

일 대 다 모델을 지원하는 자동 ABLB 청력 검사 시스템

송복득¹, 강덕훈¹, 신범주^{1,a}, 김진동², 전계록², 왕수건³

¹ 부산대학교 생명자원과학대학 IT응용공학과

² 부산대학교 의과대학 의학전문대학원 의공학교실

³ 부산대학교 의과대학 의학전문대학원 이비인후과학교실

Auto ABLB Audiometry System Supporting One-to-many Model

Bok Deuk Song¹, Deok Hun Kang¹, Bum Joo Shin^{1,a}, Jin Dong Kim²,
Gye Rok Jeon², and Soo Geun Wang³

¹ Department of Applied IT & Engineering, College of Natural Resource and Life Science, Pusan National University, Miryang 622-706, Korea

² Department of Medical Engineering, School of Medicine, Pusan National University, Yangsan 626-879, Korea

³ Department of Otolaryngology, School of Medicine, Pusan National University, Yangsan 626-879, Korea

(Received May 6, 2011; Revised May 16, 2011; Accepted May 24, 2011)

Abstract: ABLB (alternate binaural loudness balance) test is one of the medical assessments to diagnose detailed lesion of sensory-neural hearing loss based on a recruitment phenomenon. However, current ABLB audiometry takes an operational model, so called face-to-face model, in which model one audiometrist can assess only one subject at a time. As a result, this face-to-face model leads to expensive audiometrist's labor cost and lengthy wait when there exist many subjects. As a solution, this paper suggests an ABLB audiometry system supporting one-to-many model in which model an audiometrist enables to assess several subjects concurrently. By providing such capabilities as real-time transfer of assessment result, video monitoring of subject and video chat, this solution can provide same effect as face-to-face model but overcome weakness of the existing face-to-face model.

Keywords: ABLB audiometry, Face-to-face model, One-to-many model, Client/server model

1. 서 론

청력 손실은 사람이 소리를 인지하는 경로에 위치하는 기관에 병변이 발생함으로써 나타나게 되며, 병변이 발생한 기관에 따라 서로 다른 특성을 나타낸다. 난청의 유형 중 감각 신경성 (sensori-neural hearing loss, SNHL) 난청은 미로성 난청 (cochlear hearing loss) 과 후미로성 난청 (retrocochlear hearing lo

ss) 으로 구분된다. 미로성 난청은 와우 유모세포의 장애로 인해 발생되며, 후미로성 난청은 청신경에서부터 뇌간에 이르는 신경 경로의 장애로 발생하는 난청이다 [1]. 감각 신경성 난청 중 미로성 난청과 후미로성 난청의 감별 진단에 누가현상 (loudness recruitment) 을 이용한다.

누가현상이란 인간이 들을 수 있는 가청음역이 축소되어 역동범위가 좁아지는 현상을 의미한다. 귀로 들을 수 있는 최저 음의 강도와 최고 음의 강도 폭이

a. Corresponding author: bjshin@pusan.ac.kr

좁아지게 되고 결과적으로 음의 강도의 작은 변화를 매우 큰 변화로 인지하는 증상이다 [2]. 누가현상을 이용한 ABLB 검사는 일측성의 감각신경성 난청 또는 한쪽 귀가 정상이거나 약간의 감각신경성 난청이 존재하는 경우를 판별하기 위해 사용된다.

기존 병원에서 사용되는 ABLB 검사에서는 검사자 (audiometrist)가 일 대 일 (one-to-one, face-to-face)로 피검자 (subject)의 검사를 진행한다. 그러나 이 같은 검사 진행 방법은 한 명의 검사자가 검사의 시작부터 종료 시까지 한 명의 피검자를 담당하기 때문에 검사자의 생산성을 낮추어 검사 비용을 높일 뿐 아니라 피검자가 많을 경우 피검자의 대기 시간을 증대시키는 단점이 있다. 이 같은 단점을 해결하기 위해 한 명의 검사자가 다수의 피검자들을 동시에 검사할 수 있는 일 대 다 (one-to-many) 모델을 지원하는 ABLB 검사 시스템을 사용함으로써 해결할 수 있다.

본 논문에서는 일 대 다 모델을 지원하는 ABLB 검사 시스템을 기술한다. 본 논문의 시스템에서는 한 명의 검사자가 여러 피검자들을 동시에 검사할 수 있으며, 일 대 일 검사와 같은 환경을 제공할 수 있도록 실시간 검사 결과 전달, 영상 모니터링 그리고 영상 대화 기능을 지원한다.

2. 실험 방법

2.1 자동 ABLB 검사

기존의 ABLB 검사는 검사자가 피검자의 순음 기도역치를 확인하고 검사 주파수 및 검사 음을 수동으로 결정하여 검사를 진행한다. 피검자가 특정 음에 대해 반응하면, 검사자는 검사 음을 재설정하고 동일한 과정을 반복 수행하게 된다.

본 논문의 ABLB 검사는 피검자의 순음 기도역치를 소프트웨어에서 분석하여 필요한 주파수를 자동으로 결정하고 양쪽 귀에 들려주는 음의 강도를 검사 알고리즘과 피검자의 반응에 따라 자동으로 결정하는 메커니즘을 제공한다 [4].

자동 ABLB 검사에서 사용하는 검사음의 생성은 순음청력검사 시스템 [3]의 순음 생성 과정을 기본으로 한다. 따라서 본 논문의 시스템은 검사음 생성을 쉽게 할 수 있도록 PCM 방식의 WAV 데이터를 메모리에 동적으로 생성하여 사용한다.

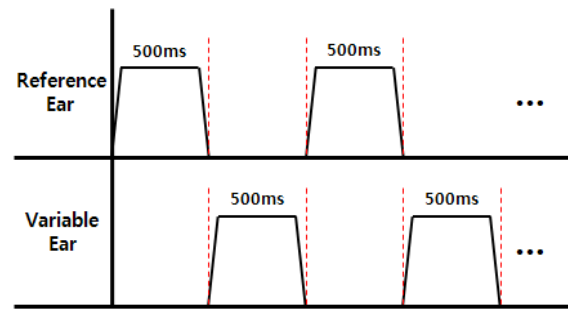


Fig. 1. Test tone for ABLB audiometry.

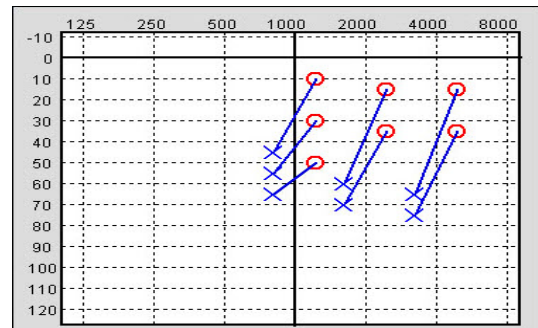


Fig. 2. Drawing ladder diagram of test result.

순음청력검사에서는 난청의 유무를 검사하기 위해 한쪽 귀에만 순음을 들려주지만 ABLB 검사에서는 양쪽 귀 모두에 음의 강도가 다른 순음을 들려준다. 따라서 앞서 기술한 기본 단속음을 기준 귀부터 들려주며 1초 주기로 양쪽 귀에 교대로 단속음을 들려준다. 그림 1은 본 논문의 ABLB 검사 음의 형태를 나타낸다.

본 논문에서는 기본적으로 Hood 검사 방법으로 ABLB 검사를 수행하며, 피검자의 반응에 따라 실시간으로 가변 귀의 음의 강도를 ± 5 dB 단위로 변경한다. ± 5 dB 보다 작은 값으로 음의 강도를 변경할 경우 검사 시간이 오래 걸릴 뿐만 아니라 피검자가 청력 검사를 지루하게 느껴 동일하게 느끼는 음의 강도를 인지하기 어렵기 때문이다. Hood 및 Jerger 검사 방법의 선택은 프로그램 내부에서 간단하게 변경 가능하다.

ABLB 검사는 한쪽 귀가 정상이거나 약간의 감각신경성 난청이 있을 경우에 수행하는 검사이므로 너무 높은 강도의 검사 음을 들려주면 피검자의 청력을 손상시킬 수 있다. 이를 방지하기 위하여 정상인이

듣기에 불쾌한 음의 강도인 불쾌역치를 고려하여 90 dB HL을 최대 검사 음의 강도로 설정한다. 만약 기준 귀와 가변 귀 중 한쪽에서의 음의 강도가 90 dB HL을 초과 할 경우 해당 주파수에 대한 검사를 종료한다.

검사가 완료되면 청력 검사 결과를 시각적으로 쉽게 나타내기 위해 그림 2와 같은 Ladder Diagram을 출력한다. 피검자가 양쪽 귀에 들려주는 검사 음의 크기가 동일하다고 두 번 연속 반응하면 검사 결과를 출력한 후 검사를 종료한다.

2.2 동시 검사 시스템 구조 및 동작

본 시스템에서는 한 명의 검사자(서버)를 여러 명의 클라이언트(피검자)들이 공유하는 클라이언트/서버 모델로 동작한다. 원격에 있는 피검자들의 검사 정보 및 검사 과정에서 발생하는 이벤트의 전달을 위해 원격 함수를 호출하는 방법으로 메시지 교환이 이루어진다.

기존의 일대일 검사 방법과 유사하게 동작할 수 있도록 하기 위해 본 시스템은 영상 모니터링 및 영상 대화 기능을 제공한다. 검사자는 영상 모니터링 기능을 통해 필요 시 피검자의 검사 과정을 점검할 수 있고, 또 영상 대화를 통해 일 대 일 모델에서와 같이 문제를 해결할 수 있도록 한다.

2.2.1 클라이언트/서버 모델

그림 3과 같이 검사자의 컴퓨터와 다수의 피검자 컴퓨터들이 외부 인터넷에 연결될 필요가 없는 고속의 LAN으로 연결된 구조를 갖는다. 피검자 컴퓨터에서는 ABLB 검사에 필요한 주파수와 음의 세기를 갖는 음을 생성하여 피검자에게 들려준다. 실제 피검자는 방음 부스에서 헤드폰을 통해 음을 듣게 된다.

피검자의 반응에 대한 정보는 실시간으로 검사자 컴퓨터에 전달되기 때문에 검사자는 다수의 피검자 데이터를 관리할 수 있다. 그림 3에서의 서버는 소프트웨어 구조의 서버이기 때문에 독립적인 서버 컴퓨터로 동작할 수도 있고 검사자 컴퓨터에 존재 할 수도 있다. 이 같은 구조를 제공하는 것은 검사자 컴퓨터의 컴퓨팅 능력 또는 병원에서의 검사 데이터 관리 원칙에 따라 유연성 있게 적용할 수 있도록 하기 위함이다.

본 논문에서는 검사자의 화면 구성상의 문제로 최

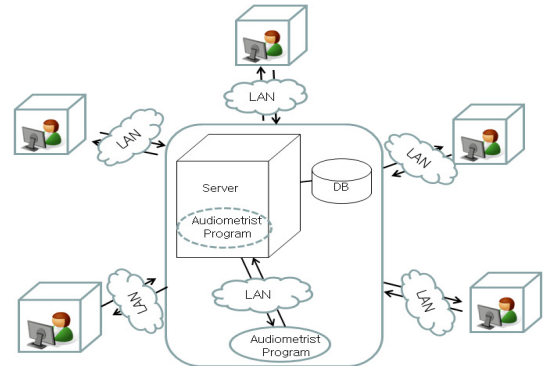


Fig. 3. System Architecture.

대 8 명의 피검자가 동시 검사를 할 수 있도록 제한한다.

만약 검사 진행 시 문제가 발생할 경우나 검사자가 영상 모니터링을 통해 피검자의 검사 과정이 제대로 진행되지 않을 경우 영상대화를 통해서 검사 진행의 문제점을 해결할 수 있으므로 기존의 일 대 일 방식으로 이루어지는 시스템과 유사하게 운영할 수 있다.

2.2.2 원격 함수

한명의 검사자가 원격에 있는 다수의 피검자의 검사 과정을 원활히 관리할 수 있기 위해선, 각 피검자의 검사 과정에서 발생하는 이벤트 및 데이터의 전달이 신속히 이루어져야 한다. 이를 위해 검사자와 피검자가 상태에 따라 서로 클라이언트와 서버의 역할을 하게 되고, 원격 함수를 호출하는 방법으로 메시지 교환이 이루어진다. 원격 함수는 SOAP을 사용하는 것으로 설계하였으며, 이를 구현하기 위하여 오픈 소프트웨어로 제공되는 gSOAP [5]을 사용한다.

원격 함수는 피검자측에서 검사자측으로 메시지를 전달하기 위해 서버에서 제공하는 함수와 피검자 측에서 서버를 통하여 검사자용 프로그램에 전달하기 위해 제공하는 함수로 나뉜다. 표 1과 표 2는 각각 서버 측에서 제공하는 원격함수와 피검자 측에서 제공하는 원격함수를 나타낸다.

2.2.3 검사자의 동작 과정

검사자는 원격 함수를 이용하여 다수 피검자의 검사를 수행한다. 검사자는 피검자의 아이디를 이용하여

Table 1. List of server functions.

| Function Name | Specification |
|----------------|--------------------------------------|
| SendTestName | Send test method information |
| SendStart | Send test start confirmation message |
| SendInfo | Send test status information |
| SendResult | Send test result data |
| SendHelp | Send subject's help message |
| SendError | Send program error message |
| SendTimeout | Send test stop message |
| SendVideoStart | Send subject's video chat request |

Table 2. List of subject functions.

| Function Name | Specification |
|-------------------|--|
| RequestMethod | Send request message of test method to display |
| RequestAutoLogin | Send request of login |
| RequestStart | Send request of test start message |
| RequestInfo | Send request of test status |
| RequestResult | Send request of test result |
| RequestTimeout | Send test is not proceeding |
| RequestVideoStart | Send request of video chat |
| RequestVideoStop | Send request of video chat termination |
| RequestAutoLogout | Send request of logout |

여 원격 로그인을 하여 피검자의 검사용 모니터에 로그인 정보를 표시한 후 피검자의 검사 준비 상태를 영상 모니터링을 통하여 확인 후 검사를 시작한다.

그림 4와 같이 검사자는 실시간으로 전송되는 검사 결과를 검사자 관리 프로그램의 Ladder Diagram 으로 모니터링하며, 검사 결과의 이상 또는 특정 시간 동안 검사 결과 미전송 시 영상 대화 버튼을 선택하여 모니터링 및 영상 대화를 할 수 있다. 피검자가 정상적으로 검사를 완료한 경우에 검사 종료 및 로그아웃을 검사자가 진행하며, 이상 상태에서도 검사자가 검사 재시작 및 종료를 설정할 수 있다.

2.2.4 피검자의 동작 과정

피검자도 검사 진행 과정에 문제가 발생할 경우 검사자에게 영상 대화를 요청할 수 있다. 이 경우 피검자 컴퓨터에서 검사자 컴퓨터로 영상 대화를 요청하는 이벤트를 전달하게 된다. 그림 5는 피검자측 동작 프로그램 화면으로 피검자가 검사자와 영상 대화를 하는 화면이다.

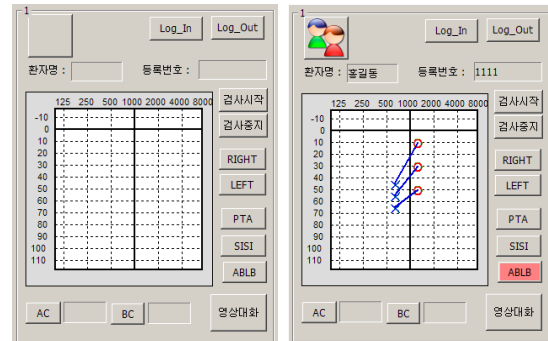


Fig. 4. Screen of audiometrist: state of subject logout (left) and state of testing(right).

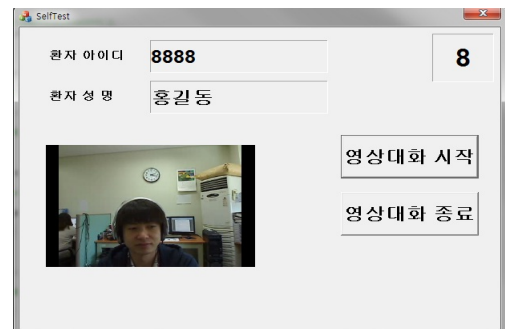


Fig. 5. Subject's screen showing connection of audiometrist.

2.3.5 영상대화

피검자가 검사를 진행하면서 문제가 있는 경우 피검자와 검사자가 영상을 통해 대화할 수 있도록 영상 대화를 지원한다. 영상대화는 기존의 일 대 일 검사와 유사하게 동작할 수 있는 환경을 제공한다.

그림 6과 같이 검사자는 영상 대화 버튼을 사용하여 피검자의 검사진행 과정을 영상으로 모니터링 할 수 있다. 영상 모니터링이 시작될 경우 피검자의 방음 부스에 설치된 카메라의 영상이 검사자에게 전송된다. 피검자는 그림 5와 같이 검사 진행 중 예기치 못한 문제가 발생할 경우 검사자에게 영상 대화를 요청할 수 있다.

본 논문에서는 RTP 프로토콜 [6] 및 VideoLAN [7]을 이용하여 영상을 전송한다. 영상 전송은 압축 코덱, 비트레이트 (bps), 초당 전송 프레임 (fps)에 따라 영상 화질이 달라지므로 시스템 설치 환경에 맞게 설정할 수 있다.

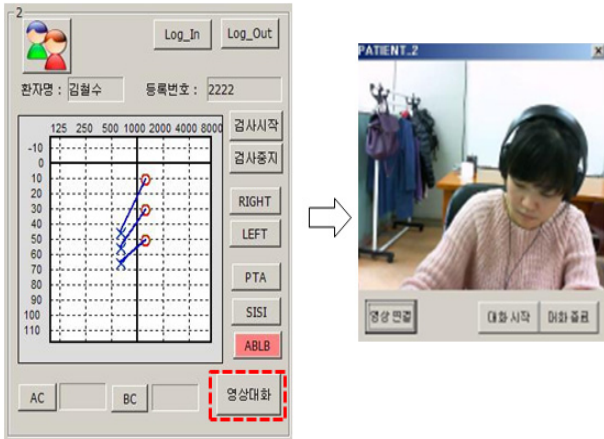


Fig. 6. Audiometrist's interface for video monitoring and chat.

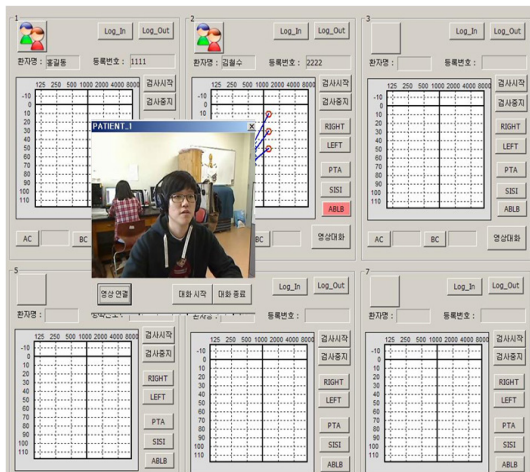


Fig. 7. Audiometrist's screen for video chat.

그림 7은 검사자 화면에서 피검자와 일대일 영상 대화를 하는 화면으로 다른 피검자의 검사 결과도 실시간으로 모니터링을 할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 시험 환경

본 시스템을 시험하기 위한 환경은 다음과 같다. 검사사용 컴퓨터 1 대와 네트워크로 연결된 피검자용

컴퓨터 8대로 구성된다. 각 컴퓨터의 운영체제는 WindowsXP 및 Windows7이며, 네트워크 환경으로 100 M bps를 지원하는 fast ethernet을 사용하였다. 영상 대화용 카메라는 Microsoft사의 LifeCam Cinema WebCam과 Logitech WebCam Pro9,000을 사용하였다. 피검자 컴퓨터에서 동작하는 자동 ABLB 검사 프로그램은 Intel Core2 Duo E7,400 2.8 GHz 프로세서, Audiophile 2,496 사운드 카드를 사용하였고 Windows XP 운영체제 기반의 PC를 사용하였다.

검사 음의 출력을 위한 헤드폰은 Telephnics사의 TDH-39 10 옴을 사용하였고 ABLB 검사 음이 사운드카드의 출력 채널에서 제대로 출력되는지 확인하기 위해 Tektronix사의 4,032 디지털 오실로스코프를 사용하였다.

3.2 시험 결과

그림 8은 사운드카드의 2개의 출력 채널에서 출력되는 ABLB 검사음을 오실로스코프로 측정된 화면을 나타낸다. 그림에서 ABLB 검사 음이 2개의 출력 채널에서 교대로 출력되는 것을 확인할 수 있다.



Fig. 8. The measurement of ABLB test tone.

그림 9는 8명의 피검자가 접속하였을 때 검사 진행 과정이 기록되고 있는 화면이다. 8대의 컴퓨터에서 피검자들은 청력검사를 진행할 수 있었고 검사자의 컴퓨터에도 검사 진행 상황을 체크할 수 있었다. 시스템의 부하없이 각 피검자의 검사 진행 과정이 원활하게 작동됨을 확인할 수 있었다.

영상대화 및 영상 모니터링 기능은 그림 7에 나타난 바와 같이 원활히 진행됨을 볼 수 있었다.

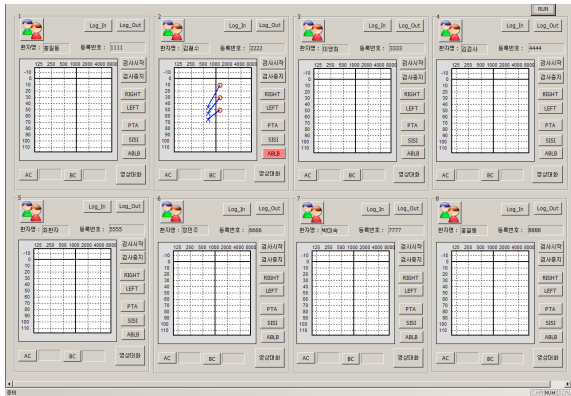


Fig. 9. Audiometrist's screen showing 8 subject's concurrent assessment.

4. 결론

본 논문은 한명의 검사자가 다수 피검자의 검사를 동시에 진행할 수 있는 자동 ABLB 검사 시스템을 구현하고, 시험하였다. 시험을 통해 본 논문의 ABLB 청력 검사 시스템의 출력 음은 ANSI S3.6-2004 [8] 규격을 완벽하게 준수함을 확인할 수 있었으며, 네트워크로 연결된 상황에서 다수 피검자를 동시에 검사하는 데 무리가 없음을 볼 수 있었다.

일 대 다 모델을 지원하는 본 논문의 ABLB 청력 검사 시스템은 한명의 검사자가 한명의 피검자만을 검사할 수 있는 현재의 일 대 일 검사 방법에 비해 검사자의 상대적 인건비를 낮출 수 있을 뿐 아니라 피검자가 많을 경우 검사 대기시간을 줄일 수 있는 장점을 제공한다.

감사의 글

이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0027658).

REFERENCES

- [1] H. A. Newby and G. R. Popelka, *Audiology* (Prentice-Hall, 1992) p. 64.
- [2] S. H. Lee, *J. Clinical Otolaryngol.*, **14**, 242 (1996).
- [3] J. D. Kim, *Korea Academia-industrial Cooperation Society*, **10**, 1229 (2009).
- [4] D. H. Kang, *Korea Academia-industrial Cooperation Society*, **11**, 5120 (2010).
- [5] R. V. Engelen, *The gSOAP Toolkit for SOAP Web Services and XML-Based Applications*, <http://gsoap2.sourceforge.net>. (2011)
- [6] H. Schulzrinne, *RTP: A Transport Protocol for Realtime Applications*, *RFC*, 3550 (2003).
- [7] A. D. Lattre, VideoLan, Streaming How To, <http://www.videolan.org/doc/streaming-howto/en/>, (2005)
- [8] ASA, ANSI (American National Standard Institute) S3.6-2004, "American National Standard Specification for audiometers" (2004).