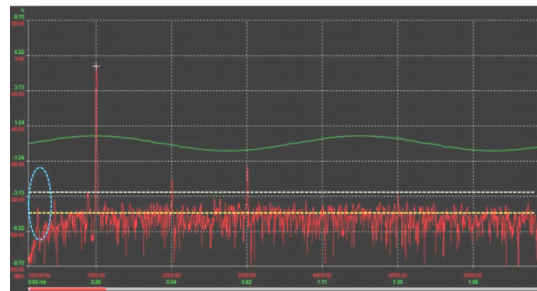


그림 8. RLS 적용 후 잡음 레벨 (-90dB)
Fig. 8. Noise level (-90dB) after RLS

2.2.3 Random Noise

랜덤 잡음은 넓은 대역에 존재하기 때문에 처리하는데 많은 연산량이 필요한 경우, 기능적 부작용에 대한 우려가 있다. 따라서 빠른 수렴 속도의 특성을 갖는 필터보다는 구조가 단순한 필터가 필요하여 Stochastic Gradient Algorithms 구조의 NLMS를 적용

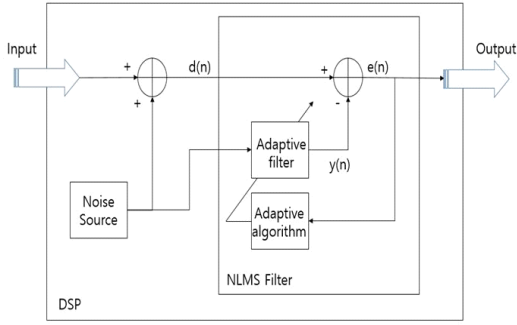


그림 9. NLMS 필터 다이어그램
Fig. 9. NLMS Filter Diagram

하였다.

랜덤 잡음 제거를 위한 NLMS 필터는 그림 9와 같이 ICS의 음성처리 보드의 DSP에 구현하였다.

우선 필터의 성능을 비교하기 위해서 필터 적용 전 ICS의 오디오 특성을 알아보면, 1.5Vrms@1kHz의 정현파를 인가했을 때 SNR 113dB 와 왜곡(Distortion) 0.2%이 측정되었다. 그리고 랜덤 잡음 인가 시, SNR 은 63dB, 왜곡은 16%로 성능 저하가 발생하였다.

NLMS 필터의 최적화를 위해서는 우선 적응 필터의 길이(Length)와 스텝 사이즈(Step Size)를 결정해야 하며 수식(1)과 같은 관계가 있다.

$$0 < \mu < \frac{2}{L \times \sigma^2} \quad (1)$$

μ : Step Size

L : Number of filter coefficients

σ^2 : Variance of the input signal

적응 필터의 길이(L)를 8부터 512까지 변경 하면서 측정된 오디오 특성은 표 6과 같으며 $L = 96$ 일 때, SNR은 108dB, 왜곡은 8%로 가장 좋은 결과를 보였다.

가장 좋은 결과가 나온 $L = 96$ 으로 값을 고정하고 스텝 사이즈(μ)는 수식(1)에 따라서 $0 < \mu < 0.05$ 의 범위로 결정되었다. 이때 해당 범위 내 μ 값을 조절하여 오디오 특성을 확인한 결과 스텝 사이즈가 작을수록 왜곡과 안정도(stabilization) 특성이 좋아지는데 일정 스텝 사이즈 이하로 넘어가면 안정도가 증가함을 보였다.

$\mu = 0.001$ 일 때 왜곡은 3%, 안정도는 3s로 가장 좋은 결과를 보였으며 스텝 사이즈가 더 작아지면 안정도가 증가하기 시작하였다. 추가로 필터의 활성화

표 6. L 에 따른 오디오 특성 변화

Table 6. Audio Characteristic using different L

Parameter	Audio Characteristic	
$L=8$ / $\mu=0.13$	SNR	104 dB
	Distortion	46 %
$L=16$ / $\mu=0.06$	SNR	105 dB
	Distortion	28 %
$L=24$ / $\mu=0.04$	SNR	105 dB
	Distortion	25 %
$L=48$ / $\mu=0.02$	SNR	107 dB
	Distortion	15 %
$L=80$ / $\mu=0.01$	SNR	107 dB
	Distortion	15 %
$L=88$ / $\mu=0.01$	SNR	107 dB
	Distortion	15 %
$L=96$ / $\mu=0.01$	SNR	108 dB
	Distortion	8 %
$L=104$ / $\mu=0.01$	SNR	107 dB
	Distortion	15 %
$L=112$ / $\mu=0.01$	SNR	107 dB
	Distortion	15 %
$L=144$ / $\mu=0.007$	SNR	104 dB
	Distortion	8 %
$L=192$ / $\mu=0.005$	SNR	104 dB
	Distortion	11 %
$L=240$ / $\mu=0.004$	SNR	104 dB
	Distortion	12 %
$L=256$ / $\mu=0.0035$	SNR	104 dB
	Distortion	13 %

전/후 오디오 지연시간을 측정해본 결과 약 $40 \mu s$ 차이로 필터 동작에 의한 신호의 지연 현상은 발생하지

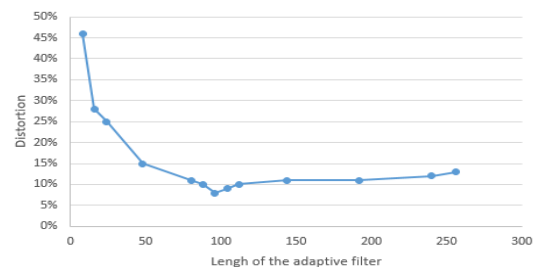


그림 10. L 에 따른 오디오 특성 변화

Fig. 10. Audio Characteristic using different L

않음을 알 수 있었다.

III. 결론

본 논문에서는 제한적인 항공기 환경에서의 잡음 저감 음성인식 ICS 개발 방안을 제안하였다. 군 항공기의 특수성을 고려하여 단어 단위의 음성인식을 제한하였으며, 이 과정에서 별도의 LRU를 추가하지 않고 기존 ICS에 SRU 형태로 음성인식 기능 추가하였다. 또한, 음성처리 전처리 단계에 RLS 필터를 이용한 주기적 잡음 저감 기법을 추가함으로써 고정익뿐만 아니라 회전익까지 적용 범위를 확장 시켰다. 이외에도 비주기적 잡음 저감을 위한 NLMS 필터를 제안하였으며, 최적의 파라미터를 분석하였다. 그 결과 주기적 잡음은 RLS 필터 사용 후 기준대비 10dB 감소하였으며, 비주기적 잡음은 최적 파라미터를 통한 NLMS 필터 사용 후 기준대비 SNR은 69%, 왜곡은 13% 감소된 것을 확인하였다.

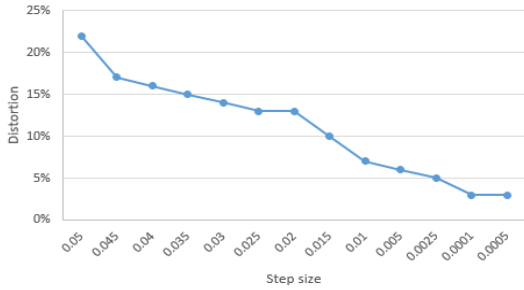


그림 11. 스텝 사이즈에 따른 오디오 특성(왜곡) 변화
Fig. 11. Audio Characteristic(Distortion) using different Step size

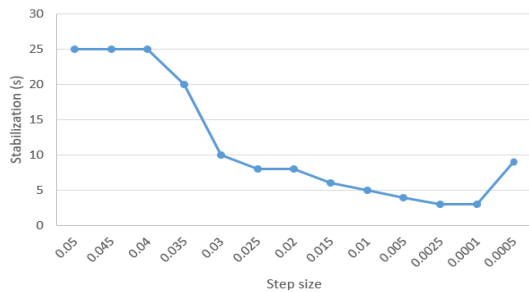


그림 12. 스텝 사이즈에 따른 오디오 특성(안정도) 변화
Fig. 12. Audio Characteristic(Stabilization) using different Step size

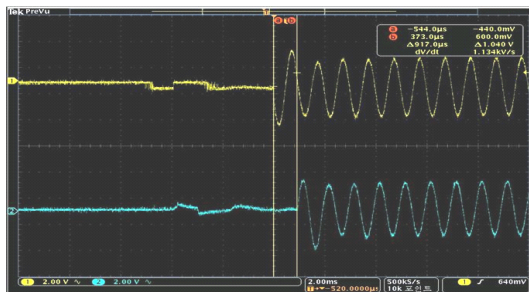


그림 13. NLMS 이전 오디오 지연 (917 μ s)
Fig. 13. Audio latency (917 μ s) before NLMS

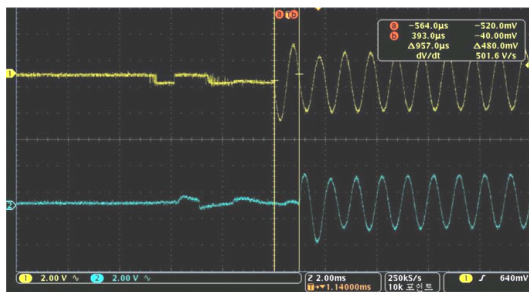


그림 14. NLMS 이후 오디오 지연 (957 μ s)
Fig. 14. Audio latency (957 μ s) after NLMS

References

- [1] Y.-P. Kim and H.-Y. Lee, "A study on improved method of voice recognition rate," *J. Kor. Inst. Electr. Commun. Sci.*, vol. 8, no. 1, pp. 77-83, Oct. 2013.
- [2] J. Schutte, "Reserchers fine-tune F-35 pilot aircraft speech system," *Air Force Link*, Oct. 2007, <https://www.af.mil>
- [3] J. H. Park, "Study of speech recognition system operation for voice-driven UAV control," *J. Korean Soc. Aeronautical and Space Sci.*, vol. 47, no. 3, pp. 212-219, Mar. 2019.
- [4] C. Englund, "Speech recognition in the JAS 39 Gripen aircraft-adaptation to speech at different G-loads," M.S. Thesis in Speech Technology, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2004.
- [5] D. Narayanan, et al., *Efficient large-scale language model training on gpu clusters* (2021), Retrieved Aug. 23, 2021, from arXiv preprint arXiv:2104.04473.
- [6] S. O. Haykin, *Adaptive filter theory.*, Pearson Education India, 2008.
- [7] T. Variddhisai and D. P. Mandic, "On an RLS-like LMS adaptive filter," in *22nd DSP 2017*, pp. 1-5, London, United Kingdom, Aug. 2017.

이 성 중 (Seong-Jong Lee)



2000년 2월: 충남대학교 전과
공학과 졸업

2003년 2월: 충남대학교 전과
공학과 석사

2003년 3월~2007년 7월: (주)빅
텍 선임 연구원

2007년 7월~2009년 8월: (주)
엠티지 선임 연구원

2009년 12월~현재: 한화시스템(주) 수석 연구원
<관심분야> 초고주파 능동회로, 아날로그 회로, 항
공전자 시스템 설계 및 항공기 연동

[ORCID:0000-0002-6624-6914]

신 아 정 (A-Jeong Shin)



2019년 2월: 전남대학교 전자
공학과 졸업

2019년 7월~현재: 한화시스템
(주) 연구원

<관심분야> 전자공학, 항공전
자

[ORCID:0000-0001-7041-029X]

김 용 권 (Yong-Kyun Kim)



2010년 2월: 충남대학교 전기
및 전자 공학과 졸업

2015년 2월: 연세대학교 전기
전자 공학과 석사

2010년 1월~현재: 한화시스템
(주) 전문 연구원

<관심분야> 전자공학, 항공전자

[ORCID:0000-0002-5976-7789]